

UFF-Universidade Federal Fluminense
CTC-Centro Tecnológico
CPP-Coordenação de Pós-Graduação de Engenharia de Produção
Mestrado em Engenharia de Produção



Título da Dissertação:

**METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE
MANUTENIBILIDADE EM PROJETOS DE DESENVOLVIMENTO
DE SISTEMAS**

Mestrando: Isaac José Antonio Luquetti dos Santos

Orientador: Professor Eduardo Siqueira Brick

T
0455
SANT

T
0455
SANT

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

2 CONCEITOS BÁSICOS

2.1 MANUTENÇÃO

2.1.1 MODELOS DE MANUTENÇÃO

2.1.2 SISTEMA DE CONTROLE EM MANUTENÇÃO

2.1.3 SUMÁRIO PARA ANÁLISE DA MANUTENÇÃO

2.2 CONFIABILIDADE

2.2.1 A CURVA DA BANHEIRA

2.2.2 SUMÁRIO PARA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE

2.3 DISPONIBILIDADE

2.4 EFICÁCIA

2.5 APRESTAMENTO OPERACIONAL

2.6 MANUTENIBILIDADE

2.6.1 SUMÁRIO PARA ANÁLISE DA MANUTENIBILIDADE

3 DEFINIÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES QUANTITATIVOS RELACIONADOS COM A MANUTENIBILIDADE

3.1 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (MTBF)

3.2 TEMPO MÉDIO ENTRE MANUTENÇÃO (MTBM)

3.3 TEMPO MÉDIO PARA REPARO (MTTR)

3.4 TEMPO MÉDIO ENTRE SUBSTITUIÇÕES (MTBR)

3.5 TEMPO DE ATUAÇÃO

3.6 TEMPO DE PRONTIDÃO

3.7 TEMPO DE PARALISAÇÃO PARA MANUTENÇÃO (MDT)

3.8 TEMPO MÉDIO DE MANUTENÇÃO ATIVA (\bar{M})

- 3.9 TEMPO DE ATRASO LOGÍSTICO (LDT)
- 3.10 TEMPO DE ATRASO ADMINISTRATIVO (ADT)
- 3.11 TEMPO MÉDIO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA (\bar{M}_{ct})
- 3.12 TEMPO MÉDIO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA (\bar{M}_{pt})
- 3.13 HORAS HOMENS DE MANUTENÇÃO POR HORAS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA (MMH/OH)
- 3.14 CUSTO DE MANUTENÇÃO POR HORAS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA (CUSTO /OH)
- 4 MANUTENIBILIDADE NO CICLO DE VIDA DO PROJETO
 - 4.1 PROJETO CONCEITUAL
 - 4.2 PROJETO INICIAL
 - 4.3 PROJETO DETALHADO E DESENVOLVIMENTO
 - 4.4 PRODUÇÃO E/OU CONSTRUÇÃO DO PROJETO
 - 4.5 UTILIZAÇÃO PELO CLIENTE E SUPORTE DO CICLO DE VIDA DO PROJETO
 - 4.6 ALIENAÇÃO DO PROJETO
- 5 ATIVIDADES NECESSÁRIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MANUTENIBILIDADE
 - 5.1 PLANEJAMENTO DO PROGRAMA DE MANUTENIBILIDADE
 - 5.2 PROGRAMA DE CONTROLE E REVISÃO DOS FORNECEDORES
 - 5.3 CRITÉRIOS DE PROJETO DE MANUTENIBILIDADE
 - 5.3.1 SIMPLIFICAÇÃO
 - 5.3.2 PADRONIZAÇÃO E INTERCAMBIALIDADE
 - 5.3.3 ACESSIBILIDADE
 - 5.3.4 MODULARIZAÇÃO
 - 5.3.5 IDENTIFICAÇÃO
 - 5.3.6 TESTABILIDADE
 - 5.3.7 FATORES HUMANOS

5.3.8 FATORES AMBIENTAIS

5.4 ALOCAÇÃO DA MANUTENIBILIDADE

5.5 MODO DE FALHA, EFEITO E ANÁLISE DE CRITICALIDADE

5.5.1 ANÁLISE DO MODO E EFEITO DA FALHA

5.5.2 ANÁLISE DE CRITICALIDADE

5.6 ANÁLISE DA MANUTENIBILIDADE

5.6.1 ANÁLISE DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

5.6.2 DIAGNÓSTICO DE FALHAS

5.7 PREDIÇÃO DA MANUTENIBILIDADE

5.7.1 MÉTODO 1

5.7.2 MÉTODO 2

5.8 PROGRAMA DE DEMONSTRAÇÃO DA MANUTENIBILIDADE

5.9 ANÁLISE, COLETA DE DADOS E AÇÕES CORRETIVAS

5.9.1 MÉTODO DO TESTE DA MÉDIA PARA ANÁLISE DOS DADOS

5.9.2 MÉTODO DO TESTE DA MEDIANA PARA ANÁLISE DOS DADOS

5.10 PROGRAMA DE REVISÃO DA MANUTENIBILIDADE

5.10.1 PROPOSTA DE MODIFICAÇÕES NO PROJETO

6 PROGRAMA DE APOIO LOGÍSTICO

6.1 FORNECIMENTO DE COMPONENTES E MATERIAIS DE REPOSIÇÃO

6.2 EQUIPAMENTOS DE TESTE E SUPORTE

6.3 FACILIDADES LOGÍSTICAS

6.4 TRANSPORTE, MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

6.5 FATORES RELACIONADOS COM O GRUPO DE TRABALHO

6.6 DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

6.7 UTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES

7 CONCLUSÕES

1 INTRODUÇÃO

O projeto é um conjunto de atividades que tem como principal objetivo a construção e/ou produção de um sistema. Na referência [28] encontra-se também a seguinte definição: Projeto é um processo de aplicação específica de uma metodologia de pesquisa na resolução de problemas. Para sistematizar a solução de um projeto é necessário estruturá-lo em diversas fases, conforme o diagrama em blocos apresentado na referência [4] e mostrado na figura 1.

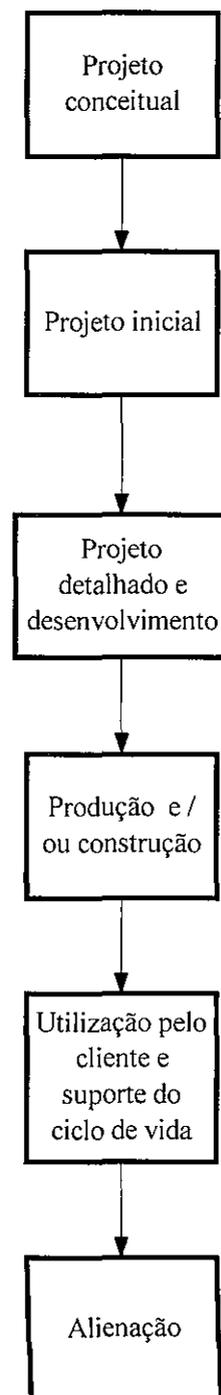


Figura 1 - Fases de um projeto

Na fase do projeto conceitual é realizado o estudo da viabilidade de implantação, são definidos os dados de entrada, as especificações técnicas e o planejamento de construção do projeto. Os dados de entrada são fornecidos pelo contratante, analisados pelo projetista e posteriormente definidos no documento de definição do projeto.

Na fase do projeto inicial é realizada a análise funcional do sistema, implementação das especificações técnicas e os estudos de otimização do sistema. Após a concretização dessas etapas o projeto é revisado e avaliado. Na fase relacionada com o projeto detalhado e seu desenvolvimento é feito o detalhamento dos subsistemas e posteriormente o desenvolvimento de um protótipo, que é testado e suas especificações técnicas avaliadas, com a finalidade de verificar a conformidade com os requisitos apresentados pelo usuário. A documentação técnica do projeto é confeccionada e realizada nova revisão e avaliação. A fase de produção e/ou construção consiste nos testes dos componentes que constituem o projeto e posteriormente sua produção. Se necessário são realizadas ações corretivas com o objetivo de aperfeiçoar o produto final. É na fase de utilização pelo cliente, que as informações obtidas sobre as condições em que o sistema é utilizado pelo usuário tornam-se de grande importância para a implementação do melhor modelo de manutenção e de um programa de apoio logístico eficaz. Isto permite um suporte adequado durante todo o ciclo de utilização do projeto. A duração de cada fase citada anteriormente pode variar dependendo da natureza, complexidade e do objetivo do projeto. Além disso, é necessário levar em consideração as necessidades do usuário e a obsolescência dos componentes e materiais que constituem o projeto, que podem levar a sua alienação.

Um dos aspectos de grande importância ao se implementar um projeto é a análise do custo total do seu ciclo de vida, que é formado pelo seguintes fatores:

- Custo de pesquisa e desenvolvimento: Custo devido ao estudo da viabilidade, análise do sistema, projeto detalhado e desenvolvimento, fabricação do protótipo, testes iniciais, avaliação e documentação correspondente.

- Custo de produção e construção: Custo de produção do projeto, teste de operação, suporte da manutenção e aquisição do suporte inicial do sistema (equipamentos de teste e suporte, peças e componentes de reserva e documentação técnica).
- Custo de operação e manutenção: Custo de operação do sistema, manutenção sustentada e suporte do sistema através do seu ciclo de vida planejada (mão de obra, pessoal, peças e componentes sobressalentes, facilidades, transporte, manuseio, embalagem, facilidades em geral e dados técnicos).
- Custo de alienação: Custo de alienação devido a obsolescência de peças, componentes e materiais.

Os custos associados com a pesquisa, projeto, desenvolvimento, produção e/ou construção de um sistema normalmente são conhecidos. Já os custos relacionados com a operação e manutenção são difíceis de quantificar. Segundo a referência [4] estes custos constituem um percentual de 75% do custo total do ciclo de vida do sistema. Através da figura 2, obtida da referência [4], nota-se que as decisões sobre a utilização de novas tecnologias, seleção de componentes e materiais, processo de produção e procedimentos de manutenção, realizadas durante a fase conceitual têm uma grande contribuição sobre o custo total do ciclo de vida do projeto, influenciando decisivamente nos custos de manutenção e de suporte.

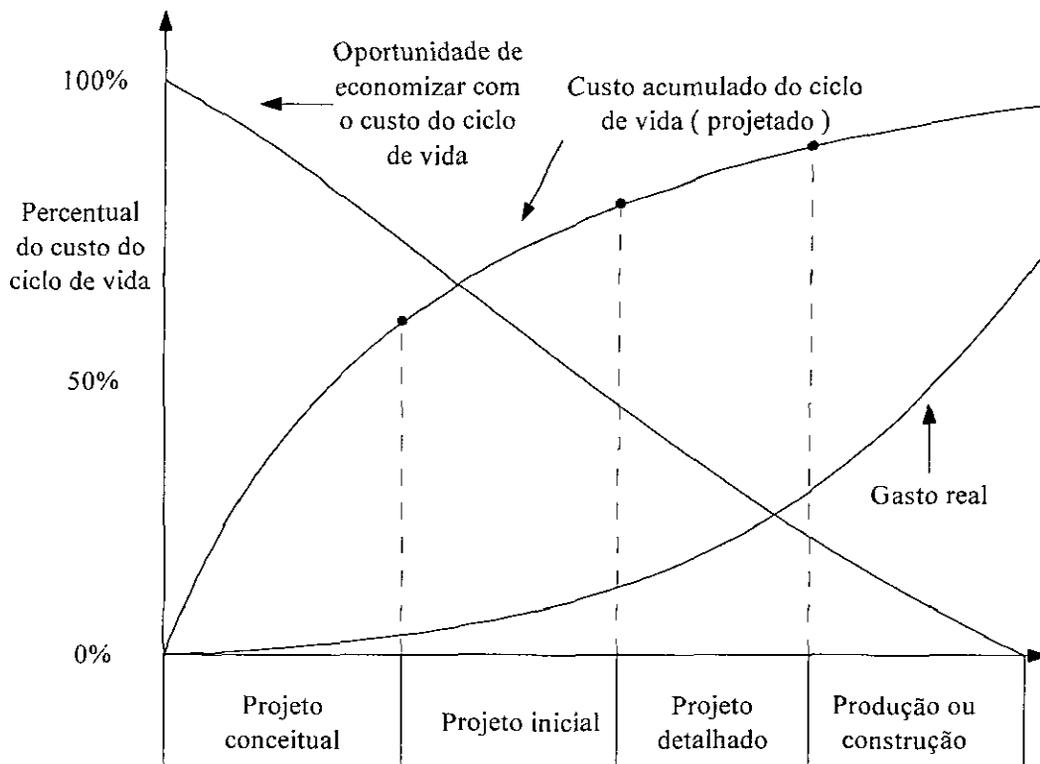


Figura 2 - Custo do ciclo de vida do projeto

O objetivo com relação ao projeto de um sistema é o de estabelecer um equilíbrio entre os fatores econômicos e os fatores técnicos que o afetam. Os fatores econômicos estão relacionados com os benefícios, os rendimentos gerados e os custos citados anteriormente. Os fatores técnicos estão relacionados com as figuras de mérito, que determinam a eficácia do sistema, ou seja, as características de performance, a disponibilidade do sistema e os fatores de utilização entre os quais podemos citar, procedimentos, normas, métodos e fatores humanos.

A manutenibilidade, como uma característica de projeto, faz parte dos fatores que determinam a disponibilidade do sistema. A sua incorporação no projeto tem um impacto significativo na eficácia do sistema e no custo do seu ciclo de vida. Os requisitos da manutenibilidade devem ser planejados e incluídos em todas as fases do projeto, ou seja, desde a fase conceitual até a utilização pelo cliente e suporte do ciclo de vida. O planejamento e a implantação dos requisitos da manutenibilidade é realizado a partir da fase conceitual e prossegue até a fase de detalhamento e desenvolvimento. A quantificação e avaliação dos

requisitos da manutenibilidade tem início na fase de desenvolvimento e termina na fase de utilização e suporte. A referência [4] destaca na forma de diagrama em blocos essas etapas, que são mostradas na figura 3.

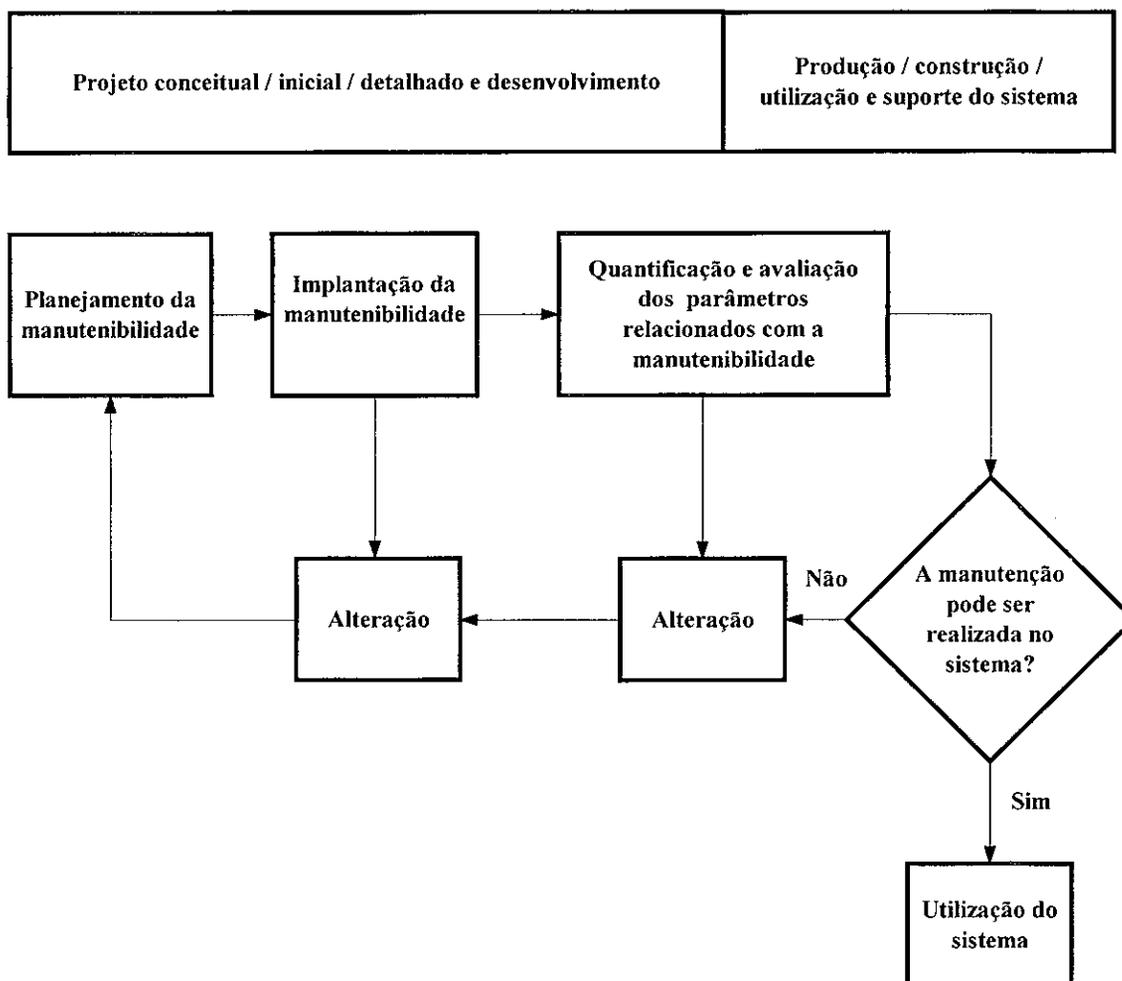


Figura 3 - Requisitos da manutenibilidade

A manutenibilidade como parte inerente do projeto deve ser integrada junto com outras características importantes do projeto, entre as quais se destacam: Confiabilidade, fatores humanos, segurança, viabilidade econômica, apoio logístico e impacto ambiental.

O objetivo do trabalho de dissertação é o de estabelecer uma metodologia que defina as atividades, em cada fase do ciclo de vida do projeto, necessárias para implementar um

programa de manutenibilidade. No capítulo 2 são definidos os conceitos de manutenção, confiabilidade, disponibilidade, eficácia, aprestamento operacional e manutenibilidade. No capítulo 3 são definidos os principais fatores quantitativos usados na predição da manutenibilidade. No capítulo 4 são especificadas para cada fase do projeto, as atividades necessárias para incorporar a manutenibilidade no ciclo de vida do sistema. No capítulo 5 são definidas estas atividades. No capítulo 6 o objetivo do programa de apoio logístico é definido e especificado os fatores que constituem esta etapa. As conclusões, possíveis aplicações e sugestões para prosseguimento de novos trabalhos são apresentadas no capítulo 7.

2 CONCEITOS BÁSICOS

2.1 MANUTENÇÃO

Manutenção pode ser definida, de acordo com a referência [17], como uma série de ações necessárias para restabelecer um equipamento ou sistema em condições de operação. Considerando que a manutenção de um sistema pode ser planejada, programada e realizada sem que o mesmo pare de funcionar, então é correto afirmar que os custos relacionado com a manutenção são perfeitamente controláveis. É importante ao se definir a estratégia de manutenção levar em consideração o custo total da manutenção, definido como sendo a soma dos custos de manutenção mais os custos de falhas. De um modo geral, uma alocação ótima de manutenibilidade em um projeto deve implicar em um custo total mínimo. Estratégias mais onerosas em manutenção correspondem a custos menores de falhas. Sistemas vitais de um projeto com alto custos de falhas correspondem a níveis altos de manutenção. Ao implantar um projeto racional de manutenção é necessário conhecer detalhadamente as definições de custo de falha e custo de intervenção. De acordo com a referência [26] define-se o custo de intervenção como sendo o custo gerado pela parada do equipamento, abertura, troca dos componentes gastos, fechamento e teste. Para se analisar o custo de falha é necessário conhecer a importância do equipamento dentro do sistema ao qual pertence e a do sistema dentro do projeto. Deve-se saber quantificar qual o risco do equipamento vir a falhar, ou seja, qual o risco

de falha do equipamento. Segundo a referência [26] o risco de falha é definido quantitativamente como sendo o produto entre a frequência esperada de falha do equipamento e as suas consequências para a instalação. A frequência esperada está ligada a confiabilidade do equipamento, ou seja, quanto menos confiável maior o número esperado de falhas, logo a confiabilidade do equipamento tem influência direta no risco. A avaliação das consequências para a instalação decorrentes das falhas do equipamento é feita pela análise de riscos e não pela análise de confiabilidade. Um equipamento pouco confiável pode apresentar baixo risco, caso as consequências de suas falhas não sejam muito altas e um equipamento muito confiável, com baixa frequência de falhas pode ser responsável por um alto risco, se as consequências de suas falhas forem críticas.

Existem situações em que o custo da intervenção é muito maior que o custo da falha, portanto é muito oneroso elaborar um programa de manutenção. É mais fácil e menos custoso substituir o equipamento. Entretanto, também há casos em que o grau de confiabilidade exigido para certos equipamentos é bastante alto e portanto o risco de falha aceitável é mínimo. Neste caso o custo da falha é bastante elevado e muito maior do que o custo da intervenção, pois poderá implicar na paralisação de um equipamento vital para o sistema. Será necessário então, implantar um programa de manutenção adequado.

2.1.1 MODELOS DE MANUTENÇÃO

A escolha de um modelo de manutenção implica em definir uma estratégia para o projeto que está sendo implementado, de maneira que exista uma relação mais conveniente entre o custo de falha e o custo de intervenção. Dessa forma, ao implementar um programa de manutenção em um determinado projeto é necessário conhecer perfeitamente os principais modelos, pois a adoção de um tipo de manutenção inadequada poderá acarretar em gastos desnecessários ou prejudicar a segurança e a rentabilidade do projeto. Dessa forma, a escolha do melhor modelo de manutenção a ser implantado em um projeto está relacionada com a determinação dos sistemas e equipamentos críticos que podem ser responsáveis pelo baixo desempenho ou

elevados custos de manutenção do projeto, do custo de falha, do custo de intervenção e do grau de confiabilidade. É apresentado na figura 4 os principais modelos de manutenção.

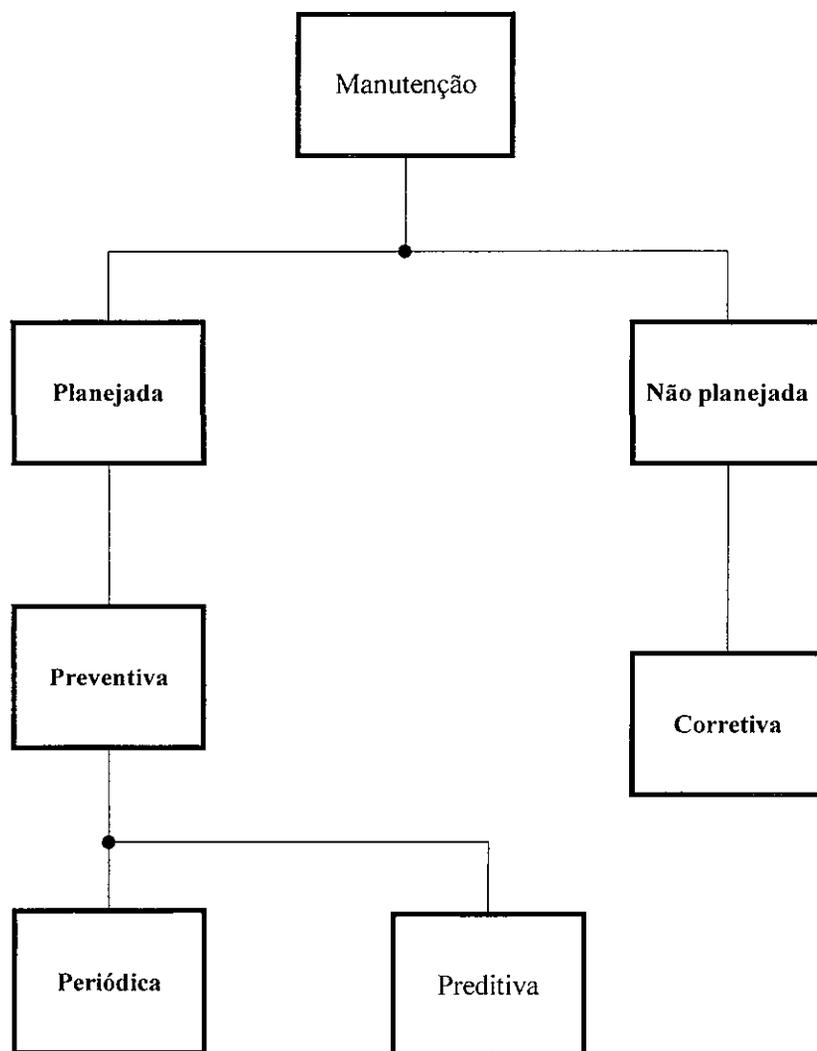


Figura 4 - Principais modelos de manutenção

- **MANUTENÇÃO PLANEJADA**

Neste tipo de manutenção as atividades são programadas e os critérios e procedimentos são previamente definidos de modo que as inspeções e intervenções nos equipamentos sejam realizadas em intervalos regulares, possibilitando detectar falhas no estágio inicial ou até impedir o seu surgimento. O número de falhas neste tipo de manutenção é menor que na

manutenção não planejada, pois a maioria das falhas são diagnosticadas na sua fase inicial, possibilitando um baixo custo de reparação. Uma outra vantagem é a de permitir uma melhor distribuição da mão de obra ao longo do tempo, possibilitando uma alocação racional das tarefas de manutenção evitando a sobrecarga ou falta de trabalho. Para se adotar um modelo de manutenção planejada com bons resultados é necessário estabelecer um número mínimo de mão de obra, pois o tempo total necessário para a execução de todas as tarefas é bastante elevado.

- **MANUTENÇÃO PLANEJADA PREVENTIVA**

Tem por concepção realizar intervenções em intervalos de tempo pré-definidos. Estes intervalos podem ser definidos levando em consideração as horas de operação do equipamento. Existem alguns problemas associados a este tipo de manutenção como a abertura desnecessária de um equipamento ainda em boas condições de operação, aumentando a sua indisponibilidade e a possibilidade de falha antes do tempo previsto.

- **MANUTENÇÃO PLANEJADA PREVENTIVA PERIÓDICA**

Consiste na inspeção periódica de equipamentos em intervalos pré-determinados. Uma lista de instruções de manutenção com seus intervalos recomendados é definida a partir das especificações técnicas dos fabricantes. Neste caso, a execução de cada atividade é realizada no período definido na inspeção e geralmente compreende a abertura de equipamentos, com a finalidade de decidir se são necessários ajustes ou substituições de peças ou componentes. O ponto crucial consiste na escolha desses períodos de manutenção, pois as inspeções em intervalos pequenos podem aumentar os custos, devido a redução da disponibilidade do equipamento e a possibilidade de uma remontagem errada. Por outro lado, as inspeções em intervalos maiores podem acarretar níveis elevados de falhas, aumentando a solicitação por manutenção corretiva.

- **MANUTENÇÃO PLANEJADA PREVENTIVA PREDITIVA**

O funcionamento de equipamentos é controlado através de sensores e sistemas de medição, que monitoram parâmetros, tais como, ruído, pressão, vibração, sem a necessidade de parada ou a abertura do equipamento. A finalidade é a de detectar alterações, anomalias ou perda de eficiência de componentes e peças. As intervenções de manutenção são decididas a partir do comportamento desses parâmetros. Como vantagens podemos citar a possibilidade de se programar com antecedência a manutenção e permitir a abertura do equipamento antes que o componente apresente falhas, redução das paradas de equipamento por quebra, redução da quantidade de sobressalentes, redução do tempo de parada dos equipamentos, aumento da produtividade e aumento da segurança das instalações. A manutenção preditiva vem sendo utilizada frequentemente em navios de guerra e plataformas de exploração de petróleo, devido ao alto custo de falhas em equipamentos vitais.

- **MANUTENÇÃO NÃO PLANEJADA**

Neste tipo de manutenção as atividades são realizadas sem critérios objetivos anteriormente definidos. Estão inserido neste item, os reparos em situação de avaria, mau funcionamento ou baixa performance de um equipamento. Pode ser citado como característica deste modo de manutenção o seu alto custo, pois as falhas só são detectadas em estado bastante avançado. A grande ocorrência de falhas em um dado instante pode acarretar em muitas tarefas de manutenção. Da mesma forma, em outros momentos as tarefas podem ser poucas. É fácil de perceber a dificuldade de dimensionar a quantidade de mão de obra neste tipo de manutenção, acarretando uma distribuição bastante irregular da demanda de mão de obra necessária, dificultando o serviço de manutenção.

- **MANUTENÇÃO NÃO PLANEJADA CORRETIVA**

Nenhuma providência é realizada até que ocorra uma falha. Não há nenhum dispêndio até que ocorra uma falha. Neste caso há a necessidade de grande volume de sobressalentes com

superdimensionamento das equipes de manutenção e altos índices de indisponibilidade dos equipamentos. O custo da manutenção não programada normalmente é bem superior ao da programada.

2.1.2 SISTEMA DE CONTROLE EM MANUTENÇÃO

O sistema de controle deve identificar claramente o trabalho a ser realizado, que materiais e componentes são necessários, quando o trabalho pode ser realizado, quanto tempo levará para ser concluído, que tarefas serão realizadas, quais os técnicos que realizarão as tarefas e qual o nível de especialização desejado dos técnicos. A figura 5, obtida da referência [26], descreve as atividades incluídas em um sistema de controle de manutenção.

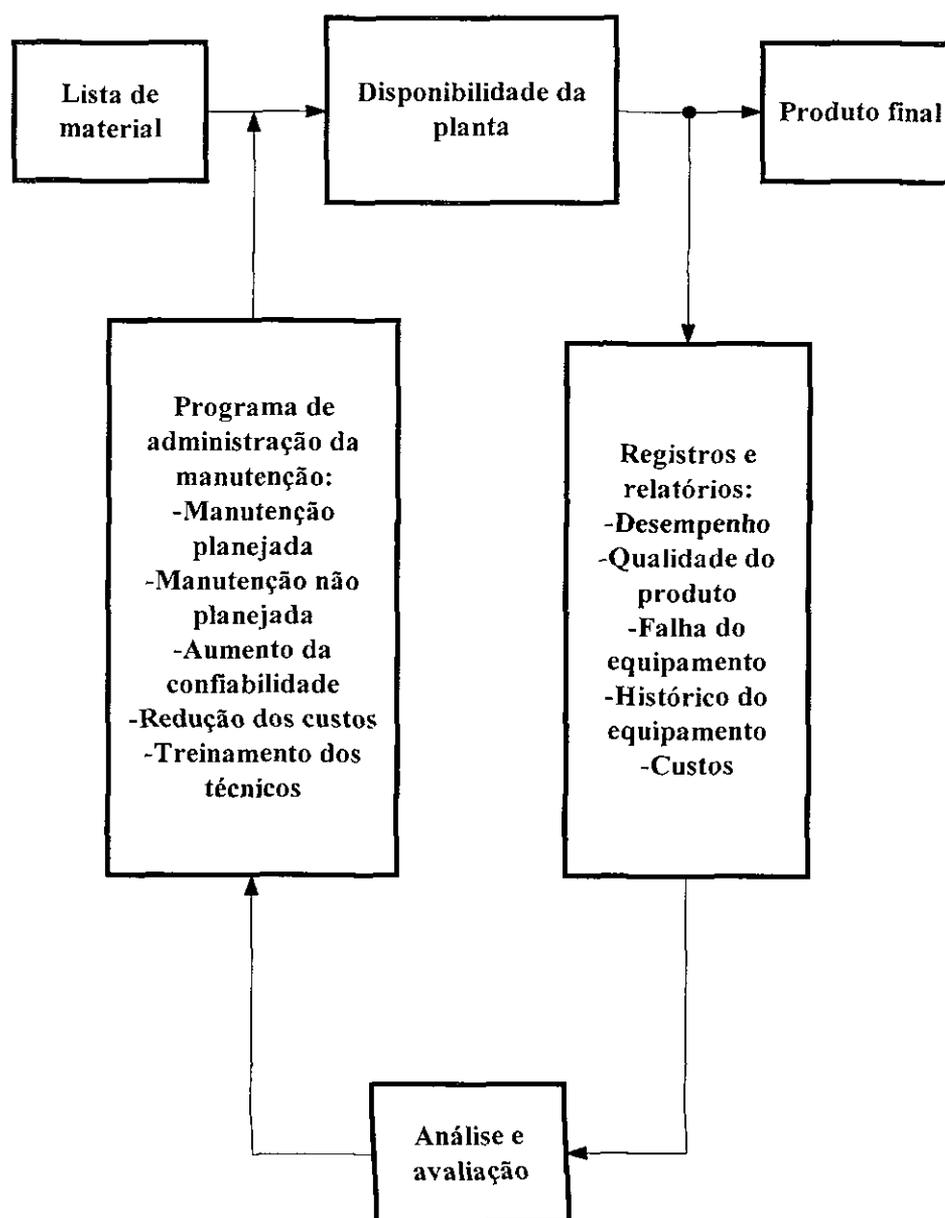


Figura 5 - Atividades em um sistema de controle de manutenção

O programa de administração da engenharia de manutenção tem como função otimizar a disponibilidade da planta industrial. Os registros e relatórios têm como função avaliar e analisar o programa de manutenção implementado, possibilitando através dessas informações uma melhoria no método empregado. As ordens de serviços são requisições definidas pelo projetista, com a finalidade de decidir qual o tipo de serviço a ser realizado e quem será o responsável pela execução.

Os principais objetivos de uma ordem de serviço são os seguintes:

- Melhorar a programação e o planejamento da manutenção.
- Reduzir custos através do controle de materiais, componentes e homens hora.
- Estabelecer o melhor método para realizar a tarefa, com um custo estimado e tempo determinado.
- Definir o grupo responsável pela execução da tarefa.

A figura 6 mostra um exemplo de ordem de serviço.

DATA:	SOLICITADO POR:		CARGO:	DEPTO:		RESP. PELO SERVIÇO	SERVIÇO: • HOJE • AMANHÃ • DEPOIS
SERVIÇO REQUISITADO:							SISTEMA:
SERVIÇO A SER REALIZADO:							EQUIPAMENTO:
MATERIAL, COMPONENTES E EQUIPAMENTOS ESPECIAIS:							• EMERGÊNCIA • PROGRAMADO
REGIST.							DATA INÍCIO:
CÓDIGO FALHA							APROVADO POR:
	CAUSA	AÇÃO	COMP. DEFEITO	H/E	H/T	RAZÃO DA FALHA	DATA TERMINO:
							CLASSIFICAÇÃO • PREVENTIVA • REPARO • INSPEÇÃO • SEGURANÇA

Figura 6 - Ordem de serviço

onde:

H / E = Horas estimadas

H / T = Horas de trabalho

Ação : (1) Reparar; (2) Substituir, (3) Testar

Componente danificado: (1) Freios, (2) Bomba, (3) Motor, (4) Bateria

Razão da falha: (1) Fadiga, (2) Curto circuito, (3) Sobretensão, (4) Aquecimento

2.1.3 SUMÁRIO PARA ANÁLISE DA MANUTENÇÃO

O objetivo é o de descrever os procedimentos e identificar e estabelecer os tempos necessários para realizar as tarefas de manutenção. Dessa maneira é importante a escolha do melhor método para realizar as tarefas, as ferramentas comuns e especiais usadas, determinar os fatores que influenciam no desempenho dos técnicos, manuais atualizados dos equipamentos e sistemas e definir os sistemas de segurança e proteção com a finalidade de evitar danos físicos aos trabalhadores. A análise de manutenção é formada pelas seguintes etapas:

-Modelo: nome do equipamento.

-Código de identificação da manutenção:

- Organizacional (O): As ações de manutenção são realizadas no local onde o sistema funciona. Normalmente estas tarefas são feitas pelo próprio grupo envolvido com a operação dos equipamentos. A manutenção é limitada a inspeção periódica, visual, limpeza, ajustes externos, remoção e recolocação de peças e componentes.
- Intermediária (I): As tarefas são realizadas por técnicos especializados, utilizando instalações de suporte fixas ou móveis (furgões ou caminhonetes) equipadas com equipamentos de testes, ferramentas especiais e com peças de reservas. Nesse caso, as manutenções realizadas são mais complexas.
- Depósito / fornecedor (D): As tarefas de manutenção são bem mais complexas do que as realizadas no nível intermediário. Os técnicos são qualificados, especializados, realizando manutenções em equipamentos sofisticados, revisões completas e calibração.

.-Ação na manutenção:

- Isolação da falha (I)
- Retirar e Recolocar (R)
- Reparo (RE)
- Teste (T)
- Revisão (RV)
- Lubrificar (L)
- Ajustar e alinhar (A)
- Calibrar (C)
- Limpar (LI)
- Preservar (P)
- Outros (O)

-Especificação técnica do equipamento ou sistema em manutenção

-Facilidades exigidas para realizar a manutenção, como por exemplo, sala limpa, sala protegida contra interferências eletromagnéticas, sala ventilada, sala com espaço suficiente.

-Treinamento: Especificar o treinamento exigido para cada tarefa, com os seguintes códigos:

- Não requer treinamento (X)
- Requer familiarização, através de demonstração ou explicação (A)
- Requer treinamento e palestras (B)
- Requer um curso específico sobre a tarefa a ser realizada (C)

-Tarefas especiais: Indicadas através dos seguintes códigos:

- Condições de trabalho restritas (A)
- Necessário equipamentos e ferramentas especiais (B)
- Necessário maior número de técnicos (C)
- Possibilidade de danos físicos (D)
- Tarefas críticas para o sucesso da missão (E)
- Sem problemas (X)

-Frequência da manutenção por ano: Número de vezes estimado em que a manutenção é realizada por ano.

-Identificação da tarefa

- Localização (L) - Determina a localização da falha sem usar equipamento de teste como acessório.
- Isolação (I) - Determina a localização e isolamento da falha utilizando equipamento de teste como acessório.
- Desmontagem (D) - Desmonta o equipamento com a finalidade de obter acesso ao item que será removido.
- Troca (T) - Retira o componente danificado e coloca o substituto.
- Remontagem (R) - Remonta e fecha o equipamento depois que a troca foi realizada.
- Ajustes (A) - Realiza ajustes, se necessários, no equipamento.
- Checagem (C) - Realiza testes que verificam se o equipamento está funcionando.

-Tarefas sequenciais de manutenção: Determina de um modo técnico e resumido as tarefas que devem ser realizadas. Inclui detalhes tais como:

- Descreve o que deve ser feito para a tarefa ser realizada, como por exemplo, remover portas, conectores, transformadores.
- Descreve todas as tarefas, definindo parâmetros aplicáveis com limites e tolerâncias.
- Descreve as tarefas com detalhes que possibilite a sua fácil compreensão.
- Descreve todas as ações que devem ser realizadas com cuidado e atenção. Por exemplo, esperar cinco minutos antes de operar o equipamento.
- Descreve todos os fatores especiais que são necessários durante a realização das tarefas, tais como, temperatura, umidade, aterramento especial, sala limpa.
- Descreve todas as tarefas especiais e as roupas utilizadas, incluindo luvas de proteção.
- Descreve todas as medidas e indicações essenciais para a realização das tarefas. Por exemplo, medir + 28 VDC no ponto de teste PT1.

-Identificação das peças sobressalentes e de reposição.

-Identificação do material de consumo utilizado, como por exemplo, soldas, óleo, resinas, verniz.

-Quantidades usadas: Quantidade de sobressalentes e material de consumo necessários para realizar a tarefa.

-Equipamentos de suporte: Listar os equipamentos necessários para realizar a tarefa.

-Tempo para realizar a tarefa (T): Tempo necessário para realizar a tarefa.

-Número de técnicos necessários para realizar cada tarefa (NT)

-Nível de especialização e formação do grupo que realiza a manutenção, definido através do seguinte código:

- Básico (B)
- Intermediário (I)
- Superior (S)
- Mecânico e eletricista (ME)
- Técnico mecânico e eletrônico (TME)
- Engenheiro eletrônico e mecânico (EEM)

A figura 7 mostra a formatação utilizada na análise da manutenção, obtida da referência [13]

MODELO:

CÓDIGO DA MANUTENÇÃO:	CÓDIGO DAS CARACTERÍSTICAS DA MANUTENÇÃO:	
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO:	FACILIDADES EXIGIDAS:	
CÓDIGO DO TREINAMENTO:	CÓDIGO DAS TAREFAS ESPECIAIS:	
FREQUÊNCIA DA MANUTENÇÃO POR ANO:	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DAS TAREFAS:	
DESCRIÇÃO DAS TAREFAS:	PEÇAS E SOBRESSALENTES	
TEMPO PARA REALIZAR A TAREFA (T):	IDENTIFICAÇÃO	QUANTIDADE
CÓDIGO DO NÍVEL DE ESPECIALIZAÇÃO:		

Figura 7 - Formatação para análise da manutenção

2.2 CONFIABILIDADE

Define-se confiabilidade, segundo a referência [30], como sendo a probabilidade de que um sistema ou componente funcione de acordo com as especificações, durante um dado intervalo de tempo e em determinadas condições de operação. Dessa maneira, o conceito de confiabilidade apresenta quatro características importantes:

- A quantificação da confiabilidade em termos de uma probabilidade, ou seja, a meta é projetar um sistema com probabilidade de falha bem pequena. Essa quantificação é realizada através das figuras de mérito, como por exemplo, o tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio até a falha (MTTF) e tempo médio entre manutenções (MTBM).
- A determinação do tempo de operação ou do tempo de duração da missão, no qual é avaliada a confiabilidade. Um equipamento pode possuir valores diferentes de confiabilidade para cada tempo de operação diferente. A confiabilidade será menor para um tempo de operação maior.
- Definição precisa do sucesso do equipamento, ou seja, a missão do equipamento.
- Especificação das condições de operação do equipamento, pois um mesmo equipamento pode possuir valores diferentes de confiabilidade em condições de operação diferentes.

Seja $R (t)$, definido matematicamente como confiabilidade, ou seja, probabilidade do componente não falhar durante o intervalo de tempo de 0 até t , dado que o componente em $t=0$ funcionava.

Seja $F (t)$, definido como a probabilidade do componente falhar até o instante t , desde que o componente em $t=0$ estava em perfeitas condições de funcionamento.

$$\text{Logo: } R (t) + F (t) = 1 ; R (t) = P (T > t) = 1 - P (T \leq t) = 1 - F (t)$$

$$R (t) = \int_0^{\infty} (1 / \theta) \text{EXP}(-\mu / \theta) d\mu = \text{EXP}(-t / \theta)$$

onde:

θ = Tempo médio entre falhas (MTBF) para uma distribuição exponencial

λ = Taxa de falha do componente, ou seja, número de falhas do componente por horas de operação

Para uma função de densidade com distribuição exponencial teremos:

$$MTBF = 1 / \lambda$$

$$R(t) = \text{EXP}(-\lambda t)$$

Ao se estudar a teoria da confiabilidade é necessário a definição de dois novos conceitos:

Componentes reparáveis e não reparáveis.

- COMPONENTES REPARÁVEIS

São componentes que depois de uma falha são consertados e retornam novamente a atividade. Pode-se citar com exemplo, bombas, geradores e compressores. Define-se tempo de vida de um componente reparável, como sendo o intervalo de funcionamento do componente entre um reparo e a próxima falha. Para a maioria dos sistemas é importante além do estudo da confiabilidade, obter informações sobre as facilidades de manutenção disponíveis.

Define-se disponibilidade instantânea para componentes reparáveis, segundo a referência [17], como a probabilidade de que o componente esteja operacional no instante t. Representa-se como $A(t)$. Define-se indisponibilidade, $Q(t)$, para componentes reparáveis, também segundo a referência [17], como a probabilidade do componente estar com defeito no tempo t, visto que em $t=0$ ele estava funcionando.

$$\text{Logo : } A(t) + Q(t) = 1$$

- COMPONENTES NÃO REPARÁVEIS

São os componentes que funcionam até a primeira falha. Pode-se citar como exemplo os circuitos integrados, diodos, transistores, capacitores e rolamentos. A confiabilidade desses componentes deve ser especificada pelo projetista ao fabricante, ou realizados testes de uma amostra previamente escolhida.

Seja :

$L(t)$ = Número de componentes ou número de equipamentos sobreviventes até o tempo t.

N = Número de componentes da amostra.

logo:

$$R(t) = L(t) / N$$

Seja também:

$f(t)$ = Variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo

logo: $f(t) = dF(t) / dt$

onde: $f(t) dt =$ Probabilidade de que um componente que funcionava em $t=0$ falhe entre t e $t+dt$.

A expressão acima pode também ser escrita da seguinte maneira:

$$f(t) = [F(t + \delta t) - F(t)] / \delta t$$

como: $F(t) = n(t) / N$

onde:

$n(t)$ = Número de componentes falhos ou números de equipamentos falhos até o instante t .

N = Número de componentes da amostra.

logo: $f(t) = [n(t + \delta t) - n(t)] / [N \cdot \delta t]$

- TAXA CONDICIONAL DE FALHAS DO COMPONENTE NÃO REPARÁVEL ($\lambda(t)$)

É a probabilidade de falha do componente por unidade de tempo no instante imediatamente posterior a t , dado que o componente até t estava em perfeitas condições de uso.

logo: $\lambda(t) = f(t) / [1 - F(t)] = f(t) / R(t) = [n(t + \delta t) - n(t)] / [L(t) \cdot \delta(t)]$

onde:

$\lambda(t)$ = Taxa condicional de falhas de componentes não reparáveis.

$d(t)$ = Intervalo de tempo entre duas observações consecutivas.

$L(t)$ = Número de componentes funcionando até o instante t .

$R(t)$ = Confiabilidade.

$F(t)$ = Não confiabilidade.

$f(t)$ = Densidade de falhas.

As informações anteriores são usadas para o cálculo da confiabilidade e da taxa de falhas de um componente não reparável. O exemplo a seguir, onde os dados foram obtidos da referência [22], mostra como calcular esses parâmetros, que podem ser usados para traçar as curvas que

representam $R(t)$ e $\lambda(t)$. A tabela 1 representa um lote de 600 diodos que foram testados e os resultados dos principais parâmetros.

t (mês)	L(t)	n(t)	f(t)	λ (t)
0	600	0	0,0083	0,0083
2	590	10	0,0041	0,0042
4	585	15	0,0027	0,0028
7	580	20	0,0055	0,0054
10	570	30	0,0026	0,0028
15	562	38	—	—

Tabela 1 - Lote de 600 diodos

2.2.1 A CURVA DA BANHEIRA

Para o projetista poder usar em seus projetos componentes com um nível alto de confiabilidade, é necessário conhecer dados referentes as propriedades desse componentes. Além disso, é importante obter as variações destas propriedades em relação ao tempo, meio ambiente e as situações de operação. Na figura 8 a curva da banheira apresenta a taxa de falha com comportamento diferente ao longo do tempo em três fases.

-Fase a= Chamada de período de mortalidade infantil com “burn-in “. Os componentes, equipamentos e peças recém fabricados têm a probabilidade de apresentar, inicialmente, altas taxas de falhas devido a erros de produção, defeitos de projeto e montagens erradas. Esta fase caracteriza-se pela assistência técnica gratuita do fornecedor. À medida que o tempo passa, há um decréscimo da taxa de falha.

-Fase b= Chamada de vida útil, caracteriza-se como a fase de uso do componente, equipamento ou sistema. Nesta fase a taxa de falhas permanece constante (componentes eletrônicos) e as falhas são casuais.

-Fase c= Conhecida como fase de envelhecimento ou período de desgaste, com taxa de falha crescente. Nesta fase os custos de operação são altos, pois as paradas para manutenção tornam-se mais frequentes.

A principal fase para o estudo da confiabilidade de um sistema ou equipamento é a fase de vida útil, ou seja, fase b. Nesta fase, a confiabilidade dos componentes eletrônicos segue uma distribuição exponencial com taxa de falha constante.

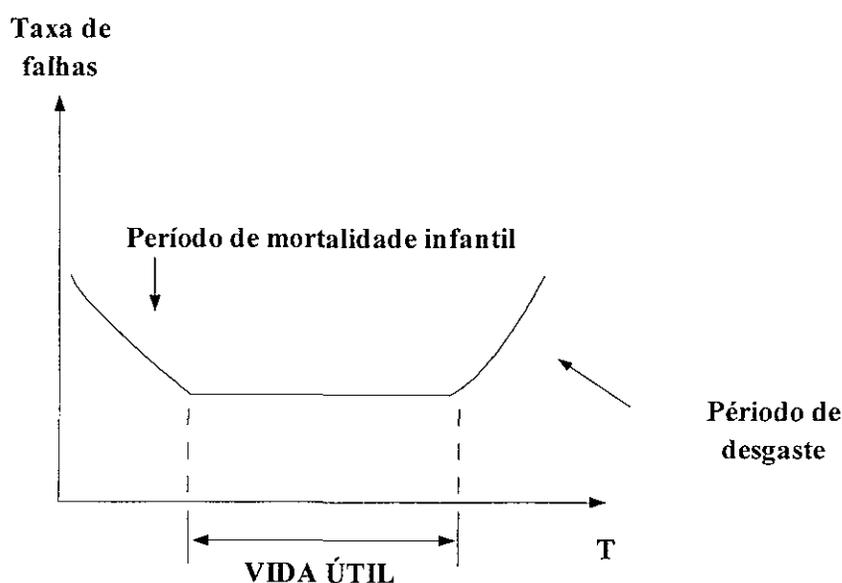


Figura 8 - Curva da banheira

A predição da confiabilidade, ou seja, a sua avaliação quantitativa, é realizada através de uma sequência metodológica:

- Definir o sistema, sua operação funcional, configurar funcionalmente os subsistemas e seus componentes e delimitar suas fronteiras. Deve-se também, realizar um diagrama de blocos funcional evidenciando a lógica de funcionamento do sistema;
- realizar um diagrama em blocos de confiabilidade, evidenciando configurações em série, paralelo e redundâncias. O uso de redundâncias está relacionado com algumas hipóteses, tais como: O dispositivo de detecção de falha e comutação do elemento redundante é

perfeito e nunca falha, o processo de comutação é automático e instantâneo, as falhas nos elementos redundantes são eventos estatisticamente independentes;

- desenvolver o modelo probabilístico;
- coletar informações sobre ambiente externo, condições de operação, tempo de operação através de testes, fornecedores e normas governamentais;
- calcular numericamente a confiabilidade e observar os seguintes aspectos: A confiabilidade de um equipamento pode ser verificada através de ensaios e então posteriormente comparada com o valor estipulado, a confiabilidade de um sistema só pode ser obtida se a confiabilidade dos equipamentos que o compõem forem calculadas para o mesmo tempo de missão, os dados das falhas de componentes podem ser obtidos através de ensaios, testes de protótipos ou de um banco de dados com informações oriundas dos fornecedores.

EXEMPLO PRÁTICO

É avaliado o projeto de um equipamento eletrônico, com três placas de circuito impresso, que são utilizados no campo durante 20 horas. Os dados das taxas de falhas dos seus componentes e dos fatores ambientais, obtidos da referência [21], são mostrados nas tabelas 2 e 3.

FATORES AMBIENTAIS	VALOR
LABORATÓRIO	1
CAMPO	10
NAVIO	20
TREM	40
AVIÃO	150
FOGUETE	1000
TRAILER	30

Tabela 2 - Fatores ambientais

COMPONENTE	QUANTIDADE	TAXA DE FALHAS / 10 ⁶ HORAS
CAPACITOR TÁNTALO	2	0,0054
CAPACITOR CERÂMICO	4	0,0100

RESISTOR DE CARVÃO	20	5,0000
FLIP-FLOP JK	2	0,9334
PORTA NAND DUPLA	2	0,4214
PONTOS DE SOLDA	60	0,4800
REGISTRADOR DE 8 BITS	1	0,8847
CONECTOR DE CIRCUITO IMPRESSO	2	8,6980
CIRCUITO IMPRESSO	1	1,5870
TOTAL	94	18,0199

Tabela 3 - Dados do exemplo prático

Considerando o fator 10 para utilização no campo, o número total de falhas / 10^6 horas é:

$$\lambda = 18,0199 \times 10 = 180,199 \text{ falhas / } 10^6 \text{ horas}$$

$$\text{MTBF} = 1 / \lambda = 5,55 \times 10^{-3} \times 10^6 \text{ horas} = 5550 \text{ horas}$$

$R(t) = \text{EXP}(-\lambda t)$, logo:

$$R(20) = \text{EXP}(-180,199 \times 10^{-6} \times 20) = 0,996$$

Para um equipamento com três placas de circuito impresso, o cálculo deve ser feito considerando as placas em série, então:

$$R(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times R_3(t) = 0,996 \times 0,996 \times 0,996 = 0,988$$

2.2.2 SUMÁRIO PARA ANÁLISE DA CONFIABILIDADE

O objetivo é o de gerar uma formatação com os dados que auxiliem na análise e no planejamento da manutenibilidade e do programa de apoio logístico. A definição dos itens que fazem parte deste sumário e a configuração da formatação usada foram obtidas através da referência [13].

-Componente / equipamento : Definição do componente / equipamento a ser analisado.

-Fornecedor: Nome do fornecedor.

-Fator de operação: Especificação do tempo de vida útil do componente / equipamento (TVU), a partir do qual o componente / equipamento será desativado e o tempo estabelecido entre revisões (TER).

-Código: Determinado pela seleção de um dos três dígitos (0, 1 ou 2), de acordo com o resultado da missão (RM), redundâncias (R) e alternativas (A).

Resultado da missão (RM): Considera o efeito da inoperabilidade do componente / equipamento na operação do sistema.

- Total (2) - A falha ou mau funcionamento do componente / equipamento torna o sistema inoperável ou a missão interrompida.
- Parcial (1) - A falha limita o funcionamento do sistema e da missão. Por exemplo, a falha em alguma interface de saída limita o funcionamento do sistema.
- Nenhum (0) - A falha não tem grande importância e não limita o funcionamento do sistema.

Redundâncias (R): Verifica se existem unidades redundantes que possibilitem a continuação do funcionamento do sistema.

- Nenhuma (2)
- Uma (1)
- Várias (0)

Alternativas (A): Considera se o efeito da falha do componente / equipamento pode ser compensado pelo uso de unidades de reserva ou através de operação limitada manual.

- Nenhum (2) - Não existem alternativas.
- Uma (1) - Existe a alternativa através de componentes / equipamentos reservas ou através de operação limitada manual.
- Várias (0) - Existem as duas alternativas de funcionamento.

-Modos prováveis das falhas: Descreve os modos primários e secundários de falhas e seus sintomas.

-Efeitos prováveis das falhas: Indica o efeito da falha para cada modo provável indicado anteriormente.

- Tempo médio entre falhas

- Requerido - MTBF exigido.
- Calculado - MTBF calculado.
- Demonstrado - MTBF demonstrado no teste ou operação.

- Características da falha segura: Descreve as características de falha segura projetada para o componente / equipamento.

-Sistema secundário: Descreve a operação e a função da redundância.

-Histórico da falha: Dados sobre as falhas, incluindo o número de falhas, tipo de falhas e as condições de testes.

-Componentes similares: Dados técnicos sobre os componentes similares que poderiam ser usados.

A formatação utilizada está especificada na figura 9.

FATOR DE OPERAÇÃO		CÓDIGO		
TVU	TER	RM	R	A
MODOS PROVÁVEIS DAS FALHAS:				
EFEITOS PROVÁVEIS DAS FALHAS:				
CARACTERÍSTICAS DA FALHA SEGURA:		COMPONENTES SIMILARES:		
SISTEMA SECUNDÁRIO:		HISTÓRICO DA FALHA:		
TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (MTBF)				
REQUERIDO	CALCULADO	DEMONSTRADO		

Figura 9 - Formatação para análise da confiabilidade

2.3 DISPONIBILIDADE

Define-se disponibilidade de um sistema, segundo as referências [4] e [17], como sendo a probabilidade do sistema estar operacional, quando requisitado em qualquer intervalo de

tempo. A disponibilidade é função da confiabilidade, manutenibilidade e do apoio logístico do sistema e pode ser classificada como: Disponibilidade inerente, atingida e operacional. Normalmente a disponibilidade inerente e atingida são especificadas nos contratos de fornecimento de equipamentos para o sistema.

- Disponibilidade inerente

É a probabilidade que um sistema, quando utilizado em condições pré-fixadas, sem consideração de qualquer esforço de manutenção preventiva e sob hipótese de condições ideais de apoio logístico, ou seja, disponibilidade perfeita de ferramentas, mão de obra e peças sobressalentes, possa operar satisfatoriamente em qualquer instante de tempo. É definida por:

$$A_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \text{ onde:}$$

MTBF = Tempo médio entre falhas.

MTTR = Tempo médio para executar o serviço de reparo.

A disponibilidade inerente também pode ser definida como o percentual de tempo que o sistema funciona, considerando o tempo de operação e o tempo médio de manutenção não programada corretiva. Dessa forma:

$$A_i = TO / (TO + \bar{M}_{ct})$$

onde:

TO = Tempo de operação durante um dado período

\bar{M}_{ct} = Tempo médio de manutenção corretiva não programada durante um dado período.

- Disponibilidade atingida

É a probabilidade de que um sistema, operando em condições preestabelecidas e sob condições ideais de suporte, ferramentas, peças, mão de obra e manuais disponíveis possa operar em qualquer instante. Não é considerado o tempo de parada por questões relativas ao fornecimento e por questões administrativas. É definida por:

$$A_a = \text{MTBM} / (\text{MTBM} + \bar{M}) \text{ onde:}$$

MTBM = Tempo médio entre manutenções.

\bar{M} = Tempo médio ativo de paralisação devido ao trabalho de manutenção corretiva e preventiva.

A disponibilidade atingida também pode ser definida como o percentual de tempo que o sistema funciona, considerando o tempo de operação e o tempo total de manutenção programada e não programada. Dessa forma:

$$A_a = \text{TO} / (\text{TO} + \bar{M}_{ct} + \bar{M}_{pt})$$

onde :

TO = Tempo de operação durante um período de tempo.

\bar{M}_{ct} = Tempo médio de manutenção corretiva não programada, durante um período de tempo.

\bar{M}_{pt} = Tempo médio de manutenção preventiva programada, durante um período de tempo.

- Disponibilidade operacional

É a probabilidade de que um sistema possa ser usado sob dadas condições operacionais e em um esquema logístico real, em qualquer instante de tempo. É definida por:

$$A_o = \text{MTBM} / (\text{MTBM} + \text{MDT})$$

onde:

MTBM = Tempo médio entre manutenções.

MDT = Tempo médio de paralisação, incluindo tempo de atraso logístico e tempo de atraso administrativo

A disponibilidade operacional também pode ser definida como uma medida das condições de funcionamento de um sistema em qualquer período de tempo, quando utilizado em condições reais de manutenção e fornecimento. Dessa forma:

$$A_o = (TO + TS) / (TO + TS + \bar{M}_{ct} + \bar{M}_{pt} + ADT + LDT)$$

onde:

TO = Tempo de operação durante um período de tempo.

TS = Tempo de espera, não operando, mas em condições de operação durante um período de tempo.

ADT = Tempo de atraso administrativo.

LDT = Tempo de atraso logístico.

2.4 EFICÁCIA

A eficácia de um sistema pode ser considerada como uma medida do valor que se pode prever de que o sistema atinga a um conjunto de requisitos. É baseada na disponibilidade dos subsistemas, que por sua vez é função da confiabilidade e da manutenibilidade dos equipamentos. O resultado final de um projeto pode ser medido através da relação eficácia e custo do ciclo de vida. Ao se analisar a eficácia de um projeto é necessário responder às seguintes perguntas:

- O sistema está pronto a operar quando solicitado a fazê-lo?
- O sistema continuará a operar durante o período em que estiver sendo solicitado?
- O sistema cumprirá o objetivo desejado da missão?

Estas perguntas estão relacionadas com um evento, que é definido pelas seguintes probabilidades denominadas: Disponibilidade inerente, disponibilidade alcançada, disponibilidade operacional e aprestamento

Essas probabilidades são dependentes do tempo médio de reparo, tempo médio entre falhas, tempo médio entre manutenções, tempo de atraso logístico e tempo de atraso administrativo. Dessa forma pode-se concluir que uma manutenção otimizada aumenta as disponibilidades e a eficácia.

Em referência [23] a eficácia de um sistema organizacional é definida como sendo o grau com o qual o sistema realiza o que se espera que ele faça. Dessa maneira, não é necessário saber de que modo o sistema alcançou os resultados, o importante é saber se os resultados planejados foram atingidos. Como a eficácia está relacionada em fazer o planejado corretamente, então é necessário : Antecipação dos problemas, otimização da utilização dos recursos e obtenção dos resultados.

A referência [6] enfatiza que as medidas quantitativas da eficácia são adequadas para classificar alternativas para a estrutura dinâmica do sistema, levando em consideração o objetivo da missão. Estas medidas levam em consideração não somente os componentes do sistema, mas também a reação do meio externo. Para obter a eficácia de um sistema, a seguinte expressão pode ser usada:

$$E = P \otimes T \otimes U, \text{ onde:}$$

E = Eficácia;

P = Performance;

T = Aprestamento;

U = Utilização.

O símbolo \otimes se comporta como um sinal multiplicativo, ou seja, se um dos componentes da eficácia for nulo, a eficácia também o será. A performance está relacionada com as medidas quantitativas usadas para representar os objetivos dos componentes do sistema. O aprestamento mede a disponibilidade do sistema e é obtido pelo produto da confiabilidade com a disponibilidade operacional, que é apropriada para medir a eficácia de sistemas de apoio. A utilização representa a contribuição do intangível (procedimentos, métodos , táticas) e das

características humanas (treinamento, nível de especialização, relacionamento) para a eficácia.

2.5 APRESTAMENTO OPERACIONAL

Define-se aprestamento operacional, segundo a referência [17], como a probabilidade de que em qualquer intervalo de tempo, um sistema ou equipamento esteja operando satisfatoriamente ou pronto para ser colocado em operação quando usado sobre determinadas condições. Matematicamente, define-se aprestamento como o produto entre a probabilidade de que o sistema esteja disponível operacionalmente (disponibilidade) e a probabilidade de que o sistema irá operar satisfatoriamente por um período de tempo t (confiabilidade)

2.6 MANUTENIBILIDADE

Uma das primeiras definições de manutenibilidade está contida na referência [11]: Manutenibilidade é o conjunto das características qualitativas e quantitativas combinadas, referentes ao projeto e instalação, que permitem o cumprimento dos objetivos operacionais com mínimas despesas, incluindo mão de obra, pessoal qualificado, equipamentos de teste, informações técnicas e facilidades, sob condições operacionais nas quais serão realizadas manutenções programadas e não programadas.

Outra definição está contida na referência [17]: Manutenibilidade é uma característica inerente ao projeto e instalação de um equipamento ou sistema, que se relaciona com as facilidades, economia, segurança e precisão no desempenho das ações de manutenção. Está relacionada com os tempos de manutenção, com as características de receber manutenção e com os custos de manutenção.

A facilidade de realizar a manutenção caracteriza a incorporação da manutenibilidade no projeto e pode ser medida através do tempo decorrido na realização das tarefas. Dessa maneira, o tempo de manutenção necessário para corrigir os desvios de performance do equipamento, tais como falhas ou degradação de sua especificação, é uma medida de como a

manutenibilidade foi incorporada no projeto do equipamento. Quando o tempo de manutenção como um parâmetro do projeto é medido, o tempo ativo deve ser considerado. O tempo de manutenção ativo para ações de manutenção corretiva consiste de três etapas sequenciais:

- Tempo para localizar as peças ou componentes que necessitam de reparo.
- Tempo para realizar o reparo.
- Tempo para verificar se o reparo foi realizado satisfatoriamente.

Para ações de manutenção preventiva, a primeira etapa é eliminada. Os seguintes atributos do equipamento podem causar variações no tempo de reparo:

- Características físicas das peças ou componentes defeituosos.
- Localização das peças ou componentes.
- Modo de montagem das peças ou componentes.
- Acessibilidade aos componentes ou peças.
- Facilidades introduzidas para substituições das peças ou componentes.
- Nível de especialização dos técnicos e de sua familiaridade com os equipamentos utilizados.

A manutenibilidade quando relacionada com a facilidade de executar a manutenção de um equipamento ou de um sistema depende de vários fatores, entre os quais podemos destacar:

- A taxa de falhas de peças e componentes.
- O projeto e a acessibilidade para reparos.
- Os diagnósticos de falhas.
- Os recursos disponíveis para reparação.
- A disponibilidade das peças de reposição.
- Tempo para verificar se o reparo foi realizado satisfatoriamente.

Algumas técnicas estatísticas podem ser usadas para definir o tempo de manutenção:

- A função densidade de probabilidade $g(t)$ que mostra a frequência de ocorrência dos diferentes tempos de manutenção;

- a função de distribuição de probabilidade acumulada, $M(t)$, que é obtida pela integração de $g(t)$, mostra a probabilidade do tempo de manutenção ser menor ou igual a um tempo estabelecido.

A figura 10, obtida da referência [17], mostra a probabilidade de realizar um reparo no tempo t versus o tempo de reparo.

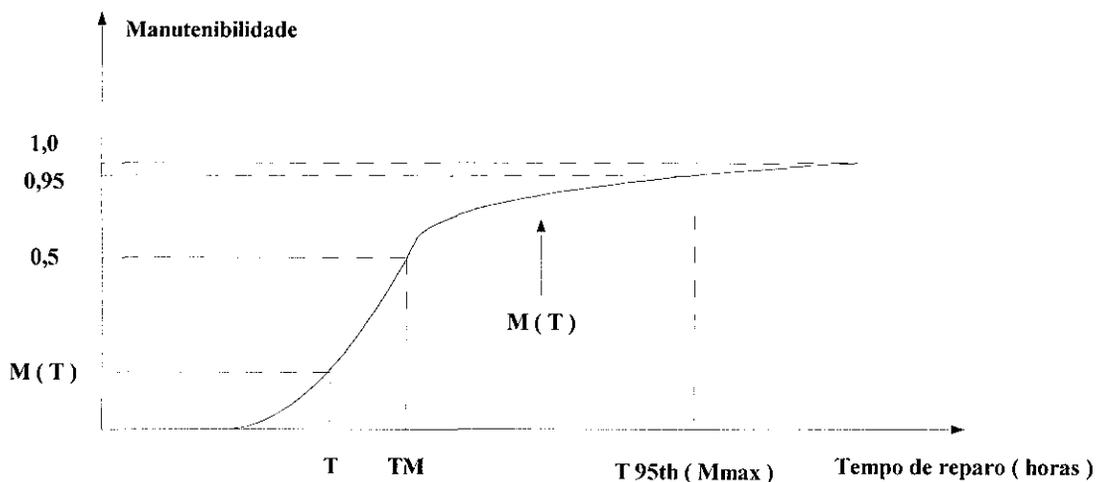


Figura 10 - Manutenibilidade versus tempo de reparo

T_{95th} é considerado o 95th percentil e representa o tempo durante o qual pelo menos 95% de todas as tarefas de manutenção serão realizadas. TM representa a média aritmética da distribuição dos tempo de manutenção e quando a distribuição é gaussiana, representa a mediana da distribuição.

Considere agora o exemplo, onde o tempo para reparar um equipamento é de 2 horas. Calcular a probabilidade de realizar um reparo em um período de tempo menor ou igual a uma hora. Seja então:

P_r = Probabilidade de realizar um reparo em um intervalo de tempo estipulado.

P_{nr} = Probabilidade de não realizar um reparo em um intervalo de tempo estipulado.

$\mu = \bar{M}_{ct}$ = Tempo médio de manutenção corretiva durante um intervalo de tempo.

t = Intervalo de tempo desejado.

$$Pr = 1 - Pnr = 1 - \text{EXP}(-\mu t) = 1 - \text{EXP}(-2) = 0,8647$$

2.6.1 SUMÁRIO PARA ANÁLISE DA MANUTENIBILIDADE

Descreve as características qualitativas e quantitativas da manutenibilidade e da manutenção que influenciam no projeto do equipamento e nas tarefas associadas. A seguir são mostradas as definições dos blocos correspondentes. A figura 11 mostra um exemplo de formatação para análise da manutenibilidade, obtida da referência [13].

-Fornecedor: Nome do fornecedor.

-Modelo: Especificação do equipamento.

-Características de funcionamento e da manutenibilidade do equipamento: Informações sobre a acessibilidade, tempo de retirada e colocação das peças, testes e características relacionadas a isolação das falhas.

-Programa de manutenção: Descreve o planejamento de manutenção do equipamento com informações sobre as especificações das tarefas da manutenção, frequência das tarefas e equipamentos de suporte.

-Justificativa: Explicar as razões que levaram a escolha das especificações, indicando as facilidades necessárias, tempo médio para reparo, cursos de treinamento, custos necessários para as ações de manutenção. Estas informações servem como subsídio para as decisões relativas ao apoio logístico.

-Considerações sobre a manutenibilidade: Especificar o tempo médio para reparo requerido, o calculado e o demonstrado. Especificar as tarefas críticas, a razão da dificuldade em realizá-las e as alternativas para reduzir o nível de criticalidade.

-Parâmetros de manutenibilidade: Especificar os valores determinados pelo cliente e o calculado dos seguintes parâmetros:

- Tempo médio para reparo (MTTR)

- Esforço direto médio para reparo (MEDTR) : O esforço direto total (expresso em horas homem) em manutenção dividido pelo número total de ações de manutenção corretiva.
- Tempo médio entre ações de manutenção (MTBMA)
- Tempo médio de paralisação por horas de operação (MDT / OH) : O tempo total de paralisação (ações de manutenção preventiva e corretiva) dividido pelo tempo total de operação do equipamento durante um período de um ano expresso em percentagem.
- Tempo total de manutenção por horas de operação (DMT / OH) : Tempo total de manutenção (corretiva e preventiva) dividido pelo tempo total de operação do equipamento durante um período de um ano expresso em percentagem.

FORNECEDOR:

MODELO:

CARACTERÍSTICAS FUNCIONAMENTO E DA MANUTENIBILIDADE:				PARÂMETROS DA MANUTENIBILIDADE		
PROGRAMA DE MANUTENÇÃO					DETERM.	CALC.
JUSTIFICATIVA:				MTTR		
CONSIDERAÇÕES SOBRE A MANUTENIBILIDADE				MEDTR		
	REQ.	DEM.	CALC.	MTBMA		
MTTR				MDT / OH		
TAREFAS CRÍTICAS:				DMT / OH		

Figura 11 - Formatação para análise da manutenibilidade

3 DEFINIÇÕES DOS PRINCIPAIS FATORES QUANTITATIVOS RELACIONADOS COM A MANUTENIBILIDADE

Os requisitos relacionados com a manutenibilidade devem ser definidos inicialmente em termos qualitativos e quantitativos. A medida que as atividades relacionadas com o projeto prosseguem, as especificações técnicas devem ser avaliadas através de uma série de processos,

entre os quais destacam-se a predição, análise, testes e demonstrações da manutenibilidade. A definição dos fatores quantitativos tem como principal objetivo facilitar a alocação e avaliação das especificações a serem implantadas nas atividades do programa de manutenibilidade. As definições apresentadas neste capítulo foram obtidas através das referências [11] e [17].

3.1 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (MTBF)

É definido como o tempo médio de vida durante o qual todos os itens executam suas funções dentro de limites especificados durante um intervalo de tempo, sobre determinadas condições. Também é considerado o período de tempo entre duas falhas consecutivas de um componente reparável. Considerando que um componente reparável pode ter dois estados de interesse, que são FUNCIONANDO e FALHO. Podemos definir FALHA como a transição do estado funcionando para falho e REPARO como a transição do estado falho para funcionando. Dessa maneira, pelo gráfico da figura 12 temos:

$$MTBF = MTTF + MTTR$$

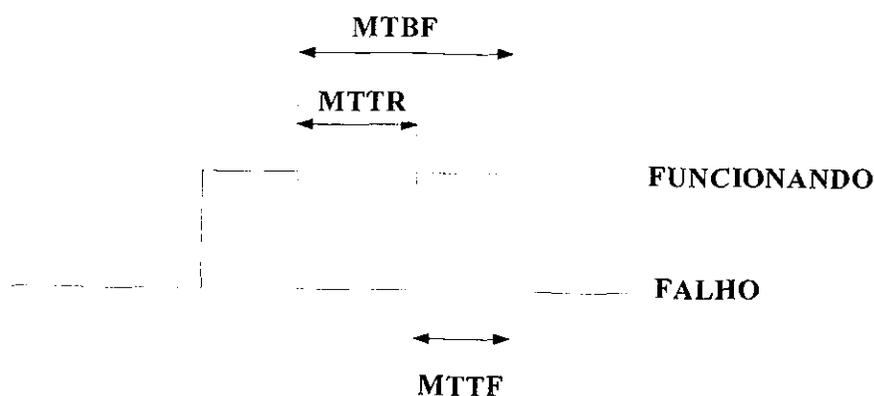


Figura 12 -Tempo médio entre falhas

3.2 TEMPO MÉDIO ENTRE MANUTENÇÕES (MTBM)

É uma medida relacionada com o programa de manutenção do sistema. É definido como o tempo de vida útil do sistema dividido pelo número total de eventos de manutenção programada e não programada relacionado com um item.

$$MTBM = 1 / [(1 / MTBM_p) + (1 / MTBM_{np})]$$

onde:

MTBM_p = Tempo médio entre manutenções programadas.

MTBM_{np} = Tempo médio entre manutenções não programadas.

3.3 TEMPO MÉDIO PARA REPARO (MTTR)

É uma medida básica da manutenibilidade do sistema. É definido como a soma dos tempos de manutenção corretiva dividido pelo número total de falhas de um item, durante um determinado intervalo de tempo sobre determinadas condições, ou ainda, o período de tempo para recolocar um componente reparável em funcionamento. A taxa de reparo $\mu (t)$ é definida da seguinte maneira:

$$\mu (t) = 1 / MTTR$$

3.4 TEMPO MÉDIO ENTRE SUBSTITUIÇÕES (MTBR)

É definido como o tempo de vida útil do sistema dividido pelo número total de itens removidos durante um determinado período de tempo. Um dos objetivos da implantação de um programa de manutenibilidade é o de maximizar o tempo médio entre substituições. A medida do MTBR é um dado de entrada significativo para a análise das especificações dos componentes sobressalentes. Este parâmetro se aplica para tarefas de manutenção corretiva e preventiva.

3.5 TEMPO ATUAÇÃO

Tempo durante o qual o sistema está disponível para operação.

3.6 TEMPO DE PRONTIDÃO

Tempo durante o qual o sistema está em condição de realizar as funções exigidas

3.7 TEMPO DE PARALISAÇÃO PARA MANUTENÇÃO (MDT)

É definido como a soma total dos tempos necessários para reparar e restabelecer o sistema em um nível específico de operação. É normalmente expresso como um valor médio e é função dos tempos médios de manutenção preventiva e corretiva, do tempo de atraso logístico e do tempo de atraso administrativo. Portanto:

$$MDT = \bar{M} + ADT + LDT$$

onde:

\bar{M} = Tempo médio de manutenção ativa.

ADT = Tempo de atraso administrativo.

LDT = Tempo de atraso logístico.

3.8 TEMPO MÉDIO DE MANUTENÇÃO ATIVA (\bar{M})

É o tempo médio necessário para realizar as tarefas de manutenção preventiva e corretiva. É função da frequência relativa de ocorrência dessas tarefas e dos tempos para realizá-las. Nesse caso, não são considerados os tempos de atraso logístico e administrativo. Matematicamente, é definido da seguinte forma:

$$\bar{M} = [(\lambda_{ct} \bar{M}_{ct}) + (f_{pt} \bar{M}_{pt})] / (\lambda_{ct} + f_{pt})$$

onde:

\bar{M}_{ct} = Tempo médio de manutenção corretiva durante um período de tempo.

\bar{M}_{pt} = Tempo médio de manutenção preventiva durante um período de tempo.

λ_{ct} = Taxa de frequência da manutenção corretiva.

f_{pt} = Taxa de frequência da manutenção preventiva.

3.9 TEMPO DE ATRASO LOGÍSTICO (LDT)

É o tempo gasto esperando por recursos logísticos, tais como: Uma peça sobressalente, um equipamento de teste, uma facilidade ou uma norma.

3.10 TEMPO DE ATRASO ADMINISTRATIVO (ADT)

É o tempo de paralisação resultante de algumas prioridades administrativas, tais como: Contratação de pessoal, procedimentos do departamento pessoal ou greves.

3.11 TEMPO MÉDIO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA (\bar{M}_{ct})

É o tempo gasto realizando uma tarefa de manutenção corretiva, devido a interrupção da operação do sistema ou devido a uma falha não esperada. Alguns procedimentos podem ser adotados com a finalidade de reduzir o tempo gasto nesta atividade, entre os quais destacam-se : Rápido reconhecimento da falha através de equipamentos de testes embutidos, diagnósticos de falha, acessibilidade, intercambialidade, redundância e considerações antropométricas. No capítulo 5.3, estes procedimentos serão definidos com maiores detalhes.

Uma sequência lógica de ações corretivas devem ser definidas com a finalidade de facilitar essas tarefas. Esta sequência inclui as seguintes ações:

- Desmontagem do equipamento para se ter acesso a peça defeituosa.
- Reparar o defeito, que pode consistir na remoção e reposição da nova peça.
- Remontar o equipamento.

O diagrama em blocos, obtido da referência [4], apresentado na figura 13 , ilustra o ciclo completo realizado nestas tarefas.

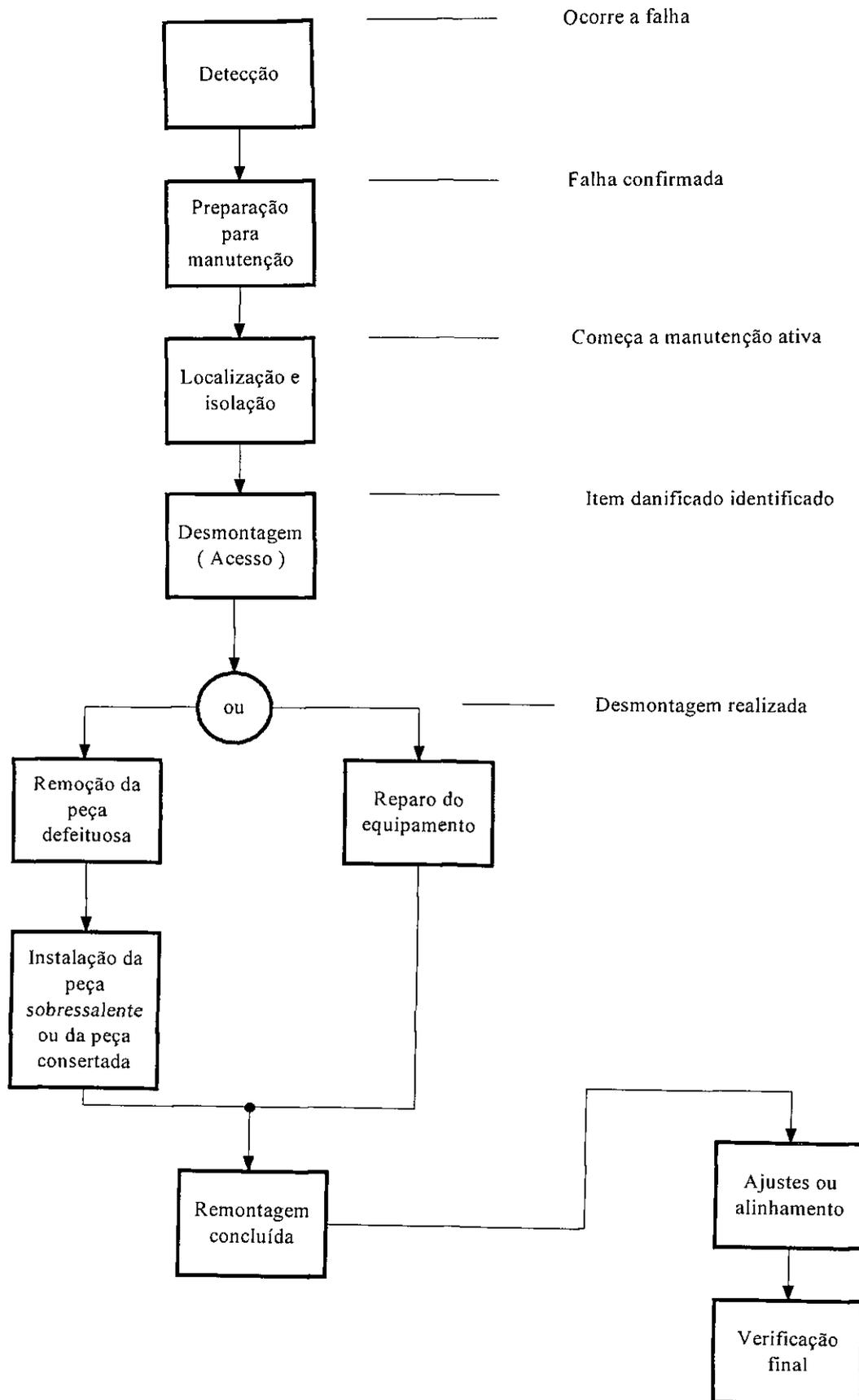


Figura 13 - Diagrama em blocos das tarefas de manutenção corretiva

Matematicamente, o tempo médio de manutenção corretiva é definido da seguinte forma:

$$\bar{M}_{ct} = \left[\sum_{i=1}^n (\lambda_i) (M_{cti}) \right] / \sum_{i=1}^n (\lambda_i)$$

onde:

λ_i = Taxa de falha do i ésimo componente.

M_{cti} = Tempo para realizar a i ésima tarefa de manutenção corretiva.

A distribuição de probabilidade do tempo para realizar uma tarefa de manutenção corretiva, normalmente compreende três tipos:

-Distribuição normal: Aplica-se para peças mecânicas ou eletromecânicas, onde as tarefas de reparo possuem uma pequena variação na média.

-Distribuição exponencial: Aplica-se para equipamentos eletrônicos com equipamentos de teste embutidos, com capacidade de detectar e isolar falhas rapidamente.

-Distribuição log-normal: Aplica-se para equipamentos eletrônicos sem equipamentos de teste embutidos e equipamentos eletromecânicos com altos valores da variância do tempo de reparo.

TEMPO ATIVO MEDIANO PARA MANUTENÇÃO CORRETIVA (\bar{M}_{mct})

É o quinquagésimo percentil de todos os tempo de reparo. No caso de uma distribuição normal, a mediana, moda e a média possuem os mesmos valores. Para uma distribuição log-normal, a mediana é calculada da seguinte forma:

$$\bar{M}_{mct} = \text{antilog} \left[\left(\sum_{i=1}^n \log M_{cti} / n \right) \right] = \text{antilog} \left(\left[\sum_{i=1}^n (\lambda_i) (\log M_{cti}) \right] / \sum_{i=1}^n (\lambda_i) \right)$$

onde:

\bar{M}_{mct} = Mediana para uma distribuição log-normal, que é equivalente a média geométrica dos tempos médios para reparo ($MTTR_g$).

TEMPO ATIVO MÁXIMO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA (M_{max})

Representa o limite superior do percentual de tarefas que excedem a duração do tempo de reparo. Por exemplo: Se M_{max} é fixado em duas horas para percentil de 95%, então não mais do que 5% dos tempos de reparo ultrapassam duas horas. Então:

N = Tamanho das amostras das tarefas de manutenção corretiva.

\bar{M}_t = Tempo médio de parada

$M_{max} = \text{antilog} (\bar{\log Mcti} + 1,645 \sigma \log Mcti)$

$$\bar{\log Mcti} = \sum_{i=1}^N \log Mcti / N$$

$$\sigma \log Mcti = \left[\sqrt{\sum_{i=1}^N (\log Mcti)^2 - \left(\sum_{i=1}^N \log Mcti \right)^2 / N} \right] / (N - 1)$$

$$\bar{M}_t = (fct \bar{Mct} + fpt \bar{Mpt}) / (fct + fpt)$$

onde:

N = Tamanho das amostras das tarefas de manutenção corretiva.

\bar{M}_t = Tempo médio de parada.

$\bar{\log Mcti}$ = Média dos logaritmos de $Mcti$.

Z = Valor obtido da tabela normal correspondendo ao percentil desejado.

$\sigma \log Mcti$ = Desvio padrão do logaritmo da amostra dos tempo de reparo.

3.12 TEMPO MÉDIO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA (\bar{M}_{pt})

São atividades de manutenção programadas com a finalidade de manter um sistema em condições de operação e inclui atividades tais como: Inspeções, calibração, revisões. Não inclui os tempos de atraso logístico e administrativo. Matematicamente é definido como:

$$\bar{M}_{pt} = \left[\sum_{i=1}^n (M_{pti}) (f_{pti}) \right] / \left[\sum_{i=1}^n f_{pti} \right]$$

onde:

M_{pti} = Tempo gasto na i ésima tarefa de manutenção preventiva.

f_{pti} = taxa de frequência de ocorrência da i ésima tarefa de manutenção preventiva.

TEMPO ATIVO MEDIANO PARA MANUTENÇÃO PREVENTIVA

$$\bar{M}_{mpt} = \left[\sum_{i=1}^n [(f_{pti}) (\log M_{pti})] \right] / \left[\sum_{i=1}^n (f_{pti}) \right]$$

3.13 HORAS HOMENS DE MANUTENÇÃO POR HORAS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA (MMH / OH)

É definido como sendo o número de técnicos de manutenção multiplicado pelo número de horas trabalhadas para realizar uma ação de manutenção por horas de operação do sistema.

3.14 CUSTO DE MANUTENÇÃO POR HORAS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA (CUSTO / OH)

São os custos resultantes das tarefas de manutenção preventiva e corretiva por horas de operação do sistema. Tais custos estão relacionados com as peças sobressalentes, equipamentos de testes, pessoal e facilidades.

A figura 14 mostra através de um diagrama em blocos o inter-relacionamento entre os vários tempos citados anteriormente.

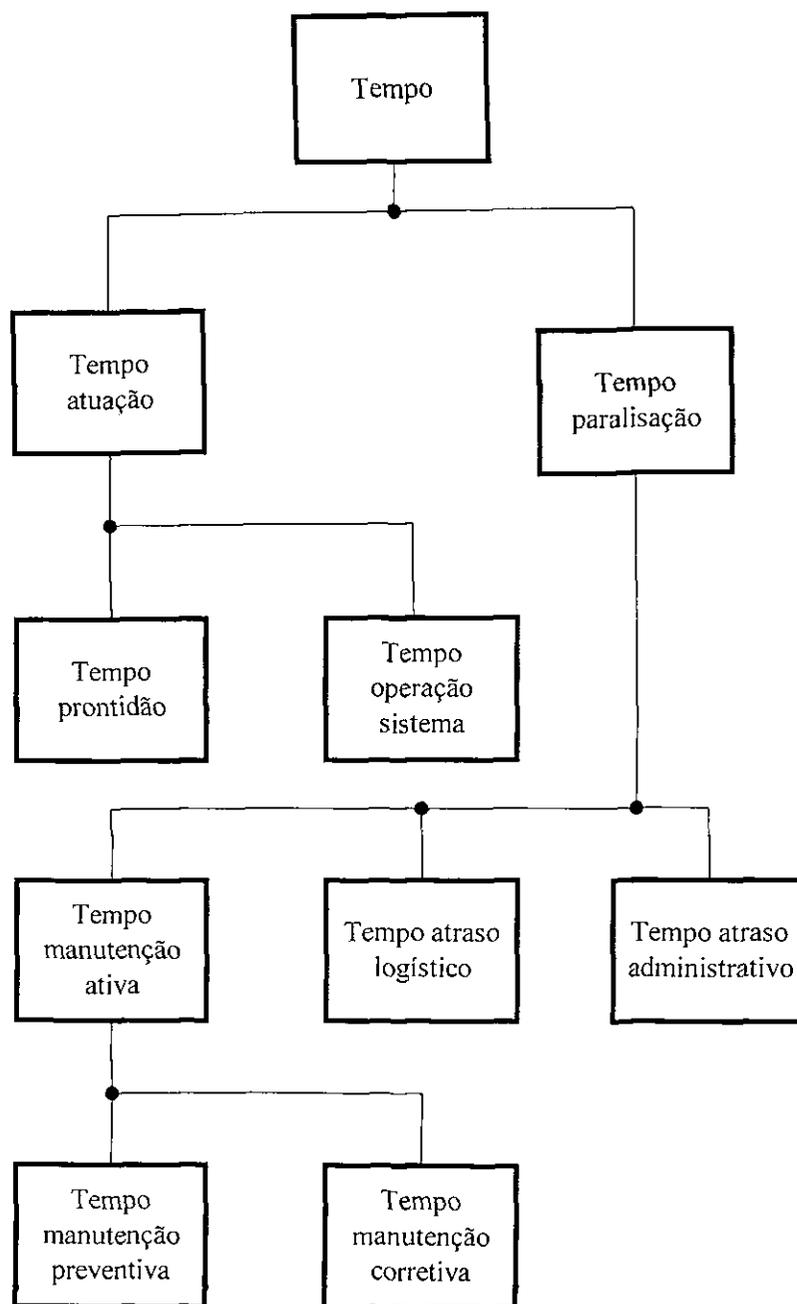


Figura 14 - Diagrama em blocos dos tempos relacionados com a manutenibilidade

4 MANUTENIBILIDADE NO CICLO DE VIDA DO PROJETO

Como já citado anteriormente, o ciclo de vida de um projeto é formado pelas seguintes fases: Projeto conceitual, projeto inicial, projeto detalhado e desenvolvimento, produção / construção, fase de utilização pelo usuário e suporte do ciclo de vida e fase de alienação. A duração de cada fase varia dependendo da natureza, complexidade e do objetivo do projeto. Este capítulo tem

como finalidade descrever as atividades que estão envolvidas com a implementação de um programa de manutenibilidade, em cada fase do ciclo de vida do projeto.

4.1 PROJETO CONCEITUAL

Corresponde ao início do ciclo de vida do projeto. Nesta fase são realizados estudos sobre a viabilidade técnica e econômica do projeto e estabelecido a sua definição funcional. É determinado também o melhor modelo de manutenção e especificados os requisitos qualitativos e quantitativos do programa de manutenibilidade que estão relacionados com a missão ou função do projeto. Após estes requisitos serem alocados no sistema é necessário também implementá-los nos subsistemas.

A implementação de um programa de manutenibilidade é iniciado no projeto conceitual através da definição das seguintes atividades a serem desenvolvidas:

- Início e término do planejamento do programa de manutenibilidade.
- Identificação dos requisitos quantitativos, ou seja, identificação de parâmetros como \bar{M}_{ct} , \bar{M}_{pt} , MTBM, MMH / OH e definição dos critérios qualitativos de projeto.
- Avaliação conceitual do projeto.

4.2 PROJETO INICIAL

Caracteriza-se pela análise funcional do sistema, alocação dos requisitos de manutenibilidade, estudos sobre a otimização do projeto, testes e avaliação do programa. São definidos os critérios para seleção dos fornecedores e suas principais atribuições. As seguintes atividades devem ser implementadas no projeto inicial:

- Programa de controle e revisão dos fornecedores
- Continuação do processo relacionado aos critérios de projeto de manutenibilidade
- Alocação da manutenibilidade
- Análise da manutenibilidade
- Análise dos modos de falhas, efeito e criticalidade

- Predição da manutenibilidade
- Programa de revisão da manutenibilidade

4.3 PROJETO DETALHADO E DESENVOLVIMENTO

Caracteriza-se pelo desenvolvimento do projeto dos subsistemas e finalização do desenvolvimento do modelo do protótipo, com a realização de testes e avaliação com o objetivo de assegurar que o produto final siga as especificações inicialmente estipuladas pelo usuário. É realizado também o planejamento e avaliação do processo de produção e a verificação das atividades dos fornecedores. Nesta fase são definidas as seguintes atividades relacionadas com a implementação do programa de manutenibilidade:

- Programa de controle e revisão dos fornecedores
- Critérios de projeto relativos a manutenibilidade
- Análise da manutenibilidade
- Modo de falhas, efeitos e análise da criticalidade
- Predição da manutenibilidade
- Demonstração da manutenibilidade
- Análise, coleta de dados e ações corretivas
- Programa de revisão da manutenibilidade.

4.4 PRODUÇÃO E / OU CONSTRUÇÃO DO PROJETO

Durante a produção e / ou construção dados são coletados e analisados através de testes realizados nos principais elementos do sistema. Se necessários são implementados ações corretivas com a finalidade de detectar problemas e corrigi-los. As principais atividades relacionadas com a manutenibilidade executadas nesta fase são definidas a seguir:

- Programa de controle e revisão dos fornecedores
- Demonstração da manutenibilidade
- Análise, coleta de dados e ações corretivas

- Programa de revisão da manutenibilidade

4.5 UTILIZAÇÃO PELO CLIENTE E SUPORTE DO CICLO DE VIDA DO PROJETO

Neste caso são implementadas avaliações para determinar, por exemplo, se a causa dos altos custos do suporte do ciclo de vida do projeto é devido a baixa confiabilidade de um importante componente ou por causa da dificuldade em realizar a manutenção em um equipamento. São realizadas ações corretivas com o objetivo de otimizar a manutenibilidade, possibilitando o aumento da eficácia do sistema e reduzindo os custos do ciclo de vida do projeto. Esta fase também é caracterizada pelo programa de suporte ao usuário através da implantação da manutenção sustentada. As principais atividades relacionadas com o programa de manutenibilidade são as seguintes:

- Programa de revisão e controle dos fornecedores
- Análise, coleta de dados e ações corretivas
- Programa de revisão da manutenibilidade
- Revisão do programa de manutenibilidade.

4.6 ALIENAÇÃO DO PROJETO

O sistema é retirado de operação quando as atividades relacionadas com o programa de manutenibilidade não puderem mais serem realizadas. A obsolescência de componentes, equipamentos ou mesmo o alto custo de reposição, que talvez não compense a retomada de operação do sistema, são fatores que influenciam na alienação do projeto.

Com a finalidade de facilitar a identificação de todas as atividades de um programa de manutenibilidade em cada fase do ciclo de vida do projeto, é mostrado na figura 15 um diagrama em barras detalhando o início e fim de cada atividade e a inter-relação entre algumas tarefas nas diferentes fases. Esta maneira de visualizar a implementação da manutenibilidade

no projeto de um sistema facilita o entendimento e a administração da implantação da manutenibilidade em toda a vida do projeto.

Atividades manutenibilidade	Projeto conceitual	Projeto inicial	Projeto detalhado	Produção	Utilização e suporte do ciclo de vida
1- Planejamento do programa	■ ■ ■ ■				
2- Programa de controle e revisão dos fornecedores		■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
3- Critérios de projeto de manutenibilidade	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■		
4- Alocação da manutenibilidade		■ ■ ■ ■			
5- Análise da manutenibilidade		■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■		
6- Modo de falhas, efeitos e análise de criticalidade		■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■		
7- Predição da manutenibilidade		■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■		
8- Demonstração da manutenibilidade			■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	

- Identificação da maneira como o programa de manutenibilidade será integrado com o setor de projeto, engenharia de confiabilidade, apoio logístico, engenharia de sistema, fatores humanos, fornecedores, teste e avaliação do sistema e custos.
- Programação do início e fim de cada atividade.
- Implementação de procedimentos ou métodos para identificação e solução de problemas ocorridos.
- Implementação do método que dissemina para os fornecedores e subfornecedores as exigências do programa de manutenibilidade.
- Elaboração de procedimentos para obtenção dos dados relativos ao programa.

Normalmente o planejamento do programa de manutenibilidade é realizado pelo gerente do programa e deve ser implementado pelos fornecedores e subfornecedores de acordo com suas respectivas atividades. É importante que sejam definidas as responsabilidades com relação a implementação do programa e realização das tarefas. A definição dos requisitos relacionados com a manutenibilidade é realizada pelo cliente e enviada aos fornecedores através de uma proposta convite. Os fornecedores examinam as propostas e iniciam o planejamento do programa no qual deve constar as seguintes fases:

- **OBJETIVO**

Descrever os requisitos do programa, identificando os principais objetivos além de uma descrição sucinta do projeto.

- **ATIVIDADES**

Neste item é descrito as atividades associadas com a implementação do programa, os requisitos de entrada para cada atividade, os resultados esperados e os custos projetados.

- **ORGANIZAÇÃO**

Para determinar a organização da manutenibilidade é necessário verificar em que condições o projeto irá funcionar, a sua complexidade e definir se o cliente ou um dos fornecedores principais será o responsável pelo planejamento do programa. No caso em que o cliente assume

a responsabilidade pelo projeto e integração dos sistemas, ou seja, desenvolvimento dos requisitos operacionais, definição do modelo de manutenção, engenharia de sistema e programa de apoio logístico, a estrutura organizacional é definida por ele. Quando o cliente e o fornecedor definem a organização da manutenibilidade, a responsabilidade pela realização dos objetivos pode ser delegada ao fornecedor. Na figura 16 é mostrada uma organização para a manutenibilidade, destacando-se as principais atividades.

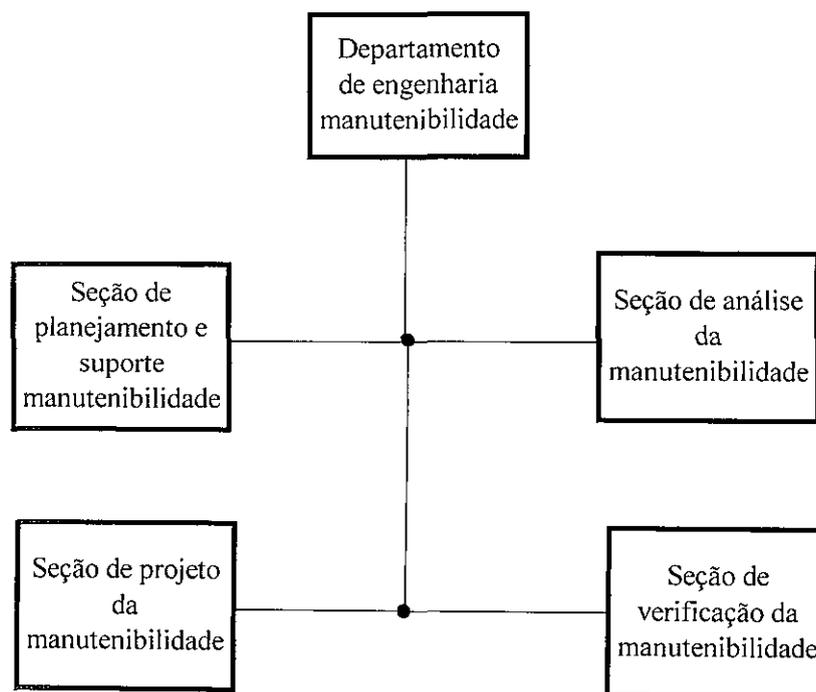


Figura 16 - Organização da manutenibilidade

- INTERFACES ORGANIZACIONAIS

A relação da manutenibilidade com outros setores deve ser identificada, propiciando uma integração que facilite a obtenção dos resultados pretendidos pelo cliente. A figura 17, obtida da referência [4], mostra esta integração com os principais setores.

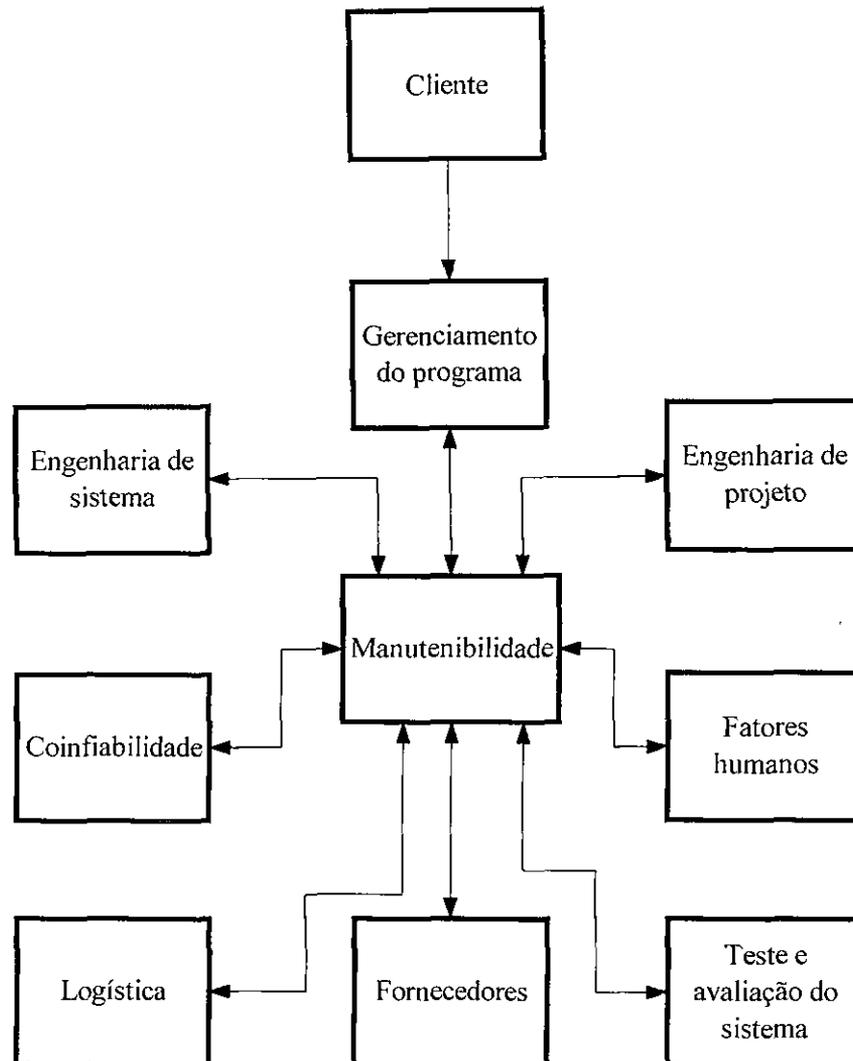


Figura 17 - Integração com outros setores

- ATIVIDADES DOS FORNECEDORES E SUBFORNECEDORES

Tem como finalidade identificar as atividades no programa de manutenibilidade relacionadas com as atividades dos fornecedores e subfornecedores, definir os procedimentos de controle e revisão e a relação organizacional entre eles. Dessa maneira, então é necessário:

-Incorporar os requisitos de projeto nos componentes fornecidos pelos fornecedores e subfornecedores.

-Assegurar que os fornecedores e subfornecedores possuam um programa de manutenibilidade compatível com o programa geral.

-Assegurar que os fornecedores e subfornecedores providenciarão o suporte técnico e administrativo para todos os componentes fornecidos durante a produção.

-Assegurar que os fornecedores e subfornecedores fornecerão os dados necessário dos produtos fornecidos.

- **NORMAS E PROCEDIMENTOS**

Tem como função incorporar e descrever procedimentos, métodos e diretrizes estabelecidas por órgãos governamentais na implantação das atividades de manutenibilidade.

- **PROGRAMA DE REVISÃO, AVALIAÇÃO E CONTROLE**

Identifica e descreve os métodos usados para controle, avaliação e revisão técnica do projeto, entre os quais destacam-se:

-Revisão das especificações do projeto.

-Revisão preliminar do projeto.

-Revisão com a finalidade de otimização do projeto.

-Revisão crítica do projeto.

- **CONCEITOS SOBRE MANUTENÇÃO**

Descreve o modelo de manutenção utilizado, define os conceitos utilizados no suporte logístico, os níveis de manutenção, as metas qualitativas e quantitativas, os fatores relacionados com o grupo de manutenção, aquisição de peças sobressalentes e critérios de escolha para equipamentos de testes.

- **CRITÉRIOS DE PROJETOS**

Descreve as características relacionadas com a manutenibilidade e aplicáveis ao projeto, tais como: Intercambialidade, modularização e acessibilidade.

- **NOTAS TÉCNICAS**

Descrição dos resultados obtidos através da análise dos dados.

- REFERÊNCIAS

Descrição das normas utilizadas na implementação do programa de manutenibilidade.

5.2 PROGRAMA DE REVISÃO E CONTROLE DOS FORNECEDORES

A finalidade principal é a de estabelecer os requisitos relacionados com a manutenibilidade nos produtos e componentes fornecidos pelos fornecedores e subcontratados, possibilitando a avaliação e controle de suas atividades.

O fornecedor, segundo a referência [4], é considerado como uma categoria responsável pelo fornecimento de peças, componentes, equipamentos ou serviços para um cliente ou para um setor de produção. A complexidade do projeto a ser desenvolvido, os métodos de implementação e a estrutura organizacional do cliente têm influência na quantidade de fornecedores, localização e natureza das atividades. O processo de escolha de um fornecedor é realizado através da emissão pelo cliente de uma carta convite, na qual deve constar as especificações dos principais fatores qualitativos e quantitativos de manutenibilidade do produto a ser adquirido. Após o recebimento deste documento, os fornecedores qualificados enviam uma proposta com os seguintes dados: *Predição de manutenibilidade e análise e avaliação da manutenibilidade do produto*. O cliente avalia e escolhe a melhor proposta através de um processo de licitação. A escolha do melhor produto envolve além dos aspectos técnicos, também os fatores econômicos.

Para fornecedores envolvidos com projeto e desenvolvimento, as seguintes atividades relacionadas com a manutenibilidade devem ser incluídas no processo e controladas pelo cliente:

- Confecção, implementação e integração do planejamento do programa de manutenibilidade do produto com as atividades relacionadas com o desenvolvimento do projeto.

- Análise de manutenibilidade com ênfase nos estudos relacionados a seleção de componentes, armazenamento de equipamentos, manutenção, etc.
- Realização da predição da manutenibilidade com a finalidade de avaliar se as especificações técnicas estão coerentes com a exigência do cliente.
- Realização da análise das tarefas de manutenção, descrevendo as características de projeto e identificando os recursos necessários para suporte do ciclo de vida do projeto.

O processo de avaliação dos fornecedores é realizado nas atividades e instalações sobre responsabilidade dos fornecedores e deve ser integrado na avaliação geral do projeto. Portanto, o cliente deve assegurar que os itens pertencentes ao projeto e adquiridos dos fornecedores sejam compatíveis com os requisitos do programa de manutenibilidade. É necessário que os fornecedores e subcontratados possuam um programa de manutenibilidade compatível com o programa geral, que providenciem o suporte técnico e administrativo necessário para todos os itens fornecidos.

Os fornecedores e subcontratados escolhidos para desenvolver atividades e realizar serviços que influenciam no produto final devem implementar um programa de garantia de qualidade, que deve ser avaliado e aceito pelo cliente. Este programa detalha o plano de trabalho, define as fases e responsabilidades, as interfaces entre os participantes e qual a documentação a ser emitida. Os seguintes pontos citados a seguir definem as exigências a serem avaliadas e aceitas pelo cliente:

- Controle de projeto
- Controle de documentos
- Ações corretivas

Portanto, um programa de controle e revisão do fornecedores ao ser definido deve possuir as seguintes fases:

- RESPONSABILIDADES

Define as responsabilidades pelo desenvolvimento, projeto, fabricação, instalação, testes, operação e manutenção.

- DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO

Abrange os documentos relacionados com os critérios de projeto, requisitos de qualificação e plano de trabalho.

- APROVAÇÃO E VERIFICAÇÃO DE DOCUMENTOS

Nesta fase os documentos emitidos pelo cliente e pelo fornecedor devem ser mutuamente verificados. A verificação dos documentos deve ser controlada e documentada por relatórios, sendo que os responsáveis por esta atividade não devem estar participando do desenvolvimento do projeto. O diagrama em blocos da figura 18 mostra a relação existente entre o fornecedor e o cliente para documentos emitidos por este.

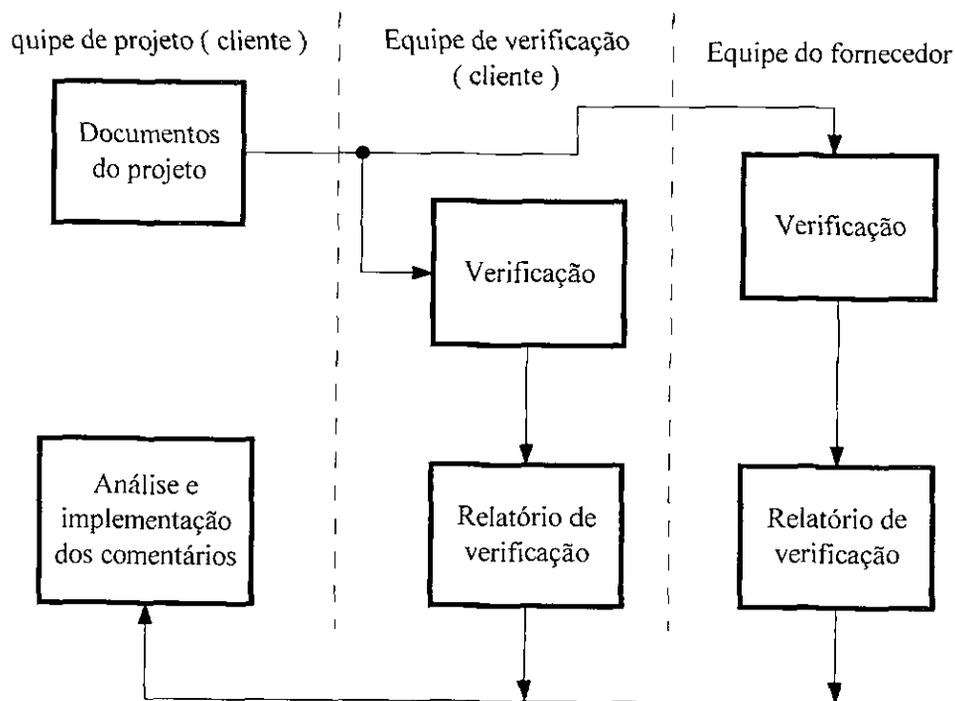


Figura 18 - Documentos emitido pelo cliente

- VERIFICAÇÃO E APROVAÇÃO PELO CLIENTE

Após o envio pelo fornecedor das cópias dos relatórios com as análises e com os resultados dos experimentos, o cliente procede a verificação e se for o caso a aprovação dos documentos emitidos. A figura 19 mostra as interfaces entre o cliente e o fornecedor para documentos emitidos por este.

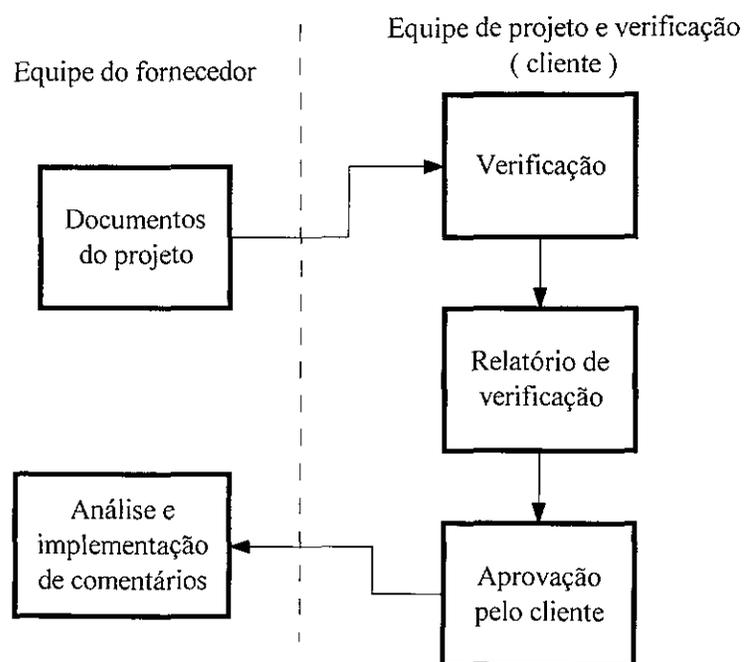


Figura 19 - Documentos emitido pelo fornecedor

- IMPLEMENTAÇÃO DAS VERIFICAÇÕES

A implementação das verificações em seus respectivos documentos é de responsabilidade do cliente e do fornecedor. Sempre que necessário devem ser promovidas reuniões entre o cliente e o fornecedor visando a obter esclarecimentos e dirimir dúvidas. Esses encontros devem ser documentados em atas e têm características de definição final das dúvidas.

- DOCUMENTOS EMITIDOS PELO FORNECEDOR

Os documentos relacionados com o projeto, como por exemplo, desenhos esquemáticos, elétricos, manuais, diagramas de interligações devem ser arquivados pelo fornecedor e uma cópia enviada para o cliente.

- TESTES E ENSAIOS

Os testes e ensaios realizados pelo fornecedor, que comprovam a qualificação dos produtos devem ser realizados utilizando equipamentos de medição com calibração válida e rastreável aos padrões nacionais e internacionais. O fornecedor deve elaborar um documento contendo instruções relacionadas com a manutenção do projeto, com ênfase nos aspectos logísticos, técnicos e de qualificação, especificando os testes realizados e os equipamentos de medição. Uma cópia deste documento deve ser enviado ao cliente para análise e aprovação.

5.3 CRITÉRIOS DE PROJETO DE MANUTENIBILIDADE

A compatibilidade das especificações do projeto com as exigências da manutenibilidade asseguram a adequação do projeto a finalidade exigida, além de facilitar a manutenção e possibilitar um tempo de reparo menor, implicando em uma disponibilidade maior do sistema. A seguir são definidos as principais características de projeto relacionadas com a manutenibilidade.

5.3.1 SIMPLIFICAÇÃO

O resultado de desenvolvimento de um projeto simplificado é o compromisso entre o usuário, projetista e engenheiro de manutenibilidade levando em consideração a eficácia e a disponibilidade do sistema. As principais técnicas de projeto que determinam a simplificação são citadas a seguir:

- Utilização do equipamento de acordo com suas especificações técnicas evitando danos ao equipamento e diminuindo o número de tarefas de manutenção.
- Redução do número de componentes, implicando em um menor número de ações de manutenção e aumentando a disponibilidade. A redução de componentes entretanto está

ligada a outros critérios que devem ser levados em consideração tais como a confiabilidade e a segurança. Dessa maneira, o mais importante com relação a redução de componentes deve ser a integração com estes critérios, otimizando também a relação custo e número de intervenções. Por exemplo: os fusíveis elétricos das fontes de alimentação normalmente são colocados nos painéis dos equipamentos, evitando a sua duplicidade no interior das placas e facilitando a manutenção.

- Configuração a mais simples possível.
- Simplicidade na construção de equipamentos, permitindo uma maior facilidade na inspeção e testes dos componentes.
- Consolidação das funções, que é provavelmente uma das mais importantes técnicas de projeto para simplificação. Isto pode ser ilustrado pelo seguinte exemplo: Queremos multiplicar os elementos b, c, d e f por um fator comum a e obter o resultado. Esta operação pode ser realizada de duas maneiras:

$$ab+ac+ad+af \quad \text{ou} \quad a(b+c+d+f)$$

No primeiro caso são necessárias quatro multiplicações e três somas. No segundo caso três somas e uma multiplicação. A análise justifica o uso do segundo caso, pois é o que utiliza a técnica de simplificação. A análise de várias funções a serem realizadas pelos componentes e o tipo de hardware disponível para executar a tarefa pode levar a uma simplificação. Um exemplo típico é o da chave que liga a alimentação de um micro computador e ao mesmo tempo ativa o programa de inicialização que testa as memórias.

- Técnicas de projeto orientadas para facilitar a manutenção, através da confecção de “layout” especiais que possibilitem a introdução e retirada de componentes de maneira fácil e sem erros.

Com a finalidade de verificar se a técnica de simplificação é utilizada no projeto, é interessante criar um questionário com questões que devem ser respondidas pelo projetista.

LISTA DE CHECAGEM DE SIMPLIFICAÇÃO

- O sistema possui alternativas de simplificação?
- Uma determinada função pode ser realizada por uma peça ou componente padronizado?
- Um técnico de nível médio tem condições de entender as informações contidas no manual de serviço?
- Existem funções duplicadas?
- O software utilizado está documentado?
- O número de ligações e conexões foram minimizadas?
- No projeto é utilizado um número mínimo de componentes possíveis, mesmo utilizando a técnica de redundância?
- As informações sobre a operação do sistema são visíveis?
- Evita-se utilizar no projeto componentes ou peças que já causaram danos em projetos anteriores?
- Utiliza-se no projeto componentes ou peças que não necessitam de ações de manutenção preventiva programada?
- Ajustes mecânicos foram minimizados?
- Técnicas de diagnóstico de falhas foram simplificadas?
- Ajustes nos circuitos podem ser minimizados?

5.3.2 PADRONIZAÇÃO E INTERCAMBIALIDADE

São dois fatores interrelacionados de importante contribuição para a manutenibilidade do sistema. Um bom exemplo da interrelação entre padronização e intercambialidade é a base das lâmpadas incandescentes. A padronização é uma característica do projeto e tem como objetivo restringir a um mínimo praticável a variedade de componentes, de acordo com as especificações do projeto. A importância da padronização se traduz na realização das seguintes metas:

- Minimizar o custo do apoio logístico

- Aumentar a disponibilidade dos componentes e peças essenciais à missão.
- Reduzir o número de técnicos especializados.
- Reduzir a diversidade de componentes sujeitos a falhas.

Com a finalidade de realizar a padronização, os seguintes princípios devem ser considerados:

- Usar ao máximo peças e componentes padrões.
- Reduzir ao mínimo possível a diversidade de peças e componentes.
- Utilizar ferramentas e equipamentos de teste padronizados.
- Simplificar a codificação e numeração de peças e componentes.
- Implementar procedimentos mais simples para fornecimento, armazenamento e estocagem de peças e componentes.

Algumas vantagens estão associadas a padronização:

- Redução do custo de suporte, devido a diminuição da variedade e da quantidade de componentes e peças.
- Devido a simplificação no funcionamento dos equipamentos, existe a redução no número de técnicos de manutenção.
- Exigências por publicações técnicas avançadas são reduzidas.
- A variedade e quantidade de equipamentos de testes sofisticados é reduzida.
- A padronização reduz a necessidade por facilidades relacionadas a manutenção.

A intercambialidade existe quando dois ou mais componentes são fisicamente e funcionalmente intercambiáveis em todas as possíveis aplicações. A intercambialidade funcional é realizada quando um componente, independentemente de sua especificação física, realiza funções específicas de outra peça. A intercambialidade física é realizada quando duas ou mais peças com as mesmas especificações podem se montadas, conectadas e usadas

efetivamente na mesma posição. Algumas princípios e vantagens estão associadas a intercambialidade:

- Com a finalidade de evitar situações que possam causar danos ao sistema, a intercambialidade funcional deve existir sempre que houver a intercambialidade física.
 - Não deve existir a intercambialidade física, quando a intercambialidade funcional não é pretendida.
 - Caso seja necessária a intercambialidade funcional, quando não existir a intercambialidade física, deve-se providenciar adaptadores.
 - Deve-se evitar diferentes formatos, tamanho, montagem e outras características físicas para unidades funcionalmente intercambiáveis.
 - Unidades que pertencem ao mesmo sistema devem possuir conectores e prensa cabos padronizados.
 - A intercambialidade tem como um dos objetivos reduzir o tempo e o custo de manutenção.
 - A intercambialidade reduz as exigências por componentes especiais.
 - A intercambialidade resulta em maior uniformidade e maior facilidade na predição da manutenibilidade.
-
- Os testes são realizados com um quantidade menor de diferentes tipos de equipamentos.
 - Os problemas relacionados a compra de componentes especiais são reduzidos.
 - O número de técnicos especializados é reduzido.

Com a finalidade de verificar se a técnica de simplificação e a da intercambialidade são utilizadas no projeto, é interessante criar um questionário com questões que devem ser respondidas pelo projetista.

LISTA DE CHECAGEM PARA PADRONIZAÇÃO

- Todos os possíveis componentes, peças e materiais padronizados são utilizados?
- Técnicas especiais de montagem são evitadas ou minimizadas?
- O uso e a especificação de um componente ou de uma ferramenta especial foi analisado e avaliado, para determinar a sua necessidade?
- A complexidade dos circuitos utilizados foi minimizada?
- Equipamentos de testes padronizados são utilizados?
- Componentes idênticos são usados tanto quanto possível em equipamentos similares?
- Os componentes, conectores, prensa cabos, cabos são padronizados em cada unidade pertencente ao sistema?

LISTA DE CHECAGEM PARA INTERCAMBIALIDADE

- A intercambialidade funcional é empregada, onde a intercambialidade física é possível?
- A intercambialidade funcional e física é empregada sempre que for possível?
- As informações mostradas nos manuais de serviço auxiliam o técnico a decidir se duas peças similares são intercambiáveis?
- As informações mostrada nos manuais de serviço com relação as diferenças no tamanho, formato e montagem dos componentes e peças indicam a possibilidade de torná-las intercambiáveis?
- É completa a intercambialidade entre os itens idênticos ou projetados para realizarem as mesmas funções em diferentes aplicações?
- Os cabos utilizados podem ser facilmente adquiridos e instalados?
- É completa a intercambialidade elétrica e mecânica utilizada em todos os componentes e peças removíveis?
- A intercambialidade é utilizada em componentes ou peças que possuem uma alta taxa de mortalidade?
- Os parafusos e porcas utilizados nos painéis dos equipamentos são do mesmo tipo, formato e tamanho?

5.3.3 ACESSIBILIDADE

É definida como uma característica de projeto que afeta a facilidade de acesso a uma determinada área, com a finalidade de inspeção visual ou manutenção. A acessibilidade está relacionada ao “lay-out” do equipamento e a configuração dos circuitos que compõem o equipamento. Para um item ser considerado acessível, é necessário que ele possa ser alcançado rapidamente, sem a necessidade de ferramentas especiais e que as tarefas de manutenção sejam realizadas pelo técnico em uma posição confortável. Para maximizar a acessibilidade é necessário cuidados com relação a duas condições limitantes:

- Nível de acessibilidade

Se é difícil ter acesso aos controles, pontos de testes, medidores, pontos de lubrificação, o tempo de manutenção é maior.

- Segurança

Por razões de segurança deve-se evitar expor o grupo de manutenção em áreas sujeitas a gases explosivos, inflamáveis, componentes sujeitos a alta-tensão, alta-temperatura e fontes radioativas. A melhoria da segurança associada com as operações de manutenção reduz o tempo de manutenção e conseqüentemente aumenta a disponibilidade do sistema.

Para que no projeto seja incorporado as características qualitativas e quantitativas relacionadas com a manutenibilidade, deve existir um interrelacionamento entre a engenharia de manutenibilidade e a engenharia associada aos fatores humanos, pois a engenharia de manutenibilidade é a responsável pela quantificação do tempo de paralisação e da disponibilidade inerente e a engenharia relacionada com os fatores humanos gera e incorpora no projeto as informações qualitativas, necessárias para assegurar que o grupo de manutenção terá fácil acesso ao sistema.

No planejamento da acessibilidade os itens sujeitos a um trabalho mais frequente e os componentes e peças com alta taxa de falha devem ter prioridade com relação ao acesso. Por

exemplo, em um equipamento constituído de uma fonte de alimentação e de um módulo de controle, caso a fonte apresente uma taxa de falha maior, então ela deverá ter preferência com relação ao acesso. Entretanto, se o módulo de controle necessitar de ajustes mais frequentes para manter a performance, a preferência de acesso recairá sobre ele. As exigências da acessibilidade são determinadas pelas ações de manutenibilidade e dependem do tipo de ação, ou seja, inspeção, ajustes, reparo, remoção ou reposição de componentes. A seguir são apresentadas sugestões para facilitar o acesso a componentes e peças:

- Posicionar peças e componentes de modo que a estrutura da unidade não bloqueie o acesso.
- Posicionar peças e componentes em espaço suficiente, que permita o uso de equipamentos de testes.
- Posicionar peças e componentes com maior taxa de falhas em uma posição, que facilite a retirada sem a necessidade de remover outras peças.
- Os motores, turbinas, equipamentos devem ser posicionados de tal maneira, que a retirada não cause problemas.
- Utilizar sempre que possível módulos do tipo “plug-in”.

Os tipos de ações de manutenção que requerem acesso são mostrados a seguir:

- Inspeção visual e manual.
- Testes.
- Calibração, reparo e reposição de componentes.

Para determinar o tipo, formato, tamanho e localização do acesso é necessário conhecimento sobre os seguintes itens:

- Localização operacional da unidade dentro do sistema.
- Frequência do uso do acesso.
- Tipo de tarefa realizada através do acesso.
- Tempo necessário para realizar as ações de manutenção.

- Tamanho das ferramentas e acessórios necessários para realizar as ações de manutenção.
- Tamanho das roupas especiais usadas pelo técnicos.
- *Características visuais das tarefas.*
- Tipo de montagem dos componentes e peças.
- Risco do uso do acesso.
- Tamanho, peso, altura, forma do técnico responsável pelas tarefas de manutenção através do acesso.
- O acesso deve ser livre para inspeção visual. Uma cobertura de plástico resistente ou vidro deve ser usado para evitar penetração de poeira e umidade. Segundo a referência [17] a inspeção visual requer uma intensidade luminosa de pelo menos 55 lux.
- Deve ser providenciado identificação de todas as peças e componentes consideradas perigosas, sujeitas as altas temperaturas, radiação e alta-tensão. Um sistema automático de iluminação, deve ser providenciado ao abrir a porta de acesso.

Existe uma relação mútua entre a localização de acessos e a posição dos componentes a serem acessados. Sempre que possível os acessos devem ser localizados:

- Nos painéis onde existem os controles, pontos de testes, cabos e medidores.
- Distantes das peças e componentes sujeitos a alta-tensão. Caso isto seja impossível, é necessário prover adequada isolamento.
- Próximos de peças e componentes com ajustes e manutenção frequente.

As peças e componentes devem ser posicionadas segundo as seguintes considerações:

- Espaço suficiente para utilização dos pontos de testes, alicate, chave de fenda, ferro de soldar e soquetes para testes.
- Componentes ou peças com alta taxa de falhas devem ser posicionadas de maneira a se evitar a retirada de outros componentes, caso seja necessário substituí-los.

- Módulos “plug-in” devem ser projetados de maneira a serem fixados em uma única posição, facilitando sua substituição.
- Componentes sensíveis, frágeis devem ser posicionados de maneira a evitar danos, enquanto a unidade estiver sendo reparada.
- Fusíveis devem ser localizados onde possam ser facilmente visualizados e não necessite remover outros componentes.
- Ajustes internos devem ser localizados distantes de pontos onde existem alta-tensão
- Os componentes e peças com alta taxa de falhas devem ser posicionados próximos, minimizando a movimentação do técnico durante a manutenção do sistema.
- Deve-se evitar no projeto de um equipamento o empilhamento das placas de circuito impresso. Entretanto se isto for necessário, com a finalidade de reduzir espaço, deve-se posicionar a placa que necessita de menos acesso no final.
- Quando duas placas de circuito impresso são colocadas em um mesmo módulo, a posição de uma delas deve ser flexível através do uso de braçadeiras e a face superior da placa de circuito impresso deve ser visualizada ao abrir o equipamento.
- As conexões dos fios com parafusos devem ser realizadas com terminais tipo U, facilitando assim a remoção.

Os cabos devem ser posicionados da seguinte maneira:

- Afastados de portas e tampas.
- Colocados do outro lado do painel reservado para acesso do grupo de manutenção.
- Evitar de posicioná-los em painéis com dificuldade de remoção ou em áreas congestionadas.
- Alinhados, evitando contornos ao redor do equipamento.
- Os cabos de sinais devem ser posicionados distantes dos cabos de alimentação.
- A distância entre os conectores deve permitir a fácil retirada dos cabos. Segundo a referência [17] a distância mínima deve ser igual a 64 milímetros.

Com a finalidade de verificar se a técnica de acessibilidade é utilizada no projeto, é interessante criar um questionário com questões que devem ser respondidas pelo projetista.

EXEMPLO DE LISTAGEM DE CHECAGEM PARA ACESSIBILIDADE

- Os acessos para inspeção visual utilizam janelas transparentes ou portas metálicas que são abertas rapidamente?
- O conceito de acessibilidade é empregado no projeto dos equipamentos, subsistemas e sistemas?
- Os componentes e as peças são colocados e montados, de maneira que haja espaço suficiente para utilizar ferro de soldar, alicates, chave de fenda e soquetes para testes?
- O acesso aos controles para ajustes é realizado sem que seja necessário a desmontagem de outras unidades e peças?
- No projeto do equipamento evitou-se utilizar placas de circuito impresso empilhadas?
- O acesso para as tarefas de manutenção que necessitam de mobilidade do técnico é considerado suficiente?
- Existe sistema de iluminação automático para acesso a determinadas partes internas de equipamento e subsistemas?
- O formato das portas que dão acesso a determinadas partes internas do equipamento possibilita a passagem de ferramentas e componentes?
- Algumas instruções ou avisos importantes são colocados na porta de acesso, possibilitando ao técnico lê-las?
- Os cabos são de comprimento adequado, que possibilite ao técnico realizar a manutenção em local e posição adequada?

5.3.4 MODULARIZAÇÃO

O conceito de modularização está relacionado com uma configuração divisível, cuja manutenção é realizada mais facilmente. O módulo é uma peça ou conjunto de componentes projetados para serem manuseados como uma unidade independente, com a função de facilitar a instalação e manutenção. A modularização é realizada através da divisão do equipamento em partes fisicamente e funcionalmente distintas. O uso dessa técnica implica em uma padronização mais eficiente, melhor acessibilidade e simplificação na manutenção. Neste caso, alguns princípios devem ser seguidos:

- Os módulos devem ser removidos sem o uso de instruções e ferramentas especiais e no menor intervalo de tempo possível.
- *Os módulos que realizam as mesmas funções devem ser intercambiáveis, sem a necessidade de ajustes para realização da manutenção.*
- Os módulos devem ser projetados com peças e componentes de tamanho e formato padrão.
- Deve ser minimizada as interconexões entre módulos vizinhos.
- Padronizar o tamanho das placas de circuito impresso e os conectores usados.
- Utilizar pinos guia evitando inserções erradas.
- Utilizar puxadores nos módulos, de maneira a permitir uma rápida substituição.
- Dividir o equipamento em várias unidades compatíveis elétricas e mecanicamente, considerando o uso efetivo do espaço disponível.
- Maximizar a independência funcional das unidades e minimizar a interação entre elas.
- Se um módulo principal pode ser substituído por dois ou mais submódulos, projete-os de maneira que um submódulo possa ser retirado sem interferir no funcionamento do outro.
- Sempre que possível, os módulos devem ser projetados leves e pequenos facilitando o transporte e manuseio.
- Cada módulo deve ser projetado possibilitando que os ajustes e testes sejam realizados independentemente.
- As ligações dos controles e indicadores devem ser facilmente desconectadas, de maneira a facilitar a substituição.

5.3.5 IDENTIFICAÇÃO

Existem quatro perguntas relacionadas aos aspectos distintos de identificação que devem ser respondidas:

- Qual o tipo de identificação é necessária?
- Qual o conteúdo da identificação?
- Como será a identificação utilizada?
- Onde a identificação será colocada?

Legendas, sinais, marcas e símbolos são utilizados quando é necessário para o operador ou técnico de manutenção identificar e utilizar procedimentos que evitam riscos na operação e manutenção de equipamentos, subsistemas e sistemas. A identificação correta de componentes, peças, controles, medidores e pontos de testes simplificam a tarefa dos técnicos e reduz o tempo de execução das tarefas e a possibilidade de erro. As principais características que devem ser seguidas são as seguintes:

- Exatidão na identificação.
- O tempo necessário para reconhecer a identificação.
- A distância entre a identificação e o observador.
- O nível de iluminação do ambiente.
- A posição em que a identificação deve ser escrita.
- A complementação da identificação através de símbolos ou códigos.
- O tipo de letra utilizada. Normalmente são utilizadas letras maiúsculas.
- A combinação de cores das letras utilizadas deve ser selecionada com a finalidade de maximizar a legibilidade. A tabela 4, obtida da referência [17], mostra uma tabela com a melhor combinação de duas cores em ordem decrescente.

CORES
AZUL E BRANCO
PRETO E AMARELO
VERDE E BRANCO
PRETO E BRANCO
VERDE E VERMELHO
VERMELHO E AMARELO

Tabela 4 - Combinação de cores

5.3.6 TESTABILIDADE

É necessário que o conceito de testabilidade seja incorporado no projeto, assegurando que as técnicas de diagnóstico e os equipamentos de teste utilizados sejam eficazes. Fatores envolvidos na decisão incluem características da missão, confiabilidade, características operacionais do equipamento, estrutura da manutenção, capacidade de isolar falhas automaticamente utilizando equipamentos de teste embutidos (“BITE”), o nível de especialização do grupo envolvido na manutenção e o custo. Define-se, então, testabilidade como uma característica do projeto que permite que o status operacional do sistema ou do equipamento seja determinado no tempo correto e de uma maneira eficaz e não custosa, aumentando a disponibilidade. A testabilidade é realizada através da implementação dos seguintes itens:

- Utilização de equipamentos de teste embutidos (“BITE”) e equipamentos de teste em geral.
- Integração da testabilidade durante a execução do projeto em conjunto com a manutenibilidade.
- Avaliação da testabilidade durante os testes do projeto.

A análise da testabilidade é definida como um elemento do projeto do equipamento relacionado ao desenvolvimento da implementação do diagnóstico de falhas. Esta análise inclui

simulação de falhas, localização dos pontos de testes, equipamentos de teste e implementação da técnica de diagnóstico. Para ser efetiva, a análise da testabilidade deve ser definida antes do início do projeto detalhado do equipamento ou do sistema. Os procedimentos para conduzir a uma análise de testabilidade são baseados nos seguintes quesitos:

- Questionar o processo no qual o projetista baseou a abordagem da testabilidade - como, porque e a lógica empregada.
- Assegurar que a testabilidade do sistema é coerente com o projeto do equipamento principal.
- Assegurar que no projeto foram implantados pontos de testes.
- Assegurar que a análise de efeitos e modos de falhas foi introduzida como fator integrante da análise de testabilidade.
- Assegurar que a análise dos testes e simulação de falhas foram usadas para avaliar a eficácia do projeto.
- Assegurar que a análise de testabilidade envolve informações obtidas dos testes experimentais e comparar os resultados obtidos com as especificações.

5.3.7 FATORES HUMANOS

Com a finalidade de utilizar o projeto de maneira mais eficiente, por um determinado grupo de pessoas, alguns fatores relacionados com o ser humano devem ser considerados no projeto.

O sistema também deve ser projetado, de maneira que os procedimentos para o seu uso e conservação sejam os mais simples possíveis. Portanto, o conceito de engenharia de sistemas enfatiza a eficiência da interação entre homem e máquina. Os fatores humanos são elementos essenciais que devem ser considerados no programa de integração da mão de obra, cujo objetivo é impor considerações sobre a qualificação da mão de obra, treinamento, segurança e riscos a saúde do trabalhador. É necessário levar em consideração os seguintes critérios:

- O ser humano suas características biomédicas, físicas e psicológicas.
- A interação entre as pessoas e o meio ambiente.

- A integração entre o ser humano e o sistema.
- A integração homem máquina.

Devido a eficácia e o custo serem afetadas pela maneira pela qual os fatores humanos são implementados, o setor de projeto é o responsável pela integração entre os fatores humanos e as especificações técnicas do projeto. As principais características relacionadas com os fatores humanos são definidas a seguir:

I - ANTROPOMETRIA

A antropometria é um fator importante a ser considerado na implementação da manutenibilidade em um projeto, pois está relacionada com as características físicas dos operadores e do grupo de manutenção. Estas características estão relacionadas com as dimensões, mobilidade e força do corpo humano. Geralmente, segundo a referência [17], os limites destas medidas se estabelecem em uma faixa de 5th a 95th percentil das dimensões críticas do corpo humano. O valor percentil 5th indica que 5% da população possui dimensões físicas igual ou menor do que o valor tabelado e 95% maior. O valor percentil 95th indica que 95% da população possui dimensões físicas igual ou menor do que o valor tabelado e 5% maior. Portanto, o uso de uma faixa entre 5th e 95th percentil abrange 90% da população.

A seguir são relacionados alguns fatores relacionados com a manutenibilidade:

-DIMENSÕES BÁSICAS DO CORPO HUMANO

- Estatura
- Altura dos olhos
- Altura dos ombros
- Alcance das mãos
- Comprimento das mãos e cotovelos
- Altura dos joelhos e comprimentos das pernas

- Tamanho das mãos
- Largura do corpo

-MOBILIDADE DO CORPO

-CAMPO DE VISÃO

-AUDIÇÃO

-DESTREZA

Os seguintes itens devem ser considerados na interpretação e aplicação dos dados antropométricos:

- Natureza, frequência e dificuldade das tarefas realizadas.
- Posição do corpo durante a realização das tarefas.
- Mobilidade e flexibilidade imposta pelas tarefas.
- Aumento das dimensões físicas devido ao uso das roupas de proteção, luvas e capacetes.

II - FATORES PSICOLÓGICOS

Entre os principais fatores psicológicos incluem-se a adaptabilidade, aptidão, motivação e capacitação. Embora erros introduzidos por fatores psicológicos normalmente ocorram, eles devem ser minimizados durante a execução do projeto.

- **Motivação:** Pessoas são motivadas por corporativismo, patriotismo, amor, ódio, revanchismo, sexo, competição, prestígio, medo, recompensas financeiras. Na maioria das vezes a motivação é um fator positivo, pois cria um desejo de realizar uma missão com sucesso. O conforto e a segurança são alguns dos fatores que podem ser controlados pelo projetista e influenciam na motivação. A responsabilidade, natureza do trabalho, reconhecimento pelo trabalho realizado, crescimento profissional, oportunidade de treinamento e progressão salarial são alguns dos fatores motivadores que são importantes para as técnicas de manutenção.

III - CAPACITAÇÃO

O projetista deve considerar o nível de especialização e o grupo disponível para operar e realizar a manutenção do sistema. Quanto mais complexo o sistema ou equipamento, maior deve ser o nível de especialização do grupo de manutenção e maior o tempo necessário para treinamento. A tabela 5, referência [17], mostra fatores normalizados usados para relacionar a performance dos técnicos com níveis de experiências variados em relação a experiência base de 25 a 30 meses. Por exemplo, um técnico com 5 meses de experiência que realiza uma tarefa em 3 horas, realizará a mesma tarefa em 0,93 horas ($3 \times 0,31$) depois de adquirir 25 ou 30 meses de experiência.

EXPERIÊNCIA (MESES)	FATOR EXPERIÊNCIA
5	0,31
10	0,44
15	0,61
20	0,74
25	0,91
30	1,05
35	1,14
45 ou mais	1,17

Tabela 5 - Fator de experiência do técnico

IV - ERROS HUMANOS

Podem ser definidos como uma ação pessoal, que é inconsistente com os padrões normais ou que difere dos procedimentos estabelecidos. Os erros humanos incluem:

- Omissão em realizar a tarefa.
- Realizar uma tarefa de maneira errada.
- Realizar uma tarefa não exigida.
- Realizar uma tarefa fora da sequência definida.
- Realizar uma tarefa em um tempo maior que o exigido.
- Realizar ações inadequadas devido a um acidente.

A necessidade de se evitar erros humanos aumenta com a complexidade do sistema. Quanto maior a complexidade e o número de tarefas de manutenção a serem realizadas, maiores as chances de ocorrerem erros humanos. De um modo geral as falhas humanas podem ser causadas por:

- Treinamento inadequado.
- Falta de treinamento.
- Supervisão inadequada.
- Inspeção inadequada.

Entre os principais fatores que contribuem para erros humanos e diminuem a segurança das pessoas e do sistema pode-se destacar:

- Modo pelo qual as pessoas esperam que alguma coisa aconteça. Por exemplo, ao ligar o interruptor espera-se que a lâmpada acenda.
- Projetar equipamentos que excedam os limites físicos e psicológicos da capacidade humana.
- Tarefas realizadas sem as informações adequadas.
- Tarefas complexas e desagradáveis de serem realizadas.
- Tarefas de manutenção preventiva perigosas e realizadas eventualmente.
- Condições ambientais desfavoráveis.

5.3.8 FATORES AMBIENTAIS

São condições naturais e induzidas, que ocorrem ou são encontradas durante um intervalo de tempo em um determinado lugar. A combinação de certos fatores ambientais exercem efeitos em pessoas, componentes e peças. Entre os fatores naturais, a temperatura e a umidade influenciam intensamente nas condições para realizar manutenção em campo. Alta temperatura associada a alta umidade tem um efeito nocivo nas pessoas. Áreas quentes e secas geralmente produzem poeiras, que penetram nos equipamentos mecânicos e causam desgaste prematuro

nas engrenagens. Áreas quentes e úmidas geram o aparecimento de fungos dentro e fora dos equipamentos. Dos fatores induzidos, choque e vibração são os que geram os maiores problemas, causando danos as peças móveis.

Os fatores ambientais podem ser divididos em:

- NATURAIS

Fatores de origem natural, cujo efeito pode ser minimizado pelo homem através de uma proteção adequada.

- INDUZIDOS

São fatores gerados pela atividade humana e podem ser prolongados ou controlados, caso seja necessário.

- COMBINADOS

São usados em situações com a finalidade de combinar fatores frequentemente observados. Por exemplo, câmaras térmicas que simulam alta temperatura com alta umidade.

Um dos fatores mais importantes, quando é considerado o efeito dos fatores ambientais é a taxa de exposição, ou seja, o intervalo de tempo em que o sistema ou o equipamento fica sujeito às condições adversas. A tabela 6, referência [17], mostra a relação qualitativa entre os fatores ambientais e o clima.

FATORES	AMENO	FRIO	QUENTE / SECO	QUENTE/ ÚMIDO
BAIXA TEMPERATURA	++	+++	0	0
ALTA TEMPERATURA	+	0	+++	++
BAIXA UMIDADE	0	0	++	0
ALTA UMIDADE	++	+	0	+++
RADIAÇÃO SOLAR	+	++	+++	++

CHUVA	++	+	+	++
VENTO	+	++	+	+
POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	*	*	*	*
POEIRA	+	0	+++	+
RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	*	*	*	*
NEVE	0	++	0	0
RADIAÇÃO NUCLEAR	*	*	*	*

Tabela 6 - Relação qualitativa entre fatores ambientais e o clima

onde:

+++ = Fator decisivo

++ = Fator importante

+ = Fator ativo

0 = Fator sem importância

* = Não tem relação com o clima

5.4 ALOCAÇÃO DA MANUTENIBILIDADE

Consiste em transferir para os níveis hierárquicos do projeto, ou seja, sistema, subsistema, equipamentos, os requisitos quantitativos ($\bar{M}ct$, MMH / OH) definidos no programa de manutenibilidade. Para realizar a alocação da manutenibilidade é necessário a confecção de um diagrama funcional definindo a estrutura física do projeto. O processo de alocação é facilitado através da formatação mostrada na figura 20, cujos blocos são definidos a seguir:

- BLOCO 1

Identifica os subsistemas ou equipamentos.

- BLOCO 2

Quantidade de subsistemas por sistema ou equipamentos por subsistemas (Q).

- BLOCO 3

Identifica os fatores quantitativos alocados. Neste caso a taxa de falha do subsistema ou equipamento (λ).

- BLOCO 4

Indica a contribuição de cada fator alocado do subsistema ou do equipamento em relação ao sistema ou subsistema, respectivamente ($C_f = Q \lambda$).

- BLOCO 5

Indica a contribuição percentual dos valores obtidos no bloco 4 ($C_p = C_f / \sum C_f \times 100 \%$).

- BLOCO 6

Tempo de manutenção corretiva estimado para os subsistemas ou para os equipamentos (Mct).

- BLOCO 7

Contribuição total de todos os tempos de manutenção corretiva ($C_t = C_f Mct$).

- BLOCO 8

Somatório da contribuição de cada fator alocado no subsistema ou no equipamento.

- BLOCO 9

Somatório dos valores obtidos no bloco 7.

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	Bloco 9
TOTAL								

Figura 20 - Formatação para alocação da manutenibilidade

Como exemplo é mostrado na figura 21 o diagrama em blocos com a estrutura hierárquica da instrumentação nuclear de um reator nuclear de pesquisa, com os respectivos fatores quantitativos.

Os subsistemas são definidos como canal de pulsos (CP), canal logarítmico (CLOG), canal linear (CLIN), canal de potência (CPOT) e canal de comparadores (COMP). O canal de pulsos apresenta os seguintes equipamentos: Pré-amplificador (PRÉ), amplificador / simulador de pulsos (AMP), medidor de taxa de contagem (MTC), contador temporizador (CT), fonte de baixa tensão (FBT) e fonte de alta-tensão (FAT). O canal logarítmico apresenta os seguintes equipamentos: Medidor de corrente logarítmico (MCL), simulador (SIM), fonte de baixa tensão (FBT) e fonte de alta-tensão (FAT). O canal linear apresenta os seguintes equipamentos: Medidor de corrente linear (MLI), simulador (SIM), fonte de baixa tensão (FBT), fonte de alta-tensão (FAT) e controlador automático de fluxo (CAF). O canal de potência apresenta os seguintes equipamentos: Medidor de corrente logarítmico e linear (MCLI), simulador (SIM), fonte de baixa tensão (FBT), fonte de alta-tensão (FAT) e medidor de reatividade (MR). O canal de comparadores apresenta os seguintes equipamentos: Comparador das fontes de alta-tensão (CFAT), comparador de variáveis (CVR) e fonte de baixa tensão (FBT). Considerar que a instrumentação nuclear deva se projetada para disponibilidade inerente de 0,9989 (Ai), tempo médio entre falhas (MTBF) de 4500 horas, confiabilidade (R) de 0,9978 e taxa de falha (λ) de 0,0002222. A finalidade é a de alocar o tempo médio de manutenção corretiva (\bar{M}_{ct}) para o sistema, subsistemas e equipamentos.

O \bar{M}_{ct} para o sistema é calculado da seguinte forma:

$$\bar{M}_{ct} = [MTBF (1 - A_i)] / A_i = [450 (1 - 0,9989)] / 0,9989 = 4,95$$

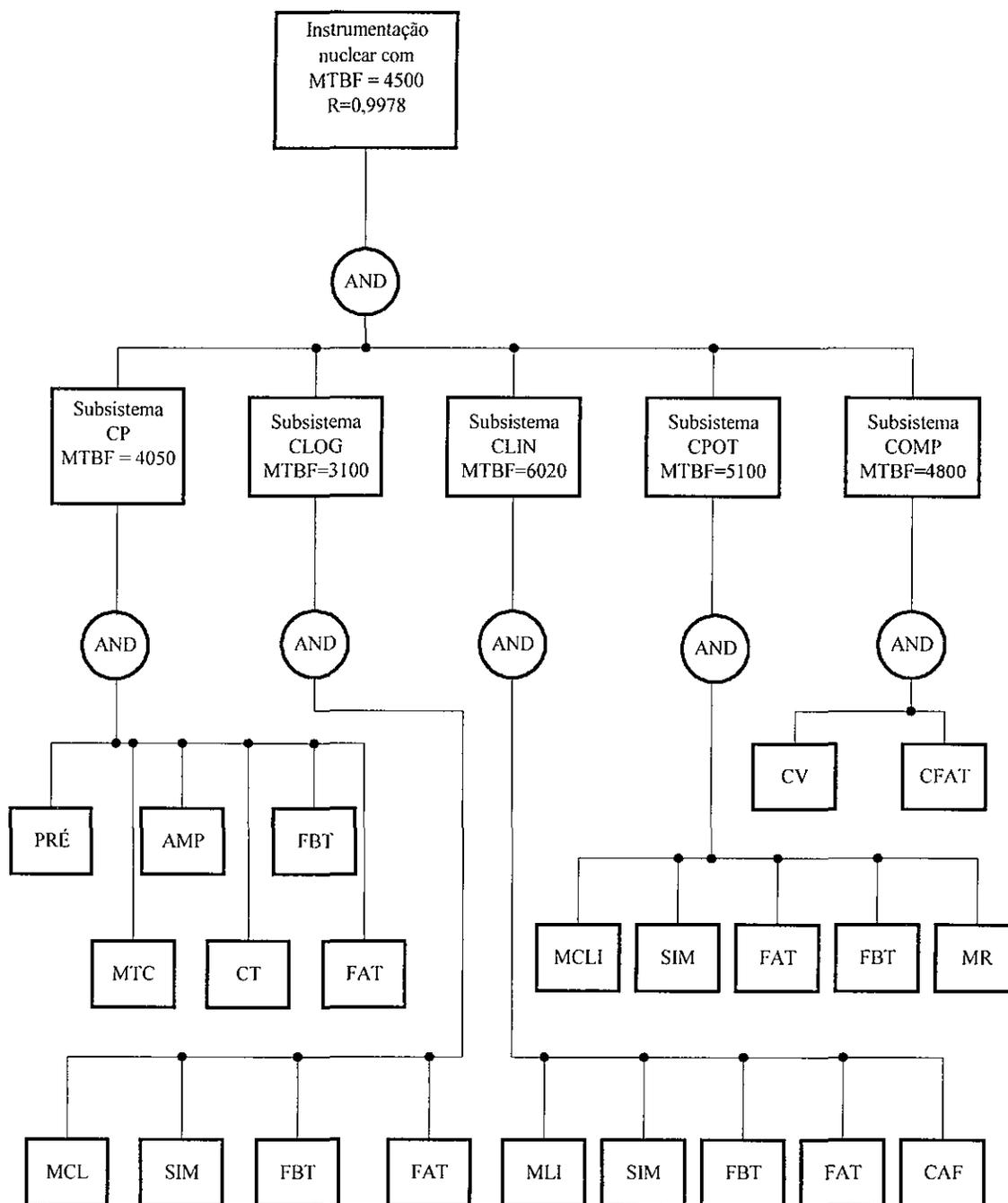


Figura 21 - Diagrama funcional hierárquico da instrumentação nuclear de um reator de pesquisa

A formatação para alocação da manutenibilidade no sistema instrumentação nuclear é mostrada na tabela 6.

Subsistema s	Q	$\lambda \times 1000$ Hrs	Cf	Cp	Mct	Ct
CP	1	0,246	0,246	21,62	6	1,48
CLOG	1	0,322	0,322	28,30	6	1,93
CLIN	1	0,166	0,166	14,59	3	0,50
CPOT	1	0,196	0,196	17,21	4	0,79
COMP	1	0,208	0,208	18,28	3	0,62
TOTAL			1,138			5,32

Tabela 7 - Formatação para alocação da manutenibilidade da instrumentação nuclear

O cálculo do tempo médio total de manutenção corretiva para a instrumentação nuclear de um reator de pesquisa é calculado a seguir:

$$\bar{M}_{ct} = \sum C_t / \sum C_f = 5,32 / 1,138 = 4,67 \text{ Horas}$$

Portanto o tempo médio de manutenção corretiva alocado para o sistema é menor que o tempo médio de manutenção corretiva calculado, comprovando assim a análise, ou seja:

$$4,67 \text{ horas} < 4,95 \text{ horas}$$

Prosseguindo na análise é necessário alocar o tempo médio de manutenção corretiva para cada subsistema. Como exemplo é mostrado a formatação para alocação da manutenibilidade, tabela 8, no subsistema canal de pulsos.

CP	Q	$\lambda \times 1000$ Hrs	Cf	Cp	Mct	Ct
PRÉ	1	0,0220	0,0220	9,36	0,2	0,044
AMP	1	0,0330	0,0330	14,04	0,3	0,099
FBT	1	0,0340	0,0340	14,47	0,3	0,102
FAT	1	0,0620	0,0620	26,38	0,3	0,186
MTC	1	0,0520	0,0520	22,13	0,4	0,208
CT	1	0,0320	0,0320	13,62	0,4	0,128
TOTAL			0,235			0,767

Tabela 8 - Formatação para alocação da manutenibilidade no canal de pulsos

O tempo médio de manutenção corretiva para o canal de pulsos é de:

$$\bar{Mct} = \sum Ct / \sum Cf = 0,767 / 0,235 = 3,26 \text{ horas}$$

Esse tempo é menor que o especificado, confirmando a análise, ou seja:

$$3,26 \text{ horas} < 6,0 \text{ horas}$$

5.5 ANÁLISE DO MODO DE FALHAS, EFEITO E CRITICALIDADE

Técnica utilizada pelo setor de projeto que começa na fase do projeto inicial e termina no projeto detalhado. Tem a finalidade de assegurar que os modos de falhas potenciais e suas causas e efeitos foram avaliados, identificar as ações que têm como finalidade eliminar ou

reduzir a possibilidade da falha ocorrer, além de documentar todo o processo de análise. São consideradas duas etapas, que combinadas geram esta análise:

- ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA
- ANÁLISE DE CRITICALIDADE

5.5.1 ANÁLISE DO MODO E EFEITO DA FALHA

Tem como função dá suporte ao desenvolvimento do projeto, reduzindo os riscos de falhas, auxiliando na avaliação objetiva dos requisitos de projeto e das soluções alternativas. Desenvolve também uma lista com os modos de falhas potenciais de acordo com os efeitos no cliente, gera uma documentação para recomendar ações de redução do risco e avalia as modificações no projeto. Esta análise é uma ação efetiva antes do evento e não após o fato. É um documento que deve ser continuamente atualizado de acordo com as modificações e informações obtidas durante a fase inicial e detalhada do projeto, pois a análise deve estar finalizada quando o projeto estiver desenvolvido. Para se realizar a análise do modo e efeito da falha as seguintes etapas devem ser realizadas:

- *Definir as especificações do projeto e as necessidades do usuário.*
- Realizar a análise funcional do projeto através de um diagrama funcional.
- Realizar a alocação das especificações do projeto a partir do nível do sistema até o nível do equipamento.
- Identificar os modos de falhas, ou seja, a maneira pela qual um item falha em realizar sua função. Por exemplo: Um relé que não fecha seus contatos.
- Determinar a causa da falha. Está relacionado com a análise do processo, determinando a causa responsável pela ocorrência da falha.
- Determinar os efeitos da falha. O impacto da falha na maioria das vezes não afeta somente a performance e a eficácia do item em estudo. Portanto, é necessário considerar os efeitos nos níveis hierarquicamente superior do item afetado, no processo subsequente e no usuário final.

- Identificar os meios utilizados para detecção da falha. Está relacionado com os procedimentos de controle e verificação do processo e com a utilização de equipamentos de testes.
- Determinar a taxa de severidade do modo de falha para cada modo de falha do projeto e fornecer e estabelecer as ações prioritárias corretivas. A primeira prioridade será dada à eliminação das categorias identificadas como I (catastróficas) e II (críticas), onde a perda dos parâmetros de entrada ou saída é considerada crítica para o sucesso operacional. Quando os modos de falhas identificados como sendo de categoria I ou II não puderem ser eliminados ou controlados, recomendações alternativas deverão ser apresentadas. A referência [29] propõe a classificação dos efeitos das falhas nos seguintes grupos de severidade, mostrado na tabela 9 e nos índices de classificação da probabilidade de severidade dos modos de falha apresentado na tabela 10.

CATEGORIA	CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
I	Catastrófica	Pode resultar em mortes ou perda do sistema
II	Crítica	Pode causar acidentes ou danos ao sistema resultando no cancelamento da missão
III	Marginal	Pode causar danos leves ao sistema resultando no atraso da missão ou na diminuição da disponibilidade
IV	Mínima	Falha não séria o suficiente para causar acidentes ou danos ao sistema, mas resultando em uma manutenção não programada

Tabela 9 - Classificação de severidade de falhas

Efeitos da severidade	Classificação
Menor	1 - Os efeitos destas falhas não causarão nenhum efeito real no projeto nem no seu desempenho. O usuário, provavelmente não notará a falha.
Baixa	2 e 3 - Os efeitos destas falhas causarão apenas um ligeiro aborrecimento ao usuário. O usuário, provavelmente, notará uma leve deterioração no desempenho do projeto.
Moderado	4, 5 e 6 - Os efeitos destas falhas causarão algumas insatisfações ao usuário. O usuário notará alguma deterioração em algum subsistema ou no desempenho do projeto.
Alta	7 e 8 - Os efeitos destas falhas causarão um alto grau de insatisfação tais como: A inoperância de algum subsistema. Tais falhas não envolvem a segurança do projeto nem comprometem as regulamentações governamentais.

Muito alta	9 e 10 - Os efeitos destas falhas afetarão a segurança da operação do projeto e envolvem o não cumprimento das regulamentações governamentais.
------------	--

Tabela 10 - Índices de classificação de probabilidade de severidade do modo de falha

- Determinar a taxa de ocorrência do modo de falha, ou seja, a frequência de ocorrência de cada modo individual de falha. A referência [29] propõe uma abordagem qualitativa e outra quantitativa. A qualitativa é recomendada quando a informação da taxa de falha não é disponível. A tabela 11 mostra esta classificação. A tabela 12 mostra a abordagem quantitativa quando a taxa de falha do componente e o tempo de operação do projeto são disponíveis.

CATEGORIA	GRAU DE PROBABILIDADE
A	Extremamente provável - Probabilidade de ocorrência maior do que 0,20
B	Provável - Probabilidade de ocorrência maior do que 0,10 e menor do que 0,20.
C	Razoavelmente provável - Probabilidade de ocorrência maior do que 0,01.
D	Improvável - Probabilidade de ocorrência maior do que 0,001 e menor do que 0,01.
E	Remota - Probabilidade de ocorrência menor do que 0,001.

Tabela 11 - Abordagem qualitativa da probabilidade do ocorrência

Probabilidade do modo de falha	Classificação	Possível taxa de falha na vida do projeto
--------------------------------	---------------	---

Remota - Falha improvável	1	< 1 em 100000
Baixa - Poucas falhas	2	1 em 20000
	3	1 em 4000
Moderada - falhas ocasionais	4	1 em 1000
	5	1 em 400
	6	1 em 80
Alta - Repetida falhas	7	1 em 40
	8	1 em 20
Muito alta - Quase inevitável	9	1 em 8
	10	1 em 2

Tabela 12 - Abordagem quantitativa da probabilidade de ocorrência

- Determinar a probabilidade de que uma falha seja detectada, ou seja, probabilidade de que os equipamentos de testes incluídos no projeto, procedimentos de controle e verificação detectem os modos de falhas em potencial. A tabela 13 mostra os índices de classificação para a probabilidade de detecção.

Probabilidade de detecção	Classificação
Muito alta - Quase que certamente, o programa de detecção e verificação detectará uma potencial falha no projeto.	1 e 2
Alta - Boas chances de detecção de uma potencial falha no projeto.	3 e 4
Moderada - O programa de detecção e verificação deverá detectar alguma falha	5 e 6

potencial no projeto.	
Baixa - O programa de detecção e verificação, não provavelmente, detectará alguma potencial falha no projeto.	7 e 8
Muito baixa - O programa de detecção e verificação, provavelmente, não detectará uma potencial falha no projeto.	9
Certeza absoluta de não detecção	10

Tabela 13 - Índices de classificação de probabilidade de detecção

FORMATAÇÃO PARA ANÁLISE DO MODO E EFEITOS DE FALHAS

A figura 22 mostra esta formatação obtida através da referência [29]. A seguir será descrito o significado de cada uma das informações contidas nesta análise.

-Definição do sistema

-Diagrama esquemático utilizado

-Definição da missão

-Identificação funcional do equipamento: O nome do equipamento que está sendo analisado.

-Função: Um resumo da função do equipamento.

-Modo de falha e causas: Modos de falhas potenciais devem ser determinados pela análise das saídas funcionais identificadas no diagrama em blocos esquemático. Desde que, uma falha pode ter mais de uma causa, todas as causas independentes e prováveis devem ser identificadas e descritas. Para assegurar que uma análise completa será realizada, cada modo de falha e sua função de saída será examinada de acordo com as seguintes condições:

a-operação prematura

b-Falha durante a operação em um tempo determinado

c-Operação intermitente

d-Falha na interrupção da operação durante um tempo determinado

e-Perda nas informações de saída durante a operação

f-Saída degradada

g-outras falhas

-Fase da missão e modo operacional: Descrição da fase da missão e da operação em que ocorreu a falha.

-Efeito da falha: Efeito da falha na função, “status” e operação do sistema.

- Efeito local (L): Descrição do impacto da falha na operação e função do equipamento.
- Nível posterior (P): Descrição do impacto da falha na operação e função do equipamento conectado ao equipamento analisado.
- Efeito final (F): Avaliação e definição do efeito total da falha do equipamento na operação, funcionamento e “status” do sistema.

-Método de detecção de falha: Descrição dos métodos de detecção de falhas utilizado pelo operador. Por exemplo: indicação sonora, visual, através de canais de comparadores, medidores e circuitos de monitoração e desligamento automáticos. É constituído por:

- Indicação (IN): Descrição das indicações que evidenciam ao operador a falha do sistema.

a-Normal: Indicação evidente ao operador, que o sistema está em operação normal.

b-Anormal: Indicação evidente ao operador, que o sistema não está em operação normal.

c-Incorreta: Indicação incorreta ao operador devido ao mau funcionamento ou falha dos indicadores visuais, sonoros ou sistemas de monitoração.

- Isolação (IS): Descrição dos procedimentos que permitem ao operador isolar as falhas. Os procedimentos de isolação requerem uma série de ações realizadas pelo operador, seguida de uma verificação dos instrumentos e controles até a perfeita isolação da falha.

				L	P	F	IN	IS	DP	AO		

Figura 22- Formatação para análise dos modos de falhas e efeitos

5.5.2 ANÁLISE DE CRITICALIDADE

Tem como objetivo analisar os aspectos mais críticos do projeto através da introdução da análise de criticalidade. A criticalidade é função da probabilidade de ocorrência do modo de falha, da sua severidade e da probabilidade de que a falha no projeto ou no processo atinga o usuário final. A análise de criticalidade pode ser usada durante o projeto, operação, manutenção ou na avaliação de modificações introduzidas no sistema. No projeto auxilia na avaliação da necessidade de se usar dispositivos de segurança ou de redundância, com a finalidade de aumentar a confiabilidade. Na fase de operação e manutenção identifica falhas de componentes que poderiam causar sérios acidentes. Na fase de modificação identifica o efeito dessas mudanças sobre os equipamentos que formam o sistema. Além disso, pode analisar os sistemas ou subsistemas individualmente. O número de prioridade de risco (NPR) é uma medida quantitativa para se avaliar e acompanhar o risco do modo de falha. O cálculo do NPR é feito pelo produto de três outras medidas quantitativas:

P - Índice de probabilidade de ocorrência mostrado na tabela 12.

S - Índice da severidade do modo de falha mostrado na tabela 10.

D - Índice de probabilidade de que a falha no processo ou no projeto atinga o usuário final mostrado na tabela 13.

Após ser realizado o cálculo do NPR, pode-se classificar os modos de falhas e realizar ações corretivas sobre os itens mais críticos. O objetivo é o de reduzir as classificações de ocorrência, severidade e/ou detecção. O aumento nas ações de verificação do projeto, resulta na redução da classificação de detecção. A redução na classificação da ocorrência é efetuada pela remoção ou controle de uma ou mais causas do modo de falhas através da alteração no projeto. A revisão do

projeto acarreta a redução na classificação da severidade. Após estas ações corretivas terem sido implementadas os novos índices de ocorrência, severidade e detecção serão registradas implicando em um novo NPR. A referência [29] apresenta a formatação utilizada para este tipo de análise, mostrada na figura 23. A seguir é descrito o significado de cada uma das informações contidas nesta análise.

-Definição do sistema

-Diagrama esquemático utilizado

-Definição da missão

-*Identificação funcional do equipamento: O nome do equipamento que está sendo analisado.*

-Função: Um resumo da função do equipamento.

-Modo de falha e causas: Modos de falhas potenciais devem ser determinados pela análise das saídas funcionais identificadas no diagrama em blocos esquemático. Desde que uma falha pode ter mais de uma causa, todas as causas independentes e prováveis devem ser identificadas e descritas. Para assegurar que uma análise completa será realizada, cada modo de falha e sua função de saída é examinada de acordo com as seguintes condições:

a-operação prematura

b-Falha durante a operação em um tempo determinado

c-Operação intermitente

d-Falha para interromper a operação durante um tempo determinado

e-Perda nas informações de saída durante a operação

f-Saída degradada

g-outras falhas

-Fase da missão e modo operacional: Descrição da fase da missão e da operação em que ocorreu a falha.

-Classificação de severidade das falhas: Definir a classificação.

-Probabilidade de falhas ou taxa de falhas com a especificação das fontes que deram origem às informações.

-Probabilidade do efeito da falha (β): Os valores correspondem as probabilidades condicionadas de que o efeito da falha resultará em uma classificação de criticalidade identificada, dado que a falha ocorra. É quantificada de acordo com a tabela 14.

EFEITO DA FALHA	VALOR DE β
Perda real	1,00
Perda provável	$> 0,10$ a $< 1,00$
Perda possível	> 0 a $=0,10$
Sem efeito	0

Tabela 14- Probabilidade do efeito da falha

-Razão do modo de falha (α): É a probabilidade expressa como uma fração decimal da taxa de falha do componente relacionada a um modo de falha em particular. Se todos os modos de falhas de um componente forem considerados, a soma dos valores da razão de modo de falha para aquele componente é igual a um.

-Taxa de falha do componente (λ_p): Calculado ou obtido através de banco de dados. Os parâmetros a seguir são usados no cálculo da taxa de falha.

ΠA = Fatores de aplicação

ΠE = Fatores ambientais

ΠF = Outros fatores

-Tempo de operação (T): O tempo de operação em horas ou o número de ciclos de operação do equipamento por missão.

-Número de criticalidade para um determinado modo de falha (C_m): Está relacionado ao modo de falha em relação a uma classificação de severidade em particular. É calculado da seguinte forma:

$$C_m = \beta \alpha \lambda_p T \times 10^6$$

-Número de criticalidade do componente (Cr): É o número de falhas do sistema devido ao modo de falhas do componente. Para uma classificação de severidade em particular, o número de criticalidade do componente é a soma dos números de criticalidade para cada modo de falha. É calculado da seguinte forma:

$$Cr = \sum_{n=1}^j (\beta \alpha \lambda_p T)_n \times 10^6 \text{ para } n= 1, 2, 3, \dots, j$$

onde:

n = Modos de falha do componente relacionado com uma classificação de criticalidade em particular.

j = Último modo de falha do componente relacionado com uma classificação de criticalidade em particular.

SISTEMA:

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO:

MISSÃO:

EQP	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	FASE DA MISSÃO / MODO OPER.	CLASS.	PROB.	β	α	λ_p	T	Cm	Cr

Figura 23 - Formatação para análise de criticalidade

Com o objetivo de melhorar o entendimento da análise do modo de falhas, efeito e criticalidade é apresentado na figura 24 um exemplo prático onde é abordado o atendimento a um cliente através do fornecimento de componentes. Neste formulário é apresentado alguns itens potenciais de falhas detectadas. Através da análise do NPR obtido tomam-se decisões objetivas, conforme as metas a serem atingidas. Portanto, através de um acompanhamento

diário sobre o estoque e treinamento adequado, os riscos de atingir o nível de insatisfação do cliente foi diminuído.

Item	Função	Modo de falha	Efeito	Causa	Controle atual	P	S	D	Risco
Almoxarifado	Entrega de componentes	Atraso	Atraso na entrega	Excesso de pedidos	Nenhum	4	5	3	60
				Funcionário Faltoso	Desconto do salário	4	5	5	100
				Falta de componentes	Controle manual estoque	2	9	8	144

Figura 24 A - Exemplo prático da análise do modo de falhas, efeito e criticalidade

Ação recomendada	Ação tomada	P	S	D	Risco
Aumento da equipe	Contratação de um assistente	3	3	4	36
Programa de conscientização	Acompanhamento	4	4	3	48
Controle rigoroso diário	Controle diário	2	9	1	18
Previsão estatística de consumo	Análise estatística	2	9	1	18

Figura 24 B - Continuação do exemplo prático de análise do modo de falhas, efeito e criticalidade

5.6 ANÁLISE DA MANUTENIBILIDADE

Esta atividade está relacionada com a realização da análise funcional do projeto e análise das tarefas de manutenção. Além disso, são implementados estudos sobre as técnicas de diagnósticos e isolamento de falhas.

A análise funcional é considerada como uma análise lógica e sistemática do projeto, que começa na fase definida como projeto inicial e termina na fase do projeto detalhado. O objetivo é o de alocar os requisitos qualitativos e quantitativos nos diferentes níveis hierárquicos do projeto.

Isto é feito com o auxílio do diagrama funcional de fluxo, que analisa os recursos necessários para implementar as funções desejadas, as entradas utilizadas e as saídas desejadas. O diagrama

funcional de fluxo deve ser flexível para poder incorporar informações adicionais, identificando os recursos necessários à medida que as funções sejam realizadas. Os seguintes símbolos constituem um diagrama funcional de fluxo:

- BLOCO FUNCIONAL

É representado por retângulos, que mostram toda função a ser realizada.

- IDENTIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES

É realizada através de números, de maneira a facilitar o entendimento e apresentar a continuidade das atividades.

- REFERÊNCIA FUNCIONAL

São blocos funcionais que fazem referência a um diagrama funcional hierarquicamente superior.

- FLUXOS

Linhas que identificam a sequência das ocorrências.

- PORTAS

Portas “AND” que apresentam as funções em paralelo que devem ser realizadas. Portas “OR” que indicam que pelo menos uma das funções em paralelo devem ser realizadas.

- ENTRADAS, SAÍDAS E RECURSOS

Para cada função identificada no diagrama funcional de fluxo é associada uma entrada, uma saída desejada e os recursos necessários para sua realização.

As funções a serem realizadas em um diagrama funcional de fluxo podem ser classificadas em : Funções operacionais e funções de manutenção.

FUNÇÕES OPERACIONAIS

Referem-se aos objetivos da missão, descrição das diversas fases da missão, dos modos de operação do projeto e sua utilização. A figura 25, obtida da referência [4], mostra um diagrama funcional de fluxo operacional, relacionado com a implementação do projeto.

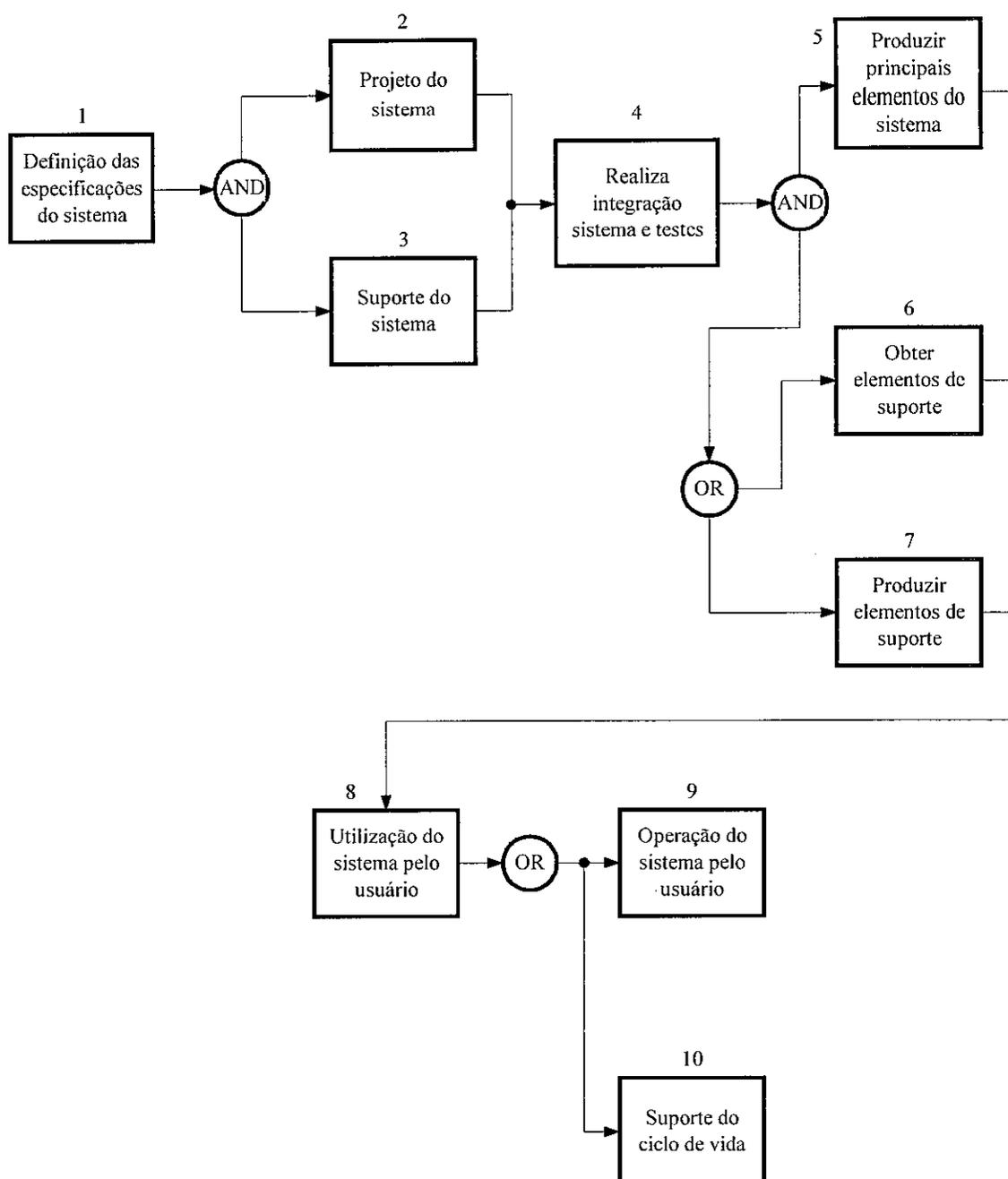


Figura 25 - Diagrama funcional de fluxo operacional

FUNÇÃO DE MANUTENÇÃO

Descreve as atividades relacionadas com a manutenção, identificando os requisitos de manutenibilidade e de suporte para o sistema analisado. A figura 26, obtida da referência [4],

mostra um diagrama funcional de fluxo de manutenção de um subsistema de comunicação.

Também é apresentado a tabela 15 com as entradas, saídas e recursos associados para as funções descritas na figura 26.

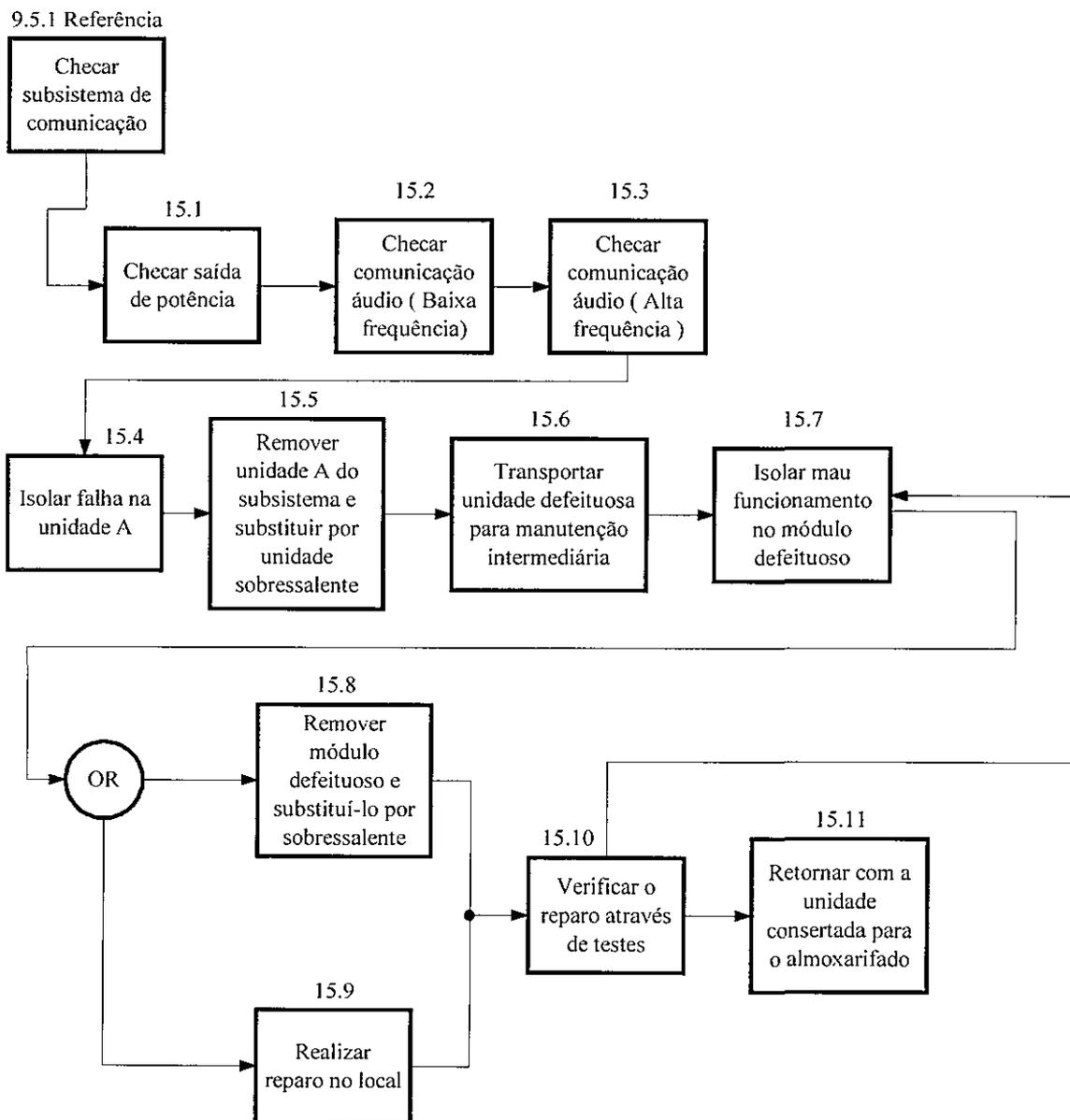


Figura 26 - Diagrama funcional de fluxo de manutenção

Número da função	Descrição da função	Entradas	Saídas	Recursos	Comentários
15.4	Isolar falha na unidade A	Gerar sinal de teste para a unidade A	Não há sinal de áudio na unidade A	Equipamentos de teste embutidos, pessoal de operação especializado	Unidade A está defeituosa
15.5	Remover unidade A do subsistema e substituí-la por sobressalente	Unidade sobressalente retirada do almoxarifado	Unidade sobressalente instalada no subsistema	Ferramentas padrões, grupo de manutenção especializado, equipamentos de teste embutidos	Ações realizadas no local de operação

Tabela 15 - Entradas, saídas e recursos necessários

Após a análise funcional do sistema, ou seja, definição do sistema, seus principais elementos e identificação dos recursos necessários, se inicia a identificação e avaliação das várias configurações do projeto. Descreve-se então o objetivo da análise, os critérios utilizados na

avaliação da viabilidade e a identificação das áreas potenciais de risco. Após a escolha do melhor modelo inicia-se o processo de coleta de dados e finalmente a análise da configuração escolhida. A figura 27, obtida da referência [4], mostra as etapas incluídas no processo de análise do projeto.

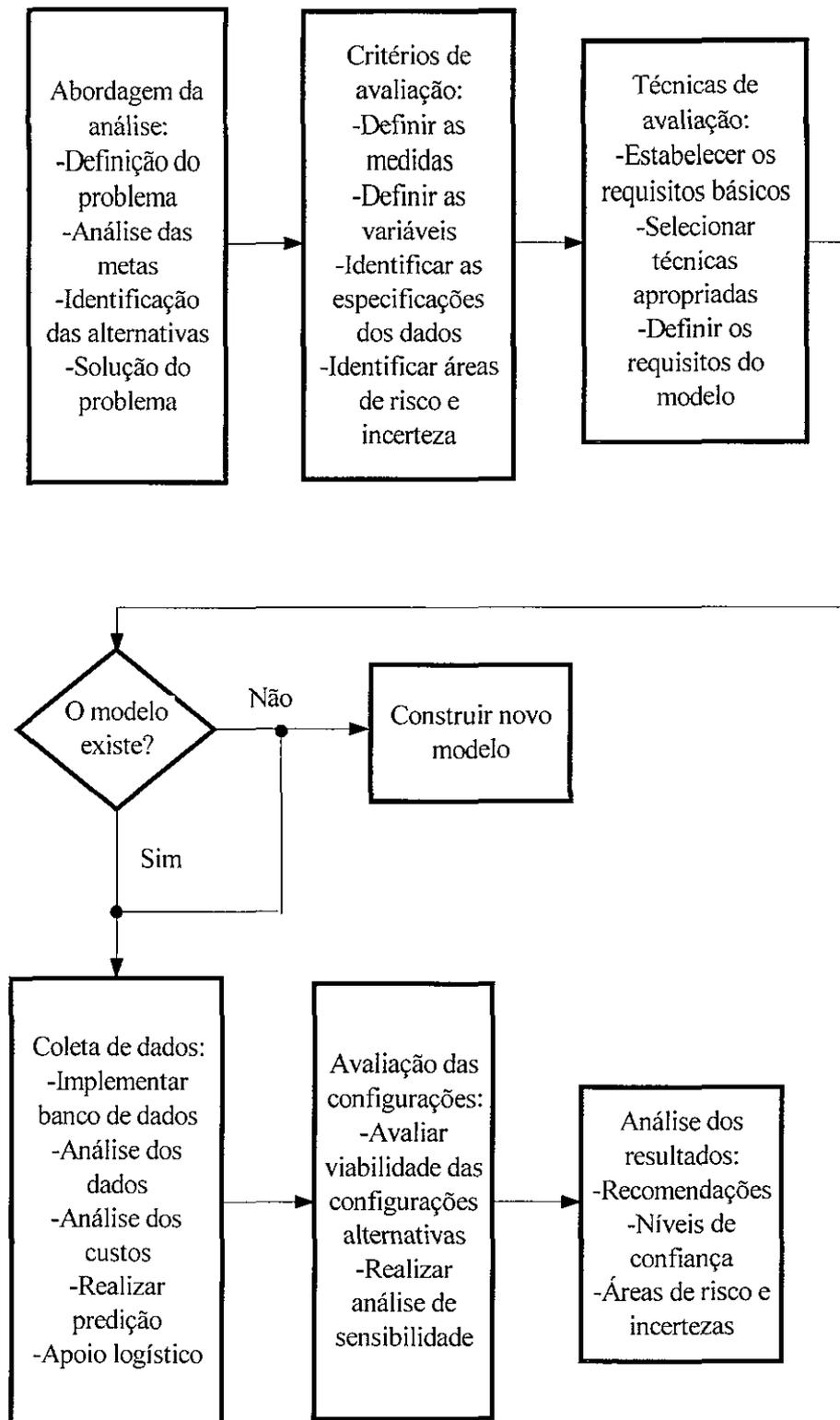


Figura 27 - Análise do projeto

Após a configuração do projeto ser definida é necessário alocar os requisitos quantitativos do sistema até o nível dos componentes. É realizada a alocação da confiabilidade nos subsistemas, unidades, módulos, submódulos, componentes e finalmente a alocação da manutenibilidade.

5.6.1 ANÁLISE DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Tem como objetivo determinar a configuração do projeto em relação as características da manutenibilidade e identificar os recursos necessários para a manutenção e suporte do ciclo de vida. Tais recursos incluem: Grupo de manutenção, treinamento, equipamentos de testes e suporte, peças sobressalentes, transporte, manuseio, facilidades, dados técnicos.

As tarefas de manutenção podem ser classificadas da seguinte maneira segundo a referência [4]: Alinhamento ou ajustes, calibração, monitoração, testes funcionais, inspeção, revisões, retirada, retirada e instalação, serviços gerais (lubrificação, limpeza, etc), diagnóstico de falhas- processo lógico com a identificação inicial do mau funcionamento através de equipamentos de testes embutidos e posterior isolação da falha.

A análise das tarefas de manutenção pode ser realizada através do formato mostrado na figura 28.

- Bloco 1

Nome do sistema.

- Bloco 2

Identificação do subsistema, unidade, módulo, submódulo ou componente relacionado com a análise da tarefa.

- Bloco 3

Identificação do nível hierarquicamente superior ao nível analisado no bloco 2.

- Bloco 4

Descrição do defeito que justifica a realização da manutenção.

- Bloco 5

Número de 1 a 99 que especifica a análise da tarefa de manutenção para cada item.

- Bloco 6

Especificação da atividade de manutenção, como por exemplo: Calibração.

- Bloco 7

Número total de atividades de manutenção, especificadas através do bloco 6, por horas de operação do sistema.

- Bloco 8

Tipo de manutenção, ou seja, intermediária, depósito, organizacional.

- Bloco 9

Identificação do número de tarefas realizadas, como por exemplo: Tarefa 1, tarefa 2, tarefa 3, etc.

- Bloco 10

Descrição das tarefas realizadas, como por exemplo: Tarefa 1-isolar falha no subsistema, tarefa 2- isolar falha na unidade.

- Bloco 11

Tempo gasto em cada tarefa realizada, como por exemplo: Tarefa 1-5 minutos, tarefa 2-10 minutos.

- Bloco 12

Tempo total gasto nas tarefas de manutenção.

- Bloco 13

Número de técnicos com nível básico de escolaridade que realizaram as tarefas.

- Bloco 14

Número de técnicos com nível intermediário de escolaridade que realizaram as tarefas.

- Bloco 15

Número de técnicos com nível superior de escolaridade que realizaram as tarefas.

- Bloco 16

Número total de técnicos para cada nível de escolaridade que realizaram as tarefas.

Bloco 1	Bloco 2		Bloco 3		Bloco 4		
Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	Bloco 9			
Bloco 10	Bloco 11		Bloco 12		Bloco 13	Bloco 14	Bloco 15
					Bloco 16		

Figura 28 - Formatação para análise das tarefas de manutenção

5.6.2 DIAGNÓSTICO DE FALHAS

Descreve as funções realizadas e as técnicas empregadas na detecção e isolamento das causas que geram o mau funcionamento na operação do sistema ou na determinação do seu status operacional. O objetivo principal da manutenibilidade relacionada com as técnicas de diagnóstico é a redução das paradas do sistema, através de uma estratégia de localização rápida de falhas. Algumas características são inerentes no desenvolvimento de um sistema de diagnóstico de falhas, entre as quais podem-se citar:

- Minimização das condições de alarmes falsos.
- Maximização da testabilidade, desde o sistema até o componente.
- Tornar flexível o sistema de diagnóstico, permitindo que mudanças sejam incorporadas nos algoritmos de diagnósticos e nos circuitos, com um mínimo impacto no projeto.
- Utilizar técnicas de integração entre o “hardware” e o “software”.
- Utilizar “software” de simulações de falhas.

Algumas técnicas são sugeridas por especialistas, segundo a referência [7], com a finalidade de otimizar o desenvolvimento de um sistema de diagnóstico de falhas:

- Realizar testes, inclusive ambientais, com a finalidade de descobrir possíveis indicações falsas de alarmes.
- Aumentar o número de falhas inseridas no programa de demonstração.
- Desenvolver um biblioteca de modelos de simulação
- Adotar a análise comparativa como uma ferramenta útil para identificar um grupo de falhas.
- Desenvolver técnicas de demonstração com a finalidade de medir a performance do diagnóstico de falhas.

As técnicas de diagnósticos de falhas utilizam a análise lógica para detectar as causas relacionadas com as falhas do sistema. Deve ser gerada uma descrição das questões a serem perguntadas, dos testes a serem conduzidos e das ações a serem determinadas, dependendo das respostas obtidas. Dados obtidos pelo técnico permitem, que ele aceite ou rejeite cada componente testado. Em sistemas eletrônicos o fluxo de sinal é de vital interesse no diagnóstico. No padrão simples em série o fluxo de dados vai de um componente para outro, até que o sinal desapareça ou se deteriore, indicando assim o componente falho. No padrão complexo série paralelo, existem pontos onde o fluxo de dados percorre caminhos paralelos e em série, dificultando a localização do componente defeituoso. No padrão utilizando realimentação, a dificuldade de localização de falhas é maior pois o sinal é desviado da saída para entrada, dificultando o acompanhamento do fluxo de dados. Os seguintes equipamentos citados a seguir auxiliam na detecção e isolamento de falhas no sistema:

-Equipamentos de testes automático: É um equipamento projetado para realizar automaticamente a análise de parâmetros funcionais e para avaliar o grau de degradação da performance da unidade em teste. As funções de decisão, controle ou avaliação são realizadas com uma mínima intervenção humana e geralmente com o controle de um computador. É utilizado para detectar e isolar uma falha automaticamente e para checar as ações de

manutenção. São separados fisicamente da unidade em teste e seu custo é relativamente grande. Se os resultados obtidos através dos equipamentos de testes automáticos não forem considerados confiáveis, alarmes falsos podem resultar na parada do sistema, reduzindo a disponibilidade e resultando em manutenções desnecessárias. Quando utilizados adequadamente produzem resultados acurados, diminuindo o tempo de manutenção. As características de testes incorporadas nos equipamentos de testes automáticos são baseadas nas seguintes considerações:

- Função do teste ou objetivo: Definir se o objetivo é o de melhorar a manutenibilidade, otimizar a performance do sistema, monitorar o aprestamento operacional, aumentar a disponibilidade ou uma combinação desses objetivos.
- Modo de teste: Definir se os equipamentos de testes automático serão usados “on-line” com o sistema operando, “on-line” com o sistema em teste ou “off-line”.
- Nível de detecção: Determinar se a detecção da falha é a nível do equipamento, subsistema ou circuitos individuais.
- Grau de isolamento da falha: Determinar se a isolamento da falha é a nível de equipamento, subsistema ou circuitos individuais.

-Equipamentos de testes embutidos (“BITE”): Equipamento capaz de detectar e isolar automaticamente falhas no sistema e realizar diagnósticos de teste. Isto é feito através da monitoração periódica e contínua da condição operacional do sistema. O “BITE” pode ser em forma de diodos emissores de luz, medidores ou equipamentos auxiliares mais sofisticados de análise e processamento de sinal. Fornece ao técnico dados sobre as condições dos pontos de testes do sistema. Pode ser de vários tipos:

- Ativo: Interfere temporariamente no sistema principal, através da introdução de um teste
- Contínuo: Monitora de modo contínuo a operação do sistema.
- Inicializador: Executa uma ação depois da ocorrência de um evento externo. Por exemplo, uma ação do operador.

- Passivo: É parte integrante do sistema, não interferindo no seu funcionamento.
- Periódico: Realiza testes periódicos.
- “Turn-on”: Executa um teste específico sempre que o sistema é inicializado.

5.7 PREDIÇÃO DA MANUTENIBILIDADE

O objetivo da predição da manutenibilidade é o de verificar se as especificações do projeto, inicialmente alocadas, são adequadas permitindo a determinação dos níveis de confiança para o teste de demonstração da manutenibilidade. Os estudos relacionados com a predição são realizados a partir da fase inicial do projeto, após a determinação das especificações técnicas, quando os dados disponíveis permitem uma avaliação quantitativa das características do projeto. O processo de predição a partir desta etapa deve ser atualizado e otimizado à medida que mais dados são obtidos. Uma das características da predição é a identificação das áreas que justificam a melhoria, modificação ou mesmo alteração do projeto. Outra característica útil da predição é a de permitir ao usuário determinar o tempo de paralisação, a quantidade de técnicos atuando na manutenção e verificar se as ferramentas e equipamentos de testes são adequados e consistentes com as necessidades operacionais do sistema. A predição da manutenibilidade, como uma ferramenta de avaliação do projeto, é função dos dados de entrada, da metodologia usada e do conhecimento técnico do projetista. As técnicas de predição dependem do tipo de projeto a ser analisado, dos dados e informações disponíveis. A seguir são apresentados alguns métodos utilizados na análise da predição do projeto.

5.7.1 MÉTODO 1

Este método descreve um procedimento para a realização da predição da manutenibilidade utilizando os princípios básicos de seleção de uma amostra aleatória. Os grupos típicos de itens substituíveis são por exemplo, os resistores, transistores, capacitores. O procedimento fundamental consiste na seleção randômica de uma amostra representativa de itens substituíveis da população total de peças e componentes que constituem o sistema. A amostra total de tamanho N , inclui peças e componentes de todos os grupos de itens utilizados. A amostra N é subdividida em um número de subamostras de tamanho n , chamada amostra tarefa. Cada uma amostra tarefa representa um grupo específico de peças e componentes, como por exemplo, resistores, capacitores, motores. O tamanho n dessa amostra tarefa é determinado

considerando a frequência relativa de falha para um grupo particular de itens substituíveis. Isto significa, que grupos de itens que possuem uma maior taxa de falha podem ser representados por uma maior subamostras do que os grupos de itens que possuem uma menor taxa de falha. O uso da amostra aleatória na predição do tempo de parada é justificado, devido a uniformidade do projeto com relação aos grupos semelhantes de itens substituíveis. Em média, o tempo para reparar uma falha em um resistor ou capacitor é o mesmo, pois os métodos de montagem, localização da falha, ajuste, calibração e teste final são similares para componentes substituíveis de um mesmo grupo. Se uma quantidade suficiente de amostra tarefa é *randomicamente selecionada de cada grupo de itens substituíveis*, a predição do tempo de parada pode ser quantificada através da simulação do sistema em operação. O método utiliza três listas de verificação denominadas A, B e C relacionadas com os fatores que influenciam no projeto. A lista A está relacionada com os fatores que influenciam nas características físicas do projeto, a lista B está relacionada com as facilidades introduzidas no projeto e a lista C com o nível de especialização, experiência e treinamento do grupo de manutenção. Esses dados são obtidas através das tarefas de manutenção simuladas e algumas informações são necessárias:

- Diagramas esquemáticos.
- “Lay-out” dos circuitos.
- Conhecimento sobre a operação do sistema.
- Descrição das ferramentas e equipamentos de testes.
- Facilidades relacionadas a manutenção incorporadas ao projeto.
- Análise da manutenção: Antes de iniciar a pontuação de cada tarefa é importante verificar os sintomas de mau funcionamento, anotar as etapas necessárias na localização das peças defeituosas e especificar os equipamentos de teste. A figura 29 ilustra a formatação usada nesta análise.

EQUIPAMENTO: COMPONENTE:
 FUNÇÃO PRIMÁRIA DO COMPONENTE QUE FALHOU:
 MODO DE FALHA:
 SINTOMAS DO MAU FUNCIONAMENTO:

ANÁLISE DA MANUTENÇÃO	
ETAPAS NA MANUTENÇÃO	COMENTÁRIOS

LISTA DE VERIFICAÇÃO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOTAL
A															
B															
C															
TEMPO DE PARALISAÇÃO CALCULADO															

Figura 29 - Formatação para predição da manutenibilidade

- Diagrama de manutenção do sistema: Detalha claramente o diagrama funcional do sistema, com os pontos de testes , formas de ondas, fluxo dos sinais e outras informações que auxiliam na determinação dos sintomas de mau funcionamento e na seleção das etapas necessárias para isolamento do defeito. O diagrama esquemático pode ser expandido em vários níveis dependendo da complexidade do equipamento e das informações disponíveis.

O tempo de paralisação é calculado utilizando-se as respostas das listas de verificação, figura 29, que são convertidas em pontuação e através de uma equação empírica calculado o tempo de manutenção corretiva, referência [18].

São apresentadas a seguir as etapas envolvidas na análise deste método:

I - DETERMINAÇÃO DA AMOSTRA DE TAMANHO N

O tamanho da amostra é calculado através da seguinte fórmula:

$$N = (\phi \sigma) / (K \bar{X})$$

onde:

ϕ = Nível de confiança

σ = Desvio padrão da população

\bar{X} = Média da população

K = Exatidão da predição, percentual da média.

Quando amostras de um tamanho específico são retiradas de uma população em particular, a média calculada para cada amostra pode variar. Essa variação depende da variância da população original e do tamanho da amostra. Considere entretanto, que a média da amostra normalmente distribuída possui a mesma média da população original. O desvio padrão da média da amostra está relacionada com a população original através da seguinte expressão:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / (N)^{1/2}$$

onde:

$\sigma_{\bar{x}}$ = Desvio padrão das amostras de tamanho N

σ = Desvio padrão da população

N = Tamanho das amostras

A seguinte relação mostrada a seguir, descrita na referência [18], é empregada no cálculo do tamanho da amostra N em função do coeficiente de variação Cv.

$$K \bar{X} = \phi \sigma_{\bar{x}}$$

onde:

ϕ = Nível de confiança da medida (1,645 para um nível de confiança igual a 95%)

logo :
$$K \bar{X} = \phi \sigma / (N)^{1/2}$$

e
$$N = [(\phi \sigma) / (K \bar{X})]^2$$

Seja o coeficiente de variação, C_v , igual a :

$$C_v = \sigma / \bar{X} = \sigma / \bar{Mct}$$

logo:

$$N = [C_v (\phi / K)]^2$$

Segundo a referência [18], um valor estimado para C_v , usado em equipamentos eletrônicos, é de 1,07. É importante enfatizar a diferença entre amostra das tarefas e amostra de tamanho N . Amostra de tamanho N , contém um conjunto do número total de itens substituíveis, aos quais são atribuídos pesos, que são selecionados randomicamente da quantidade total de peças ou componentes de um equipamento ou sistema. A amostra das tarefas é uma subamostra ou um percentual de N , que contém uma quantidade de peças ou componentes representativos de um grupo ou categoria específica.

II - DETERMINAÇÃO DAS SUBAMOSTRAS DAS TAREFAS (n)

Para calcular as subamostras das tarefas (n) é necessário determinar a contribuição da taxa de falha de cada peça e componente na taxa de falha total do sistema ou equipamento. Usando os percentuais citados anteriormente, deve-se calcular quantos dos N itens determinados serão usados para determinar o grupo de subamostras de tamanho n . Finalmente seleciona-se randomicamente de cada tipo de peça ou componente itens suficiente de acordo com os valores calculados anteriormente. Seja o seguinte exemplo, ilustrado na referência [18], onde um equipamento possui as peças e componentes especificadas na tabela 16, com as respectivas quantidades. O número esperado de falhas por 10^6 horas é calculado multiplicando-se a taxa

média de falha pela quantidade dos componentes. A contribuição para o total de falhas esperada é calculada dividindo-se o número esperado de falhas pelo valor total esperado de falhas. Considerando uma amostra N de tamanho 50, o número de falhas para cada amostra é calculado multiplicando-se cinquenta (50) pela contribuição total de falhas esperada. Dessa maneira, obtém-se o valor n das subamostras.

PEÇA	QUANT.	TAXA MÉDIA DE FALHA POR 10 ⁶ HORAS	NÚMERO ESPERADO DE FALHAS POR 10 ⁶ HORAS	CONTRIB. PARA O TOTAL DE FALHAS ESPERADA	NÚMERO DE FALHAS PARA AMOSTRA N = 50	AMOSTRA REAL USADA n
MOTOR	25	1,890	47,250	0,650	0,30	0
CAPACITOR	1280	0,100	128,00	1,760	0,90	1
DIODO	4	29,83	119,32	1,640	0,80	1
CONECTOR	335	0,320	107,20	1,470	0,70	1
RELÉ	43	3,590	154,37	2,120	1,10	1
BOBINA	349	0,330	115,17	1,580	0,80	1
CHAVE	162	0,450	72,900	1,000	0,50	1
RESISTOR	2459	0,150	368,85	5,070	2,50	2
VÁLVULA	380	15,67	5954,6	81,79	40,9	41
CRISTAL	160	1,330	212,80	2,920	1,50	1
TOTAL	5197		7280,46	100 %		50

Tabela 16 - Determinação das subamostras das tarefas

III - CÁLCULO DOS PESOS ATRIBUÍDOS AS LISTAS DE VERIFICAÇÃO

As listas de verificação são usadas para avaliar cada etapa da manutenção, que é simulada através do número de tarefas de manutenção randomicamente selecionadas por grupo e na quantidade calculada através das etapas citadas anteriormente. Para cada pergunta da lista são atribuídos pesos de 0 a 4 e o resultado aplicado em uma equação empírica, referência [18], utilizado para calcular o tempo de paralisação para manutenção.

-Lista de verificação A: É usada para atribuir pesos as tarefas especificadas de manutenção, que são funções das características físicas do projeto, como por exemplo, características de acesso, pontos de testes, visualização, espaço para manutenção.

-Lista de verificação B: É usada para atribuir pesos as características relacionadas as facilidades para manutenção introduzidas no projeto, como por exemplo, equipamentos de testes externos, auxílio do pessoal de operação.

-Lista de verificação C: É usada para atribuir pesos as características físicas, mentais e psicológicas do grupo de manutenção, como por exemplo, análise lógica, memória, paciência, acuidade visual.

IV - CÁLCULO DO TEMPO DE PARALISAÇÃO PARA MANUTENÇÃO

Isto é realizado através da inserção da pontuação das listas de verificação na equação mostrada a seguir, referência [18], desenvolvida através da experiência obtida dos dados coletados em projetos similares operando nas mesmas condições.

Define-se:

Mct = Tempo de manutenção corretiva de tarefas individuais de manutenção

A, B, C = Somatório dos pesos atribuídos a cada uma das listas de verificação.

$Mct = \text{antilog} (3,54651 - 0,02512 A - 0,03055 B - 0,01093 C)$

LISTA DE VERIFICAÇÃO A

1-Acesso externo: Determina se o acesso externo é adequado para inspeções visuais e tarefas de manipulação que antecedem ações internas de manutenção.

- Pontuação

(a) Acesso adequado para tarefas visuais e de manipulação elétrica e mecânica. Não apresenta dificuldades devido a obstrução de cabos, painéis, suportes.....4

(b) Acesso adequado para tarefas visuais, mas não para tarefas manipulativas.....2

(c) Acesso adequado para tarefas manipulativas, mas não para tarefas visuais.....2

(d) Acesso não adequado para tarefas visuais e manipulativas.....0

2-Prendedores e fixadores externos: Determina se parafusos, prendedores externos necessitam de ferramentas especiais, implicando em um maior tempo na remoção de tais itens.

- Pontuação

(a) Parafusos e prendedores são padronizados, não é necessário ferramentas especiais e são retirados sem dificuldade.....4

(b) Apresentam duas das três características citadas no item a. Por exemplo, utilizam chave alien.....2

(c) Apresentam uma ou nenhuma das características citadas no item a.....0

3-Prendedores e fixadores internos: Determina se parafusos, prendedores internos necessitam de ferramentas especiais, implicando em um maior tempo na remoção de tais itens.

- Pontuação

(a) Parafusos e prendedores são padronizados, não é necessário ferramentas especiais e são retirados sem dificuldade.....4

(b) Apresentam duas das três características citadas no item a. Por exemplo, utilizam chave alien.....2

(c) Apresentam uma ou nenhuma das características citadas no item a.....0

4-Acesso interno: Determina se o acesso interno é adequado para inspeções visuais e tarefas de manipulação que antecedem ações internas de manutenção.

- Pontuação

(a) Acesso adequado para tarefas visuais e de manipulação elétrica e mecânica. Não apresenta dificuldades devido ao “lay-out” das placas e localização dos componentes.....4

(b) Acesso adequado para tarefas visuais, mas não para tarefas manipulativas. Componentes e peças são facilmente localizados, entretanto o “lay-out” dificulta as tarefas manipulativas de teste e substituição.....2

(c) Acesso adequado para tarefas manipulativas, mas não para tarefas visuais. Componentes e peças podem ser facilmente testados ou removidos, entretanto a localização não permite uma fácil inspeção visual.....2

(d) Acesso não adequado para tarefas visuais e manipulativas.....0

5-Montagem: Determina o acesso a componentes ou peças através de desmontagem mecânica.

- Pontuação

(a) Acesso interno a componentes ou peças é realizado sem desmontagem mecânica.....4

(b) Acesso interno a componentes ou peças é realizado com desmontagem mecânica em um tempo menor do que três minutos.....2

(c) Acesso interno a componentes ou peças é realizado com desmontagem mecânica em um tempo maior do que três minutos.....0

6-Unidades e peças falhas: Determina a maneira pela qual unidades e componentes são removidos ou recolocados durante as tarefas de manutenção.

- Pontuação

(a) As unidades e peças são do tipo “plug-in” e é necessário apenas retirá-las. Por exemplo, relés, cristais, válvulas que utilizam soquetes.....4

(b) As unidades e peças são do tipo “plug-in”, com proteção e sustentação mecânica através de grampos, prendedores e proteção antichoque.....2

(c) As unidades e peças são soldadas. Por exemplo, resistores e capacitores.....2

(d) As unidades e peças são soldadas, com proteção e sustentação mecânica que necessitam de desmontagem. Por exemplo, transformadores e conectores.....0

7-*Informação visual*: Determina se a informação visual relacionada ao mau funcionamento do equipamento é indicada através de “display”, medidores e indicadores externos.

- Pontuação

(a) Suficiente informação visual do equipamento ou sistema é dado em um mostrador ou medidor. Aplicada se o diagnóstico e reparo podem ser realizados com sucesso através dessa informação.....4

(b) Dois mostradores ou medidores devem ser verificados para obter informações associadas a falha do sistema ou equipamento.....2

(c) Mais do que dois mostradores ou medidores devem ser verificados para obter informações associadas a falha do sistema ou equipamento.....0

8-*Indicadores de operação e falha (Equipamentos de teste embutidos)*: Determina se o mau funcionamento ou falha é mostrado através de alarmes audíveis ou indicadores e se esta informação é utilizada para uma ação rápida de manutenção. O uso de equipamentos de teste embutidos é incrementado a medida que a complexidade do sistema aumenta e que a disponibilidade torna-se um ponto crucial. Embora alarmes audíveis e visuais indiquem que uma falha exista, nem sempre indicam a exata localização do mau funcionamento. Quanto mais precisa esta indicação, menor o tempo de reparo.

- Pontuação

(a) Quando a falha ou mau funcionamento de um equipamento ou sistema ocorre e é evidenciado através de alarmes que geram um diagnóstico rápido, auxiliando na manutenção. Por exemplo, quando a falha de uma fonte de alimentação ocorre devido a um fusível aberto e a indicação é feita através de um diodo emissor de luz.....4

(b) Quando a falha ou mau funcionamento de um equipamento ou sistema ocorre e é evidenciado através de alarmes, mas é necessário a interpretação do operador para diagnóstico e isolamento da falha. Por exemplo, a diminuição da potência de saída de um amplificador de áudio.....2

(c) Quando a falha ou mau funcionamento de um equipamento ou sistema ocorre, mas não é facilmente evidenciado através de alarmes. Entretanto são disponíveis informações para um diagnóstico rápido da falha.....2

(d) Quando a falha ou mau funcionamento de um equipamento ou sistema ocorre, mas não é facilmente evidenciado e requer uma interpretação mais detalhada dos sintomas para determinar a causa da falha.....0

9-Pontos de testes: Determina se pontos de testes estão disponíveis. Não são considerados pontos de testes os pinos dos conectores, pinos dos circuitos integrados, filetes das placas de circuito impresso e terminais. O número de pontos de testes disponíveis e a quantidade de informação produzida afetam o tempo para determinar a causa e localização da falha.

- Pontuação

(a) Tarefas não requerem o uso de pontos de testes. O mau funcionamento pode ser diagnosticado e reparado através de equipamento de teste embutido.....4

(b) Tarefas requerem o uso de pontos de testes. Todas as informações utilizadas no reparo foram obtidas através dos pontos de testes.....3

(c) Quando pelo menos 51% dos testes exigidos foram realizados nos pontos de testes.....2

(d) Quando a maioria das tarefas realizadas não utilizaram os pontos de testes.....0

10-Identificação dos pontos de testes: Determina se todos os pontos de testes utilizados durante as tarefas de manutenção estão adequadamente identificados.

- Pontuação

(a) Quando todos os pontos de testes utilizados nas tarefas estão identificados. Por exemplo, PT1 +6,2 VDC.....4

(b) Quando a maioria dos pontos de testes utilizados nas tarefas estão identificados.....2

(c) Quando os pontos de testes não estão identificados.....0

11-Identificação: Determina se as peças e componentes associados com as tarefas estão identificados no diagrama esquemático e na lista de componentes.

- Pontuação

(a) Os componentes e peças associados com as tarefas de manutenção estão identificados no diagrama esquemático e claramente visível.....4

(b) Os componentes e peças associados com as tarefas de manutenção estão identificados no diagrama esquemático, mas algumas informações não são visíveis. aplica-se a testes ou retirada de componentes que estão identificados, mas esta informação está oculta por outro componente.....2

(c) Aplica-se quando todos os símbolos dos componentes e peças estão visíveis, mas alguns componentes associados com as tarefas não estão identificados.....2

(d) Aplica-se quando os componentes associados com as tarefas apresentam símbolos escondidos e não identificados.....0

12-Ajustes: Determina se ajustes são necessários depois de uma tarefa de manutenção, com a finalidade de colocar o sistema ou o equipamento em condições operacionais.

- Pontuação

(a) Nenhum ajuste é necessário para colocar o equipamento em suas condições normais de operação.....4

(b) Poucos ajustes são necessários.....2

(c) Muitos ajustes são necessários.....0

13-Teste: Determina se o componente ou peça defeituoso pode ser testado sem ser removido do circuito.

- Pontuação

(a) Peça ou componente defeituoso pode ser localizado sem ser removido do circuito.....4

(b) Peça ou componente defeituoso necessita ser removido do circuito para assegurar a condição de falho.....0

14-Circuitos de proteção: Determina se o sistema ou equipamento possuem circuitos de proteção, protegendo-os contra danos e auxiliando na isolação da falha.

- Pontuação

(a) O sistema ou equipamento foi colocado automaticamente fora de operação depois de uma falha, protegendo as peças e componentes.....4

(b) O circuito de desligamento automático não protege peças e componentes, mas alarmes sonoros e visuais alertam o operador sobre o problema ocorrido.....2

(c) Peças e componentes não são protegidos. Não há indicação de alarmes.

15-Segurança pessoal: Determina se as tarefas de manutenção necessitam que os técnicos trabalhem em condições de riscos, tais como, alta-tensão, radiação nuclear, componentes sujeitos a alta temperatura e peças posicionadas em lugares de difícil acesso.

- Pontuação

(a) As tarefas de manutenção não são realizadas em condições de riscos.....4

(b) Precauções são tomadas na realização das tarefas de manutenção, implicando em um tempo maior na realização das tarefas.....2

(c) Maiores precauções são tomadas na realização das tarefas de manutenção, implicando na utilização de equipamentos e roupas especiais.....0

LISTA DE VERIFICAÇÃO B

1-Equipamentos de testes externos: Determina se equipamentos de testes externos são necessários para completar as tarefas.

- Pontuação

(a) As tarefas para serem realizadas não necessitam do uso de equipamentos de testes externos. Aplicável quando a causa do mau funcionamento é facilmente detectável por inspeção ou através de equipamentos de testes embutidos.....4

(b) As tarefas para serem realizadas necessitam do uso de um equipamento de teste externo.....2

(c) As tarefas para serem realizadas necessitam do uso de dois ou três equipamentos de testes externo.....1

(d) As tarefas para serem realizadas necessitam do uso de quatro ou mais equipamentos de testes externo.....0

2-Conector: Determina se os equipamentos de testes necessitam de acessórios especiais, ferramentas ou adaptadores para a realização adequada dos testes.

- Pontuação

(a) Os conectores utilizados nos equipamentos de testes não necessitam de acessórios, adaptadores ou ferramentas especiais.....4

(b) Os conectores utilizados nos equipamentos de testes necessitam de pelo menos um acessório, adaptador ou ferramenta especial.....2

(c) Os conectores utilizados nos equipamentos de testes necessitam mais do que um acessório, adaptador ou ferramenta especial.....0

3-Material suplementar: Determina se materiais como por exemplo, guindastes, guinchos, elevadores, escadas são necessários para completar as tarefas de manutenção.

- Pontuação

(a) Nenhum material suplementar é necessário para realizar as tarefas.....4

(b) É necessário um material suplementar para realizar as tarefas.....2

(c) É necessário mais do que um material suplementar para realizar as tarefas.....0

4-Visualização: Determina se o tipo de equipamento de teste, sua localização ou o tipo de tarefa de manutenção implica em que os membros do grupo de manutenção fiquem escondidos um dos outros.

- Pontuação

- (a) As atividades de cada membro do grupo são sempre visíveis uns aos outros.....4
- (b) Em uma ocasião, a atividade de um membro do grupo não é visível para os demais.....2
- (c) Em mais de uma ocasião, a atividade de um membro do grupo não é visível para os demais.....0

5-Grupo de operação: Determina se as informações do grupo de operação são necessárias.

- Pontuação

- (a) O grupo de manutenção não necessita do auxílio do grupo de operação.....4
- (b) O grupo de manutenção necessita do auxílio do grupo de operação durante o intervalo de tempo de 1 a 5 minutos.....2
- (c) O grupo de manutenção necessita de considerável auxílio do grupo de operação em um tempo maior do que 5 minutos.....0

6-Grupo técnico: Determina o número de técnicos necessários para completar as tarefas de manutenção. Não inclui o grupo administrativo e o de operação.

- Pontuação

- (a) Um técnico é necessário para completar as tarefas de manutenção.....4
- (b) Dois técnicos são necessários para completar as tarefas de manutenção.....2
- (c) Mais do que dois técnicos são necessários para completar as tarefas de manutenção.....0

7-Supervisores ou consultores: Determina se é necessário a participação de supervisores ou consultores para auxiliar na realização das tarefas de manutenção.

- Pontuação

- (a) Não é necessário a participação de consultores ou supervisores.....4
- (b) É necessário uma pequena participação de consultores ou supervisores.....2
- (c) É necessário uma considerável participação de consultores ou supervisores.....0

LISTA DE VERIFICAÇÃO C

- Pontuação

- A tarefa de manutenção requer um esforço máximo por parte do técnico.....0
- A tarefa de manutenção requer um esforço acima da média por parte do técnico.....1
- A tarefa de manutenção requer um esforço médio por parte do técnico.....2
- A tarefa de manutenção requer um esforço abaixo da média por parte do técnico.....3
- A tarefa de manutenção requer um esforço mínimo por parte do técnico.....4

- Características

1-Braços e pernas: Determina o nível de esforço dos braços e pernas para realizar as tarefas de manutenção.

2-Resistência e força: Determina o nível de resistência e força necessários para completar as tarefas de manutenção. Refere-se a um esforço físico sustentado para auxiliar na realização das tarefas, como por exemplo, carregar peças, componentes e ferramentas pesadas.

3-Coordenação, habilidade manual e obediência aos procedimentos usados: A coordenação refere-se ao uso em conjunto das mãos e olhos com a finalidade de realizar as tarefas de manutenção de maneira efetiva. Este tipo de ação é mais aplicado em atividades de testes e medidas. A habilidade manual refere-se ao processo de reparo, desmontagem e montagem de equipamentos. Como os equipamentos são projetados e construídos de acordo com as especificações de controle de qualidade, é importante levar em consideração os procedimentos adotados para a realização de um reparo.

4-Acuidade visual: Determina o nível visual necessário para realizar as tarefas e visualizar as peças e componentes.

5-Análise lógica: Determina o nível de análise lógica necessário para analisar o defeito, a origem do mau funcionamento, a análise da sequência do fluxo do sinal e suas possíveis consequências no funcionamento do sistema.

6-Memória: Determina o nível de conhecimento sobre os equipamentos, ferramentas, sequência de montagem e desmontagem, princípios de operação e procedimentos de manutenção.

7-Planejamento e recursos: Determinam o nível de planejamento necessário para completar as tarefas de manutenção satisfatoriamente, assegurando rápido diagnóstico e reparo das falhas. Também determinam os recursos necessários para completar as tarefas. Estão relacionados com a capacidade de lidar com dificuldades pertinentes ao diagnóstico e reparo das falhas, tais como, falta de equipamentos, ferramentas, manuais.

8-Alerta, cuidado e precisão: Alerta consiste na compreensão e conhecimento de todos os eventos ou fatores que afetam as tarefas de manutenção. Cuidado consiste em evitar ou minimizar os riscos envolvidos nas tarefas. Precisão consiste em seguir detalhadamente todas os procedimentos das tarefas, evitando erros.

9-Concentração, persistência e paciência: A concentração consiste na atenção exclusiva as tarefas de manutenção. A persistência consiste em executar as tarefas até uma solução satisfatória. A paciência está relacionada com a execução das tarefas com calma, sem perturbações causadas por atrasos ou problemas gerados durante o trabalho realizado.

10-Iniciativa: Consiste na capacidade de introduzir alterações nos testes e nas medidas durante a execução das tarefas.

APLICAÇÃO PRÁTICA

Assumir que a falha de um resistor, pertencente a uma fonte de alta-tensão de um canal de pulsos da instrumentação nuclear de um reator de pesquisa, ocorreu quando o mesmo abriu. A análise de manutenção passo a passo é mostrada na figura 30, com as etapas necessárias para

isolar o resistor defeituoso. Para cada etapa, comentários relativos aos equipamentos de testes usados, acesso ao sistema e informações necessárias a pontuação das tarefas foram anotadas. É necessário um diagrama em blocos ilustrando os circuitos principais da fonte de alta-tensão associados com a numeração de cada etapa de checagem realizada.. É necessário também a ilustração do “lay-out” mecânico da seção do equipamento em que a peça defeituosa estava localizada, além da vista superior expandida da fonte com a placa de circuito impresso, onde está localizado o resistor defeituoso. O diagrama em blocos da fonte de alta-tensão auxilia na verificação da função do resistor no circuito. Estas ilustrações junto com as especificações técnicas, geram os comentários para a pontuação empregados na análise da manutenção. Na questão 2 da lista de verificação A, a pontuação foi de 2, ou seja, parafusos e prendedores externos não necessitam de ferramentas especiais. Na lista B, a questão 1 recebeu pontuação de 1, pois é necessário dois ou três equipamentos de teste. Na lista C, a questão 5 recebeu pontuação de 1, pois os sintomas iniciais deram pouca indicação da causa do mau funcionamento e porque um determinado número de unidades principais foram verificadas com a finalidade de isolar o problema.

EQUIPAMENTO: Fonte de alta-tensão

COMPONENTE: R78

FUNÇÃO PRIMÁRIA DO COMPONENTE QUE FALHOU: Resistor da realimentação do comparador

MODO DE FALHA: Resistor abriu

SINTOMAS DO MAU FUNCIONAMENTO: Não existe indicação da taxa de contagem dos pulsos oriundos do detector.

ANÁLISE DA MANUTENÇÃO	
ETAPAS NA MANUTENÇÃO	COMENTARIOS
1-Retiram-se os cabos e o módulo do rack do canal de pulsos	O módulo é conectado no rack através de parafusos. Um puxador localizado no painel frontal auxilia na retirada.
2-O mau funcionamento do equipamento é indicado através do medidor de alta-tensão localizado no painel frontal	Utilizando uma ponta de teste de alta-tensão verifica-se que não existe tensão na saída do equipamento
3 - O oscilador, que gera pulsos TTL compatíveis com frequência de 20 Khz é	Utiliza-se o ponto de teste PT1 e um osciloscópio com banda de frequência de

testado.	20 Mhz. Existem pulsos na saída do oscilador
5- É retirada a ligação entre a saída da fonte de alta-tensão e o comparador. Através do terminal central do transformador aplica-se uma tensão variável de 0 a +20 VDC	Utiliza-se uma fonte de baixa tensão DC, um voltímetro DC e uma ponta de teste de alta-tensão. Existe alta-tensão na saída
6- É testado o amplificador comparador e verifica-se que o resistor de realimentação está aberto	Utiliza-se o osciloscópio e um voltímetro.

LISTA DE VERIFICAÇÃO																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	TOTAL
A	4	2	4	2	0	2	2	2	3	2	4	4	4	2	4	41
B	1	4	4	4	4	2	4									23
C	1	3	3	2	1	2	2	2	2	2						20
TEMPO DE PARALISAÇÃO CALCULADO								40 minutos								

Figura 30 - Etapas da análise de manutenção

Como exemplo prático considere que dez (10) tarefas de manutenção foram realizadas no subsistema canal de pulsos, no qual faz parte a fonte de alta-tensão analisada anteriormente. O tempo máximo de paralisação do subsistema é calculado através dos dados da tabela 17.

Tarefa	Mct (minutos)	log Mct	(log Mct) ²
1	40	1,602	2,566
2	47	1,672	2,795
3	50	1,698	2,883
4	60	1,778	3,161
5	52	1,716	2,944
6	50	1,698	2,883
7	48	1,681	2,825

8	60	1,778	3,161
9	54	1,732	2,999
10	55	1,740	3,027
Total		17,095	29,244

Tabela 17 - Dados relacionados com as tarefas realizadas no canal de pulsos

EQUAÇÕES UTILIZADAS

Define-se:

Mct = Tempo de manutenção corretiva de tarefas individuais de manutenção

N = Tamanho das amostras das tarefas de manutenção corretiva

M_{max} = Tempo máximo de paralisação

$$\bar{\log Mct} = \sum_{i=1}^N \log Mct_i / N = 17,095 / 10 = 1,709$$

$$\sigma \log Mct = \left[\sqrt{\sum_{i=1}^N (\log Mct_i)^2 - (\sum_{i=1}^N \log Mct_i)^2 / N} \right] / (N - 1) = 0,0161$$

$$M_{max} = \text{antilog} (\bar{\log Mct} + 1,645 \sigma \log Mct) = 54 \text{ minutos}$$

5.7.2 MÉTODO 2

Este método envolve a divisão detalhada do projeto em sistema, subsistema, equipamento, grupo, unidade, módulo, submódulo, estágio e peças. A filosofia adotada é a de que o tempo total para realizar as tarefas de manutenção corretiva é igual a soma dos tempos individuais necessários para completar as seguintes tarefas de manutenção: Localização e isolamento do defeito, desmontagem, troca, remontagem, alinhamento e checagem.

Neste caso cada tempo para realizar uma ação distinta é função do nível de reparo. Por exemplo, o tempo para realizar a tarefa em um componente soldado é maior do que em um

componente soquetado, ou ainda, o tempo para realizar a tarefa de manutenção em um subsistema é maior do que em um equipamento. São especificados então os nove níveis funcionais de reparo: Sistema, subsistema, equipamento, grupo, unidade, módulo, submódulo, estágio e componente.

-Sistemas: Combinação de dois ou mais subsistemas, geralmente separados fisicamente quando em operação.

-Subsistemas: Combinação de equipamentos, grupos que realizam uma função operacional.

-Equipamento: Combinação de um ou mais módulos, submódulos ou unidades com a função de realizar uma função operacional.

-Grupo: Combinação de módulos, submódulos ou unidades, que são uma subdivisão do equipamento, mas não são capazes de realizar uma função operacional completa. Um grupo normalmente não é um item substituível.

-Unidades: Combinação de peças, submódulos e módulos montados juntos, normalmente capaz de executar operações independentes. Uma unidade pode ser um item substituível.

-Módulo: Um conjunto de componentes, submódulos ou uma combinação dos dois, que juntos realizam uma função específica. É considerado um item substituível.

-Submódulos: Duas ou mais peças ou componentes, que formam uma parte de um módulo e que são substituíveis como um todo ou individualmente.

-Estágios: Combinação de dois ou mais componentes ou peças, que formam um submódulo. Um estágio pode ser considerado como um transistor associado a outros componentes, formando um circuito amplificador.

-Componentes ou peças: São itens que constituem, por exemplo, um circuito. São itens substituíveis.

É necessário enfatizar que o tempo de manutenção corretiva inclui somente o tempo de reparo real, que corresponde ao período em que o trabalho de reparo acontece. Não são incluídos parâmetros como o tempo administrativo e o tempo logístico. O tempo de

manutenção preventiva inclui o tempo ativo real, que é o tempo exigido no reparo durante a parada programada e não o tempo gasto na manutenção preventiva, durante o qual o equipamento está em operação. A manutenção ativa combina as manutenções preventiva e corretiva, pois inclui o tempo necessário para a realização das duas atividades. Existem dois métodos utilizados neste modelo para prever a manutenção corretiva. O primeiro resulta na predição da manutenibilidade em horas, utilizando os tempos de reparos tabulados para as tarefas de manutenção, obtidos através de experiência e testes em sistemas similares, referência [18]. O segundo método utiliza estimativa do número de horas homens necessário para realizar as tarefas, obtido através da experiência em sistema similares e na análise do projeto, referência [18].

PARÂMETROS BÁSICOS DAS MEDIDAS

-Manutenção corretiva

A medida básica de manutenibilidade para este método é o tempo de reparo do equipamento (TRE) expresso em horas e definido como sendo a mediana dos tempos de reparos individuais para várias distribuições estatísticas.

- Distribuição normal: Para esta distribuição o parâmetro básico da medida é o tempo médio de reparo (MTTR). Neste caso, a mediana é igual a média

$$TRE = \sum (\lambda TMC) / \sum (\lambda) = MTTR$$

onde :

λ = Taxa média de falha dos componentes por 10^6 hora

TMC = Tempo de reparo necessário para realizar uma ação corretiva de manutenção em horas.

- Distribuição exponencial

$$TRE = 0,69 MTTR$$

- Distribuição log-normal

$$TRE = MTTR / \text{antilog} (1,15 \sigma^2)$$

onde:

σ = Desvio padrão do tempo de reparo. O valor médio de σ , segundo a referência [18], é aproximadamente de 0,55, então:

$$TRE = 0,45 MTTR$$

O tempo médio de reparo geométrico (MTTRg) é definido da seguinte forma:

$$MTTRg = \text{antilog} \left\{ \frac{\sum (\lambda \log TMC)}{\sum \lambda} \right\}$$

-Manutenção corretiva considerando o número de horas homens

A fórmula para obter o tempo médio de manutenção corretiva é a seguinte:

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum (\lambda M_c)}{\sum \lambda}$$

onde:

λ = Taxa de falhas média dos componentes por 10^6 horas.

M_{ct} = Horas homens necessário para realizar uma tarefa de manutenção corretiva (Tempo de manutenção corretiva).

-Manutenção preventiva considerando o número de horas homens

$$\bar{M}_{pt} = \frac{\sum (f M_p)}{\sum f}$$

onde:

M_{pt} = Horas homens necessário para realizar uma ação de manutenção preventiva (tempo de manutenção preventiva).

f = Frequência de ocorrência das tarefas de manutenção preventiva por 10^6 horas.

-Manutenção ativa considerando o número de horas homens

Este parâmetro é definido como o tempo médio de manutenção ativa, que é a soma dos horas homens de manutenção preventiva e corretiva necessária para manter um equipamento operacional em um determinado período, dividido pelo número total de tarefas de manutenção preventiva e corretiva durante este tempo.

$$\bar{M} = \{ (\sum \lambda) \bar{M}_{ct} T_i + (\sum f) \bar{M}_{pt} T_j \} / (\sum \lambda T_i + \sum f T_j)$$

onde:

\bar{M} = Tempo médio de manutenção ativa.

\bar{M}_{ct} = Tempo médio de manutenção corretiva durante o tempo T_i .

\bar{M}_{pt} = Tempo médio de manutenção preventiva durante o tempo T_j .

$\sum \lambda$ = Somatório das taxas de falhas dos componentes.

$\sum f$ = Somatório da frequência de ocorrência das tarefas de manutenção preventiva.

T_i = Tempo de operação durante o período T_j .

T_j = Tempo da missão

-Índice de manutenibilidade

É definido como o esforço total da manutenção necessário para manter um equipamento operacional durante o tempo de operação.

$$MI = \{ (\sum \lambda) \bar{M}_c T_i + (\sum f) \bar{M}_p T_j \} / T$$

onde:

T = Tempo de operação.

INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA UTILIZAR O MÉTODO 2

-Diagrama em blocos do equipamento.

-Diagnóstico: Procedimentos que são seguidos em todos os eventos de falhas, incluindo características de localização das falhas.

-Método de reparo: Métodos de reparo que são usados para solucionar cada falha.

-Lista de componentes especificada pela subdivisão dos equipamentos.

-Condições elétricas e ambientais de funcionamento.

-Montagem: Método pelo qual cada componente substituído é montado.

-Níveis funcionais: Determina as características de localização, isolamento, acesso, ajustes e checagem para cada item substituído, que são indicadas através de símbolos mostrados a seguir:

• Ajustes - Símbolo: 

• Localização - Símbolo: 

• Isolação - Símbolo: 

• Checagem - Símbolo: 

- Acesso: Não possui símbolo. A desmontagem deve ser realizada com a finalidade de obter acesso ao componente que será substituído e no qual a remontagem deve ser realizada.

UTILIZAÇÃO DOS DADOS

São utilizados dados compilados de trezentas observações de atividades de manutenção, referência [18], na forma de tempo de tarefas de manutenção corretiva, ou ainda através da estimativa de alguns parâmetros obtidos através de testes e da experiência em sistemas similares. O tempo de manutenção ativa consiste de dois componentes básicos, o tempo de manutenção preventiva e o tempo de manutenção corretiva. A predição da manutenção ativa utiliza o número de horas homens necessários para realizar as tarefas de manutenção preventiva e corretiva. Essas tarefas não levam em consideração os efeitos dos tempos transcorridos devido a problemas logísticos e administrativos. A estimativa do tempo de reparo ativo da manutenção corretiva mostra o tempo de paralisação para reparo, que é causado pelo mau funcionamento do sistema. A estimativa do tempo de manutenção preventiva mostra o tempo de paralisação devido as atividades de manutenção preventiva. As tarefas de manutenção corretiva consistem dos seguintes itens: Localização, isolamento, desmontagem, troca, remontagem, ajustes e checagem. As tabelas 20 e 21 oriundas da referência [18] são usadas para peças e componentes dependendo do tipo de item a ser reparado. Portanto:

- Para obter o tempo de localização e isolamento utiliza-se a linha TAREFA DE MANUTENÇÃO CORRETIVA seguida pela função realizada, ou seja, diagnóstico.

-Para obter o tempo de desmontagem e remontagem utiliza-se a linha TAREFA DE MANUTENÇÃO seguida pela função realizada, ou seja, substituição.

-Para obter o tempo de ajuste e checagem utiliza-se a linha TAREFA DE MANUTENÇÃO seguida pela função realizada, ou seja, teste.

- Para realizar um diagnóstico utiliza-se a coluna da linha NÍVEL FUNCIONAL correspondente ao item substituído.
- Para realizar desmontagem, remontagem, ajuste e checagem utiliza-se a coluna 1 da linha NÍVEL FUNCIONAL.
- O tempo médio das tarefas de manutenção para a tabela 19 COMPONENTES não se aplica para engrenagens e rolamentos.
- No cálculo do tempo médio das tarefas de manutenção não é considerado o intervalo de tempo transcorrido desde que uma falha ocorre até o momento em que ela é percebida pelo operador.
- A tabela 18 TUBOS se aplica para fusíveis em painéis, módulos tipo “plug-in”, cristal para osciladores e válvulas.
- A tabela 19 COMPONENTES se aplica para fusíveis em placas de circuito impresso, transistores, válvulas especiais tipo magnetrons e klystrons e peças eletrônicas em geral como por exemplo, capacitores, resistores, transformadores, indutores.
- O tempo médio tabulado para realizar as tarefas não inclui o tempo administrativo.
- O tempo total de substituição inclui o tempo para desmontagem, tempo para troca e o tempo para remontagem. Entretanto, o tempo para troca não está incluído no tempo médio localizado nas tabelas 18 e 19. Para obter o tempo de troca é necessário utilizar a tabela 20.

Para ilustrar o procedimento acima, considere o diagrama em blocos funcional de um sistema de comunicação mostrado na figura 31, no qual é analisada a fonte de alimentação do equipamento de modulação montada em um módulo tipo “plug-in. Como a fonte de alimentação é localizada a nível de unidade, a falha pode ser removida e localizada a nível de equipamento. Através da coluna 5, equipamento, da tabela 18 TUBOS, chega-se ao tempo de localização de 0,037 horas. A isolação é realizada a nível de unidade, logo na coluna 5 com tempo de isolação de 0,245 horas. O tempo para realizar a desmontagem é obtido na coluna 1, unidade, e o seu valor é de 0,094 horas. O tempo para realizar a remontagem é de 0,134 horas. O tempo de ajuste é de 0,021 horas e o de checagem é de 0,134 horas.

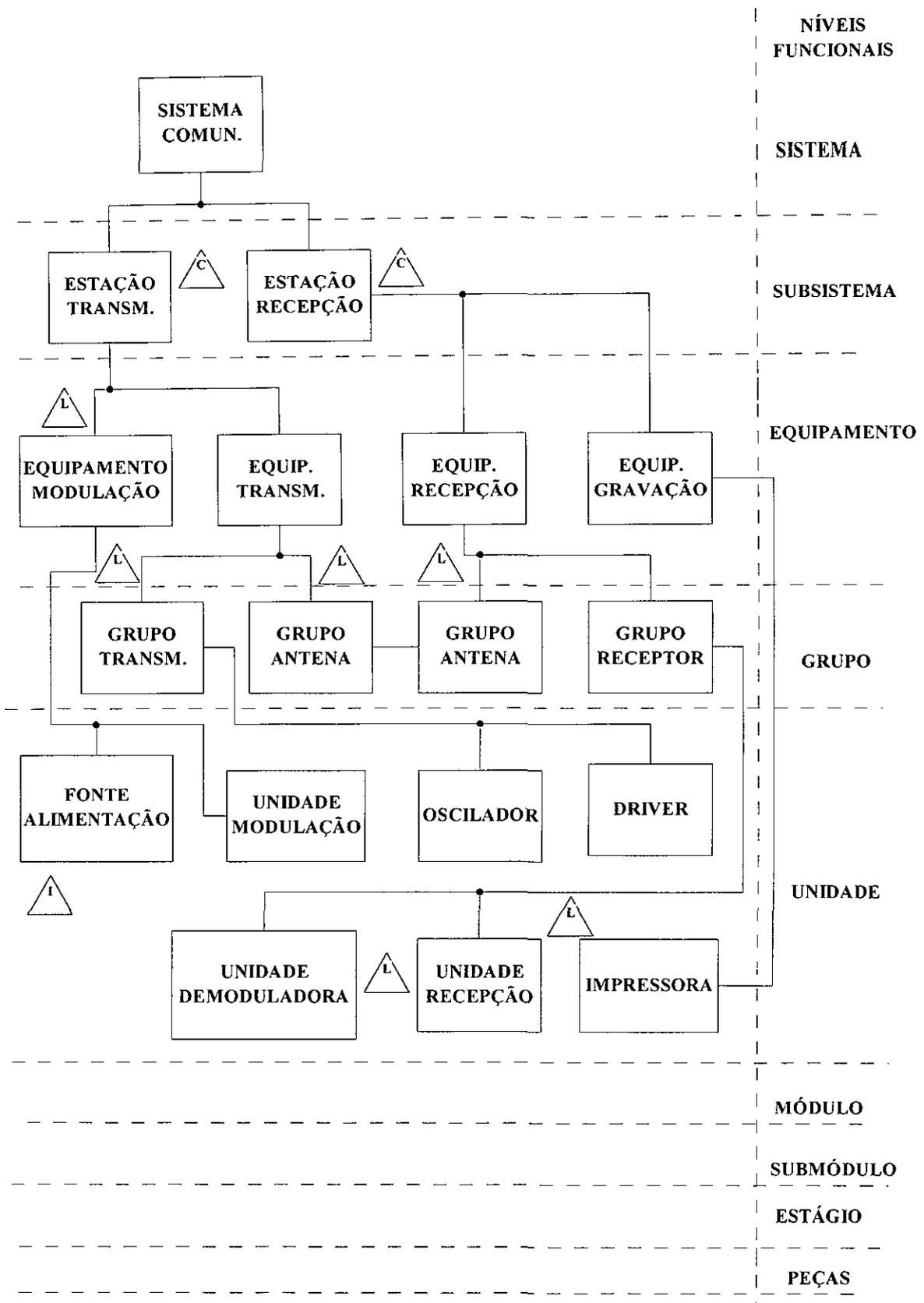


Figura 31 - Sistema de comunicação

ETAPAS DA PREDIÇÃO

A figura 32 indica a formatação com as etapas a serem seguidas para a documentação da predição.

-Etapa 1 - ITEM: Quando componentes ou peças individuais estão sendo substituídas, indica o item que contém as peças ou componentes substituídos. Quando módulos, submódulos ou unidades estão sendo substituídos indica o item que está sendo substituído.

-Etapa 2 - MÉTODO DE REPARO: Indica realmente qual item substituído, ou seja, peças, componentes, unidades, módulos ou submódulos.

-Etapa 3 - DESIGNAÇÃO DO CIRCUITO: Lista a especificação da peça ou componente, por exemplo R12 - resistor número 12. Nesta etapa não estão incluídas peças mecânicas como engrenagens, embreagem, rolamentos, chassis, parafusos, porcas, arruelas, canos e tubulações. Também não estão incluídos componentes elétricos e eletrônicos como terminais, fios, cabos, soquetes, placas de circuito impresso e conectores para placas.

-Etapa 4 - TIPO: Identificação da peça ou componente.

-Etapa 5 - TAXA DE FALHA: Listar a taxa de falha de cada componente ou peça. Determinar o somatório da taxa de falha.

-Etapa 6 a 11 - TEMPO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO DE LOCALIZAÇÃO, ISOLAÇÃO, DESMONTAGEM, REMONTAGEM, AJUSTES E CHECAGEM: Para peças ou componentes substituídos individualmente determine o tempo das tarefas de manutenção através do uso das tabelas 18 e 19. Para cada peça ou componente, anote o valor na coluna apropriada. Para módulos, submódulos ou unidades determine o intervalo de tempo para cada tarefa de manutenção realizada no item substituído e anote este valor na coluna apropriada.

NÍVEIS FUNCIONAIS									TAREFAS MANUTENÇÃO CORRETIVA					
PARA DETERMINAR TEMPO DE ISOLAÇÃO E LOCALIZAÇÃO, USE A COLUNA QUE INICIA COM O NÍVEL FUNCIONAL ATRAVÉS DO QUAL A FALHA É REMOVIDA									DIAGNÓSTICO		SUBSTIT.		TESTE	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	L	I	D	R	A	C
S	SS	E	G	U	M	SM	ES	P	0,021	0,245	0,313	0,434	0,156	0,175
N	S	SS	E	G	U	M	SM	ES	0,029	0,315	0,231	0,362	0,077	0,167
	N	S	SS	E	G	U	M	SM	0,037	0,394	0,165	0,262	0,045	0,159
		N	S	SS	E	G	U	M	0,045	0,505	0,122	0,191	0,030	0,149
			N	S	SS	E	G	U	0,053	0,636	0,094	0,134	0,021	0,134
				N	S	SS	E	G	0,063	0,776	0,071	0,090	0,015	0,124
					N	S	SU	E	0,079	0,907	0,049	0,061	0,010	0,105
						N	S	SS	0,090	1,084	0,032	0,037	0,007	0,091
							N	S	0,107	1,305	0,016	0,017	0,003	0,062
								N	0,125	1,540	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 18 - Tubos

NÍVEIS FUNCIONAIS									TAREFAS MANUTENÇÃO CORRETIVA					
PARA DETERMINAR TEMPO DE ISOLAÇÃO E LOCALIZAÇÃO, USE A COLUNA QUE INICIA COM O NÍVEL FUNCIONAL ATRAVÉS DO QUAL A FALHA É REMOVIDA									DIAGNÓSTICO		SUBSTIT.		TESTE	
9	8	7	6	5	4	3	2	1	L	I	D	R	A	C
S	SS	E	G	U	M	SM	ES	P	0,021	0,972	1,281	1,334	0,156	0,175
N	S	SS	E	G	U	M	SM	ES	0,029	1,179	0,328	0,561	0,077	0,167
	N	S	SS	E	G	U	M	SM	0,056	1,417	0,165	0,262	0,045	0,159
		N	S	SS	E	G	U	M	0,073	1,569	0,122	0,191	0,030	0,149
			N	S	SS	E	G	U	0,099	1,708	0,094	0,134	0,021	0,134
				N	S	SS	E	G	0,106	1,821	0,071	0,090	0,015	0,124
					N	S	SU	E	0,121	1,924	0,049	0,061	0,010	0,105
						N	S	SS	0,136	2,022	0,032	0,037	0,007	0,091
							N	S	0,154	2,108	0,016	0,017	0,003	0,062
								N	0,165	2,172	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 19 - Componentes

onde:

S = Sistema

SS = Subsistema

E = Equipamento

G = Grupo

U = Unidade

M = Módulo

SM = Submódulo

E = Estágio

P = Peças

L = Localização

I = Isolação

D = Desmontagem

R = Remontagem

A = Ajustes

C = Checagem

-Etapa 12 - TEMPO DE TROCA: O tempo de troca pode ser obtido através da tabela 20 retirada da referência [18]. O tempo de troca de um componente ou peça é igual a soma dos tempos necessários para executar as ações. O tempo de troca para um transistor de dois terminais ligado ao chassi do módulo, através de dois parafusos e duas porcas é mostrado através da tabela 21.

TIPO	TEMPO MÉDIO DE TROCA (HORAS)
TROCAR COMPONENTES COM DOIS TERMINAIS	0,081
RETIRAR E RECOLOCAR PORCAS	0,0071 PARA CADA ETAPA
RETIRAR E COLOCAR PARAFUSOS EM	0,0023 POR CADA ETAPA

FUROS	
POSICIONAR COMPONENTE COM UM FURO NO CHASSIS	0,0025
TROCAR COMPONENTES COM MAIS DE DOIS TERMINAIS	0,081 MAIS 0,034 POR TERMINAL
COMPONENTES FIXADOS POR PARAFUSOS EM CHASSIS	ADICIONE 0,022 POR CADA PARAFUSO
INSERIR FUSÍVEIS EM PAINÉIS	0,0050
SOLDAR E RETIRAR A SOLDA DE COMPONENTES	0,0058 POR TERMINAL

Tabela 20 - Tempo de troca

DESCRIÇÃO DA TAREFA	TEMPO (HORAS)	NÚMERO DE ETAPAS	TEMPO TOTAL (HORAS)
RETIRAR A SOLDA DO TERMINAIS	0,0058	2	0,0116
RETIRAR PORCAS	0,0071	1	0,0071
RETIRAR PARAFUSOS	0,0023	1	0,0023
RETIRAR TRANSISTOR	0,0025	1	0,0025
COLOCAR NOVO TRANSISTOR	0,0025	1	0,0025
RECOLOCAR PARAFUSOS	0,0023	1	0,0023
RECOLOCAR PORCAS	0,0071	1	0,0071
SOLDAR TERMINAIS	0,0058	2	0,0116
TOTAL			0,0470

Tabela 21 - Exemplo do cálculo do tempo de troca

-Etapa 13 - TEMPO DE REPARO DA MANUTENÇÃO CORRETIVA (TMC): É determinado somando os valores obtidos nas etapas 6 a 12. Para unidades, submódulos, módulos, TMC é obtido através de um único valor para todos os componentes substituídos.

-Etapa 14 - Multiplicar a taxa de falhas de cada componente ou peça pelo valor do tempo de manutenção corretiva. Anote o valor deste somatório. Quando unidades, submódulos ou

módulos são substituídos, multiplique o valor do somatório da taxa de falha pelo valor de TMC.

-Etapa 15 - Calcular o logaritmo de TMC, mesmo quando TMC for menor do que um.

-Etapa 16 - Quando componentes ou peças individualmente são substituídas, multiplicar o valor da taxa de falha do componente pelo valor respectivo do logaritmo de TMC. Quando unidades, submódulos, módulos são substituídos multiplicar o somatório da taxa de falha pelo valor do logaritmo de TMC. Calcule o valor do somatório de $\lambda \log TMC$.

-Etapa 17 - Finalmente calcular o valor do tempo médio de reparo (MTTR) e do tempo médio de reparo geométrico (MTTRg).

$$TRE = \sum (\lambda TMC) / \sum (\lambda) = MTTR$$

$$MTTRg = \text{antilog} \left\{ \frac{\sum (\lambda \log TMC)}{\sum \lambda} \right\}$$

ITEM:

MÉTODO DE REPARO:

CIRC. DESIG.	TIPO	λ	TEMPO TAREFAS							TMC	λ TMC	LOG TMC	λ LOG TMC
			L	I	D	R	A	C	T				

Figura 32 - Formatação para predição da manutenibilidade

PROCEDIMENTOS PARA PREDIÇÃO DA MANUTENÇÃO ATIVA

- A manutenção corretiva é realizada seguindo os procedimentos citados a seguir e utilizando a formatação da figura 33.

-Etapa 1 - IDENTIFICAÇÃO: Identificação do componente, através do seu nome e tipo.

-Etapa 2 - DESIGNAÇÃO DO CIRCUITO : Identificação do circuito que contém o componente analisado.

-Etapa 3 - TAXA DE FALHA: Taxa de falha de cada componente ou peça.

-Etapa 4 a 10: Estimar o tempo médio necessário para realizar cada tarefa de manutenção corretiva, ou seja, localização, isolamento, desmontagem, remontagem, ajustes, checagem e troca.

-Etapa 11 - Mct: Determinar o somatório dos valores determinados nas etapas 4 a 10.

-Etapa 12 - λ Mct: Calcular o produto da taxa de falha de cada componente ou peça pelo valor de Mct. Anotar o valor do somatório desse produto.

-Etapa 13 - $\bar{M}ct$: Calcular então $\bar{M}ct$ através da seguinte fórmula:

$$\bar{M}ct = \frac{\sum (\lambda Mct)}{\sum \lambda}$$

IDENT.	CIRC. DESIG.	λ	TEMPO MÉDIO							Mct	λ Mct
			L	I	D	R	A	C	T		

Figura 33 - Formatação para predição da manutenção corretiva

- A manutenção preventiva é realizada seguindo os procedimentos citados a seguir e utilizando a formatação da figura 34.

-Etapa 1: Descrição das tarefas de manutenção preventiva que devem ser realizadas, com detalhamento de cada ação tomada, especificando quais tarefas podem ser realizadas com o sistema em operação e as que não podem.

-Etapa 2: FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA (f): Determinar a frequência de ocorrência de cada tarefa em eventos por 10⁶ horas. Anotar o somatório das frequências de ocorrência.

-Etapa 3 - Mpt: Anotar o tempo necessário para executar as tarefas de manutenção preventiva.

-Etapa 4 - $f M_{pt}$: Calcular o valor de cada frequência de ocorrência multiplicado pelo tempo de manutenção preventiva. Anotar o somatório destes valores.

-Etapa 5 - \bar{M}_{pt} : Calcular o valor do tempo médio de manutenção preventiva através da seguinte fórmula:

$$\bar{M}_{pt} = \sum (f M_{pt}) / \sum f$$

-Etapa 6 - \bar{M} : Calcular o valor do tempo médio de manutenção ativa em horas homens através da seguinte fórmula:

$$\bar{M} = \{ (\sum \lambda) \bar{M}_{ct} T_i + (\sum f) \bar{M}_{pt} T_j \} / (\sum \lambda T_i + \sum f T_j)$$

-Etapa 7 - MI: Calcular o valor do índice de manutenibilidade através da seguinte fórmula:

$$MI = \{ (\sum \lambda) \bar{M}_{ct} T_i + (\sum f) \bar{M}_{pt} T_j \} / T$$

DESCRIÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	f	Mpt	f Mpt

Figura 34 - Formatação para manutenção preventiva

O exemplo a seguir, mostrado na tabela 22, ilustra os procedimentos descritos anteriormente.

Descrição das tarefas	f	Mpt (horas)	f Mpt
1-Lubrificar	50	0,3	15
2-Calibrar	40	0,4	16
3-Limpar	30	0,3	9
4-Alinhar	60	0,2	12

5-Checar	70	0,3	21
Total	250		73

Tabela 22 - Exemplo prático da predição das tarefas de manutenção preventiva

O tempo médio para realizar as tarefas de manutenção preventiva é calculado da seguinte forma:

$$\bar{M}_{pt} = \sum (f) (M_{pt}) / \sum f = 73 / 250 = 0,292 \text{ horas}$$

5.8 PROGRAMA DE DEMONSTRAÇÃO DA MANUTENIBILIDADE

Consiste na demonstração realística do projeto em condições operacionais idênticas às utilizadas pelo usuário e incluindo fatores como: Ambiente e condições de trabalho, ferramentas, equipamentos de suporte e documentação técnica. O programa de demonstração é implementado através da junção de esforços do fornecedor e do cliente com a finalidade de assegurar que os requisitos de projeto estão coerentes com as especificações inicialmente definidas.

O planejamento do programa de demonstração é realizado através da implantação dos seguintes itens:

- Definição e programação dos testes de simulação incluídos no programa de demonstração.
- Descrição da organização, administração e controle dos testes de simulação programados.
- Definição dos recursos e elementos de suporte necessários para a realização dos testes de simulação.
- Descrição das condições e do local onde os testes de simulação serão realizados.
- Descrição da fase de preparação dos testes de simulação das falhas.
- Descrição do documento de demonstração formal dos testes de simulação.

- Identificação da documentação necessária para a realização dos testes de simulação.
- Projeção dos custos necessários para a realização dos testes de simulação.
- Descrição dos recursos e das condições necessárias para a realização de um novo teste.

Os testes de simulação de falhas realizados no programa de demonstração da manutenibilidade consistem na execução de tarefas simuladas de manutenção preventiva e corretiva, sendo que os dados obtidos são utilizados nos cálculos dos parâmetros de manutenibilidade e comparados com os valores definidos no projeto, podendo então implicar em uma ação corretiva. Dessa maneira, o conhecimento da estrutura hierárquica do projeto, dos procedimentos adotados e dos modos de falhas e seus efeitos são de grande importância, pois além do que foi dito anteriormente, tornam a introdução de defeitos reais no projeto difícil de acontecer e impedem que danos sejam gerados ao operador, durante o processo de simulação de falhas.

A simulação das tarefas de manutenção corretiva é realizada seguindo as seguintes etapas:

- Uma falha é introduzida no projeto.
- O técnico responsável pela execução das tarefas inicia as ações correspondentes, ou seja: Localização e isolamento da falha, desmontagem do equipamento, remoção e recolocação do componente, remontagem, ajustes e checagem final.
- Os dados relacionados com essas ações são coletados e analisados.

Com relação a simulação das tarefas de manutenção preventiva os seguintes casos devem ser analisados:

- Tarefas de manutenção preventiva realizadas durante a operação do sistema, implicando na obtenção do fator quantitativo horas homens de manutenção por horas de operação do sistema (MMH / OH) e não do tempo de paralisação.
- Tarefas de manutenção preventiva realizadas durante a paralisação do sistema, implicando na obtenção do tempo de paralisação do sistema.

As etapas citadas a seguir devem ser implantadas nos procedimentos que definem o programa de demonstração:

- A configuração dos itens selecionados para a demonstração deve ser documentada e certificada.
- Os equipamentos de suporte e testes utilizados durante a demonstração devem ser certificados.
- O projeto deve ser instalado e operacionalmente verificado no local do teste antes da demonstração e depois da simulação ter sido realizada.
- Os técnicos que participam do programa de demonstração devem ser treinados adequadamente.
- Deve ser definido um grupo de teste formado pelo diretor responsável pelo teste (auditor), técnico responsável pela introdução da falha, técnico responsável pela coleta dos dados, técnico responsável pela execução das tarefas simuladas e observadores (clientes).
- Deve ser confeccionado o documento de demonstração formal do teste contendo os requisitos de manutenibilidade do projeto, o objetivo da demonstração, planejamento da demonstração, responsabilidades organizacionais e pessoais, métodos empregados e procedimentos para coleta e análise dos dados. Este documento deve ser apresentado ao grupo de teste antes do processo de demonstração iniciar.

Com relação ao grupo de teste as seguintes responsabilidades devem ser definidas:

- Qualquer discrepância na documentação técnica ou nas tarefas realizadas em um período de um dia de trabalho deve ser informada por qualquer membro do grupo de teste à equipe.
- Avaliar e validar a tarefa de manutenção e os dados obtidos.
- Assegurar que a demonstração do item selecionado foi adequadamente preparada.

- Decidir sobre pontos de controvérsia que existam e que não foram cobertos pela documentação existente.
- Preparar e submeter as informações sobre o “status” da demonstração ao fornecedor e ao auditor.
- Analisar os dados obtidos.
- Preparar e submeter os resultados finais de cada uma das fases aos clientes e ao auditor no período indicado pelo programa de teste aprovado.
- Um indivíduo designado pelo auditor como chefe do grupo de teste, decidirá sobre todos os casos de impasse entre os membros do grupo.
- Se na execução de uma tarefa o técnico perceber que os manuais e os equipamentos utilizados são inadequados, isto deve ser comunicado ao auditor que irá verificar se a informação é procedente e em caso afirmativo não considerará o tempo gasto para realizar a tarefa.
- O grupo de teste deve organizar e operacionalizar um banco de dados.
- Ao simular uma falha é responsabilidade do grupo de teste selecionar as tarefas de manutenção que serão simuladas, os modos de falhas e verificar se o nível da falha é representativo da tarefa que será demonstrada.

As seguintes etapas e procedimentos são realizados durante a execução dos testes de simulação das tarefas de manutenção:

- O auditor providencia o documento formal de demonstração.
- O técnico responsável pela realização das tarefas de manutenção deve se ausentar do local de teste, quando ocorrer a introdução da falha.
- Os equipamentos de testes, de suporte, as ferramentas e documentação técnica disponíveis não podem indicar o tipo de falha simulada.
- O técnico indicado pelo grupo de teste induz a falha e o defeito é verificado, assegurando que os sintomas apresentados coincidem com os desejados.

- O técnico responsável pela execução das tarefas de manutenção realiza a verificação do funcionamento do sistema até o ponto onde a falha ocorrer. Os sintomas da falha e o modo de operação do sistema são anotados no relatório final de demonstração. O técnico executa as tarefas utilizando procedimentos definidos anteriormente.
- Se uma falha secundária for causada por uma falha primária, o tempo total de manutenção necessária para corrigir as duas falhas será considerado como um tarefa única. Exceto quando a falha secundária for causada pelo método usado para simular a falha primária.
- Cada tarefa deve ser realizada pela quantidade de técnico estipulado com o nível de especialização previamente definido.
- Caso o técnico responsável pela execução da tarefa não consiga diagnosticar a falha induzida, devido alguma anormalidade ou deficiência no projeto, o auditor e os clientes devem decidir em que fase o processo deve ser interrompido.
- Durante a demonstração deve ser verificada a adequação do apoio logístico.

SEÇÕES DO PROGRAMA DE DEMONSTRAÇÃO DA MANUTENIBILIDADE

Ao realizar o planejamento do programa de demonstração da manutenibilidade deve-se definir as principais seções com as informações necessárias. Isto possibilita uma descrição precisa de todas as etapas. As principais seções são citadas a seguir:

- INFORMAÇÕES DE SUPORTE

- Condições do local onde é realizada a manutenção.

- Facilidades disponíveis no local onde é realizada a manutenção.

- Modo de operação, configuração e especificação dos itens que são submetidos a verificação, demonstração e avaliação.

- Dados necessários para a conclusão da verificação, demonstração e avaliação.

-Descrição dos elementos de suporte e estimativa de seus efeitos na manutenibilidade. Os principais elementos são os seguintes: Equipamento de teste e suporte, transporte, manuseio, armazenamento e nível de especialização dos técnicos.

- DESCRIÇÃO DO GRUPO DE TESTE

-Descrição de sua organização.

-Currículo do fornecedor, auditor, responsáveis pela operação, manutenção e técnicos participantes.

-Determinação das responsabilidades específicas.

- MATERIAL DE APOIO

-Descrição dos equipamentos de suporte.

-Descrição de ferramentas e equipamentos de testes.

-Descrição do material de consumo e peças sobressalentes.

-Descrição dos equipamentos de segurança.

-Manuais técnicos.

- DESCRIÇÃO DO ESTÁGIO DE PREPARAÇÃO

-Organização e formação do grupo de teste.

-Treinamento dos técnicos.

-Utilização, verificação e validação preliminar do material de apoio.

- DESCRIÇÃO DO ESTÁGIO DE DEMONSTRAÇÃO

-Descrição dos objetivos dos testes.

-Programação dos testes.

-Procedimentos para seleção das tarefas de manutenção que são simuladas.

-Identificação das tarefas de manutenção consideradas especiais.

-Descrição dos métodos de testes, incluindo critérios de decisão para rejeição ou aceitação dos testes.

-Descrição dos métodos para aquisição dos dados.

-Descrição dos procedimentos e métodos para análise dos dados obtidos.

- ESTÁGIO DE REPETIÇÃO DOS TESTES

-Programação dos testes que serão repetidos com a finalidade de sanar deficiências. De um maneira geral, um novo teste pode ser exigido como resultado das seguintes condições: A análise dos dados obtidos indica uma não conformidade com os requisitos inicialmente definidos no projeto possibilitando ao cliente requisitar um novo teste, o cliente pode requisitar uma quantidade adicional de simulação de tarefas com a finalidade de aumentar o nível de confiança no teste ou o cliente pode requisitar um novo teste caso a análise dos dados obtidos indicar uma pequena variação em relação aos requisitos inicialmente definidos no projeto.

No final dos testes de demonstração deve ser confeccionado pelo grupo de teste um relatório de demonstração, submetido ao auditor de acordo com o planejamento inicial. Este relatório *deve incluir os seguintes tópicos:*

- Sumário dos dados coletados.
- Fatores que influenciam os dados coletados.
- Análise dos dados coletados.
- Resultados e conclusões, informando se os objetivos especificados foram ou não atingidos
- Avaliação dos fatores relacionados ao apoio logístico integrado, como por exemplo manuais técnicos, número de técnicos, ferramentas, equipamentos de teste e considerações sobre seus efeitos qualitativos e quantitativos nos parâmetros da manutenibilidade.
- Deficiências notadas.
- Recomendações e sugestões para melhoria.
- Resultados de novos testes.

Na figura 32 é mostrada a formatação utilizada no relatório de demonstração, apresentada na referência [4]. A seguir são descritos os itens que constituem este relatório:

NÚMERO DA DEMONSTRAÇÃO

Número da demonstração que está sendo realizada.

ANOTADOR

Técnico responsável pela anotação dos dados.

DATA

Dia, mês e ano.

PROJETO

Especificação dos níveis hierárquicos do projeto.

NOMENCLATURA

Definição de cada nível hierárquico.

MANUTENÇÃO CORRETIVA

Especifica as etapas utilizadas na demonstração das tarefas de manutenção corretiva:

- SIMULAÇÃO DA FALHA

Determina o tipo de falha simulada, o método de simulação, a designação da peça ou componente defeituoso, sintoma da falha, modo de operação na detecção e informações adicionais.

- DADOS

Dados obtidos no processo de demonstração da manutenibilidade.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Especifica as etapas utilizadas na demonstração das tarefas de manutenção preventiva, ou seja: Inspeção, calibração, testes funcionais, limpeza e o tempo total para realizar as tarefas.

Demonstração número: 1	Anotador: Pedro	Data: 15/06/96
Projeto	Nomenclatura	Manutenção preventiva
Subsistema	Canal de pulsos	Inspeção: 5 min.
Equipamento	Fonte de alta-tensão	Testes funcionais: 10 min. Calibração: 30 min.
Manutenção preventiva		
A - Simulação da falha	B - Dados	
1- Tipo de falha simulada:	Localização	1
Emissor do transistor aberto	Isolação	20
2-Método de simulação:	Desmontagem	10
Trocar T5 por transistor	Remover / recolocar	2
defeituoso	Reparar	5
3-Peça defeituosa: T5	Remontar	17
4-Sintoma da falha: Medidor	Alinhar / Ajustar	-
do painel não indica tensão.	Checagem	6
Não há sinal em PT1.	outras	-
	Total (minutos)	61
	Tempo manutenção ativa (minutos)	106

Figura 32 - Relatório de demonstração

5.9 ANÁLISE, COLETA DE DADOS E AÇÕES CORRETIVAS

Define-se ação corretiva, segundo a referência [27], como modificações introduzidas em qualquer etapa do desenvolvimento, produção ou distribuição de um produto ou projeto, com o objetivo de evitar ou reduzir o risco de repetição de não conformidades. Os procedimentos relativos as ações corretivas têm como objetivo estabelecer as rotinas que identificam as causas e as responsabilidades pela execução das ações corretivas, evitando assim o descumprimento dos requisitos especificados. Portanto, sempre que ocorrer uma não conformidade no projeto deve ser estabelecida uma ação corretiva correspondente com as seguintes etapas definidas a seguir:

- DEFINIÇÃO DA AÇÃO CORRETIVA

A ação corretiva deve ser definida após a determinação das causas que geraram a não conformidade, analisando as especificações do projeto.

- DOCUMENTAÇÃO

Toda ação corretiva deve ser documentada através de um relatório específico, que contém a *definição das ações corretivas a serem realizadas, prazo para implementação e o responsável pela implementação.*

- VERIFICAÇÃO

Após a implementação das ações corretivas, deve ser verificado se o processo foi efetivado, evitando assim a repetição da não conformidade.

- APROVAÇÃO

Uma vez verificada e avaliada a implementação da ação corretiva, a mesma deve ser aprovada através do relatório da ação corretiva.

Durante a fase conceitual e inicial do projeto os dados relativos ao programa de manutenibilidade são avaliados através de métodos específicos, tais como: Alocação e predição da manutenibilidade. Na fase do projeto detalhado e desenvolvimento um modelo do sistema é implementado e realizada a demonstração da manutenibilidade. Durante a fase do uso

operacional os dados são coletados e analisados, possibilitando a avaliação dos requisitos do projeto e da eficácia das elementos de suporte.

Durante todas estas etapas, avaliações são realizadas com a finalidade de detectar uma situação de não conformidade no processo. Quando essas situações ocorrem, ações corretivas devem ser iniciadas o mais rápido possível, possibilitando a incorporação de alterações sem um grande impacto econômico no projeto. Portanto, a implantação de um programa de análise e avaliação dos dados coletados é de grande importância, pois facilita a avaliação real do projeto, dos seus sistemas, subsistema e equipamentos, identificando as características de performance e assegurando a conformidade dos requisitos de projeto. Segundo as referências [4] e [19], são definidas as seguintes fases de avaliação do projeto:

- FASE 1 DA AVALIAÇÃO

Durante o projeto conceitual são utilizados modelos analíticos para simular e avaliar as atividades funcionais do projeto.

- FASE 2 DA AVALIAÇÃO

Durante o projeto inicial, modelos de testes são implementados com a finalidade de avaliar a performance e as características técnicas dos sistemas, subsistemas e equipamentos que constituem o projeto. Esta avaliação envolve ações de operação e manutenção realizadas através da simulação de tarefas específicas.

- FASE 3 DA AVALIAÇÃO

Durante a fase do projeto detalhado são realizadas avaliações do modelo de projeto e de produção. Nesta etapa é implantado um programa de testes que inclui a avaliação das condições de operação, ou seja: Temperatura, umidade, interferências eletromagnéticas, testes de avaliação da compatibilidade dos equipamentos de testes , suporte e do pessoal técnico envolvido.

- FASE 4 DA AVALIAÇÃO

Testes formais de avaliação são realizados no local de operação indicado pelo usuário, depois da qualificação do projeto e antes do processo de produção iniciar. São testes contínuos

realizados em um período de tempo determinado, envolvendo todos os elementos do projeto através de um processo integrado de simulação. Dessa maneira, também são avaliados todos os elementos de suporte.

- FASE 5 DA AVALIAÇÃO

Durante a fase do uso operacional do projeto são realizadas avaliações contínuas, com a finalidade de comprovar a real capacidade do projeto. Este teste é realizado no ambiente operacional do usuário, avaliando a manutenção do projeto e a infraestrutura do suporte logístico.

Após a realização de todas essas fases de avaliação dados são coletados e áreas de não conformidade são detectadas, caso existam. Procedimentos então são adotados para corrigi-las. A figura 33 mostra o diagrama em blocos, referência [4], envolvendo as ações corretivas.

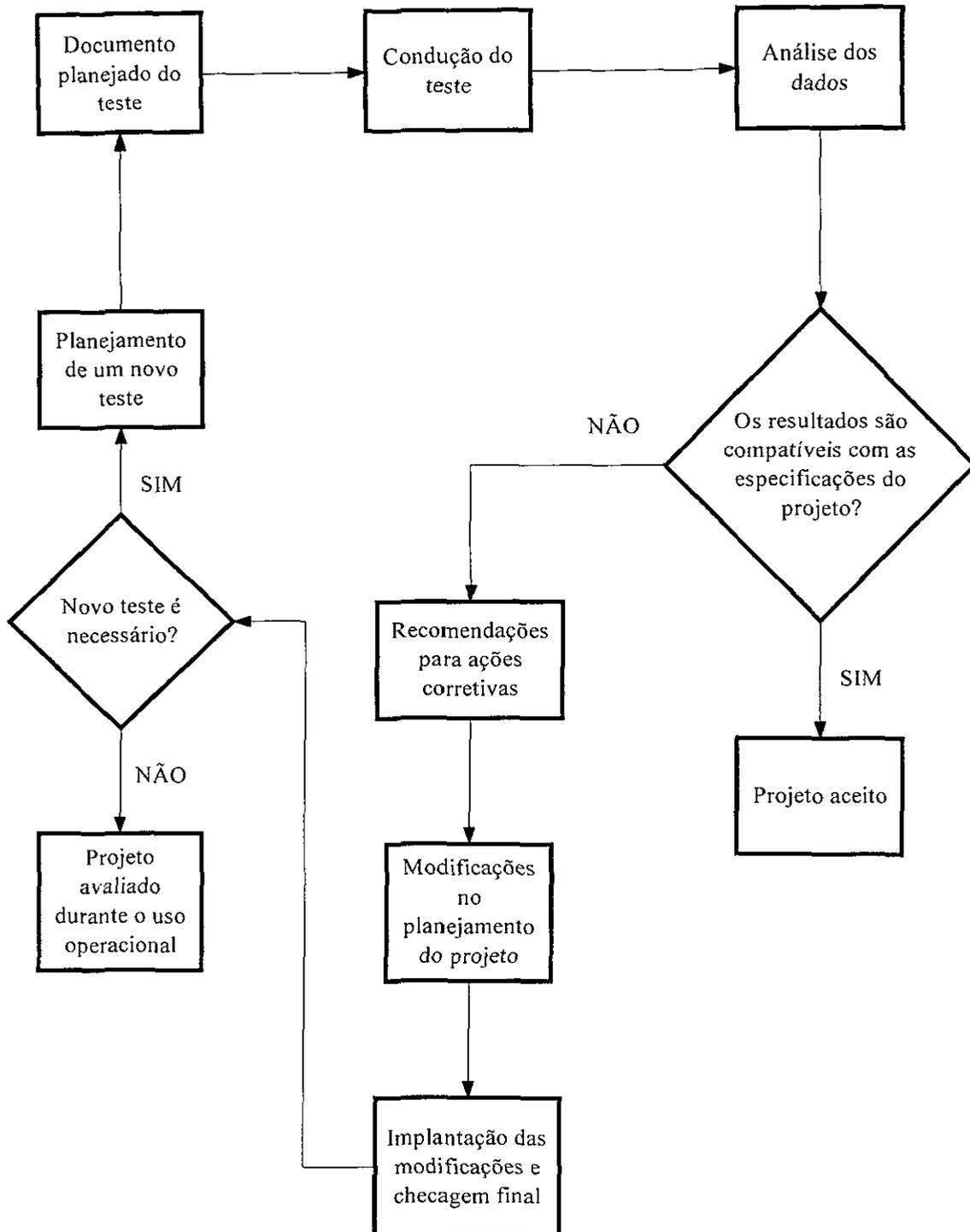


Figura 33 - Ações corretivas

5.9.1 MÉTODO DO TESTE DA MÉDIA PARA ANÁLISE DOS DADOS

Este método é aplicado para teste do tempo médio de manutenção corretiva (\bar{M}_{ct}), tempo médio de manutenção preventiva (\bar{M}_{pt}), tempo médio de manutenção ativa (\bar{M}) e tempo

máximo de paralisação (M_{max}). Segundo a referência [18], utilizam-se 50 tarefas de manutenção corretiva e 50 tarefas de manutenção preventiva para a realização da análise.

Como exemplo prático assumir que um projeto possui as seguintes especificações: $\bar{M} = 75$ minutos, $\bar{M}_{ct} = 65$ minutos, $\bar{M}_{pt} = 110$ minutos, $M_{max} = 120$ minutos e α (risco do produtor) igual a 20 %. Para simplificar a análise considere apenas 10 tarefas a serem realizadas e a tabela 23 mostrada a seguir:

Número da tarefa	Mct (minutos)	(Mct - \bar{M}_{ct})	(Mct - \bar{M}_{ct}) ²
1	58	-4,1	16,81
2	72	9,9	98,01
3	68	5,9	34,81
4	62	-0,1	0,01
5	60	-2,1	4,41
6	70	7,9	62,41
7	58	-4,1	16,81
8	60	-2,1	4,41
9	55	-7,1	50,41
10	58	-4,1	16,81
Total	621		304,9

Tabela 23 - Análise das tarefas de manutenção corretiva

Seja então:

$$\bar{M}_{ct} = \sum M_{ct} / N = 621 / 10 = 62,1$$

Para um risco do produtor de 20 %, então pela tabela da distribuição normal $Z = 0,84$.

$$\sigma = [\sum (Mct - \bar{Mct})^2 / (N-1)]^{0,5} = [304,9 / 9]^{0,5} = 5,82$$

O teste é aceito se $\bar{Mct} + Z \sigma / (N)^{0,5} \leq \bar{Mct}$ especificado.

O teste é rejeitado se $\bar{Mct} + Z \sigma / (N)^{0,5} > \bar{Mct}$ especificado.

O limite do teste é $62,1 + 0,84 \times 5,82 / (10)^{0,5} = 63,6$. Como esse limite é menor que o especificado, 65 minutos, o teste é aceito.

Para as tarefas de manutenção preventiva o raciocínio é o mesmo, ou seja:

$$\bar{Mpt} = \sum Mpt / N$$

O teste é aceito se $\bar{Mpt} + Z \sigma / (N)^{0,5} \leq 110$ minutos.

O teste é rejeitado se $\bar{Mpt} + Z \sigma / (N)^{0,5} > 110$ minutos.

Utilizando-se os dados obtidos de \bar{Mct} e \bar{Mpt} , o tempo médio de manutenção ativa é calculado pela seguinte fórmula:

$$\bar{M} = \{ (\sum \lambda) \bar{Mct} T_i + (\sum f) \bar{Mpt} T_j \} / (\sum \lambda T_i + \sum f T_j)$$

O teste é aceito se o valor calculado for menor ou igual que 75 minutos.

O tempo máximo de paralisação é calculado da seguinte forma:

$$M_{max} = \text{antilog} (\bar{\log} Mct + 1,645 \sigma \log Mct)$$

O teste é aceito se o valor calculado de M_{max} for igual ou menor do que 120 minutos. Se os valores demonstrados são melhores do que os valores especificados, segundo os critérios definidos anteriormente, então o projeto é aceito. Caso isto não ocorra é necessário um novo teste ou uma ação corretiva no projeto.

5.9.2 MÉTODO DO TESTE DA MEDIANA PARA ANÁLISE DOS DADOS

É utilizado na demonstração da manutenibilidade e é baseado na mediana do tempo de reparo do equipamento. Este método assume que a distribuição dos tempos das tarefas de manutenção corretiva é lognormal. Logo:

$$\text{Log MTTRg} = \sum_{i=1}^n \log X_i$$

$$S = [(\sum_{i=1}^n (\log X_i)^2 / n) - (\log \text{MTTRg})^2]^{1/2}$$

onde:

MTTRg = Tempo médio de reparo geométrico

O teste é aceito quando o tempo médio de reparo geométrico e o desvio padrão satisfizerem as seguintes expressões:

$$\text{Aceito se } \log \text{MTTRg} \leq \log \text{TRE} + 0,397 S$$

onde:

$\log \text{TRE}$ = Logaritmo do tempo de reparo do equipamento

O critério de aceitação assegura uma probabilidade de 95% de aceitar um equipamento ou sistema, quando o tempo médio de reparo geométrico é igual ou menor do que o tempo de reparo especificado do equipamento.

O método convencional para determinar a aceitação, baseado na média de uma pequena amostra (menor do que 30) e na estimativa do desvio padrão σ , compara a média medida com a média desejada usando a seguinte expressão:

$$t = [(\bar{X} - \bar{X}_0) / S] (n - 1)^{1/2}$$

$$S = [(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n)]^{1/2} = \text{Desvio padrão da amostra}$$

onde:

\bar{X} = Média medida

\bar{X}_0 = Média desejada

n = Tamanho da amostra

X_i = Valor de uma amostra

A decisão de aceitar é feita quando o resultado do teste gera um valor de t , calculado pela expressão anterior, menor ou igual que o valor de t obtido através da distribuição t de student, nos níveis de aceitação estabelecidos (99%, 95%, 90%) para um tamanho de amostra apropriado.

Seja:

$$\bar{X}_0 = \log \text{ERT (especificado)}$$

$$\bar{X} = \log \text{MTTRg (medido)}$$

S = Desvio padrão medido do logaritmo da amostra do tempo de reparo

n = Tamanho da amostra igual a 20

$$t = [((\log \text{MTTRg} - \log \text{ERT}) / S) (19)^{1/2}]$$

O equipamento em teste é aceito se o valor de t , calculado pela fórmula anterior, é igual ou menor do que 1,729. Este valor é obtido da tabela da distribuição t de student, com nível de aceitação de 95% e com 19 graus de liberdade.

5.10 PROGRAMA DE REVISÃO DA MANUTENIBILIDADE

Tem como função realizar revisões periódicas do programa de manutenibilidade, com a finalidade de verificar a conformidade das especificações de projeto com os requisitos inicialmente definidos. Ao se planejar o programa de revisão da manutenibilidade deve-se definir antecipadamente os objetivos do programa, estabelecer data e local para reunião do grupo de revisão formado por representantes dos elementos organizacionais afetados pela revisão, ou seja: Representantes do setor de engenharia de confiabilidade, manutenibilidade, engenharia elétrica, mecânica, apoio logístico, produção, fornecedores. Posteriormente definem-se os procedimentos a serem adotados para realizar a revisão, incluindo a seleção de equipamentos de testes, modelos de “software” específicos que são utilizados para facilitar o processo de revisão. O programa de revisão da manutenibilidade engloba as seguintes etapas:

REVISÃO DO PROJETO CONCEITUAL

É iniciada durante o projeto conceitual e termina antes do início do projeto inicial. É uma atividade coordenada que tem como objetivo a revisão da configuração escolhida do projeto.

Esta revisão é realizada nas seguintes atividades citadas a seguir:

- Planejamento do programa de manutenibilidade.
- Análise da viabilidade econômica e técnica do projeto.
- Identificação dos requisitos quantitativos da manutenibilidade e definição dos critérios qualitativos de projeto.
- Avaliação conceitual do projeto.
- Documentação do projeto conceitual.

REVISÃO DO PROJETO INICIAL

É realizada durante a fase inicial quando os requisitos funcionais são alocados no projeto e as especificações técnicas são detalhadas. Esta revisão é realizada nas seguintes atividades:

- Análise funcional do projeto.
- Alocação dos requisitos funcionais.
- Especificação técnica dos equipamentos e componentes utilizados.
- Análise da predição da manutenibilidade.
- Documentação do projeto inicial.

REVISÃO DO PROJETO DETALHADO E DESENVOLVIMENTO

É realizado durante a fase do projeto detalhado e desenvolvimento, sendo orientado para revisão dos seguintes tópicos:

- Projeto dos subsistemas e equipamentos principais.
- Análise da predição da manutenibilidade.

- Análise dos fatores que influenciam no suporte logístico.
- Projeto do protótipo incluindo os modelos de testes.
- Documentação do projeto *detalhado*.

REVISÃO CRÍTICA DO PROJETO

É realizada depois do projeto detalhado e antes de iniciar a produção e/ou construção do projeto. Nesta etapa a configuração do projeto é avaliada com relação a sua produção. A revisão é realizada nas seguintes atividades:

- Análise das tarefas de manutenção.
- Análise da predição da manutenibilidade.
- Análise da *demonstração da manutenibilidade*.
- Avaliação dos resultados dos testes.
- Análise do suporte logístico.
- Análise da configuração final do projeto.
- Planejamento detalhado da construção e/ou produção do projeto.
- Análise do ciclo de manutenção do projeto e do suporte do ciclo de vida.
- Documentação final do projeto abrangendo o sistema, subsistemas, componentes, incluindo os desenhos de construção, diagramas elétricos e esquemáticos, listas de fornecedores, listas de materiais e componentes.

5.10.1 PROPOSTA DE MODIFICAÇÕES NO PROJETO

As propostas de modificações no projeto podem ser realizadas em quaisquer das atividades do programa de manutenibilidade e iniciadas em qualquer fase do ciclo de vida. Essas modificações podem ser definidas como de rotina, urgência ou de emergência, dependendo da prioridade a ser adotada. Cada modificação é gerada por um documento definido como proposta de modificação, que deve ser revisado, avaliado e aprovado antes de sua implementação. Este documento é classificado de duas formas:

- CLASSE 1

Modificações realizadas no projeto com impacto na performance, segurança, manutenibilidade, confiabilidade e custo.

- CLASSE 2

Pequenas modificações que não afetam as especificações técnicas do projeto, como por exemplo: Modificações na nomenclatura dos desenhos elétricos e na documentação.

Cada proposta de modificação deve conter os seguintes itens especificados a seguir:

- Descrição do problema e da proposta de modificação.
- Descrição das possíveis alternativas de modificação no projeto.
- Análise mostrando como a modificação influenciará na solução do problema e o impacto nas especificações do projeto.
- Análise comprovando que a solução proposta não causará novos problemas.
- Descrição dos recursos necessários para implementar as modificações.
- Planejamento da incorporação das modificações incluindo os elementos afetados, prazo limite para a implementação das alterações, testes de demonstração, verificação e avaliação.
- Análise identificando os possíveis riscos caso as modificações não sejam realizadas.

Com a finalidade de detalhar os procedimentos adotados para controle das modificações é apresentado na figura 34 um diagrama de blocos, obtido da referência [4], contendo todos os itens citados anteriormente.

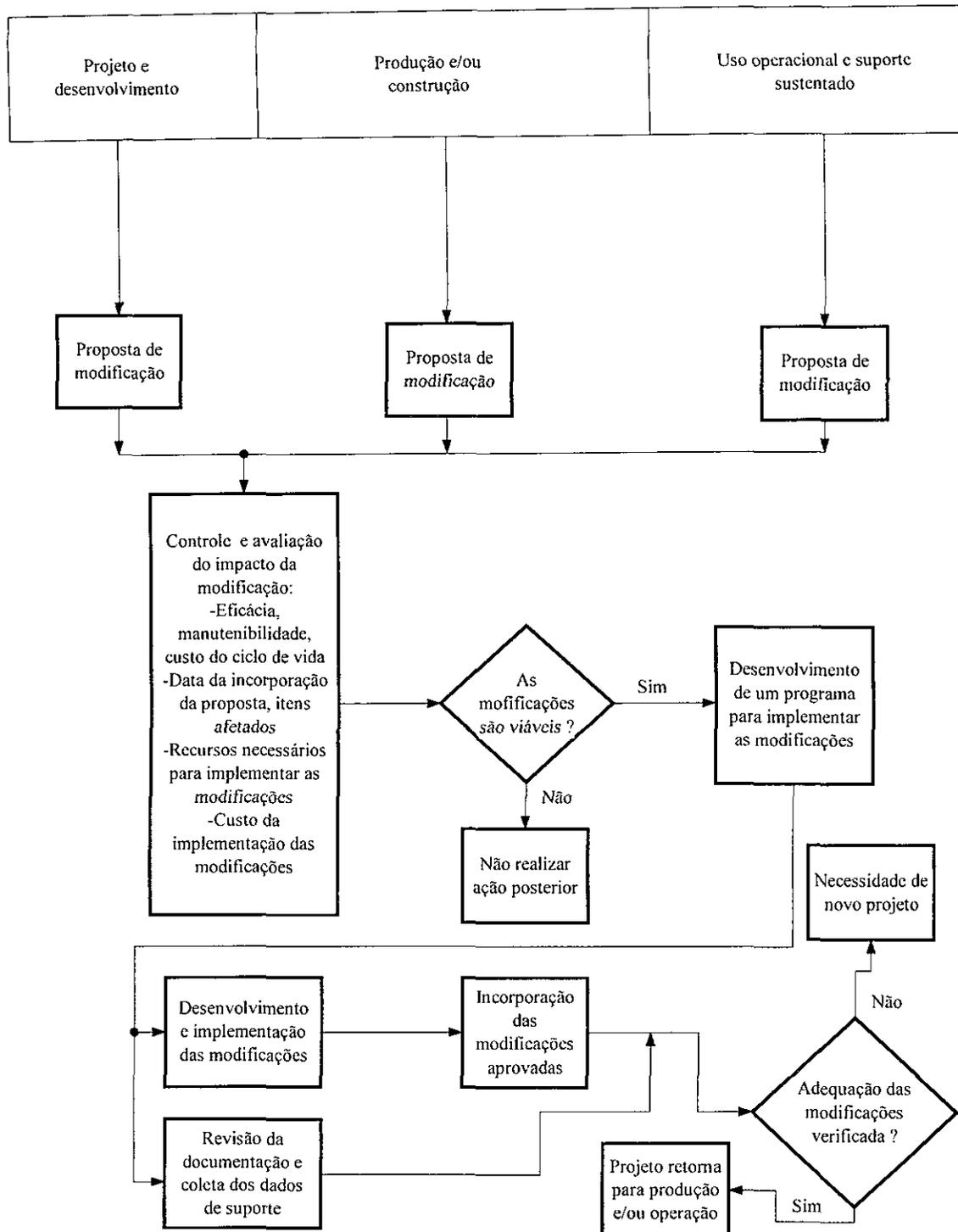


Figura 34 - Procedimentos para controle das modificações no projeto

6 PROGRAMA DE APOIO LOGÍSTICO

Tem como objetivo planejar, controlar e gerenciar todas as atividades que asseguram ao usuário o suporte do projeto durante todo o seu ciclo de vida, documentando as decisões e realizações tomadas. Portanto, uma das funções principais do programa de apoio logístico é o de integrar todos os itens que constituem o apoio logístico, ou seja: Fatores relacionados com o fornecimento de peças e componentes sobressalentes, equipamentos de suporte e teste, fatores relacionados ao grupo técnico de trabalho, facilidades de manutenção, fatores relacionados com o transporte, manuseio e armazenamento, utilização de computadores e documentação técnica, possibilitando um suporte sustentado do uso operacional do projeto com um custo mínimo. De uma maneira geral, o programa de apoio logístico tem como finalidade:

- Especificar os requisitos técnicos do suporte do projeto.
- Integrar os requisitos do apoio logístico no sistema, subsistemas e equipamentos.
- Providenciar o suporte logístico necessário durante a fase operacional do projeto com um custo mínimo.
- Integrar os requisitos do apoio logístico com as características de manutenibilidade do projeto.

A análise do apoio logístico consiste na aplicação de várias técnicas e métodos, com a finalidade de:

- Definir inicialmente os requisitos relacionados com o apoio logístico na fase conceitual do projeto, através do desenvolvimento das suas características operacionais e realizando os estudos de viabilidade econômica e técnica das diversas configurações alternativas de suporte logístico.
- Com a configuração do projeto escolhida, determinar o tipo, quantidade dos equipamentos de teste e suporte, as peças e componentes sobressalentes, grupo técnico, exigências de treinamento, facilidades e documentação técnica.
- Auxiliar na avaliação da eficácia do projeto durante a sua fase operacional, identificando possíveis modificações com a finalidade de otimizá-lo.

6.1 FORNECIMENTO DE COMPONENTES E MATERIAIS DE REPOSIÇÃO

Esta etapa tem uma grande influência na eficácia da manutenção programada e não programada e no tempo de paralisação do sistema. Com o desenvolvimento do projeto, a análise das tarefas de manutenção identifica todos os possíveis componentes substituíveis e sua respectiva quantidade e em conjunto com os dados obtidos do programa de apoio logístico auxilia na descrição dos métodos e procedimentos utilizados na identificação das peças em estoque, dos fornecedores e do material de consumo. O planejamento desta etapa leva em consideração os seguintes fatores:

- Especificações das peças e componentes sobressalentes. As especificações e as taxas de *demanda desses componentes são funções da confiabilidade, da quantidade utilizada e do ciclo de trabalho.*
- Tempo transcorrido entre a manutenção de um componente reparável e o seu retorno para o almoxarifado, tornando-se um componente sobressalente. Este tempo é função dos equipamentos de testes utilizados, das facilidades encontradas, do grupo técnico e do nível de manutenção realizada.
- Tempo transcorrido para obtenção de uma peça ou componente no almoxarifado. É função da taxa de demanda esperada do componente.
- Obsolescência do componente: Quando existe somente um fornecedor para um determinado componente, é necessário que grandes quantidades sejam adquiridas evitando futuros problemas com a aquisição desses componentes, caso o componente torne-se obsoleto, não sendo mais fabricado.
- Taxa de falhas dos componentes reparáveis: Depois que um componente reparável é consertado várias vezes, não é economicamente viável repará-lo novamente. Portanto é necessário possuir uma grande quantidade dessas peças em estoque.
- Criticalidade do componente: Uma grande quantidade de componentes críticos deve ser mantido em estoque, diminuindo a probabilidade de não tê-lo disponível quando necessário.

- Custo das peças e componentes sobressalentes: Está relacionado com os custos de aquisição e com o custo de manter esses componentes em estoque.
- Listagem das peças e material de consumo necessário para cada nível de manutenção (organizacional, intermediária e no depósito).
- Planejamento da aquisição de peças e componentes que não fazem parte do estoque inicial.
- Planejamento da coleta e análise dos dados, com a finalidade de atualizar a demanda por peças e componentes sobressalentes.
- Planejamento da aquisição de peças e componentes sobressalentes para suprir a fase do uso operacional do projeto pelo usuário.

A formatação mostrada na figura 35 tem como função auxiliar na definição das peças e componentes sobressalentes. A seguir são definidos os blocos que constituem esta formatação:

BLOCO 1

Número das tarefas de manutenção.

BLOCO 2

Descrição das tarefas de manutenção.

BLOCO 3

Nomenclatura do equipamento.

BLOCO 4

Nomenclatura da peça ou do componente.

BLOCO 5

Quantidade de peças ou componentes por equipamento.

BLOCO 6

Frequência de reposição, ou seja, número de peças repostas por horas de operação do sistema.

BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3		
		BLOCO 4	BLOCO 5	BLOCO 6

Figura 35 - Definição das peças e componentes sobressalentes

6.2 EQUIPAMENTOS DE TESTE E SUPORTE

Os equipamentos de teste e suporte devem ser utilizados na quantidade certa e no local correto, assegurando a eficácia da manutenção do sistema. É importante definir o tipo de componente ou peça que será reparado, o nível de manutenção, a frequência de utilização dos equipamentos de teste e suporte, a precisão e a tolerância das medidas. O uso desses equipamentos tem como objetivo aumentar a disponibilidade do sistema, com um custo mínimo. Ao se escolher um equipamento de teste e suporte para uma determinada tarefa de manutenção, deve-se considerar além dos parâmetros básicos de eficácia, ou seja, disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade, outras medidas que combinadas também determinam o uso efetivo desses equipamentos: Tempo médio para calibração, tempo médio para diagnosticar uma falha, peso, volume, tolerância das medidas, tempo de resposta.

Os seguintes itens devem ser considerados ao se escolher um equipamento de teste ou suporte:

- Determinar em que condições será utilizado o equipamento e se há necessidade de transportá-lo frequentemente.
- Determinar o parâmetro a ser medido, sua precisão e tolerância.
- Determinar a quantidade e o tempo de utilização.

- Determinar as facilidades necessárias no local onde o equipamento será utilizado, ou seja:
Área disponível, tipo de energia para energizá-lo, iluminação, etc.

Na figura 36 é apresentada uma formatação, obtida da referência [14], utilizada na análise das especificações dos equipamentos de teste e suporte, que tem como objetivo identificar esses equipamentos utilizados na manutenção, facilitando a sua aquisição. A seguir é descrito cada um dos blocos que fazem parte deste documento.

NOMENCLATURA:

Identificação do equipamento.

BLOCO 1

Nome do fornecedor.

BLOCO 2

Nome ou modelo comercial do equipamento de teste e suporte.

BLOCO 3

Especificações das principais medidas com o equipamento de teste e suporte. Deve-se resumir os limites e as tolerâncias dos principais parâmetros incluídos nas tarefas de manutenção. Por exemplo a medida de tensão em um ponto de teste - 10 a 300 VDC com tolerância de 3%.

BLOCO 4

Principais características técnicas do equipamento de teste e suporte.

BLOCO 5

Definição da quantidade recomendada.

NOMENCLATURA:

BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4	BLOCO 5

Figura 36 - Formatação utilizada na análise dos equipamentos de teste e suporte

6.3 FACILIDADES LOGÍSTICAS

Esta etapa está relacionada com as facilidades e os custos para se realizar a manutenção de um projeto. A localização, o tipo de facilidade, “ lay-out “ dos locais de testes, têm uma grande influência na eficácia da manutenção. Segundo a referência [14] estas facilidades podem ser classificadas como:

- Facilidades de utilização

Estão relacionadas com as dimensões físicas do local onde são realizadas as tarefas de manutenção. Portanto, essas facilidades são função do tipo e da quantidade de tarefas realizadas.

- Utilização da energia

Expressa a quantidade de energia consumida por ação de manutenção.

- Custo total das facilidades

É classificado como: Custo fixo e custo variável. O componente fixo inclui fatores como por exemplo: Aluguel mensal, depreciação dos equipamentos, segurança das instalações. O custo variável é função da utilização das facilidades.

- Tempo para adquirir um item

É o tempo gasto para obter um item relacionado com o suporte logístico da manutenção.

Ao se avaliar cada tarefa de manutenção, deve-se determinar onde a tarefa deve ser realizada e as facilidades necessárias. Isto inclui a determinação do espaço disponível, custo necessário,

energia e sistema de comunicação disponível, equipamentos necessários, computadores e as condições ambientais.

6.4 TRANSPORTE, MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

Esta etapa tem como objetivo implementar procedimentos para documentar e definir o armazenamento, transporte e manuseamento de equipamentos, peças e componentes com a finalidade de evitar perdas e avarias. O suporte ao projeto durante todo o seu ciclo de vida, muitas vezes deve ser realizado em locais distantes da área coberta pelas atividades dos fornecedores. Isto implica então, no deslocamento de materiais, equipamentos, componentes, técnicos e toda a infraestrutura necessária para realizar a manutenção adequadamente. O transporte, manuseio e armazenamento são dados essenciais para a análise do apoio logístico, análise das tarefas de manutenção, influenciando decisivamente na eficiência da infraestrutura de apoio logístico. Os seguintes fatores citados a seguir e obtidos da referência [14] afetam o planejamento do transporte:

- Modo de transporte, ou seja: Avião ,trem, etc.
- Rota do transporte.
- Tempo médio de transporte.
- Custo do transporte.

6.5 FATORES RELACIONADOS COM O GRUPO DE TRABALHO

Esta etapa tem como objetivo definir as exigências qualitativas e quantitativas do grupo técnico. O planejamento para este item deve incluir os seguintes fatores:

- O tipo de treinamento para os operadores.
- O tipo de treinamento para o grupo de manutenção.
- Os equipamentos, computadores, “ software “ de simulação utilizados neste treinamento.
- O nível de escolaridade do grupo técnico.
- O nível de especialização do grupo técnico.

Na figura 37 é apresentada uma formatação utilizada na análise do grupo de trabalho, obtida da referência [14]. A seguir é descrito cada um dos blocos que fazem parte deste documento.

NOMENCLATURA

Identificação do equipamento.

BLOCO 1

Identificação do tipo de manutenção: Organizacional (O), Intermediária (I) e no depósito (D).

BLOCO 2

Determina o nível de especialização (ES) do grupo de trabalho: Básico (B), intermediário (I) e superior (S) e a ocupação dos técnicos (OC) que fazem parte do grupo de suporte: Auxiliar mecânico (AM), auxiliar eletrônico (AE), técnico eletrônico (TE), técnico mecânico (TM), engenheiro mecânico (EM), engenheiro eletrônico (EE).

BLOCO 3

Número de técnicos necessários para realizar cada tarefa.

BLOCO 4

Indica a quantidade de técnicos que realizam a tarefa em tempo parcial (P) e em tempo total (T), além do tempo para cada classificação.

BLOCO 5

Indica o total do número de horas homem de manutenção exigido para realizar a tarefa em um ano.

BLOCO 6

Especifica os cursos de treinamento: Tipo e duração para cada área, ou seja, operação (OP), manutenção (M) e projeto (P).

NOMENCLATURA:

BLOCO 1	BLOCO 2		BLOCO 3	BLOCO 4		BLOCO 5	BLOCO 6		
	ES	OC		P	T		OP	M	P

Figura 37- Formatação utilizada na análise do grupo de trabalho

6.6 DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

Todos os procedimentos utilizados para a realização do programa de manutenibilidade devem ser documentados. Um dos modos de se realizar esta documentação é através da utilização de computadores com “ software “ específicos, como por exemplo: Editores de texto, planilha e banco de dados, que facilitam a atualização dessas informações. Uma documentação técnica pode consistir de um conjunto de instruções de operação, manuais de serviço, procedimentos para manutenção, calibração e inspeções. O planejamento da documentação técnica deve incluir os seguintes fatores:

- Descrição das especificações dos dados técnicos para cada atividade.
- Documentação da verificação e validação dos procedimentos de operação e manutenção.
- Documentação das alterações no projeto e incorporações dessas alterações nos manuais de serviço.

6.7 UTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES

Os “ software “ de simulação, computadores, impressoras, sistemas de comunicações de dados são importantes ao se implementar um programa de manutenibilidade, facilitando a automatização dos sistemas de coleta e análise de dados. O planejamento para esta etapa deve incluir os seguintes fatores:

- Identificação dos computadores a serem utilizados.
- Identificação dos “ software “ e das rotinas de diagnósticos de falhas a serem utilizados.

- Identificação dos acessórios a serem utilizados, como por exemplo: Impressoras, modem, sistemas de aquisição de dados, “ scanner “.
- Definição da linguagem de programação a ser utilizada.
- Definição da configuração a ser utilizada.

7 CONCLUSÕES

O tema abordado apesar de pouco divulgado no Brasil é um dos mais importantes desenvolvidos na engenharia de sistemas, pois é de vital importância para o sucesso do projeto, possuindo parâmetros que caso sejam bem avaliados e interpretados, melhoram a disponibilidade do projeto, otimizam a manutenção e aumentam de forma substancial a vida útil do projeto.

Com o aumento da competição entre as empresas em busca do mercado consumidor e devido a mudança de perfil do usuário, tornando-se mais exigente em busca de produtos com maior qualidade, menor custo e com suporte adequado durante todo o seu ciclo de vida, programas de garantia de qualidade e de manutenibilidade tornaram-se fundamentais para a elaboração e desenvolvimento de projetos. Com esta finalidade, procurou-se desenvolver uma metodologia necessária para a confecção de um programa de manutenibilidade. Esta metodologia se caracteriza pela definição das atividades necessárias para a execução deste programa e pela alocação destas atividades, citadas a seguir, em cada fase do ciclo de vida do projeto.

- Planejamento do programa de manutenibilidade.
- Programa de controle e revisão dos fornecedores.
- Critérios de projeto de manutenibilidade.
- Alocação da manutenibilidade.
- Modo de Falha, efeito e análise de criticalidade.
- Análise da manutenibilidade.
- Predição da manutenibilidade.
- Programa de demonstração da Manutenibilidade.

- Análise, coleta de dados e ações corretivas.
- Programa de revisão da manutenibilidade.
- Programa de apoio logístico.

Todos os procedimentos adotados foram baseados em normas desenvolvidas por organismos e órgãos internacionais, assegurando assim a credibilidade, aplicabilidade e a eficiência da metodologia utilizada, possibilitando a implantação do trabalho realizado em várias áreas de desenvolvimento tecnológico. Portanto, com as ferramentas fornecidas espera-se ter viabilizado o planejamento, elaboração e implementação deste programa, além de ter contribuído para a continuação dos estudos relacionados com este campo de aplicação e de ser utilizado como referência para futuros trabalhos.

Como sugestão para o prosseguimento do tema focado, sugerimos a elaboração de um programa de manutenibilidade direcionado para o desenvolvimento tecnológico, como por exemplo: Programa de manutenibilidade para o projeto de uma instrumentação nuclear, de processo e de monitoração ambiental de um reator nuclear produtor de radioisótopos.

Referências Bibliográficas

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONTROLE DE QUALIDADE, Curso de Preparação de “Quality Engineer” da American Society for Quality Control, 1991.
- [2] BEVILACQUA, S. ; AGOSTINO, E. e RISPOLI, B. , Application of the theory of Reliability-CNEN Vol. 15, 1969.
- [3] BLANCHARD and FABRYCKY, Systems Engineering and Analysis, 1988.
- [4] BLANCHARD, BENJAMIN S.; VERMA, DINESH; PETERSON, ELMER L. , MAINTAINABILITY A KEY TO EFFECTIVE SERVICEABILITY AND MAINTENANCE MANAGEMENT, 1994.
- [5] BRAGA, MARIO J. F. , Apostila de Confiabilidade do Curso de Mestrado de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense, 1994.
- [6] BRICK, EDUARDO S. , A Support System Idealized Model - Curso de Mestrado de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense, 1994.
- [7] CALABRO, S. R. , Maintainability and Availability, 1962.
- [8] COSTA, J. R. , Confiabilidade de Sistemas-Curso de Preparação Técnica de Pessoal para Programas de Garantia de Qualidade-Nuclebrás,.
- [9] COSTA, J. R. , Garantia de Qualidade-Métodos e Programas-Curso de Preparação Técnica de Pessoal para Programas de Garantia de Qualidade-Nuclebrás,.
- [10] COSTA, J. R. , Princípios Básicos da Qualidade Industrial-Curso de Preparação Técnica de Pessoal para Programas de Garantia de Qualidade-Nuclebrás,.
- [11] DEFINITIONS OF TERMS FOR RELIABILITY AND MAINTAINABILITY, MILITARY STANDARD-MIL STD 721C, 1991.

- [12] GOLDMAN, A. S. and SLATTERY, T. B. , Maintainability-A major element of system effectiveness,.
- [13] INTEGRATED LOGISTICS SUPPORT PROGRAMS FOR EQUIPMENT, SUBSYSTEMS AND SYSTEMS METRIC-MILITARY STANDARD-MILITARY STANDARD-DOD STD 1702, 1985.
- [14] INTEGRATED LOGISTIC SUPPORT PROGRAM REQUIREMENTS-MILITARY STANDARD-MIL STD 1369, 1971.
- [15] LANGFORD, JOHN W. , Logistics principles and applications, 1995.
- [16] LARSON, HAROLD J. , Introduction to Probability Theory and Statistical Inference, 1970.
- [17] MAINTAINABILITY DESIGN TECHNIQUES - MILITARY STANDARD HANDBOOK - DOD HDBK 791
- [18] MAINTAINABILITY PREDICTION VOL. I AND II - MILITARY STANDARD HANDBOOK - MIL HDBK 472
- [19] MAINTAINABILITY PROGRAM FOR SYSTEMS AND EQUIPMENT-MILITARY STANDARD-MIL STD 470B, 1989.
- [20] MAINTAINABILITY VERIFICATION / DEMONSTRATION / EVALUATION-MILITARY STANDARD-MIL STD 471A, 1978.
- [21] MARINO, RAUL C. A., Ensaios de Equipamentos Nucleares-CNEN / IEN / DEIC, 1984.
- [22] MARINO, RAUL C. A., Confiabilidade-Teoria e Aplicações-CNEN / IEN / DEIC, 1984.
- [23] MIRSHAWKA, VICTOR E OLMEDO, NAPOLEÃO L. , Manutenção-Combate aos Custos da Não-Eficácia, 1993.
- [24] MEYER, P. L. , Probabilidade Aplicações à Estatística, 1977.
- [25] NETO, PEDRO L. O. C. , Estatística, 1977.
- [26] NIEBEL, BENJAMIN W. , Engineering Maintenance, 1994.
- [27] OBADIA, ISAAC J. , Manual de qualidade-Coordenação de Instrumentação Nuclear-Instituto de Engenharia Nuclear -Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1995.

- [28] OLIVEIRA, LUIZ F. S. , Engenharia da Confiabilidade-Apostila do Instituto Brasileiro de Petróleo, 1991.
- [29] PEREIRA, LUIZ T.V. E BUZZO, WALTER A., Introdução à engenharia, 1990.
- [30] PROCEDURES FOR PERFORMING A FAILURE MODE, EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS - MILITARY STANDARD - MIL STD 1629A
- [31] RELIABILITY STRESS AND FAILURES RATE FOR ELECTRONIC EQUIPMENT - MILITARY STANDARD - MIL HDBK 217
- [32] RELIABILITY TESTING FOR ENGINEERING DEVELOPMENT, QUALIFICATION AND PRODUCTION-MILITARY STANDARD-MIL STD 781D, 1986.
- [33] RETTERER, B. L. , Consideration of Maintainability in Reliability Programs ,1985.
- [34] SYSTEM SAFETY PROGRAM REQUIREMENTS-MILITARY STANDARD -MIL STD 882C, 1993.