

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

***CONFIABILIDADE E FALHAS DE CAMPO***  
***- UMA METODOLOGIA PARA SUPORTE AO PROJETO***

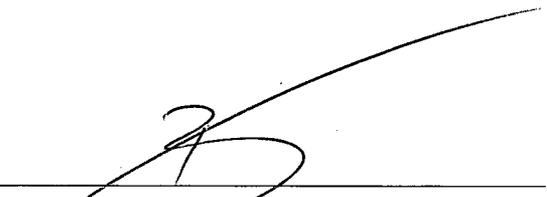
**RUBENS ANTONIO DE SOUZA**

Florianópolis, outubro de 1999.

**CONFIABILIDADE E FALHAS DE CAMPO**  
**- UMA METODOLOGIA PARA SUPORTE AO PROJETO**

**RUBENS ANTONIO DE SOUZA**

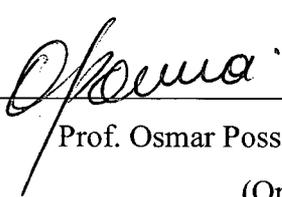
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, especialidade em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma original pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFSC.



---

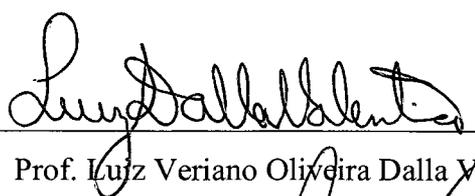
Prof. Ricardo Miranda Bácia, Ph.D.  
Coordenador do curso de Pós-Graduação

Banca Examinadora:



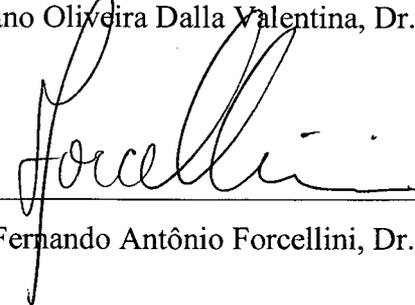
---

Prof. Osmar Possamai, Dr.  
(Orientador)



---

Prof. Luiz Veriano Oliveira Dalla Valentina, Dr.



---

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.

Dedico este trabalho a minha esposa, Eliane, pelas inúmeras horas em que se dispôs a me apoiar para que eu pudesse me dedicar a este curso. Aos meus filhos Rodrigo e Carolina, dedico também com especial carinho pois, em razão do desafio que representou este curso, deixei de lhes conceder de maneira satisfatória, a atenção tão importante e merecida.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus pais, pela bênção, por eles concedida, à minha vida.

À minha esposa e aos meus filhos, pelo apoio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, por toda a orientação e infra-estrutura, oferecidas, sem as quais não seria possível o meu ingresso à realização deste curso.

Ao meu orientador, Prof. Osmar Possamai, que desde o primeiro contato que tivemos, se prontificou a prestar o seu apoio e confiança à minha pessoa.

À Multibrás S. A. Eletrodomésticos, na pessoa dos Srs. Adelar Dalzochio e Joaquim Macedo, por terem me concedido a oportunidade, por meio da minha liberação de horas normais de trabalho, para que eu pudesse fazer este curso.

Aos colegas de trabalho que de alguma forma me auxiliaram na obtenção de informações necessárias à realização deste trabalho.

Finalmente a todos os professores e colegas, em especial ao Prof. Luiz Dalla Valentina, com os quais tive o privilégio de conviver, aprender e trocar experiências, durante este período em que estive na UFSC.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1 Objetivo do Trabalho.....	02
1.2 Estrutura do Trabalho.....	03
<b>CAPÍTULO 2 – CONFIABILIDADE EM PRODUTOS.....</b>	<b>04</b>
2.1 Introdução.....	04
2.2 Confiabilidade.....	05
2.3 Impacto da Confiabilidade no Custo da qualidade.....	07
2.4 Confiabilidade e Garantia.....	09
2.5 Engenharia da Confiabilidade.....	13
2.6 Engenharia da Confiabilidade no Processo de Projeto.....	14
2.6.1 Fase de Investigação.....	15
2.6.2 Durante a Fase de Projeto.....	18
2.6.2.1 Predição da Confiabilidade.....	19
2.6.2.2 Análise do Modo e Efeito da Falha (FMEA).....	20
2.6.2.3 Árvore de Falhas (FTA).....	23
2.6.2.4 Engenharia Assistida pelo Computador.....	25
2.6.2.5 Desdobramento da Função Qualidade (QFD).....	26
2.6.3 Durante a Fase de Testes .....	28
2.6.3.1 Testes de Crescimento da Confiabilidade.....	29
2.6.3.2 Teste de Triagem de Estresse Ambiental (ESS) e <i>Burn in</i> .....	31
2.7 Previsão de Falhas.....	33
2.7.1 O Processo de Predição.....	39
2.8 Dados de Confiabilidade de Campo.....	40
2.8.1 Retorno de Campo.....	42
2.9 A Relevância dos Dados de Campo ao Fabricante.....	43

2.9.1 Fatores Ambientais.....	43
2.9.2 Fatores Operacionais.....	44
2.9.3 Sintoma e Diagnóstico de Falhas.....	46
2.9.4 Índices da Confiabilidade e Manutenibilidade.....	46
2.10 Considerações Finais.....	48
<b>CAPÍTULO 3 – A CONDUÇÃO DE PROBLEMAS DE CAMPO.....</b>	<b>50</b>
3.1 Dados da Empresa Pesquisada.....	50
3.2 O Processo de Projeto na Empresa Pesquisada.....	51
3.2.1 Metodologia C2C.....	51
3.2.2 Abordagens ao Processo de Projeto.....	54
3.3 Ferramentas Aplicadas no Desenvolvimento de Produtos.....	56
3.3.1 - Utilização do QFD.....	57
3.3.2 - Análise Funcional.....	57
3.3.3 - FMEA e FTA.....	59
3.4 A Experiência em Engenharia Simultânea na Empresa Pesquisada.....	59
3.5 Áreas em Estudo e suas Funções.....	60
3.6 Experiência em Solução de Problemas de Campo.....	70
3.6.1 Histórico de Problemas de Campo.....	70
3.6.2 Principais Dificuldades.....	71
3.7 A Necessidade de um Modelo que Auxilie a Solução de Problemas de Campo.....	71
<b>CAPÍTULO 4 – MODELO DE SUPORTE AO PROJETO.....</b>	<b>73</b>
4.1 A Visão Macro do Modelo no Desenvolvimento de Produtos.....	73
4.2 O Modelo Proposto.....	74
4.2.1 FASE 1: Preparação.....	76
4.2.1.1 – Definir Objetivos e metas.....	76
4.2.1.2 – Reuniões de Formação de Equipes.....	76
4.2.1.3 – Processo de Comunicação.....	77
4.2.2 FASE 2: Identificação dos Dados do <i>Feed Back</i> de Campo.....	77
4.2.3 FASE 3: Identificação da Causas.....	80
4.2.4 FASE 4: Ação Corretiva ( Proposta de Projeto ).....	81
4.2.5 FASE 5: Aval. Viabilidade Técnica, Econômica e Financeira.....	82
4.2.6 FASE 6: Confirmação dos Resultados.....	83

4.2.7 FASE 7 Implantação da Ação Corretiva ( Alteração de Projeto ).....	84
4.2.7.1 - Produtos de Linha.....	85
4.2.7.2 - Projetos de Novos Produtos.....	85
4.2.8 FASE 8 Validação.....	88
<b>CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....</b>	<b>89</b>
5.1 Aplicação do Modelo em uma Correção de Projeto.....	89
5.1.1 FASE 1: Preparação.....	89
5.1.2 FASE 2: Identificação dos Dados de Campo.....	91
5.1.3 FASE 3: Identificação das Causas.....	106
5.1.4 FASE 4: Ação Corretiva ( Proposta de Projeto ).....	109
5.1.5 FASE 5: Avaliação de Viabilidade Técnica, Econômica e Financeira.....	109
5.1.6 FASE 6: Confirmação dos Resultados.....	109
5.1.7 FASE 7: Implantação da Ação Corretiva.....	110
5.1.8 FASE 8: Validação.....	110
5.2 Aplicação do Modelo em um Projeto Novo.....	111
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>115</b>
6.1 Conclusões.....	115
6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	118
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>123</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Exemplo do bulbo da lâmpada.....	07
Figura 2.2: Política de Garantia Pró-Rata.....	11
Figura 2.3: Política de Garantia Combinada.....	12
Figura 2.4: Curva da Banheira. ....	17
Figura 2.5: Estrutura Básica para a Criação de uma FTA.....	25
Figura 2.6: Processo de Gerenciamento de Teste de Confiabilidade da Confiabilidade.....	29
Figura 2.7: Processo Bayesiano para Derivação Posterior.....	40
Figura 2.8: Sistema de Documentação de Falhas Landis.....	43
Figura 2.9: Períodos de Operação e Manutenção MTBF, MTTR e MTTF.....	48
Figura 3.1: Representação Gráfica do Conceito C2C.....	52
Figura 3.2: Diagrama FAST do Aparador de Água.....	58
Figura 3.3: Roteiro de Execução das Atividades em Projetos de Produtos Novos ou Alterações.....	62
Figura 3.4: As Áreas Clientes da Engenharia de Produtos e suas Interfaces Técnicas e Organizacionais.....	66
Figura 3.5: Fluxo de Atividades da assistência ao Consumidor.....	67
Figura 4.1: Fases de Desenvolvimento de um Produto.....	73
Figura 4.2: Fluxo do Modelo de Suporte ao Projeto (MSP).....	74
Figura 4.3: FASE 1: Preparação.....	76
Figura 4.4: FASE 2: Identificar os Dados de <i>Feed Back</i> de Campo.....	78
Figura 4.5: FASE 3: Identificação das Causas.....	80
Figura 4.6: FASE 4: Ação Corretiva.....	81
Figura 4.7: FASE 5: Avaliação de Viabilidade Técnica, Econômica e Financeira.....	82
Figura 4.8: FASE 6: Confirmação dos Resultados.....	83
Figura 4.9: FASE 7: Implantação da Ação Corretiva.....	84
Figura 4.10: Integração do QFD, FTA e FMECA.....	87
Figura 4.11: FASE 8: Validação.....	88
Figura 5.1: <i>Freezer</i> Vertical.....	89
Figura 5.2: Vista Explodida da Região Superior do Produto.....	90
Figura 5.3: Reclamações de Campo Relacionadas aos <i>Freezers</i> .....	91

Figura 5.4: FTA - “Falha no Sistema de Estrutural”.....	94
Figura 5.5: FTA - “Falha no Sistema Estrutural” Atualizada.....	95
Figura 5.6: FTA - “Falha no Sistema Elétrico”.....	96
Figura 5.7: FTA - “Falha no Sistema Elétrico” Atualizada.....	96
Figura 5.8: Análise de Aderência da Amostra Consoles na Distribuição Lognormal.....	99
Figura 5.9: Análise de Aderência da Amostra Consoles na Distribuição Weibull.....	100
Figura 5.10: Análise de Aderência da Amostra Consoles na Distribuição Exponencial.....	100
Figura 5.11: Análise de Aderência da Amostra Consoles na Distribuição Normal.....	101
Figura 5.12: Análise de Aderência da Amostra Chaves na Distribuição Weibull.....	103
Figura 5.13: Análise de Aderência da Amostra Chaves <i>FF</i> na Distribuição Exponencial.....	103
Figura 5.14: Análise de Aderência da Amostra Chaves <i>FF</i> na Distribuição Lognormal.....	104
Figura 5.15: Análise de Aderência da Amostra Chaves <i>FF</i> na Distribuição Normal.....	104
Figura 5.16: Análise das Causas Influentes na Defeito Console Quebrado/Trincado Gelo Adequadamente”.....	106
Figura 5.17: Análise das Causas Influentes no Defeito Chave <i>FF</i> Solta/Trancada ou Não Desliga.....	107
Figura 5.18: Análise Morfológica da Qualidade Exigida “ Formar Gelo Adequadamente.....	112
Figura 5.19: Diagrama FAST da função “Manter Operação do Sistema de Refrigeração”.....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Elementos de custo da não qualidade.....	08
Tabela 2.2: Diferença do MTBF Predito pela Norma MIL-HDBK-217 e o MTBF Real de Campo.....	35
Tabela 3.1: Aplicação da Engenharia Simultânea.....	60
Tabela 5.1: Falhas Reclamadas Relacionadas ao Conjunto Console.....	92
Tabela 5.2: Falhas Constatadas e Ações Tomadas Durante o Reparo Relacionadas ao Conjunto Console.....	92
Tabela 5.3: Comparativo entre Falhas Reclamadas & Constatadas Relacionadas ao Console.....	93
Tabela 5.4: Comparativo entre Falhas Reclamadas & Constatadas Relacionadas à Chave <i>Fast Freezing</i> .....	93
Tabela 5.5: Fatores Ambientais e Operacionais Identificados em Campo Relacionadas ao Console.....	97
Tabela 5.6: Fatores Ambientais e Operacionais Identificados em campo Relacionadas à Chave <i>Fast Freezing</i> .....	98

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A abertura do mercado à concorrência internacional, está pondo a prova todas as empresas que já estão no mercado brasileiro há tempo. A partir de agora, estas empresas iniciam-se em um profundo e árduo processo de competição com as grandes empresas em todo o mundo. O Brasil está sendo visto como um mercado de grande potencial de consumo e, conseqüentemente, grandes empresas multinacionais estão investindo milhões de dólares em novas fábricas. Cabe às indústrias, já instaladas, a busca permanente da melhoria de seus produtos e serviços através da procura por diferenciais de mercado com investimentos em pesquisa, automação industrial e bom nível de recursos humanos, entre outros. Estes são os principais ingredientes para evitar que seus atuais consumidores, deixem de sê-lo e fujam para os concorrentes; ou que se faça a busca de novos consumidores.

O tema Confiabilidade e falhas de campo foi adotado para traduzir uma pesquisa que resulta em um suporte às áreas de projeto através de ações voltadas à confiabilidade, com base na análise de problemas de campo. As empresas buscam uma melhoria em seus projetos, através de ações que visam a solução de problemas em seus produtos, com base em informações provenientes do campo.

Há várias técnicas disponíveis, na área de confiabilidade, a fim de evitar e prevenir que falhas possam ocorrer durante o ciclo de vida de um produto. Entretanto, devido a complexidade e dificuldade em predizê-las, as falhas ocorrem em campo. Conseqüentemente, o *feed back* de campo é uma das etapas mais importantes de um programa de confiabilidade, para que o fabricante tenha conhecimento sobre o nível de não conformidade dos seus produtos nas mãos do consumidor.

Durante os prazos de vigência de garantia, o trabalho de coleta de dados é feito pela assistência técnica. Sabe-se das diversas formas, variáveis e freqüência com que este processo pode ser conduzido. Em função disto, e a fim de propor ao leitor uma visão mais ampla deste processo, serão abordados neste trabalho, os principais aspectos relacionados ao mesmo. Quanto ao *feed back* de campo, será considerada uma coleta de dados confiável como premissa básica, para que a proposta de suporte ao projeto também o seja.

Esta pesquisa tem o propósito de contribuir para a busca permanente de um diferencial de mercado para as empresas, ao oferecer um produto com um maior grau de qualidade. Um produto que, se vier a apresentar problemas durante o seu uso, tenha um

método de trabalho em projeto que venha auxiliar à sua solução a fim de torná-la eficaz e rápida.

O problema que se pretende resolver, trata do aumento das soluções de projeto para problemas reclamados em campo. Com isso, pretende-se atingir um grau mais adequado de análise dos problemas reclamados. Estes índices de reclamação, normalmente são levantados com periodicidade mensal pelas empresas, via coleta de dados no campo. Estes resultados são obtidos através de planos de ação que resultam em alterações de projeto e/ou processo para que possam ser traduzidos em uma correção efetiva do problema.

Ao se resolver os problemas com produtos, que ocorrem no campo, evita-se a perda de tempo, prejuízos e a deterioração da imagem da organização.

## 1.1 – Objetivo do Trabalho

O objetivo geral do trabalho é propor um modelo de suporte ao projeto/reprojeto de produtos, com base na análise de problemas de campo. O propósito é auxiliar a área de projeto a solucionar problemas de campo a fim de promover uma maior confiabilidade aos produtos.

Para alcançar o objetivo proposto, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- criar um fluxo de trabalho, entre as áreas de Projeto e Assistência ao Consumidor, direcionado à confiabilidade;
- proporcionar uma interpretação mais confiável com relação aos reais problemas ocorridos em campo;
- conduzir o uso do modelo, proposto neste trabalho, à aplicação de ferramentas de projeto tais como:
  - Análise Crítica do Modo e Efeito de Falhas (FMECA - *Failure Mode and Critically Analysis*);
  - Análise de Árvore de Falhas (FTA – *Fault Tree Analysis*);
  - Desdobramento da função Qualidade (QFD - *Quality Function Deployment*).
- promover a comparação dos resultados de campo com o projeto inicial, através da análise das ferramentas utilizadas e resultados de testes de desenvolvimento;
- incentivar a utilização de evidências físicas relacionadas ao problema;

## 1.2 – Estrutura do Trabalho

O Capítulo 2, apresenta uma visão geral da problemática existente nas empresas, no que se refere a solução de problemas de projetos e atividades relacionadas à confiabilidade, ocorridas em campo de uma maneira geral.

O Capítulo 3, apresenta uma visão da empresa pesquisada, bem como sua forma de trabalho na condução de problemas de campo.

O Capítulo 4, apresenta a descrição das fases do modelo proposto, bem como as técnicas empregadas em cada uma delas.

O Capítulo 5, descreve a aplicação prática do modelo proposto, através do estudo de caso em uma empresa de eletrodomésticos.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho, bem como algumas sugestões para futuros trabalhos.

## CAPÍTULO 2 – CONFIABILIDADE EM PRODUTOS

Este capítulo tem o propósito de apresentar os principais temas relacionados a problemas em produtos no campo e a solução dos mesmos por meio de modificações no projeto.

### 2.1 – Introdução

Para se obter qualidade e confiabilidade em produtos, geralmente são necessários investimentos expressivos. Mas, a não-qualidade e a não-confiabilidade normalmente resultam em custos muito maiores. Responsabilidades, despesas com garantia, responsabilidade civil sobre o produto, *recalls* e reparos podem custar milhões de dólares a cada ano às organizações, em função de não ter sido dada a devida ênfase à qualidade e confiabilidade durante as fases de projeto e manufatura, no estágio de desenvolvimento de produto.

As diferenças em termos de expectativas entre diferentes consumidores considera o fato dos produtos apresentarem, em geral, as mesmas características de funções e grandes diferenças entre qualidade e preço. Estas diferenças encontram-se nas diversas especificações utilizadas e na forma como elas são atendidas, dentre os vários produtos considerados.

Segundo Ireson & Coombs (1988), existem dois conceitos gerais de qualidade em relação às especificações:

- qualidade de projeto;
- qualidade de conformidade.

Os automóveis são um bom exemplo de diferenças em qualidade de projeto. Automóveis como o Rolls Royce, Mercedes, BMW e Cadillac têm alto grau de qualidade de projeto quando comparados aos modelos básicos da Chevrolet e Ford. A sua superioridade está também representada por especificações de materiais melhores, tolerâncias mais justas e sistemas de controle sofisticados, entre outros fatores, resultando também em um preço mais elevado. Isto faz destes automóveis de preços mais altos, automóveis mais robustos, com um grau superior de tecnologia e, portanto, menos suscetíveis às falhas e com maior valor agregado ao consumidor.

A qualidade de conformidade é compatível com o nível de conformidade real de um produto em relação às suas especificações. Portanto, a maioria das atividades de qualidade assegurada são compatíveis com o nível de especificação das características da

qualidade, procedimentos e programas para assegurar que cada parte de um produto atenda às especificações individuais. Um produto pode ser produzido de forma totalmente conforme suas especificações, porém este ainda pode apresentar baixa qualidade se suas especificações não forem adequadas.

Em muitos casos, a qualidade da conformidade pode ser determinada rapidamente por meio da inspeção de componentes. A conformidade de uma especificação pode ou não determinar o tempo em que um produto vai funcionar adequadamente. A qualidade de projeto, normalmente determina o tempo em que um produto irá desempenhar sua função desejada de maneira aceitável.

## 2.2 – Confiabilidade

Segundo Andrey & Helman (1995), confiabilidade é a probabilidade de um determinado sistema (máquina, componente, aparelho, circuito, etc.) desempenhar sem falhas uma missão (função) durante um período de tempo pré-determinado. Sendo assim, aumentar a confiabilidade implica, necessariamente, na eliminação de falhas por meio da sua previsão e adoção de medidas preventivas, desde a etapa de elaboração do projeto do produto e processo até a sua execução.

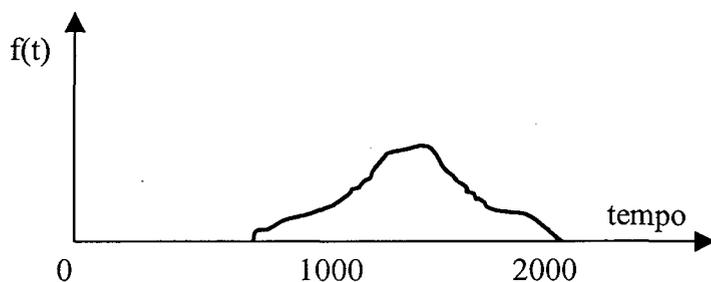
Segundo O'Connor (1991), o conceito de confiabilidade como uma probabilidade significa que qualquer esforço a fim de quantificá-la requer a utilização de métodos estatísticos. A confiabilidade compreende o estudo sobre as falhas que podem ocorrer com o produto durante o seu ciclo de vida, ou seja, não é um simples cálculo da taxa ou probabilidade de um componente falhar, mas sim a procura, análise, validação e correção de todas as falhas que podem ocorrer com o produto.

Segundo Ireson & Coombs (1988), a mais aceita definição sobre confiabilidade é “a capacidade um produto desempenhar a sua função sem falhar quando submetido a condições especificadas durante um período de tempo determinado ou número mínimo de ciclos ou eventos”.

Um caso que acontece com frequência pode exemplificar esta definição: um refrigerador pode apresentar uma confiabilidade muito próxima a 100% durante um número de horas específico e em determinadas condições de temperatura, umidade relativa do ar, número de aberturas de porta, carregamento e uma correta utilização por parte do usuário. Se qualquer uma destas condições variar, possivelmente a confiabilidade do produto também irá variar.

Segundo Yang & Kapur (1997), esta definição infere que existem somente dois estados do sistema que são do interesse neste modelo: sucesso e falha. É chamada também de confiabilidade binária do estado. Até o momento, a maioria dos métodos analíticos na área da confiabilidade foram baseados nesta suposição binária. Na maioria dos casos, a definição binária da confiabilidade é simplificada e não pode caracterizar a habilidade de um produto de satisfazer a uma necessidade do cliente. Muitos produtos são considerados adequados no que se refere as falhas funcionais (duras), em que o estado binário se aplica. Existe ao menos as seguintes três características relacionadas à confiabilidade e que os clientes se importam, mas onde a definição tradicional da confiabilidade não se adequa:

- a degradação do desempenho. Muitos componentes que são estéticos (por exemplo, o trabalho da pintura em um produto) degradarão continuamente sobre o tempo, afetando a satisfação do cliente, mas que não farão com que o produto pare de funcionar. A aceitação dos produtos pelos clientes dependerá da habilidade de um produto em satisfazer à expectativa do consumidor por toda sua vida pretendida ou projetada;
- a variação no tempo da falha e no desempenho. Na definição da confiabilidade vista anteriormente, a variação no desempenho do produto sobre o tempo não é abordada também. A confiabilidade tradicional considera somente a probabilidade da falha pelo tempo (a fração de produtos que falhou durante um tempo  $t$ ). Não considera as variações no tempo real da falha e no seu impacto na satisfação do cliente. O seguinte exemplo do bulbo de lâmpada mostra uma situação como esta: considere que há dois bulbos de lâmpadas disponíveis para um determinado uso. O bulbo 1 tem uma vida prevista de 1000 horas e o bulbo 2 tem uma vida prevista de 800 horas. As distribuições de vida são mostradas na figura 2.1. Pela definição tradicional da confiabilidade, bulbo 1 pode ser considerado melhor porque apresenta uma expectativa de vida maior. Entretanto, muitos clientes podem preferir o bulbo 2 porque tem uma variação muito menor no tempo da falha. O cliente poderia jogar o produto fora em 750 horas e ter a vida residual média muito pequena disponível no bulbo;



Distribuição da Vida do Bulbo 1

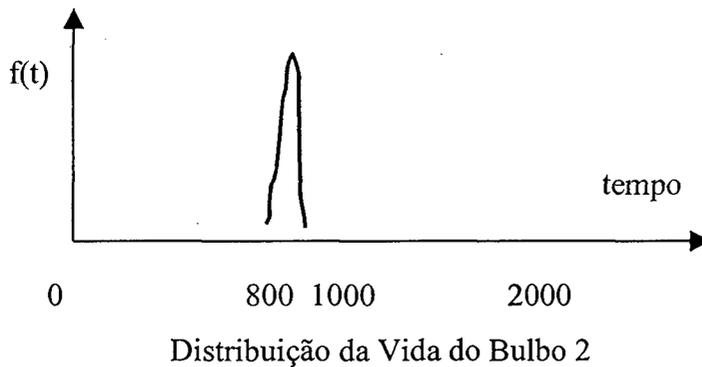


Fig.2.1 - Exemplo do bulbo da lâmpada. (Yang & Kapur, 1997)

- atributos múltiplos. Um produto complexo, como um automóvel, tem funções múltiplas. Do ponto de vista de um cliente, cada função carregará um peso diferente para o nível de satisfação. O cliente irá considerar uma falha de motor muito mais seriamente do que uma falha em um suporte de copo. Algumas medidas da confiabilidade derivadas da definição tradicional da confiabilidade, tal como o número dos reparos por milhão, não poderão medir a experiência total do cliente para com o produto.

Estas três características implicam que há uma abertura grande entre a definição tradicional da confiabilidade e a satisfação do cliente. A seguinte definição da confiabilidade, citada por Yang & Kapur (1997), do *Random House Webster's College Dictionary*, pode melhor refletir a percepção do cliente sobre a confiabilidade: "a confiabilidade é ser, de forma consistente, confiante no caráter, no desempenho e no resultado".

Segundo Yang & Kapur (1997), claramente uma definição dessas é mais ampla do que a definição tradicional usando um sistema binário dos estados. Poucos clientes lêem manuais da engenharia e são familiares com a probabilidade. É a definição do dicionário que eles usam como seu sentido intuitivo em relação ao o que é a confiabilidade.

Portanto, o conceito de confiabilidade não fica apenas restrito na probabilidade de um ou mais itens falharem, mas inclui a degradação do desempenho (defeito de pintura por exemplo), a variação no tempo da falha e a presença de múltiplos atributos em um produto. O conceito de confiabilidade implica no estudo de todo um universo de variáveis que influenciam diretamente na ocorrência de falhas.

### 2.3 – O Impacto da Confiabilidade no Custo da Qualidade

Segundo Ireson & Coombs (1988), o custo para corrigir um problema é, em geral, maior que o custo para preveni-lo. Normalmente este custo varia entre dois terços a três

quartos do custo total de qualidade. Em estudos realizados em grandes corporações, tem sido mostrado que os custos de qualidade podem representar ou exceder até 20% do total dos custos. Estes custos ocorrem em atividades relacionadas a falhas ou problemas, em função do produto ou serviço não ter sido liberado (projetado e manufaturado) de forma correta na primeira vez. A tabela 2.1 mostra uma lista de atividades gerada em uma indústria de produtos eletrônicos. Trata-se de um exemplo de custos da não-qualidade ocorrido nas áreas de projeto, manufatura e no mercado.

Quando um produto apresenta um problema de qualidade ou confiabilidade, o primeiro passo, normalmente, é dedicar um novo esforço de trabalho, a fim de elaborar uma investigação na problema produção. Então, espera-se que o problema se resolva de maneira rápida e fácil. Frequentemente, a solução envolve um reprojeto, que acontece normalmente após o produto ter sido fabricado e vendido.

Engenharia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projetos que são abandonados durante a sua execução</li> <li>- Correção de projeto de produtos falhos</li> <li>- Testes para correções de projetos</li> <li>- Esforço de projeto desviado para a produção</li> </ul>
Manufatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagnósticos errôneos</li> <li>- Retrabalhos e repetições de testes</li> <li>- Produtos sucateados</li> <li>- Obsolescência devido a reprojetos</li> <li>- Crescimento do inventário (Estoques de segurança)</li> <li>- Crescimento do volume de trabalho</li> <li>- Alteração na documentação da produção</li> <li>- Crescimento da expedição</li> <li>- Crescimento de horas extras</li> </ul>
Mercado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maiores custos de venda</li> <li>- Maiores custos de instalação</li> <li>- Maiores custos de serviços e suporte ao cliente</li> <li>- Maiores custos de garantia</li> </ul>

Tabela 2.1 – Elementos de custo da não qualidade. (Ireson & Coombs, 1988 )

Em Ireson & Coombs (1988), para uma correção de projeto normalmente se faz necessário novos e frequentes testes laboratoriais. Estes, demandam recursos financeiros na ordem de um terço do orçamento do projeto onde testes de performance, confiabilidade e de

aprovação são requeridos. Além deste número, não se está levando em consideração os custos logísticos conseqüentes da troca de produtos, a perda de imagem da marca do produto e tão pouco o nível de recursos desviados para correções de projeto.

## **2.4 – Confiabilidade e Garantia**

Segundo O'Connor (1991), um cliente quando adquire um determinado produto, sabe e aceita o fato de que este produto pode falhar em algum instante no futuro. Em decorrência deste fato, o produtor, freqüentemente, oferece um prazo de garantia para que ele possa reivindicar a correção de falhas que venham a ocorrer dentro de um período especificado. Algumas vezes, este prazo de garantia é uma exigência legal.

Um prazo de garantia concedido pelo fabricante ao consumidor deve levar em conta os custos envolvidos. Este custo está diretamente relacionado ao grau de confiabilidade do produto, somado às reais condições em que o produto é manuseado e usado. Por exemplo, se um produto apresenta um baixo índice de confiabilidade, apresentará problemas em demasia no campo e acarretará altos custos de garantia ao seu fabricante, além do sofrimento das inconveniências causadas. Quando fora do período de garantia, normalmente o fabricante não assume qualquer despesa, mas, em qualquer caso, ele possivelmente sofrerá com a perda da imagem da empresa.

Por um outro lado, se o produto não for usado da maneira recomendada, ou seja, em não conformidade aos requisitos operacionais geralmente indicados pelo manual de instruções do produto, o fabricante normalmente não levará em consideração o período de garantia e irá cobrar estas despesas do consumidor. O fabricante somente poderá provar que uma falha ocorreu em conseqüência do mau uso do produto se tiver um adequado programa de confiabilidade implantado, por intermédio de dados registrados de testes e análises de falhas do produto.

Segundo Taguchi (1990), “do ponto de vista do valor agregado, a qualidade de um certo produto é determinada pelas perdas econômicas impostas ao consumidor a partir do momento em que ele é liberado para a venda. Um exemplo típico é a perda causada pela variação funcional: desvio de uma das principais características funcionais de sua especificação nominal fixada em projeto”. Se o projeto do processo e a engenharia de controle da qualidade não forem capazes de reduzir suficientemente esse desvio, por meio do controle do processo, então a inspeção pode ser uma alternativa economicamente útil. Os dois tipos de fatores indesejáveis e não controláveis que podem causar tais desvios de valores

nas características funcionais de produtos são conhecidos como perturbações externas e internas, na produção . As variáveis ambientais na produção, tais como temperatura e umidade, são exemplos de perturbações externas. Quanto às demais, subdividem-se da seguinte forma:

- perturbações externas conseqüentes de deteriorações, tais como desgaste de peças, causado por atrito, ou a perda da elasticidade;
- perturbações internas causadas por imperfeições do processo industrial, tais como variações em ajustes de máquinas.

Uma das formas do fabricante se proteger da falta de robustez dos seus produtos, quando afetados por ambientes diversos e/ou manuseio incorreto, são as especificações operacionais recomendadas por este. Entretanto, é relevante buscar um ponto de equilíbrio, ou ponto ótimo, em que a robustez do produto seja viável economicamente para o fabricante e, ao mesmo tempo, o mais adequada possível aos hábitos e costumes do consumidor.

Afinal para que serve uma garantia? Ela serve para assegurar, ao consumidor, o contínuo e adequado funcionamento do produto adquirido, conforme especificado por meio do compromisso com o seu produto, por parte do fabricante ou fornecedor, pelo tempo que a mesma vigorar.

Segundo Berke & Zaino (1991), o valor ou importância de uma garantia é fortemente dependente de como é visto pelo fabricante ou consumidor. Compradores necessitam de uma garantia para se assegurarem que o fabricante assuma responsabilidade sobre eventuais problemas com o seu produto por um período de tempo especificado. Alguns tipos de garantia, oferecem o recurso do reparo gratuito e/ou troca de componentes, quando o produto apresenta uma falha. Apesar disto, esta compensação não é inteiramente gratuita ao consumidor, pois o fabricante prevê um certo número de reclamações de garantia, e inclui estes custos no preço de venda do produto.

Quando um período de garantia maior é oferecido em um determinado produto, normalmente é um indicador de confiabilidade do produto e, por isto, representa um diferencial na hora da venda, tornando-a mais fácil e aumentando a competitividade do produto. Entretanto algumas empresas optam, com base em uma decisão estratégica, por aumentar o tempo de garantia de seu produtos a fim de obter um aumento nas suas vendas assumindo os riscos de um custo de garantia posterior maior que o esperado.

Berke & Zaino ( 1991 ) apontam três tipos de política de garantia existentes, por eles examinadas:

- **Política de Garantia de Substituição Gratuita:** nesta garantia o fabricante assume todas as despesas referentes ao reparo e substituição quando o produto apresentar qualquer falha, antes de expirar o prazo de garantia. Esta política de garantia pode ser dividida ainda em:
  - **Garantia de Substituição Gratuita Ordinária:** na qual o item substituído permanece apenas com uma garantia igual ao tempo residual da garantia original do produto;
  - **Garantia de Substituição Gratuita Ilimitada:** nesta, a substituição de um item o conduz a uma garantia igual a garantia original do produto;
- **Política de Garantia Pró-Rata:** nesta política, o custo de substituição ou reparo de um produto depende da idade do produto quando a falha ocorre. Inicialmente, nesta garantia os custos a serem pagos pelo cliente são nulos e no término de um período ( $t$ ) o custo é todo pago pelo cliente. Entre este intervalo de tempo, ( $t_i$ ), os custos são ponderados, ou seja, uma quantia é desembolsada pelo cliente e a outra pelo fabricante. A seguir é demonstrado como funciona esta garantia. A forma da curva  $f(x)$ , que representa os custos da garantia pró-rata, é uma função que deve satisfazer tanto o cliente quanto o fabricante e por esta razão deve ser pesquisada e cuidadosamente aplicada. Vollertt (1995), em seu trabalho, fez a interpretação gráfica mostrada na figura na figura 2.2.

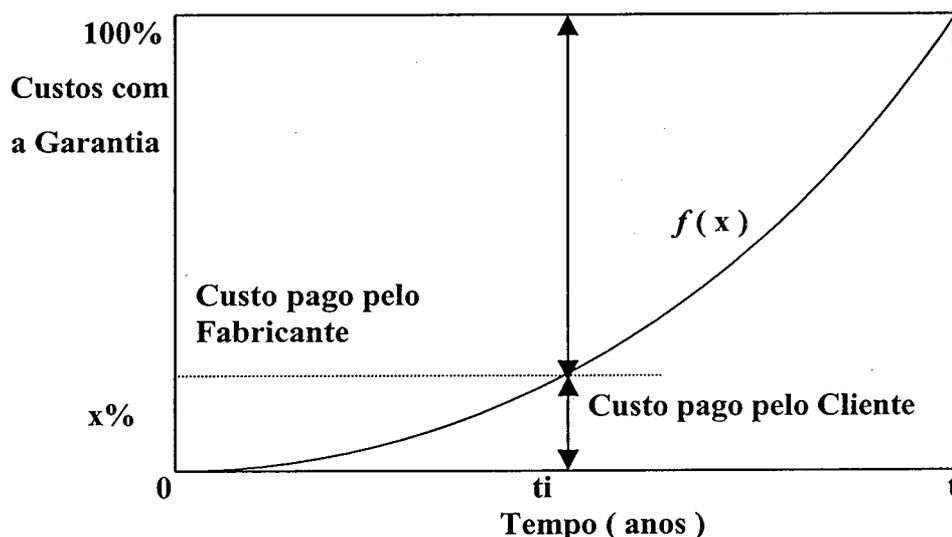


Fig. 2.2 - Política de Garantia Pró-Rata. ( Vollertt, 1995 )

- **Política Combinada:** esta, combina a garantia de substituição gratuita com a política pró-rata. Como a política de garantia de substituição gratuita é mais vantajosa ao consumidor e, por outro lado, a política pró-rata é mais interessante ao fabricante, torna-se razoável

uma combinação de ambas. A figura 2.3, interpretada por Vollertt (1995), mostra como poderia ser representada graficamente esta política combinada.

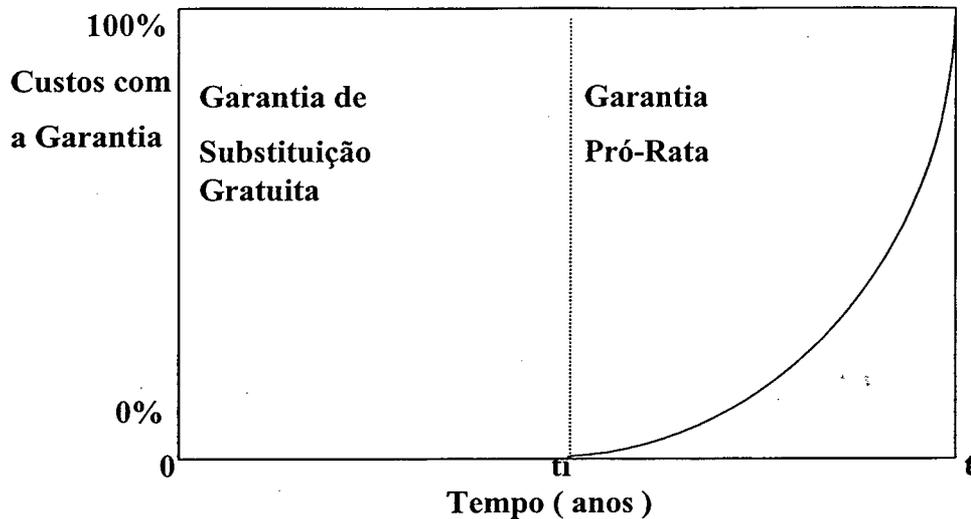


Fig. 2.3 - Política de Garantia Combinada. ( Vollertt, 1995 )

A figura 2.3 mostra que até o tempo  $t_i$ , o consumidor possui uma garantia de substituição gratuita, ou seja, os custos gerados por consequência de reparos são totalmente assumidos pelo fabricante. Após este tempo, os custos então são divididos entre o consumidor e o fabricante, assumindo uma política de garantia pró-rata, conforme mostrado na figura 2.2.

A competição do mercado está obrigando, cada vez mais, as empresas a correrem em busca de um diferencial de mercado. Esta disputa pelo consumidor leva as empresas muitas vezes a aumentarem a garantia de seus produtos. Se esta decisão não tiver pelo menos um suporte de informações estatístico, no que diz respeito a mensuração do histórico do nível de confiabilidade de seus produtos, pode incorrer em um risco grande. Portanto, se um produto é confiável, a este pode ser dado um prazo maior de garantia, senão o seu fabricante sofrerá com os altos custos decorrentes dos reparos durante o prazo de validade da garantia oferecida. Portanto, considera-se importante conhecer a taxa de uso do produto para que se possa transformar os dados de confiabilidade, que normalmente são medidos em horas durante os testes; para dias, meses ou ano de funcionamento no campo.

Sarawgi & Kurtz (1995) propõem uma ferramenta de engenharia para a predição da distribuição de falhas em garantia por meio de dados de vida obtidos em laboratório e dados de taxa de uso para produtos que são operados em fração limitada de tempo e não em termos de quantidade de uso. Segundo o autor, a técnica permite um cálculo acurado das falhas e, por esta razão, é uma ferramenta muito útil para a otimização de projetos bem como para o auxílio nas decisões de lançamento de produtos. Neste trabalho não será mostrado o método

sugerido pelo autor, pois o objetivo é apontar a importância da ferramenta em termos de se conhecer a taxa de uso dos produtos e em possibilitar a otimização de projetos com o foco em confiabilidade no campo.

## 2.5 – Engenharia da Confiabilidade

O estudo da engenharia é tradicionalmente preocupado com o ensinamento de como produtos manufaturados funcionam. Os modos e efeitos de falhas, aspectos de projeto, manufatura, manutenção, e hábitos de uso aos quais os produtos são submetidos, normalmente não são ensinados. Mesmo porquê é necessário entender primeiro como um produto funciona antes de considerar os modos de falha aos quais este produto estará sujeito.

As tarefas dos engenheiros, normalmente, são voltadas aos projetos e manutenção dos produtos. As atividades voltadas ao estudo das condições de falhas, normalmente são adiadas. Nestes tipos de atividade o engenheiro, normalmente, os encara como problemas relacionados a variações de materiais de engenharia, processos e aplicações.

Parâmetros básicos como massa, dimensões, coeficiente de fricção, tensões e estresse nunca são absolutos. Mas estão, na prática, sujeitos a variabilidade devido a variações de processos, materiais, fatores humanos e uso. Alguns parâmetros, como resistência à fadiga, por exemplo, também variam com o tempo. O entendimento de regras de escolha, das causas e efeitos da variabilidade, torna-se necessário para a criação de produtos confiáveis e para a solução de problemas de confiabilidade.

A aplicação do conhecimento estatístico para a solução de problemas de engenharia existe na prática. Porém, estas soluções matemáticas têm que ser confiáveis para de fato guiarem a teoria à solução. Muitos problemas práticos têm provavelmente inibido o trabalho de vários engenheiros no que diz respeito ao uso de métodos estatísticos e textos na engenharia de confiabilidade. Matemáticos têm, geralmente, aprofundado estudos teóricos sem, com isto, ter alcançado êxito na busca de soluções práticas.

A Engenharia da confiabilidade consiste na aplicação de um programa de confiabilidade que é composto de várias etapas durante cada fase do seu desenvolvimento, do projeto conceitual ao programa de manutenção, com o propósito de oferecer um produto confiável ao seu cliente. Há várias normas que regem este programa:

- Militar americana MIL-STD-785;
- Inglesa BS-5760 ( Reliability of Systems, Equipment and Components, British Standards Institution );

- Internacional IEC-300 ( Management Dependability International Electrotechnical Commission, Anexo 1 ) [(Strandberg( 1991 )].

Estas normas propõem programas de gerenciamento do programa de confiabilidade em cada fase do ciclo de vida do produto. Segundo Loll (1998), estas normas são primariamente dirigidas para equipamentos militares em produtos complexos e, por isto, têm sido questionadas hoje quanto a sua aplicação para produtos comerciais. Consequentemente, várias empresas desenvolveram seus próprios procedimentos, tais como o proposto pela General Motors em Blache & Shrivastava - Anexo 2 (1994), e pela SAE (Society of Automotive Engineers), em Stracener & Breneman (1991).

Outro aspecto que merece destaque é apontado no exemplo dado por Miller, Charles R. ( *Program Manager, Evaluation Engineering – Carrier Corporation* ) em Ireson & Coombs (1988). O resultado potencialmente catastrófico da falha de um sistema aéreo implica na necessidade de um projeto desenvolvido para não apresentar qualquer falha crítica por um período determinado de tempo, com o custo, neste caso, ficando para um plano secundário. Por um outro lado, um sistema industrial deve ser desenvolvido sob restrições de custos rigorosas a fim de alcançar o êxito desejado no mercado. Neste caso, a qualidade e a confiabilidade do produto devem ser maximizadas dentro dos objetivos de custos do projeto.

## 2.6 Engenharia da Confiabilidade no Processo de Projeto

Segundo Ireson & Coombs (1988), a filosofia básica do *Total Quality Control* (TQC), é que toda a atividade é um processo, e processos podem ser analisados e melhorados. Visto que o desenvolvimento de um novo produto é certamente um processo, este pode ser desmembrado em sub-processos os quais podem ser mensurados e melhorados. Todas as fases de um processo de projeto envolvem decisões que afetam diretamente a confiabilidade final de um produto. Portanto, um processo de projeto bem entendido e controlado pode alcançar bons resultados.

Ainda, conforme Ireson & Coombs (1988), por meio de um processo de projeto entendido e controlado, pode-se obter dois inesperados benefícios:

- a redução de diferentes alternativas de projetos a serem investigadas pelos engenheiros, por intermédio de regras de projeto e aspectos de rotinas padronizadas de projeto e teste;
- o despertar do ímpeto criativo dos engenheiros para o conceito de projetar sem falhas e projetar com confiabilidade.

Para proporcionar o aumento do nível da confiabilidade a nível de sistemas, são necessárias a execução de diversas tarefas durante o desenvolvimento de um novo produto, bem como nas diversas fases que compõem o seu ciclo de vida.

### 2.6.1 - Fase de Investigação

Na fase de investigação, a viabilidade de uma proposta de produto deve ser demonstrada. Um detalhado cronograma de desenvolvimento e seu orçamento, devem ser preparados. A ênfase normalmente está na seleção da tecnologia que permitirá que a idéia de concepção do produto seja factível. Dúvidas nesta fase podem representar custos elevados nas fases seguintes. Em alguns casos elas podem levar aos caminhos sem saída, ou seja, à inviabilidade do projeto. Os principais passos são:

- **Definição dos Objetivos da Confiabilidade.** Os objetivos de performance e custos para um novo produto são necessários antes de se determinar o lucro que o mesmo possa oferecer. Então, porquê não os objetivos de qualidade e confiabilidade? Estendendo esta lógica um passo a frente, porquê não definir alguns objetivos para a qualidade do processo de projeto, por meio do qual o produto é desenvolvido, tão bem quanto para a qualidade do próprio produto? É comum se definir metas de não-qualidade ou não-confiabilidade para um produto, tais como uma faixa máxima de falhas ou um mínimo tempo entre falhas (MTBF). Mas porque não definir metas de porcentagem de melhoria de faixa de falha de MTBF comparadas com produtos existentes? Segundo Ireson & Coombs (1988), definir metas de melhoria da faixa de falhas para famílias de produto somente em 21% por ano, resultará em uma melhoria em 2:1 a cada 3 anos, e 10:1 em cada década. O impacto da faixa de mudança nos custos de qualidade seriam, de fato, dramáticos. Uma implicação de um objetivo destes é que, se um novo produto apresenta um cronograma de desenvolvimento de 3 anos, os objetivos de confiabilidade teriam que ser duas vezes maiores que os de hoje. Outra implicação é que o processo de desenvolvimento de um novo produto tem que mudar, e que somente adicionando mais testes no final não é suficiente;
- **Seleção da Tecnologia.** Em função da maioria dos engenheiros serem ansiosos em utilizar as mais recentes tecnologias e em função do mercado freqüentemente proporcionar uma rica recompensa aos primeiros a apresentarem melhor performance, raramente alguém se dispõe a esperar até que uma nova tecnologia esteja plenamente dominada antes do seu uso. Na indústria eletrônica, muitas inovações tecnológicas são disponibilizadas no

mercado antes de terem alcançado uma confiabilidade madura, porque esperar pela perfeição é pedir para ser “deixado para trás”. Por exemplo, em Ireson & Coombs (1988), na indústria de semicondutores é considerado como regra uma curva de aprendizado de 5 anos para o amadurecimento de todo novo processo tecnológico, mas ninguém está disposto a esperar tanto tempo para utilizá-lo. Alguns fatores são mais importantes que outros na seleção de tecnologia, particularmente aqueles que envolvem estresse e complexidade. Por exemplo, no campo dos computadores, as maiores mudanças em confiabilidade tem sido o resultado de revolucionárias mudanças em dissipação de energia térmica e o tamanho da capacidade de memória. Computadores dos anos 50 consumiam milhares de watts, ocupavam espaços grandes, e falhavam freqüentemente, podem agora ser postos em chips de “*Silicon*” menores que uma unha, dissipar uma fração de watts e tem um MTBF de mais de um milhão de horas. Conseqüentemente, tem-se algumas regras para seleção de tecnologia a seguir:

- escolher projetos e materiais que garantam o mínimo estresse e que sejam capazes de suportar o nível de estresse imposto pelo seu ambiente de trabalho;
  - minimizar o número de itens ou componentes em um projeto;
  - testar amostras de componentes ou sistemas até falhar e então corrigir o projeto afim de reduzir ou diminuir seus piores mecanismos de falhas;
- **Teste de Estresse.** Falhas são causadas por mecanismos falhos, os quais são construídos e então afetados pelo estresse. Estudar os estresses básicos e a sua ação sobre as falhas é fundamental para o projeto e revisão de testes de confiabilidade. O projeto correto permite encontrar e eliminar a causa fundamental da falha. Isto significa que a maioria dos testes de estresse que tem sucesso são aqueles que resultam em falhas;
- **Análise de Falhas.** Toda falha tem pelo menos uma causa e é um sintoma de um mecanismo falho esperando ser descoberto. As ferramentas de análise de falhas são estatísticas e físicas, e, quando usadas em conjunto, são um potente meio para detectar a real causa da falha dos mecanismos. Do lado estatístico, há dois tipos de informações a serem considerados: a faixa (e custos) das falhas e o seu comportamento com o estresse e o tempo.

Determinar a magnitude da faixa de falha é necessário para focar o esforço de análise da mesma na maioria dos problemas considerados críticos, desde que haja sempre mais problemas para analisar do que tempo para fazê-lo. O comportamento de uma faixa de falha com o estresse e tempo são também dados considerados valiosos. Entretanto, esta informação nem sempre é obtida. A razão para tal é que cada faixa de falha pode

diminuir, manter-se constante ou aumentar com o tempo, conforme mostra a figura 2.4. A maioria das falhas dos mecanismos está situada em apenas uma das regiões da curva. Então, saber em qual delas o problema se encontra, ajudará o analista a identificar o mecanismo de falha;

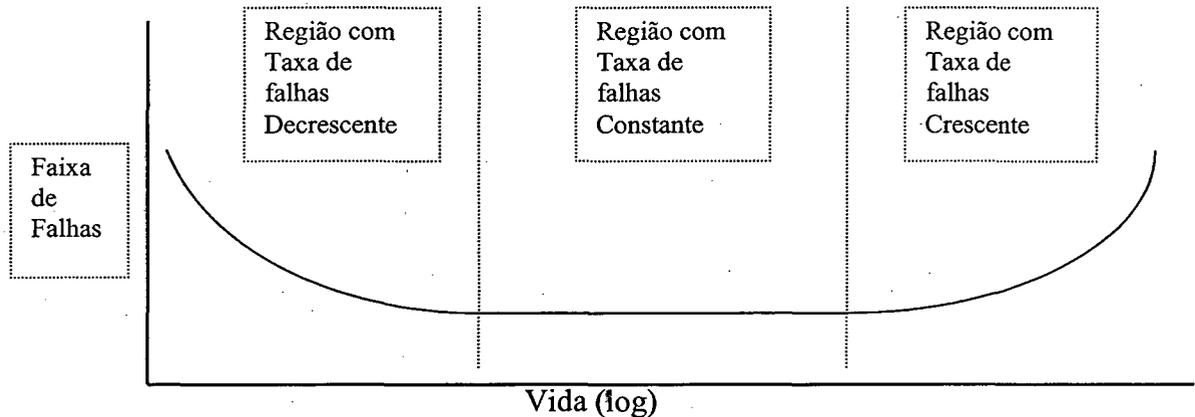


Fig. 2.4 - “Curva da Banheira”. (Ireson & Coombs,1988)

- **O Nível de falhas decrescente**, ou “mortalidade infantil”, é a região da curva onde ocorre a maioria das falhas de produção e garantia. Então, minimizar a taxa de falhas nesta região é importante para reduzir os custos de qualidade oriundos do processo. Inicialmente, componentes defeituosos e aqueles danificados pelos processos de manufatura pertencem a este grupo, como por exemplo produtos inicialmente montados de maneira irregular ou trincados quando submetido a um estresse mecânico de um ciclo de temperatura, vazamento ou falha de corrosão em partes inicialmente contaminadas por água;
- **O Nível de Falhas Constante**. Implica que falhas estão ocorrendo de maneira constante no tempo, e que normalmente não pode ser traçado um mecanismo de falha em particular, a menos que se considere uma destruição acidental como um particular mecanismo de falha (Em uma curva de mortalidade humana, nestas regiões constante da curva, a morte acidental é o modo dominante);
- **O Nível de Falhas Crescente**, ou envelhecimento, é a região causada por mecanismos de falhas os quais vagarosamente transformam o componente de forma irreversível, tais como corrosão, fadiga ou reações químicas.

A confiabilidade pode ser projetada ou não em cada passo do processo de projeto de produto. A regra importante está em reduzir o estresse, aumentar a margem de segurança e diminuir o número de itens. Segundo Ireson & Coombs (1988), melhorias em confiabilidade na proporção de 2 ou 3:1 são alcançadas em cada uma destas áreas sem necessariamente ter

grandes inovações tecnológicas. Se estas três melhorais forem alcançadas, no geral poder-se-á chegar a uma melhoria em torno de 10:1.

### 2.6.2 – Durante a Fase de Projeto

O nível de confiabilidade de um produto é significativamente influenciado pelas decisões tomadas durante a fase de desenvolvimento do projeto. Falhas no desenvolvimento podem afetar todos os itens produzidos e a sua correção pode, cada vez mais, representar maiores custos, quanto mais avançado o projeto estiver. Por exemplo, quando um projeto já alcançou a fase de produção, muito provavelmente não será econômico se forem detectadas falhas nesta fase.

Um desenvolvimento de projeto tem que levar em conta todos os fatores que possam afetar a sua confiabilidade, tais como, métodos de produção, uso, manutenção, e falhas não causadas por cargas. É muito importante que metodologias de projetos sejam usadas de maneira a minimizar a probabilidade de uma falha. Portanto, um processo de desenvolvimento de projeto deve ser elaborado de tal forma que garanta as condições necessárias para que falhas sejam detectadas e corrigidas desde o princípio. Os projetos devem ser desenvolvidos para que não falhem se forem manufaturados e utilizados conforme foram especificados.

Segundo Pecht (1993), para a realização do desenvolvimento de um projeto voltado para o atendimento da qualificação rigorosa da confiabilidade, são necessários alguns passos. Este passos foram baseados no projeto de um equipamento eletrônico para garantir o atendimento dos requisitos de confiabilidade. Os passos são os seguintes:

1. Definir os requisitos reais do sistema;
2. Definir o ambiente de uso do sistema;
3. Identificar os locais potenciais das falhas e os mecanismos de falhas;
4. Categorizar os materiais e os processos de manufatura e montagem;
5. Qualificar o processo de manufatura e de montagem;
6. Controlar os processos de manufatura e de montagem;
7. Gerenciar o ciclo de vida do produto;
8. Simplificar o projeto ao máximo.

Porém, segundo Vollertt (1995), os métodos mais freqüentemente abordados nas literaturas sobre o tema são:

- **Análise e verificação de projeto:** é o uso de métodos científicos, normalmente fundamentados em métodos matemáticos, para examinar os parâmetros de projeto e sua interação com o meio ambiente. Visto que engenheiros utilizam muitas hipóteses, o projeto é freqüentemente realizado por intermédio de um processo iterativo ou contínuo de análises e testes que utilizam o conhecimento de engenharia, normas, manuais, resultados de análises, modelagem, simulação e testes. Helman & Andery (1995) fornecem uma listagem de itens a serem considerados na revisão do projeto do produto e do processo;
- **Estudos de *trade-off* de projeto:** o objetivo principal é, através das várias alternativas e critérios envolvidos em projetos tais como, custos, desempenho, confiabilidade, tempo, produtividade e qualidade entre outras características, encontrar um ponto de equilíbrio com o propósito de otimizar o desempenho total do sistema e reduzir o risco técnico;
- **Análise dos estresses ambientais:** é muito importante que sejam analisados e considerados todos os fatores ambientais que interagem com o produto em seu uso real. A análise de estresse ambiental é o estudo destes fatores que afetam a confiabilidade do produto no campo;
- **Análise do pior caso:** é um método utilizado para avaliar a capacidade de um projeto reunir os requisitos operacionais e ambientais, sobre a pior combinação possível de circunstâncias. Se o desempenho global do produto ou sistema permanecer dentro dos limites especificados, então o projeto é considerado confiável. O problema deste tipo de análise é que, em função do seu grau de rigor, normalmente se super dimensiona os componentes do produto. Portanto, esta análise é recomendada apenas nos componentes ou subsistemas que não podem falhar, geralmente devido às implicações com a segurança do usuário;
- **Método da verificação dos parâmetros:** este método apresenta um grau menor de rigor em relação aos demais. Neste, há uma variação, para os mínimos e máximos, em um a dois parâmetros de um projeto por vez, enquanto que se mantém os demais constantes. Se cada parâmetro permanecer dentro dos limites seguros de especificação, o projeto poderá desempenhar satisfatoriamente. Também é conhecido como análise de sensibilidade.

Os itens anteriormente descritos servem mais como diretrizes ao projeto para a confiabilidade. As ferramentas mais utilizadas serão descritas a seguir.

#### 2.6.2.1 – Predição da Confiabilidade

Entende-se como Predição todo processo que implica em estimar ou prever a confiabilidade de um sistema ainda na sua fase de desenvolvimento, ou seja, antes da sua real operação. Uma predição correta da confiabilidade de um produto, antes do seu lançamento, é certamente desejado em qualquer programa de confiabilidade. Dependendo do produto e seu mercado, o conhecimento prévio da confiabilidade possibilitaria uma correta previsão dos custos de garantia e estimativa de itens de reposição, entre outros. Por outro lado, segundo O'Connor (1991), é discutível que uma predição correta da confiabilidade implica no conhecimento das causas das falhas que necessitariam ser eliminadas. De fato, a predição da confiabilidade dificilmente pode ser feita com razoável precisão. Contudo, ela pode proporcionar uma base adequada para a previsão de fatores dependentes, tais como o custo do ciclo do vida do produto. A predição da confiabilidade pode ser válida também como parte do estudo e do processo de projeto, para possibilitar a comparação de opções e destacar características críticas de projeto.

#### 2.6.2.2– Análise do Modo e Efeito da Falha

A Análise do Modo e Efeito da Falha, FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), é uma técnica de avaliação de projetos de produtos e de processos, de cunho preventivo, usada para identificar todos os possíveis modos de falhas em potencial e determinar o efeito de cada uma sobre o comportamento do sistema (produto ou processo), mediante um raciocínio basicamente dedutivo. Paralelamente, visa disciplinar e criar uma mentalidade de planejamento e formalização do processo. É, portanto, um método analítico normalizado para detectar e eliminar problemas em potencial de forma sistemática e completa.

Conforme Vollertt (1995), a técnica FMEA foi criada em 1950 com o FMEA tabular. Em 1977 surgiu a matriz do FMEA, em 1979 o *Software FMEA* e a partir de 1982, o FMEA passou a ser aplicado em computadores. A técnica teve também seus suplementos a partir de 1950 com as Análises de Criticidade e de Riscos e, em 1981, o Método da combinação de falhas.

Pizzo (1994) afirma que a análise crítica de modo e efeito da falha (FMECA – *Failure Mode and Criticality Analysis*), é um dos métodos mais largamente utilizado e mais efetivos de análise da confiabilidade. Entretanto, em função da necessidade de se prever um alto nível de requisito de confiabilidade de sistemas críticos como equipamentos médicos, por exemplo, é essencial se empregar uma metodologia que possa proporcionar este resultado.

Ele propõe um método probabilístico de construção do FMECA que não será demonstrado aqui, pois o intuito é apontar apenas a proposta do autor.

Segundo Price & Taylor (1998), FMEA normalmente considera somente itens individuais de um sistema. Isto porque é impraticável a consideração de todas as possíveis combinações de falhas de um sistema, o que não ocorre quando se trata de exemplos de sistemas mais simples. Mesmo que a simulação seja feita para automatizar a execução de uma planilha do FMEA, considerando todas as possíveis combinações de falhas, não seria possível. Mesmo que fosse possível, não poder-se-ia esperar de um engenheiro dispor do tempo necessário para ler, entender e elaborar ações sobre todos possíveis itens a serem trabalhados.

A técnica é aplicada no desenvolvimento de novos projetos e alteração de projetos existentes e, também, pode ser utilizada para a análise de falhas de processos de manufatura e logísticos. Como seu desenvolvimento é formalmente documentado, permite:

- padronizar procedimentos;
- fazer um registro histórico de análise de falhas, que poderá posteriormente ser usado em outras revisões de produtos ou processos, e no encaminhamento de ações corretivas em produtos similares;
- selecionar e priorizar projetos de melhoria ( modificações no projeto ) que deverão ser conduzidos;

O método FMEA objetiva:

- identificar e registrar um modo de falha e avaliar seus efeitos para o consumidor, durante as fases de projeto e processo;
- identificar as variáveis do processo para controlar o foco e reduzir a sua ocorrência ou detectar as condições de falhas;
- aumentar a confiabilidade do produto e processo.

Sua matriz contém, no mínimo, os seguintes itens: identificação do componente, sua função, criticidade da falha e observações.

A metodologia utilizada para a realização desta técnica é normalmente conhecida e baseada na norma MIL-STD-1629 – Norma Militar Americana. A MIL-STD-1629 e a MIL-STD-1629A fornecem três propostas para a aplicação do método, conforme mostrado no Anexo 3 ( Matriz FMEA ):

1. método qualitativo, é mostrado no item “a” do Anexo 3; deve ser aplicado para a realização de predição de falhas nos casos em que não se conhece os modos e taxas de falhas;
2. método exclusivamente quantitativo, é mostrado no item “b” do Anexo 3;
3. método qualitativo e quantitativo, é mostrado no item “c” do Anexo 3; é o tipo que vem sendo usado com maior frequência.

A matriz do FMECA é composta basicamente de:

- Tipo ou modo de falha: trata-se da descrição da forma com que uma característica de uma parte do produto poderia falhar ao desempenhar suas funções, ou não ser adequada ao atendimento das necessidades e expectativas dos seus consumidores;
- Efeito da falha: trata-se das conseqüências ou do impacto da ocorrência de um determinado tipo de falha, em um produto ou serviço, sobre os consumidores ou à própria empresa devido ao projeto ou processo. Estes efeitos podem ser tanto primários, quando afetam a confiabilidade do produto, quanto secundários, quando não afetam a confiabilidade deste, mas a satisfação do consumidor;
- Causas da falha: Trata-se da descrição dos problemas que podem dar origem a um determinado tipo de falha.

Há alguns itens, que são utilizados para avaliar quantitativamente a gravidade da falha. Segundo Helman & Andery (1995), são estes:

- Índice de ocorrência de uma falha: é uma estimativa das probabilidades combinadas de uma causa de falha, e dela resultar o tipo de falha no produto ou processo;
- Índice de gravidade do efeito de uma falha: é o índice que deve refletir a gravidade do efeito da falha sobre o cliente, assumindo que o tipo de falha ocorra;
- Índice de detecção de um modo de falha de um FMEA: é um índice que avalia a probabilidade da falha ser detectada antes de chegar ao cliente;
- Índice de risco: é a multiplicação dos índices de ocorrência, gravidade e detecção e tem como objetivo priorizar as ações corretivas, indicar as características críticas do produto/serviço, avaliar a eficácia das ações tomadas para eliminar as causas, reduzir a severidade e melhorar a sua detecção. Quanto maior for, maior deve ser a sua prioridade quanto à correção.

No Anexo 4 é mostrado um exemplo de formulário do FMEA, de Helman & Andery (1995). Abaixo do formulário encontra-se a tabela para a realização das pontuações dos índices de ocorrência, gravidade e detecção. Estes auxiliam na execução do FMEA.

Para a correta aplicação do método, alguns fatores são fundamentais, tais como:

- o conhecimento do produto/processo/serviço por parte dos integrantes da grupo que irá aplicar a técnica;
- disponibilidade e motivação para trabalhar em grupo;
- conhecimento de outras ferramentas como o diagrama de causa e efeito, diagrama de Pareto, CEP ( Controle Estatístico de Processo), diagrama de árvore de falhas, TQC (Controle Total da Qualidade), entre outras;
- a equipe deve ser multidisciplinar, de maneira que todas as falhas possíveis do ciclo de vida de um produto/processo/serviço possam ser previstas ou evitadas.

A metodologia do FMEA auxilia:

- na implementação de metodologia de se fazer o certo na primeira vez;
- no convívio com as rápidas mudanças das expectativas dos consumidores;
- nas considerações dos vários aspectos de projeto que normalmente não são plenamente considerados no seu desenvolvimento;
- na busca da prevenção ao invés da correção;
- na preparação dos requisitos de manutenção preventiva;
- no auxílio do planejamento de testes de confiabilidade.

Onodera (1997) investigou aproximadamente cem aplicações do FMEA. Esta investigação revelou que o FMEA é uma técnica útil para cada estágio virtual do processo industrial moderno. Apesar dos FMEAs serem empregados nas fases iniciais do desenvolvimento de projetos, eles foram de grande valia para o estágio de manufatura na otimização dos processos e cronogramas. Mesmo depois da construção de fábricas, agregaram valor no dia-a-dia das atividades de produção e manutenção.

### 2.6.2.3– Árvore de Falhas

Segundo Helman & Andery (1995), a análise de árvore de falhas ( FTA – *Fault Tree Analysis* ) é um método sistemático e padronizado, capaz de fornecer bases objetivas para funções diversas tais como a análise de modos comuns de falhas em sistemas, justificção de alterações em sistemas e demonstração de atendimento a requisitos regulamentares e/ou contratuais.

O conceito de árvore de falhas originou-se em 1961, desenvolvido por H.A. Watson, do Bell Telephone Laboratories, para avaliar o grau de segurança do sistema de controle de

lançamento de mísseis Minuteman. Adaptado posteriormente a outras funções, sua utilização abrange aspectos diversos que vão desde projetos de máquinas e equipamentos até à análise de processos industriais ou administrativos.

Segundo Helman & Andery (1995), sua aplicação tem como finalidade:

- estabelecer um método padronizado de análise de falhas ou problemas, verificando como ocorrem em um equipamento ou processo;
- auxiliar o analista a identificar dedutivamente as falhas do sistema e levá-lo a uma maior compreensão em relação ao comportamento do mesmo;
- apontar os aspectos mais importantes ou críticos do sistema em relação a uma falha particular;
- priorizar as ações corretivas que serão tomadas;
- analisar e projetar os sistemas de segurança ou sistemas alternativos em equipamentos;
- compilar as informações para manutenção de sistemas, elaborar procedimentos de manutenção, treinar a operação de equipamentos e planejar os testes e a inspeção;
- simplificar e otimizar os equipamentos;
- analisar a confiabilidade do produto ou processo.

Por se tratar de um procedimento altamente detalhado, a Árvore de Falhas requer um grande número de informações e um profundo conhecimento do produto ou processo em estudo.

A análise se inicia a partir de um problema existente em um sistema, ao qual denomina-se “evento de topo”, e segue-se com a elaboração da seqüência ou combinação de fatos capazes de conduzir ao tal evento. O evento de topo é um estado do sistema considerado anormal e pode ser obtido como consequência de fatos normais e/ou anormais do mesmo.

A árvore de falha é um modelo gráfico que permite mostrar de maneira mais simples a seqüência dos diferentes eventos que podem resultar o evento do topo. A análise é conduzida até atingir eventos ou situações básicas cuja análise não se considera necessária aprofundar. Por exemplo, uma empresa montadora de peças ou componentes tem sempre um percentual de itens que ela precisa produzir internamente. Neste caso ela poderia desenvolver uma árvore de falhas, de um determinado produto ( ou evento de topo do mesmo ) de sua linha de produção, que se desdobrasse até a fase em que chegaria ao componente comprado. Pois, a partir daí, ela trataria a confiabilidade deste componente diretamente com o seu fornecedor. Estes eventos constituem o denominado *limite de resolução da árvore*. A análise parte de

uma situação anômala do sistema e desce até as causas mais básicas, responsáveis por ela; por causa disso, o raciocínio é caracterizado como sendo “de cima para baixo”( *top-down* ).

A partir do momento que se obtém o conjunto de eventos que constituem o limite da árvore e identificadas as denominadas causas básicas, deverá ser elaborado um plano de ação com o propósito de solucionar o problema por meio do bloqueio destas causas, o que levará ao bloqueio do evento topo.

Conforme Vollertt (1995), a estrutura básica para formar uma árvore de falhas é mostrada na figura 2.5.

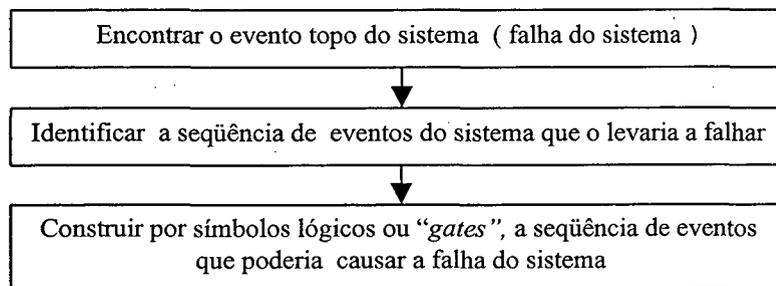


Fig.2.5 - Estrutura básica para a criação de uma FTA. Vollertt(1995)

No Anexo 5, são mostrados os símbolos mais usados para caracterizar os diferentes eventos, com seus respectivos significados. No Anexo 6, são mostrados os símbolos que caracterizam as diferentes portas lógicas, junto com a sua definição. Finalmente, no Anexo 7 apresenta-se um exemplo de uma Árvore de Falhas [ Helman & Andery (1995) ].

Os benefícios de uma árvore de falhas, segundo Henley & Kumamoto (1981 ), são:

- auxiliar a identificação dos modos de falhas;
- pontuar os aspectos importantes do sistema para a falha de interesse;
- fornecer auxílio gráfico para proporcionar visibilidade às mudanças necessárias;
- fornecer opções para análise de confiabilidade quantitativa e qualitativa;
- permitir ao analista se concentrar em uma falha do sistema por vez.

#### 2.6.2.4– Engenharia Assistida pelo Computador

Os métodos de engenharia assistida pelo computador ( CAE – *Computer aided engineering* ) estão disponíveis em uma grande variedade de atividades de projetos. Sua capacidade de auxílio, facilidade de uso e crescente disponibilidade devido a diminuição nos custos dos equipamentos e programas, estão resultando em um aumento significativo no seu grau de utilização. O CAE também possibilita a criação de projetos, de tal maneira que, sem

o mesmo, tornaria o projeto muito mais difícil, ou mais dispendioso, como por exemplo, circuitos integrados de grande escala. O CAE pode proporcionar um ganho bastante significativo em termos de produtividade. Quando bem conduzido, ele pode gerar também projetos mais confiáveis.

Segundo Ireson & Coombs (1988), os principais resultados com o desenvolvimento no CAE tem ocorrido no campo da eletrônica. Versões do programa de simulação análoga SPICE podem ser usadas para o desenvolvimento de circuitos, bem como nos testes de condições de sua operação. A performance do componente é detalhada na base de dados. O engenheiro pode, em princípio, desenvolver, construir e testar o circuito na tela do computador. O efeito das mudanças de parâmetros ou modos de falhas podem ser rapidamente avaliados e condições de operações estáticas, bem como dinâmicas, podem ser testadas. Programas similares existem para projeto e avaliação de circuitos digitais [ HILO (GENRAD Corp.), LASAR ].

No campo da engenharia mecânica, a disponibilidade de *softwares* para a análise de estresse, como por exemplo, o NASTRAN ( MC Neal-Schwendler Corp. ), desenvolve cálculos para análises de elementos finitos para cálculos de estresse mecânico e térmico, além da análise de vibração e reação a cargas.

Entretanto, há importantes limitações relativas à maioria das ferramentas de CAE, pois os modelos de programas nunca poderão representar com exatidão todos os aspectos de um projeto e seu ambiente de operação. Por exemplo, um programa de simulação eletrônica ignorará os efeitos da interferência magnética entre os componentes, e sistemas de simulação mecânica irão ignorar distorções devido a estresse ou temperatura.

Portanto, é essencial que engenheiros de CAE fiquem atentos a estas limitações e analisem até que ponto estas limitações podem, ou não, fazer com que seus projetos contribuam efetivamente na solução de problemas.

A efetiva aplicação de programas modernos de CAE coloca uma maior responsabilidade sobre os engenheiros de CAE quanto aos aspectos práticos desta importante tecnologia. Caso contrário, eles permitirão que projetos incorretos ou com baixa confiabilidade sejam desenvolvidos e cheguem ao mercado. Conseqüentemente, os consumidores não terão suas expectativas atendidas, colocando em dúvida a confiança no CAE de uma maneira geral.

#### 2.6.2.5– Desdobramento da Função Qualidade

A técnica do Desdobramento da Função Qualidade (QFD - *Quality Function Deployment*), originou-se na década de 70 na Empresa Mitsubishi Co. Posteriormente, seu conceito foi alterado pela Toyota e seus fornecedores. Deste então, tem sido aplicada com bastante êxito por empresas japonesas dos mais variados ramos de equipamentos eletrônicos e até em serviços de correios.

Segundo Akao (1990) o QFD não é utilizado no Japão somente em manufatura, mas também em construção civil, indústrias de serviços, indústrias de *softwares*, assim como em outras indústrias.

No ocidente o método foi inicialmente utilizado por pessoas ligadas à pesquisa, mas logo se alastrou nos meios industriais, onde tem sido usado com grande sucesso nas mais diversas atividades.

O QFD vai além da confiabilidade, pois esta técnica cobre aspectos como preferências do consumidor quanto à aparência do produto, performance, custo etc.. O QFD é um modo usual e sistemático de destacar atividades de projetos e de processos, para assegurar a confiabilidade do produto ou sistema [ O'Connor (1991)].

O QFD pode ser entendido como um mapa conceitual que permite um planejamento interfuncional e comunicativo entre os setores responsáveis pelo desenvolvimento do produto em todas as suas etapas. Em suma, é uma ferramenta bastante eficiente para transladar as vontades dos clientes ( de natureza essencialmente abstrata ) em metas de projeto ( de natureza quantitativa ). O QFD é uma ferramenta que assegura a qualidade do produto [Back & Forcellini (1997)].

O QFD vem se constituindo numa verdadeira revolução no enfoque dado à qualidade, especialmente no processo de desenvolvimento de produtos.

O termo “função qualidade” refere-se ao conjunto de atividades desenvolvidas pela organização por meio das quais atinge-se as várias dimensões da qualidade, como adequação ao uso e conformidade com as especificações.

Desdobramento da função qualidade representa, portanto, um caminho sistemático para garantir que o desenvolvimento das especificações e características do produto, bem como desenvolvimento de metodologias, processos e controles, sejam orientados pelas necessidades dos consumidores.

Conforme ASI (1989), a estrutura básica do QFD é composta por quatro documentos na forma de matriz, cada qual representando uma etapa do processo de aprimoramento da qualidade, conforme segue:

- Matriz de Planejamento do Produto. Nesta etapa as necessidades do consumidor são identificadas e traduzidas pela empresa em linguagem técnica na forma de parâmetros de engenharia que orientarão o projeto;
- Matriz de Desdobramento. Em função de decisões tomadas na matriz anterior, identificam-se as partes e componentes críticos do produto em termos do seu processo de fabricação;
- Matriz de Planejamento e Controle de Processo. Conforme a ASI (1989), esta matriz relaciona as características críticas do componente ou produto com o processo utilizado para fabricá-lo, registrando as ações que devem ser tomadas a fim de garantir a conformidade do processo às especificações do projeto;
- Matriz de Planejamento e Controle de Fabricação. Segundo a ASI (1989), esta matriz representa a interface entre manufatura e produção.

Desenvolve-se uma matriz complementar à anterior, estabelecendo um plano para controle da qualidade do componente ou produto durante cada etapa de fabricação.

A aplicação de QFD no desenvolvimento de produtos é uma ferramenta de extrema relevância. Se for mal utilizada, pode resultar na não tradução dos anseios do consumidor em requisitos compatíveis de projetos. Consequentemente, considera-se fundamental o QFD adequadamente aplicado em projetos para atingir o seu propósito, ou seja, fazer com que os requisitos dos consumidores sejam atendidos. O que caracteriza-se como um meio de promover a confiabilidade.

### 2.6.3 – Durante a Fase de Testes

Segundo Vollertt (1995), na fase de planejamento grupos de desenvolvimento estabelecem a vida do projeto e as metas de confiabilidade para componentes e sistemas. Estas metas são altamente influenciadas pelas prioridades e expectativas dos clientes, pelo mercado competitivo, por experiências anteriores e por considerações de origem tecnológica. Na fase de projeto, todo esforço é feito para projetar para a confiabilidade por meio do uso de ferramentas de qualidade e confiabilidade. Entretanto, apesar de todo este esforço, testes preliminares de desenvolvimento são necessários para avaliar a durabilidade, identificar problemas e alcançar o crescimento da confiabilidade.

Um requisito relevante para testes realizados durante o desenvolvimento da confiabilidade é assegurar uma alta probabilidade de detectar todos os problemas potenciais.

Quando protótipos finais de um projeto são testados, estes testes de verificação da confiabilidade necessitam ser capazes de demonstrar que o projeto reúne todas as características desejadas e atinge todas as metas pretendidas.

Antes que clientes recebam seus produtos, testes de validação da confiabilidade são realizados para demonstrar, mais uma vez, que o produto reúne e atinge as metas pretendidas.

Testes de campo também devem ser realizados para possibilitar que se verifique o andamento dos produtos durante o seu uso real. Esta avaliação de campo torna possível a implementação de melhorias no produto ou em seus componentes.

### 2.6.3.1- Testes de Crescimento da Confiabilidade

Conforme Ireson & Coombs (1988) o crescimento da confiabilidade é um melhoramento expressivo nos parâmetros da confiabilidade em um período de tempo, devido as alterações em projetos e nos processos de manufatura.

A aplicação de testes de crescimento da confiabilidade possui uma sistemática de seqüência de testes no produto, com aplicações de ações corretivas entre uma seqüência e outra, com o propósito de alcançar a confiabilidade desejada. Por meio da figura 2.6, Bieda (1991) descreve um método para implementar testes de crescimento da confiabilidade.

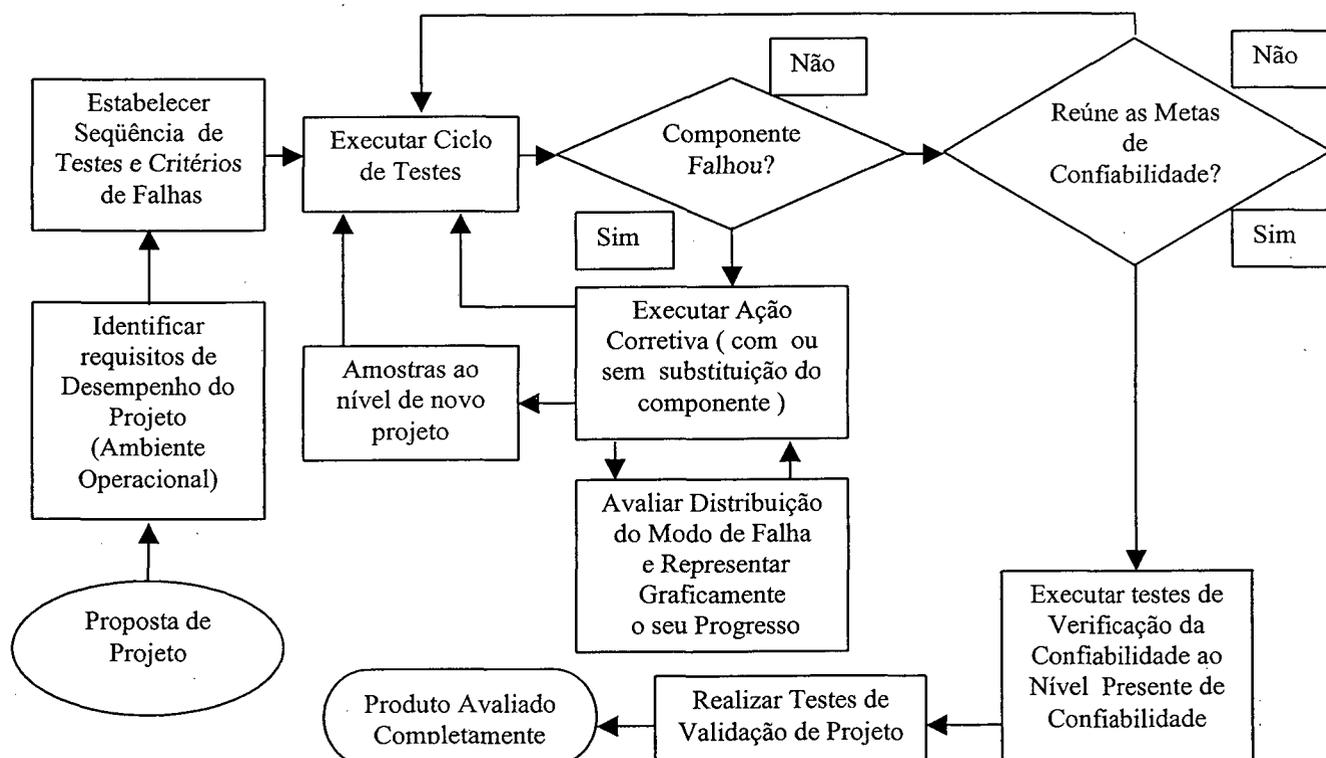


Fig. 2.6 – Processo de Gerenciamento de teste de Crescimento da Confiabilidade. (Bieda, 1991)

Para Bieda (1991), o teste de crescimento da confiabilidade é um método viável para identificar modos de falhas, permitir que se incorpore alterações de projeto e que se monitore o progresso da confiabilidade durante os estágios iniciais de um programa de desenvolvimento de um produto. A prática do teste de crescimento da confiabilidade permite a obtenção de informações úteis à seleção de conceitos, confiabilidade do produto/processo e um custo otimizado em função do pouco tempo despendido e investimento baixo. Enquanto isso, todo o esforço de engenharia estará voltado ao desenvolvimento dos componentes com falha, ou com maior probabilidade de falha, quando comparado aos níveis de falha ao final do projeto.

O primeiro passo do teste de crescimento da confiabilidade é identificar os requisitos de desempenho do produto para definir o ambiente operacional e, então, se estabelecer a seqüência de testes e critérios de falhas. Esta identificação pode ser obtida por meio de um QFD desenvolvido por engenheiros de produto/processos, assistência ao consumidor e qualidade entre outros. Uma vez definidos e entendidos os requisitos de performance do projeto, uma pesquisa se faz necessária a fim de se compreender o nível de exigência de cada ambiente operacional, para que seja levado em consideração no plano de testes. As seqüências de teste devem ser combinadas e arranjadas para que se obtenha um eficiente uso dos equipamentos de testes disponíveis. Este procedimento permite que se avalie o projeto simultaneamente com a evolução dos testes.

Os testes de crescimento da confiabilidade normalmente iniciam com um número pequeno de amostras. Isto porque a probabilidade de falha é alta no início do programa de testes. Entretanto, para se elaborar um programa de testes eficiente, se faz necessário determinar o tamanho da amostra que, quando testada para um período de tempo apropriado, encontrará o nível de segurança necessário para os requisitos de confiabilidade do projeto. O equipamento pode, então, ser ajustado para acomodar não só para o tamanho de amostra inicialmente planejado, mas também para o tamanho de amostra planejado para o teste de validação do projeto ao qual a seqüência de testes seguirá.

Para monitorar adequadamente o progresso dos testes, as não-conformidades devem ser acompanhadas bem como seu tempo de ocorrência. Isso possibilita a análise de distribuição da falha e o cálculo do MTBF (*Mean Time Between Failure*).

O objetivo final do teste de crescimento da confiabilidade é validar o projeto por meio do alcance da sua capacidade quanto aos requisitos de confiabilidade. Por meio de testes funcionais em amostras e técnicas de correções durante os testes, o MTBF desejado pode ser alcançado.

Para Crow & Franklin (1994), que conduziram uma aplicação de um teste integrado de crescimento da confiabilidade, IRGT (*Integrated Reliability Growth Testing*), em um estudo de caso do desenvolvimento de um grande sistema de chaves, o crescimento da confiabilidade foi alcançado por meio de alterações de projeto que ocorreram durante os testes de desenvolvimento.

Ainda segundo Crow & Franklin (1994), a confiabilidade de protótipos, para sistemas complexos com nova tecnologia implementada normalmente está entre 15% e 50% da sua capacidade de projeto madura. Em sistemas eletrônicos, a média é de 30%. Quando não são feitas modificações para melhorar a confiabilidade, durante a fase de desenvolvimento, a confiabilidade do sistema irá se manter nos níveis baixos do início do projeto. No caso do exemplo dado anteriormente, em torno de 30%. Neste caso, a consequência será o não atendimento às expectativas dos consumidores e, provavelmente, provocará um impacto nos custos de garantia.

Segundo Deppe & Minor (1994), do grupo *Boeing Commercial Avionics Systems (CAS)* da *Boeing Company*, que conduziu um teste de crescimento da confiabilidade, RET (*Reliability Enhancement Testing*), em equipamentos de aviação, afirmam que o RET foi conduzido com o objetivo de melhorar a qualidade e a maturidade do produto, antes de sua introdução no campo. O propósito foi, por intermédio da detecção das deficiências do sistema, poder determinar as causas fundamentais das falhas relativas a projeto e manufatura de novos produtos e implementar ações corretivas apropriadas para cada deficiência, antes de liberar o produto para o uso.

#### 2.6.3.2- Teste de Triagem de Estresse Ambiental (ESS) e *Burn-in*

Triagem por estresse ambiental, *Environmental Stress Screening (ESS)*, e *Burn-in* são freqüentemente utilizados na indústria eletrônica a fim de auxiliar na eliminação precoce de falhas.

ESS são testes conduzidos para verificar a confiabilidade de produtos e são freqüentemente feitos nas fases iniciais de desenvolvimento de produtos para assegurar que o produto reúna as condições especificadas em normas.

Para Ireson & Coombs (1988), o *Screening* e o *Burn-in* de itens e subconjuntos são freqüentemente elaborados para eliminar a mortalidade infantil antes da distribuição e uso. Algumas das suas características, são:

1. O ESS pode ser elaborado em condições ambientais e por meio de ciclos normais de operações;
2. O *Burn-in* é normalmente desenvolvido com níveis de vibração elevados para acelerar as falhas mecânicas. Os níveis selecionados são suficientemente pequenos para evitar que falhas ocorram em componentes bons. O estresse aplicado geralmente vai até 75% do nível de estresse no uso normal;
3. O ESS é normalmente desenvolvido por meio de ciclos de temperatura, especialmente em componentes eletrônicos e subconjuntos. Se a temperatura é aumentada gradualmente em forma de passos, este teste é chamado *step-stress testing*.

Segundo O'Connor (1991), *Burn-in* é o nome dado ao processo de estimular a falha em componentes eletrônicos defeituosos por meio da aceleração do seu estresse o qual levará o item defeituoso a falhar, sem provocar a falha nos itens bons. O termo *Environmental Stress Screening* (ESS) é usado também, normalmente, para conjuntos. O tempo de teste necessário para a adequada garantia da confiabilidade, sob condições normais de temperatura, pode ser muito longo e portanto, muito caro para alguns produtos. Então, nestes casos, a utilização de testes acelerados se constituem na forma mais adequada para verificar a confiabilidade.

Segundo English & Yan (1995), na indústria eletrônica, o ESS e *Burn-in* são comuns. O ESS requer que a unidade seja submetida às condições estresses de ambiente como, por exemplo, a temperatura. O ESS identifica falhas que são tipicamente observadas com frequência durante a vida útil de um produto. Estes tipos de falhas são chamadas de falhas latentes. O *Burn-in* é designado para detectar falhas precoces (período de mortalidade infantil), que são chamadas de falhas patentes.

Ainda segundo English & Yan (1995), se uma taxa de falhas é muito alta no estágio inicial de vida de um produto (precoces), e não é possível fazer qualquer melhoria significativa no seu processo de manufatura, há duas opções. Primeiro, inspecionar 100%. Segundo, o método *Burn-in* poderia ser empregado a fim de identificar a falha antes do produto ser entregue ao consumidor

O *Burn-in* quando realizado em 100% das unidades manufaturadas e de maneira adequada, promove uma filtragem da produção normal, com o intuito de filtrar falhas latentes, da mortalidade infantil. O tamanho do *Burn-in* é relativo ao número de falhas removidas. Assim, pode existir um período de *Burn-in* otimizado para um sistema. Com um período de *Burn-in* insuficiente, poderá haver uma alta faixa de mortalidade infantil que,

consequentemente, provocaria um alto custo de reparo em campo. Um tempo de *Burn-in* elevado iria aumentar muito os custos da execução dos testes.

Defeitos típicos do período de mortalidade infantil são fraquezas devido a sub-especificação de materiais ou falhas no processo de manufatura. Estes tipos de falhas, não relativas a projetos, resultam em consideráveis custos para o fabricante e o consumidor. O ESS vem sendo utilizado comercialmente de maneira crescente em indústrias de eletrônicos para reduzir, ou mesmo eliminar, a ocorrência de falhas não relativas a projeto, por meio da exposição de unidades, em ambientes de excessivo estresse, tais como vibração e ciclos de temperatura. Como resultado, a falha de campo pode ser eliminada antes do produto ser distribuído ao campo. O ESS envolve um investimento alto para a aquisição de equipamentos e tempo de teste, o que eleva o custo do produto.

Um programa de testes deve contemplar todo um conjunto de condições ambientais que um produto possa vir a ser submetido no campo. O item 2.9.1. abordará os principais fatores ambientais (estresses) que afetam a maioria dos produtos.

## **2.7 – Previsão de Falhas**

Estudos sobre a ocorrência e previsão de falhas segundo técnicas da confiabilidade tem sido empregadas desde os anos 50, inicialmente na área espacial. Entretanto, os resultados estão, muitas vezes, aquém das expectativas. A razão é que todos os sistemas freqüentemente alcançam uma confiabilidade de campo diferente dos valores previstos. Consequentemente, a credibilidade das predições tem, via de regra, sofrido com descrédito ou criticismo. Mesmo sem ter sido realizada qualquer melhoria significativa na precisão das predições, não se pode dizer que estas técnicas são inválidas ou se a maneira de aplicá-las são indevidas.

Uma predição correta de confiabilidade de um produto, antes do seu lançamento, é obviamente desejável. Dependendo do produto e seu mercado, o conhecimento antecipado da confiabilidade permitiria que previsões corretas fossem feitas para, por exemplo, planejar corretamente itens de reposição e evitar custos de garantia desnecessários.

Por um outro lado, segundo O'Connor (1988), é discutível que uma predição correta da confiabilidade implica em conhecimento das causas das falhas e que estas possam ser eliminadas. O fato é que uma predição da confiabilidade raramente pode ser feita com alto nível de certeza ou confiança. Contudo, esta pode promover uma base adequada para a previsão de fatores dependentes tais como o custo do ciclo de vida do produtos. A predição

da confiabilidade pode também ser válida como parte do estudo do processo de projeto, a fim de permitir a comparação de opções e destacar características críticas de confiabilidade nos projetos.

As diferenças entre a confiabilidade predita, na fase de desenvolvimento do produto, e a confiabilidade real, alcançada no campo, têm sido discutidas há tempos. Apesar de muitos autores entenderem que a predição da confiabilidade é uma tarefa não relevante, outros consideram que o problema é a falta de desenvolvimentos de novos métodos que a torne mais eficiente.

Segundo Pecht (1994), a predição tem sido tradicionalmente vista como o cálculo de uma taxa de falha ou de um MTBF (*Mean Time Between Failure*). De fato, a norma MIL-STD-785 (*Reliability Program for Systems and Equipment, Development and Production*) lista a predição da confiabilidade como um número de tarefas voltadas para a confiabilidade. A predição da confiabilidade poderia buscar muito mais que uma simples taxa de falhas para caracterizar a confiabilidade de um produto. Dados que agregam grande valor à confiabilidade e, portanto, de grande relevância para uma avaliação são: quando (tempo da falha); onde (local da falha); porquê (mecanismo de falha); e, como (modo de falha).

A metodologia usada para avaliar a confiabilidade de um produto deve ser apropriada para o uso pretendido da avaliação. Três usos típicos são listados abaixo que para os quais, segundo Pecht (1994), a norma MIL-HDBK-217 não está ajustada:

1. se uma avaliação da confiabilidade de um produto é feita por meio de um teste de laboratório ou do campo. Então, é necessário um método que antecipe precisamente a confiabilidade, que inclua uma indicação das incertezas e não exija hipóteses irreais, tais como taxa de falha constante;
2. se uma orientação de projeto para confiabilidade é desejada, então uma metodologia é necessária de para que a relação causa e efeito do modelo de confiabilidade seja corretamente feita;
3. se uma avaliação entre diferentes propostas é desejada, então uma metodologia é necessária a fim de proporcionar uma comparação acurada, levando-se em consideração uma indicação das incertezas e certezas.

A inadequação da norma ocorreu nos três casos. No terceiro caso, foi demonstrada por meio de um exemplo em um teste aplicado em um determinado equipamento de comunicação oriundo de diversos fabricantes. Uma vez que a norma não incorporava detalhes de projeto e uso deste equipamento, que afetavam a confiabilidade, a mesma se tornou inadequada para estimar a vida do componente. A tabela 2.2 abaixo mostra os resultados

obtidos em termos de diferença do MTBF predito pela norma MIL-HDBK-217 e o MTBF real de campo.

FABRICANTE	MTBF MIL-HDBK-217	MTBF Real	FABRICANTE	MTBF MIL-HDBK-217	MTBF Real
A	811	98	F	2304	6903
B	1269	74	G	2450	472
C	1845	2174	H	2840	1160
D	2000	624	I	3080	3612
E	2000	51			

Tabela 2.2 - Diferença do MTBF predito pela norma MIL-HDBK-217 e o MTBF real de campo. (Pecht, 1994).

Segundo Pecht (1994), um estudo realizado por Dietrich Duane, da Universidade do Arizona, em Tucson, mostrou que, além da MIL-HDBK-217, há um outro método, menos utilizado, para a predição da confiabilidade. Este método é o uso de especialistas para julgamento. Entretanto, este método também requer uma verificação *a posteriori*.

A verificação de predições da confiabilidade requer testes. Quando a confiabilidade predita ou especificada é alta, o tempo e o custo dos testes são proibitivos. Isto significa que testes de vida acelerados são necessários. Entretanto, o teste de vida acelerado tem um problema básico: o fato da compressão do tempo ser limitada pela diferença entre o projeto e testes reais. Adicionalmente, a exatidão dos resultados de testes de vida acelerados normalmente depende do modelo físico assumido para relacionar o tempo de teste acelerado e o tempo real.

Segundo Pecht (1994), extraído do trabalho de Schaner, Gary de Honeywell – Phoenix intitulado “Mudanças Necessárias à Teoria de Taxas de Falhas Aleatórias”, algumas mudanças são necessárias na área de predição da confiabilidade para tornar a técnica mais eficiente:

- a norma MIL-HDBK-217 não predita eventos de campo. Engenheiros da confiabilidade precisam parar de calcular taxas de falha com muitas casas decimais como se fossem dados precisos, pois estes resultados são usados para auxiliarem na decisão de escolha entre diversas opções;
- as falhas de campo não são eventos aleatórios. Partes que falham são tipicamente o resultado de problemas de projeto, manufatura, manuseio e embalagem, entre outros. Nenhum destes representam eventos aleatórios mas, problemas que podem ser solucionados;

- após a solução destes problemas, os engenheiros devem substituir a análise do MTBF pela análise dos estresses ambientais aplicados ao produto;
- projetar para a confiabilidade com margens de projeto além do que é necessário para resistir aos estresses ambientais. Níveis estes encontrados na vida operacional exigida;
- aplicação efetiva de Triagem de Estresse Ambiental (ESS) para verificação do produto;
- comprometimento para a aplicação da melhoria contínua para confiabilidade.

A diferença significativa entre a confiabilidade predita e a confiabilidade real de campo, intitulado por Miller & Moore (1991), como o “delta da confiabilidade”, tem sido por muito tempo um problema na engenharia da confiabilidade. Embora uma confiabilidade de campo mais alta do que a predita seja desejável, quase sempre ela será menor do que a predita. Determinar o delta da raiz da causa das falhas é o primeiro passo para melhorar as estimativas da confiabilidade.

Uma solução para o delta da confiabilidade é possível se, e somente se, fatores chave puderem ser identificados, propriamente medidos e subsequentemente controlados. Uma pesquisa realizada por Miller & More (1991) foi realizada para identificar e priorizar estes fatores. A pesquisa foi feita por intermédio de um questionário entregue a 38 especialistas em confiabilidade para responder e ordenar sobre fatores que potencialmente contribuíram no delta da confiabilidade. Entretanto, apenas seis fatores foram mencionados como sendo significativos para os especialistas, os quais serão citados e discutidos a seguir, por ordem decrescente de importância:

1. fatores relativos a projeto: seleção inadequada de componentes que contribuíram fortemente para problemas de projeto, especialmente devido ao pobre entendimento do ambiente operacional do sistema;
2. acuracidade dos dados de campo: a maioria dos problemas, segundo os especialistas, está na área de coleta e/ou definição dos dados. Para a definição dos dados, o maior problema está na classificação da falha e nos procedimentos de pontuação;
3. processos de manufatura. O processo de manufatura pode afetar sensivelmente a confiabilidade de campo. Os problemas básicos podem estar classificados nas áreas de manufatura e qualidade. Qualidade, por outro lado, depende fortemente de um programa de gerenciamento total conduzido pelo fabricante;
4. técnicas de predição: a maioria dos especialistas atribuíram às técnicas e hipóteses utilizadas pela norma MIL-HDBK-217 os problemas de predição da confiabilidade. Esta norma é a mais utilizada para prever a confiabilidade de produtos eletrônicos. Segundo

os especialistas, a sua deficiência está em não representar os ambientes operacionais e na inadequada aplicação de modelos de confiabilidade;

5. foco gerencial de curto prazo: há uma maior preocupação, por parte dos gerentes, com os benefícios de curto prazo do que com os de longo prazo. Um dos especialistas apontou a gerência de curto prazo como sendo o maior gargalo para se alcançar os níveis de confiabilidade desejados pelos clientes;
6. fatores ambientais: a maioria dos problemas relativos aos fatores ambientais foi atribuído ao mau entendimento e a má interpretação do ambiente operacional. Isto em função da dificuldade de prever o ambiente operacional em que o produto irá operar. Além disto, a confiabilidade é tipicamente predita com base em testes a nível de componentes e/ou subsistemas, levando-se pouco em consideração as interfaces e integrações do sistema.

Wood & Elerath (1994), que elaboraram um estudo comparativo entre MTBFs preditos e dados de campo, afirmam que predições baseadas na MIL-HDBK-217 e no *Bellcore Handbook* são geralmente menores que os MTBFs de campo,. Porém, maiores que os MTBF demonstrados durante o *Burn-in* realizado na manufatura.

Loll (1998) considera que, apesar de muitas controvérsias a respeito do uso de técnicas de predição, ainda é melhor insistir em usá-las, apresentado tanto as vantagens como as desvantagens que a predição da confiabilidade pode oferecer ao fabricante e ao consumidor. O custo da confiabilidade é tão importante quanto sua predição, pois ele guia o gerenciamento de um desenvolvimento de produto para o seu detalhamento de projeto, onde uma prévia e cuidadosa análise acompanhada de testes devem ser feitos. O custo da confiabilidade é feito por meio de uma probabilidade Weibull e então, uma taxa de falhas não constante pode ser incluída no custo. Este procedimento permite que se incluam falhas não reparáveis na análise, possibilitando que se faça uma comparação entre o custo da confiabilidade de um sistema e seus objetivos.

A seguir, as vantagens ou “os prós” da predição apontadas por Loll (1998):

- simples e de fácil entendimento. Muitas gerações de engenheiros e gerentes conheceram ou conhecem esta ferramenta. Além disto, a predição pode ser usada, na fase inicial, para estimar o número de cada tipo de componente. Para comparar diferentes propostas ou projetos, tem-se uma referência neutra e, ao mesmo tempo, comum;
- raciocínio da caixa preta. Em um desenvolvimento de produto, pode-se definir duas abordagens diferentes: a visão caixa preta e a visão caixa transparente. Na visão caixa transparente o projetista empenha-se em considerar ou computar todas as relações ente os dados de entrada e de saída de conhecimento de engenharia. Na visão caixa preta, ele está

apenas interessado nos dados de entrada e de saída, e não nas relações intermediárias. Consequentemente, a visão caixa preta é normalmente empregada para testes e para métodos estatísticos. A predição pertence à visão da caixa preta;

- custo da confiabilidade. Quando usada corretamente, a predição pode auxiliar em decisões relacionadas a prioridades de atividades da confiabilidade de um projeto;
- gerenciamento do risco. É sabido que muitos tipos de componentes são mais difíceis de serem usados que outros. Quanto mais complexo é o produto, o risco da escolha dos seus componentes é maior. Predição pode ser imaginada como uma forma de mensurar e assumir os riscos com o propósito de gerenciá-los.

A seguir, as desvantagens da predição apontadas por Loll (1998):

- pré-requisitos bastante ignorados. O maior problema na predição é o número de fatores ambientais de correção que têm que ser escolhidos. Eles promovem a ascensão ao tão chamado “jogo do número”. Contanto que se tenha uma faixa muito larga, é possível prever qualquer valor de MTBF. Cada fator poderia certamente ser escolhido de acordo com a orientação do manual baseado em dados do projeto proposto;
- componentes não militares. Para estes componentes, o maior problema com a predição tem sido que a MIL-HDBK-217, primariamente, se refere aos componentes militares. Consequentemente, não está claro nela onde os componentes não militares poderiam ser enquadrados;
- tipos de produtos. Desde quando a MIL-HDBK-217 é primariamente dirigida a equipamentos militares, um número de base de dados alternativo tem surgido especialmente dentro da área de telecomunicações. Estas bases de dados são certamente mais precisas para equipamentos da área tecnológica;
- falhas de campo. A norma MIL-HDBK-217 não prediz o desenvolvimento da falha no campo e, portanto, não pode ser usada para este propósito;
- predição – profecia do auto desempenho. Quando se compara a predição com os resultados de testes de confiabilidade, normalmente se encontra uma boa correlação. Mas, ao se utilizar determinados métodos de testes e análises, provavelmente serão interrompidos os testes e registrados os ciclos quando for alcançado o MTBF predito;
- progresso das dificuldades. É necessário lembrar que a predição não tem a intenção de aprimorar a produção, mas sim promover a melhoria do processo de projeto. Consequentemente, deve-se questionar o uso da predição;

- componentes não têm taxa de falhas. Críticas sobre predição totalmente corretas afirmam que componentes não têm taxa de falhas intrínsecas. Se corretamente utilizadas em um ambiente agradável, a maioria dos modernos componentes funcionarão por muitos anos, sem falhas. Hoje, a maioria das falhas são causadas por falhas de projeto ou sobrecargas durante o processo de montagem, testes, armazenamento, transporte e uso;
- taxa de risco constante. Desde há pouco tempo, todos os métodos de predição tem sido baseados em uma distribuição exponencial de falhas. Os métodos não estão ajustados para considerar falhas precoces e falhas por desgaste, que normalmente não seguem a distribuição exponencial.

### 2.7.1 – O Processo de Predição

Segundo Giuntini (1993), uma das soluções para melhorar o processo de predição da confiabilidade é a utilização do processo Bayesiano. O processo simula uma distribuição de Weibull *a posteriori* que se aproxima de uma distribuição de falha acumulada. O processo de inferência Bayesiana faz o uso de uma distribuição prévia para predizer a confiabilidade onde, por meio do uso de dados reais de falha de campo ou de testes, uma função heurística combinada gera uma distribuição *a posteriori*. Por intermédio de um processo iterativo, cada estimativa adiante torna-se uma distribuição de falha melhor estimada e, portanto, mais próxima da verdadeira. Desta forma, este processo pode ser implementado com ou sem a ajuda de um computador. A distribuição prévia é uma estimativa da população. Até que falhas ocorram, a distribuição prévia é apenas uma estimativa do comportamento da falha. A ocorrência de falhas constitui dados de amostras que representam uma amostra da verdadeira população de falhas. Por combinar os dados da distribuição prévia com os dados de amostras, uma estimativa posterior é derivada.

A estimativa da distribuição posterior é melhor do que a distribuição prévia, porque ela retém uma estrutura modelada, dados reais de ocorrência de falha, e não permite que dados de amostras pequenas influenciem a estimativa da população.

A figura 2.7 mostra o início do processo com a amostra inicial sendo combinada com uma distribuição prévia para gerar a distribuição posterior. Cada distribuição posterior torna-se a distribuição prévia da distribuição seguinte na medida que novos dados da distribuição real são obtidos e incrementados ao modelo.

Para Ten & Xie (1998), a utilização do método de Bayes em testes da confiabilidade é desejada para a redução no tamanho da amostra. O método também é utilizado quando a

duração do teste é significativa, e quando há um grande conhecimento ou dados do sistema para promover um alto nível de confiança na confiabilidade do sistema. Os métodos para gerarem os planos de testes de demonstração da confiabilidade bayesiana que estão disponíveis na literatura são aplicáveis somente nos sistemas os quais informações prévias ou dados estão disponíveis.

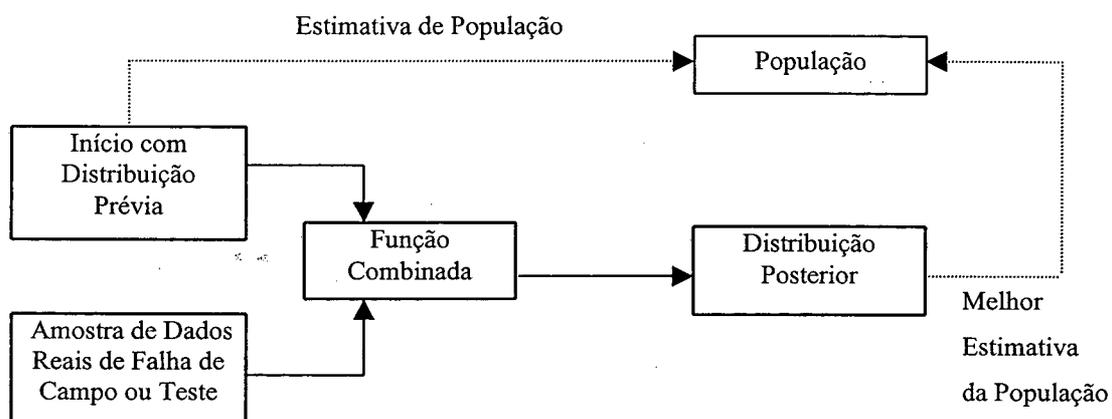


Fig.2.7 - Processo Bayesiano para Derivação Posterior. (Giuntini, 1993)

Talmor & Arueti (1997) propõem um processo combinado de predição da confiabilidade no qual vários métodos são combinados, com dados de manufatura inseridos, quando disponíveis. É baseado na combinação do uso de dados de confiabilidade, métodos de cálculos e modelos determinísticos. Apesar deste método ser dependente também de uma boa base de dados de falhas de campo, ele oferece algumas vantagens, segundo o autor:

- melhora o nível de acuracidade;
- é de fácil utilização;
- incorpora informações de processos de manufatura.

Segundo o autor, esta abordagem é útil não somente para a predição da confiabilidade, mas também para promover uma retorno da engenharia para a melhoria da confiabilidade. Não será mostrado o detalhamento do processo proposto pelo autor, pois o intuito é apresentar a existência do mesmo dando uma idéia do seu conceito.

## 2.8 – Dados de Confiabilidade de Campo

Conforme mencionado no item 2.7, normalmente os problemas são descobertos após o produto ter sido liberado para a venda, devido a dificuldade do fabricante conseguir predizer todas as falhas que ocorrerão com o produto. Em função da dificuldade de predizer o que

pode ocorrer com o produto no campo, o fabricante deve ver o problema sob um outro ângulo. Ele deve utilizar as diferenças de predição como uma ferramenta para, inicialmente, entender o desempenho em campo e, posteriormente, ordenar e priorizar as respostas para o desempenho em campo.

Para Brall (1994), problemas não resolvidos na fase de concepção do produto podem apresentar dois resultados: a insatisfação do consumidor e excessivos custos com a garantia do produto. Por outro lado, uma análise deve ser feita a fim de se verificar se o custo de implementação de determinada alteração de projeto é justificada quando comparada com o custo de se manter o projeto sem a alteração. A chave para a melhoria da confiabilidade é a contínua atualização de novos produtos por intermédio de um sistema de retroalimentação de dados.

Os dados de confiabilidade de campo podem ser obtidos por meio de contatos com os clientes ou através dos dados gerados durante os prazos de garantia para fornecer um *feedback* de informações.

Segundo Baxter & Tortorella (1994), na prática, os dados analisados são freqüentemente os dados de campo. Estes dados nem sempre são reunidos para se efetuar uma análise estatística e, de certa forma, são freqüentemente incompletos. Os fatores que fazem os dados de campo serem incompletos são:

- **Mascaramento:** um conjunto, o qual tem vários subconjuntos e componentes, falha quando um dos seu subconjuntos falha. Ao invés de substituir um componente, normalmente se substitui o conjunto inteiro, sem realizar uma análise do componente danificado contido neste conjunto. Deste modo, não se conhece a identidade do componente que falhou dentro deste conjunto. Este fenômeno é conhecido como mascaramento;
- **Tempo de garantia:** um fabricante deseja estimar os parâmetros de distribuição do tempo de vida um produto. Observações do tempo real não estão disponíveis. Então, como dado substituto, o fabricante faz uso da diferença de tempo entre o transporte e a fabricação. Entretanto, ele inclui neste tempo períodos em que o sistema não estava em uso, tais como, o tempo de armazenamento e o tempo em que o produto fica indisponível até que o cliente decida fazer o reparo no produto, entre outros;
- **Ambientes desconhecidos:** a distribuição do tempo de vida de um componente é afetada pelo ambiente no qual o componente está operando; a taxa de falha aumenta sob condições adversas, tais como a temperatura, tensão elétrica e umidade. Supõe-se que um dos parâmetros da distribuição do tempo de vida seja uma função do estresse ambiental, o

qual é assumido como conhecido. Entretanto, certos ambientes operacionais, nos quais alguns componentes são submetidos, não são registrados.

Não menos importante, outro problema comum de quem coleta os dados e que colabora negativamente aos resultados, relaciona-se com o número de diferentes pessoas envolvidas no processo de coleta de dados. Esta diferença reside principalmente na experiência e conhecimento, além da capacidade e motivação destas pessoas.

### 2.8.1 - Retorno de Campo

O Retorno de campo (*feedback* de campo), deve ser um sistema estruturado que seja capaz de proporcionar ações corretivas rápidas, além da identificação de falhas candidatas às melhorias. Um *feedback* só trará bons resultados se apresentar estas características, ou seja, obter dados que cheguem completos e precisos ao fabricante, trazendo consigo todos os fatores importantes e necessários para a realização de melhorias no produto. Pois, caso isto não seja possível, o fabricante correrá o risco de efetuar mudanças no produto, sem determinar as reais causas das falhas, podendo perder tempo, dinheiro e imagem.

Brall (1994) propõe um sistema desenvolvido em sua empresa, Landis Grindis Machines, chamado Sistema de Documentação de Falhas Landis. Este sistema proporciona um sistema de dados eficiente de *feedback* de campo, dentro de suas limitações. A principal limitação é que a sua assistência técnica só era solicitada quando o cliente não conseguia reparar a máquina por sua conta. Este procedimento distorcia os relatórios e os tornavam mais difíceis, além de acarretar em um tempo de reparo maior e fazer com que muitas ações sejam não adequadamente documentadas.

A figura 2.8 mostra o sistema que, além de ser alimentado pelas falhas de campo, é alimentado pelas falhas que foram coletadas antes do produto sair para o campo, que o autor chama de falhas da fábrica. Segundo o autor, este sistema tem priorizado a identificação de falhas padrões, ou seja, falhas que tenham ocorrido com mais frequência. Pois, atuando sobre estas falhas, tem-se obtido a melhoria na confiabilidade do produto. Antes da implementação deste sistema, falhas padrões eram difíceis de serem determinadas e, por vezes, ignoradas quando de fácil manutenção.

Vollertt (1995) desenvolveu um procedimento sistemático de coleta de dados com base em diagnóstico médico e que visa proporcionar, à coleta de dados, um maior grau de acuracidade. Este procedimento faz o uso de um questionário (*checklist*), utilizado por um

consultor técnico e respondido pelo cliente. Estes dados coletados são registrados em uma matriz chamada “Matriz de Aplicação da Técnica de Anamnese com o Cliente.

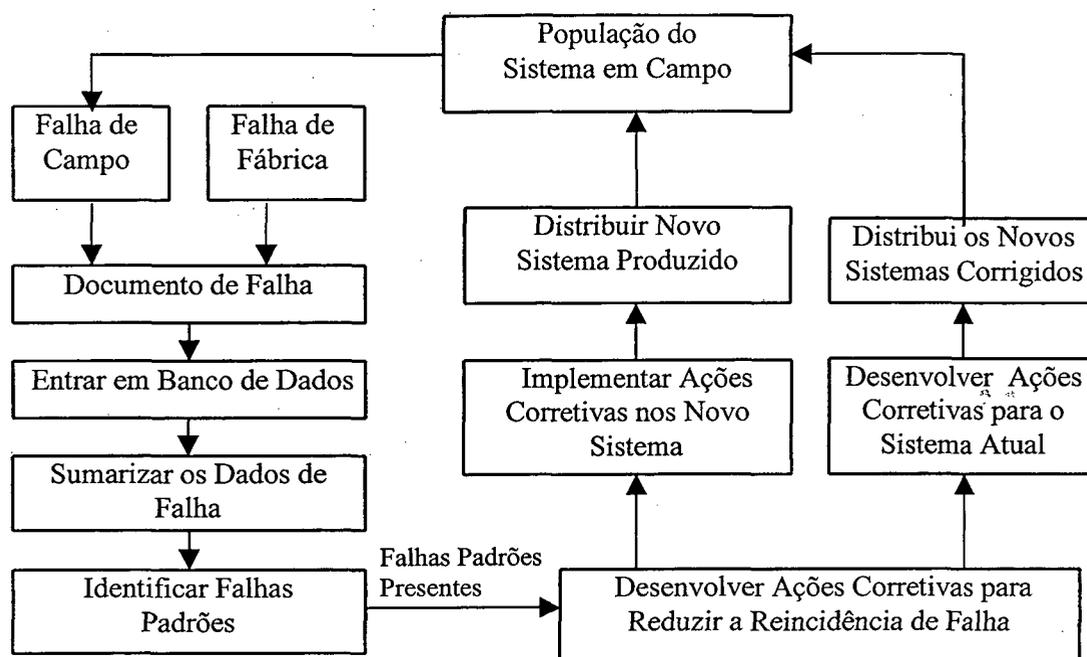


Fig.2.8-Sistema de Documentação de Falhas Landis. (Brall, (1994)

## 2.9 – A Relevância dos Dados de Campo ao Fabricante

Dados que normalmente são enviados ao fabricante, tais como: número de identificação do produto, peças trocadas, parte que causaram a falha, o modo de falha (exemplo: curto circuito na parte elétrica de um painel de um automóvel) e o subsistema afetado pela falha (exemplo: estrutural, elétrico, etc.), são importantes. Embora estes dados sejam relevantes ao fabricante, não são suficientes para avaliar as garantias oferecidas, determinar os custos envolvidos, e promover melhorias efetivas ao produtos. Seria necessário conhecer todas as condições de contorno do produto na campo, tais como: fatores de estresse ambiental, fatores operacionais, sintomas das falhas, diagnóstico observado durante o reparo e os índices de medição da confiabilidade. Este dados possibilitariam a execução de uma ação corretiva no sistema baseada em dados confiáveis. A seguir, são apresentados estes fatores, segundo Vollertt (1995).

### 2.9.1 - Fatores Ambientais

O fabricante deve conhecer todas as possíveis condições ambientais em que o produto provavelmente será operado, para que melhorias possam ser feitas quanto ao

procedimento de predição da confiabilidade em testes realizados nas fases anteriores. Assim, poderá promover o aumento da robustez do produto fazendo com que ele possa operar em uma grande variedade de condições ambientais.

A simulação de todos os fatores ambientais interagindo simultaneamente, como de fato ocorre com o produto durante o seu uso, é um fator relevante. Como esta simulação é difícil de se realizar, dados como os fatores ambientais ocorridos no campo são importantes, onde o uso real é o verdadeiro teste. Os principais fatores ambientais que afetam a maioria dos produtos são [O'Connor (1991)]: temperatura; vibração; umidade; poeira; ambiente salino; fungos; poluição industrial; alta intensidade de ruído; alta altitude; idade do lubrificante ou contaminação deste; neve; geada; sereno e orvalho, entre outros.

Dependendo do local onde é operado o produto, alguns fatores são inerentes. Como exemplo, uma região litorânea apresenta um ambiente mais salino que as demais. A altitude de uma região já determina a pressão atmosférica, enquanto que outras regiões apresentam uma combinação de temperatura e umidade relativa mais severa. Portanto, dados sobre as regiões onde ocorreu a falha também são importantes para o fabricante conhecer as características dos ambientes operacionais que o seu produto opera para propor soluções futuras.

Alguns fatores só são observados durante o reparo do produto, como a presença de poeira, fungos, condição do lubrificante, etc.

### 2.9.2 - Fatores Operacionais

Fatores operacionais são todos os fatores que se relacionam com o uso do produto. Os fabricantes normalmente fornecem, junto com o produto, especificações técnicas como potência, tensão elétrica, velocidade, etc., e também fazem recomendações de como o usuário deve utilizar o produto. A seguir, os principais fatores operacionais, ainda segundo Vollertt (1995):

- **Mau Uso ou Uso Indevido do Produto.** Entre os fatores operacionais, um dos elementos mais críticos é o mau uso ou uso indevido do produto por parte do cliente. O uso indevido ocorre quando o usuário não segue as especificações e recomendações dadas pelo fabricante, que normalmente estão em catálogos, manuais ou escritas no próprio produto. Estas especificações dadas em manuais podem também ser encaradas como uma forma de o fabricante se proteger quanto à falta de robustez do seu produto, ou quanto ao mau entendimento de como o usuário operar o seu produto. Durante o prazo de vigência

das garantias, a maior dificuldade para o fabricante é conseguir provar que a falha ocorreu devido ao mau uso, visto que ele não tem controle nenhum sobre a forma de como o usuário opera ou usa o produto. Por exemplo para um motor elétrico de um eletrodoméstico falhar, várias causas podem ter originado a falha, tais como: defeito dos materiais, controle da qualidade ineficiente, mau uso e/ou outras fontes. Caso o mau uso deixe vestígios no produto, que são únicos e exclusivos desta má utilização, o fabricante, por meio de um diagnóstico, pode provar que a falha ocorreu por esta causa. Além disso, ele só poder dizer que a falha ocorreu devido ao uso indevido se as recomendações estavam claramente especificadas nos manuais. Para um automóvel, as revisões periódicas, que são obrigatórias para o cliente ter direito às garantias, são uma forma de o fabricante manter controle sobre as recomendações dadas nos manuais, como trocar o óleo do motor a cada 5.000Km, trocar o filtro de óleo a cada 10.000Km, etc.;

- **Taxa de Uso do Produto.** Um outro fator operacional importante a ser considerado é a taxa de uso. Quando um fabricante faz estimativas dos prazos de garantia, ele precisa conhecer a distribuição da taxa de uso ou quanto em horas/dia o produto será operado. Esta característica pode ser um fator causador de muitas falhas no campo, caso o fabricante não a tenha levado em consideração. Por exemplo, um aparelho de televisão pode ser operado, por alguns usuários, duas horas por dia. Outros usuários, entretanto, podem utilizá-lo por dez horas diárias. Normalmente, o fabricante testa o produto e registra o número de horas até a falha. Estas horas só podem ser transformadas em número de dias reais de uso apenas se o fabricante conhece a taxa de uso. O maior problema deste enfoque é a dificuldade que o fabricante tem de medir a taxa de uso e também pelo fato que ela só poderá ser avaliada com uma certa precisão após o produto já estar no campo;
- **Taxa de Potência do Produto.** Um outro fator importante é a taxa de potência. Ela é influenciada pela potência utilizada pelo usuário para operar um produto. Normalmente, os produtos são oferecidos com uma certa faixa de potência a serem operados. Por exemplo, um liquidificador possui três velocidades de operação, um condicionador de ar possui opções de alta média e baixa temperatura, e um automóvel possui diversas opções de velocidades. Se o usuário opera o produto sempre na máxima, isto também pode causar, durante a garantia, uma quantidade maior de falhas do que aqueles que utilizam o produto a uma taxa de potência menor. Este também é um item que o fabricante possui dificuldade de prever, sendo difícil de ser avaliado no campo.

### 2.9.3 - Sintoma e Diagnóstico de Falhas

O sintoma da falha é também um dado importante para o fabricante e está relacionado com o comportamento da falha no momento da sua ocorrência. Quando o cliente solicita uma assistência técnica e informa ao fabricante quando e como ocorreu a falha, ele presta grande auxílio na solução do problema. Adicionalmente, um sintoma bem investigado e melhor compreendido possibilita uma assistência técnica mais adequada.

Segundo Vollertt (1995), um sintoma bem investigado abre caminho para um exame físico objetivo ou um reparo da qualidade. Os dados mais importantes de um sintoma são:

- época em que ocorreu o início da falha ou em que o sintoma apareceu;
- modo como ela ocorreu (gradualmente ou subitamente);
- os fatores ou situações que desencadearam o sintoma;
- a duração que é estabelecida conforme a data de início;
- as características do sintoma na época em que houve o início (intensidade, localização);
- evolução do sintoma (modificações observadas), e situação do sistema no momento atual.

Informações antes do reparo são, normalmente, superficiais, tais como: vazamentos, oxidações, poeira e trincas, entre outras. Porém, o diagnóstico observado durante o reparo possibilita a identificação de informações, por vezes inédita, e que precisa ser registrada. Por exemplo, um ruído que ocorre apenas em uma determinada condição de uso de um refrigerador ou condicionador de ar. Dados como este, se não forem registrados, podem acarretar em um dispêndio de tempo e testes de laboratório até que a solução e causa sejam identificadas. Após o reparo, muitas destas informações não poderão mais ser observadas, caso não o sejam durante o mesmo pois, quando isto ocorre, provavelmente já foram adulteradas durante o reparo.

### 2.9.4 - Índices da Confiabilidade e Manutenibilidade

Além da confiabilidade propriamente dita, que é a probabilidade do produto ou componente operar com sucesso sem falhar, há várias medidas da confiabilidade segundo ABCQ (1995), tais como:

- **Tempo Médio entre Falhas, MTBF (*Mean Time to Failure*)**, é o tempo médio entre sucessivas falhas de um sistema reparável. Segundo Kapur (1994), este índice é obtido pelo total do tempo de vida de uma população de um item dividido pelo seu número total

de falhas durante o intervalo de medida. Este índice auxilia na determinação de prazos de garantias de um produto. É também utilizado para planejar o número de peças de reposição e os custos envolvidos com a mão de obra para realizar o reparo, transporte, etc. Normalmente, sua unidade é medida em tempo, ciclos, quilômetros e eventos entre outras medidas de unidade de vida;

- **Taxa de Falha** é a quantidade de falhas por unidade de tempo. É obtida pelo inverso do MTBF, ou seja, é o número médio de falhas ocorridas em um item ou sistema, dentro de uma população, por um intervalo de tempo. É normalmente utilizada para a determinação da confiabilidade de componentes. A taxa de falha pode variar durante a vida de um produto. Por exemplo, para produtos no final de vida útil, normalmente se observa um aumento da taxa de falhas devido a presença de mecanismos de degradação do sistema;
- **Tempo Médio até a Falha, MTTF (*Mean Time Between Failure*)**. Tempo médio até ocorrer a falha de um sistema não reparável ou até a primeira falha de um sistema reparável.
- **Vida Média** é o tempo de vida médio do sistema;
- **Tempo Médio entre Manutenções**. Tempo médio entre um especificado tipo ação de manutenção. Esta medida auxilia no dimensionamento de recursos para a realização da manutenção;
- **Longevidade**. Tempo até o desgaste total de um produto;
- **Disponibilidade**. Tempo de operação expresso como uma porcentagem do tempo total do sistema que representa a parcela de tempo que o sistema está efetivamente capaz de operar ou entrar em operação. É obtido pelo MTBF dividido pela soma do próprio MTBF com o MTTR (a ser definido no texto subsequente).

Adicionalmente, além dos índices da confiabilidade, anteriormente citados, a ABCQ (1995) define os índices da manutenibilidade, conforme segue:

- **Tempo Médio para o Reparo, MTTR (*Mean Time to Repair*)**. Tempo médio para executar o serviço de reparo assumindo a existência de peças sobressalentes e técnicos. Para Ireson & Coombs (1988), “é uma medida básica de manutenção ou realização de um reparo. É definido como a soma dos tempos de manutenção corretiva de um nível específico de reparo, dividido pelo número total de falhas de um item reparado naquele nível especificado, durante um determinado intervalo de tempo e sob condições específicas”. Segundo Kapur (1994), “o MTTR é obtido pelo tempo de manutenção

- corretiva, dividido pelo número total de ações de manutenção corretiva durante um dado período de tempo”. Esta medida pode ser influenciada no campo devido a falta de peças de reposição e conseqüente atraso do reparo, pois os leva em consideração no seu cálculo;
- **Tempo Inativo Médio.** Tempo médio durante o qual um sistema não está em condições de operar por uma razão qualquer;
  - **Horas de Reparo por 100 h de Operação.** Quantidade média de horas requeridas para reparo por 100 horas de operação do produto;
  - **Taxa de Custo de Manutenção.** Custo de manutenção preventiva e corretiva por unidade de operação ou unidade de tempo.

A figura 2.9 mostra a relação entre os períodos de operação e manutenção.

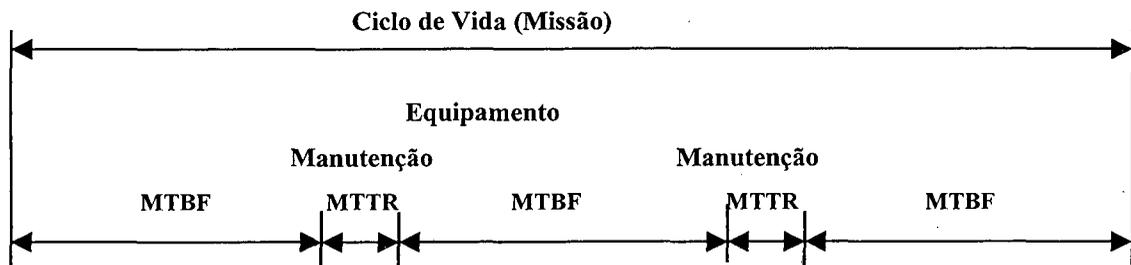


Fig. 2.9 – Períodos de Operação e Manutenção MTBF, MTTR e MTTF. (ABCQ, 1995)

Todos estes índices citados acima são importantes para o fabricante. Eles possibilitam a verificação da eficácia do processo de predição da confiabilidade por meio da sua comparação com os dados reais obtidos no campo. Um vez identificada qualquer discrepância entre a predição e dados reais de campo, poder-se-á questionar a validade dos testes aplicados, o projeto, além do processo produtivo e o suporte logístico, entre outros.

## 2.10 – Considerações Finais

Este capítulo mostrou que a confiabilidade, apesar de demandar recursos financeiros das empresas, é um tema que deve ser enfatizado durante as várias fases do ciclo de desenvolvimento do produto.

O grande desafio de um projeto robusto é atingir um nível de robustez que atenda à confiabilidade, aliado ao custo requerido pelo consumidor. Um processo de desenvolvimento de projeto bem controlado e bem entendido é capaz de evitar dúvidas e erros que podem causar custos elevados nas fases posteriores de desenvolvimento de um produto. O FMEA, o

FTA e o QFD são ferramentas que auxiliam a busca da confiabilidade requerida pelo consumidor.

O teste de crescimento de confiabilidade é fundamental para se chegar aos testes de validação da confiabilidade que demonstram que o produto reúne as condições exigidas pelo consumidor.

O melhor caminho para se solucionar um problema é aquele que evita com que o mesmo ocorra. Entretanto, sabe-se que falhas ocorrem em produtos durante o seu uso e que necessitam de soluções eficazes e rápidas. A eficácia está na qualidade de todo um processo que inicia na coleta de dados do campo (junto ao consumidor), e termina na implantação efetiva da ação corretiva (para o consumidor).

O próximo capítulo mostrará uma abordagem relativa a falhas de campo na empresa pesquisada.

## CAPÍTULO 3 – A CONDUÇÃO DE PROBLEMAS DE CAMPO

Antes de apresentar uma proposta para auxiliar a área de projetos, este capítulo tem o propósito de apresentar a empresa pesquisada e suas áreas em estudo.

Uma abordagem bibliográfica paralela, será mostrada ao lado dos temas relacionados ao seu processo de projeto, suas principais ferramentas utilizadas, bem como sua experiência na solução de problemas de produtos no campo.

### 3.1 – Dados da Empresa Pesquisada

A empresa pesquisada é fabricante de eletrodomésticos da linha branca. Possui cinco unidades fabris no Brasil. Os produtos, por ela fabricados, são: refrigeradores, congeladores, condicionadores de ar, fogões, lavadoras e secadoras de roupas.

A empresa concentra em uma de suas unidades o Centro de Tecnologia em Refrigeração (CTR), local onde são desenvolvidos os projetos de novos produtos refrigeradores e freezers, e ao lado de todas as demais unidades de manufatura, áreas de engenharia residente para atuar na melhoria de qualidade e redução de custos em projetos de produtos já existentes.

O processo de oficialização das alterações nos desenhos de engenharia são realizadas por meio de um documento chamado de Modificação de Engenharia (ME).

As atividades de desenvolvimento de produtos, são conduzidas com base no fluxo de processo de uma norma descrita como “Roteiro de Atividades da Engenharia de Produtos”.

Os principais aspectos ligados ao desenvolvimento de projeto são sucintamente descritos a seguir:

- a empresa é usuária de sistemas computacionais para auxílio ao desenvolvimento de produtos tais como: CAE e CAD/CAM *Pro-Engineer* em seus departamentos competentes;
- aplica as principais ferramentas de auxílio à projetos como QFD, FMEA, FTA e mais recentemente está investindo em um programa de treinamento para a implantação da metodologia 6 sigmas;

- tem uma metodologia de desenvolvimento de projetos própria chamada C2C ( *Consumer to Consumer* );
- se organiza em equipes, Engenharia Simultânea, para a realização dos novos desenvolvimentos de produtos.

### 3.2 - O Processo de Projeto na Empresa Pesquisada

#### 3.2.1 – Metodologia C2C

Para atingir seus objetivos econômicos e financeiros, as empresas utilizam o Planejamento e o Desenvolvimento de Produtos com a finalidade de gerar e projetar produtos ou serviços que ela possa vender. O processo de desenvolvimento de projeto de produto é dividido em etapas, ou fases, de acordo com os interesses de cada empresa.

No caso da empresa pesquisada, fabricante de produtos da linha branca, onde será realizada a aplicação para validade do modelo proposto, já existe uma metodologia de desenvolvimento de projeto intitulada C2C, abreviatura de "*Consumer to Consumer*", ou seja, do consumidor para o consumidor. Esta metodologia foi desenvolvida pela própria empresa pesquisada em 1993 e obteve a sua primeira revisão em novembro de 1997.

O desenvolvimento de um novo produto é um trabalho de equipe, envolvendo pessoas de diferentes departamentos. O trabalho é minucioso e sistematizado numa série de passos seqüenciais.

A necessidade do consumidor é sempre o ponto de partida para a elaboração de um novo produto que, por sua vez, estará totalmente voltado para esse eventual usuário.

O processo C2C também incorpora atividades que asseguram que o processo de criação de produtos seja conduzido não apenas pelo consumidor, mas também pelas estratégias e objetivos da empresa.

O desenvolvimento de projeto de produto da empresa pesquisada só tem início após a **fase de planejamento**, quando os fatores externos ao processo de criação de produtos estão claramente definidos. São eles:

- as necessidades dos consumidores e revendedores;
- as estratégias da empresa, das marcas e dos produtos;
- as regulamentações;
- a situação econômica nos países para os quais serão vendidos os produtos;
- os desenvolvimentos tecnológicos externos,

- os planos e capacidades dos concorrentes.

Todo o processo C2C é direcionado e influenciado pelos fatores anteriormente citados. A partir daí, é elaborada a especificação do projeto do produto. Dá-se início ao processo de criação e desenvolvimento de produto.

O processo C2C possui uma abordagem disciplinada para assunção de riscos e divide o processo de criação do produto em três fases distintas: **concepção, conversão e execução**, apresentadas na figura 3.1.

Durante a **Concepção**, o enfoque principal é o desenvolvimento de conceitos inovadores de produto, encorajando-se a assunção de riscos. O resultado principal da fase de concepção é a definição do conceito do produto.

Durante a **Conversão**, a ênfase é reduzir riscos técnicos e de mercado, mediante o desenvolvimento avançado do produto. O objetivo é entrar na fase de execução com poucos, ou nenhum riscos. Os resultados principais da fase de conversão são um plano de negócio e a especificação dos requisitos de projetos de produto.

Durante a **Execução**, o enfoque é o desenvolvimento completo do produto e sua implantação. Estas três fases encontram-se descritas a seguir.

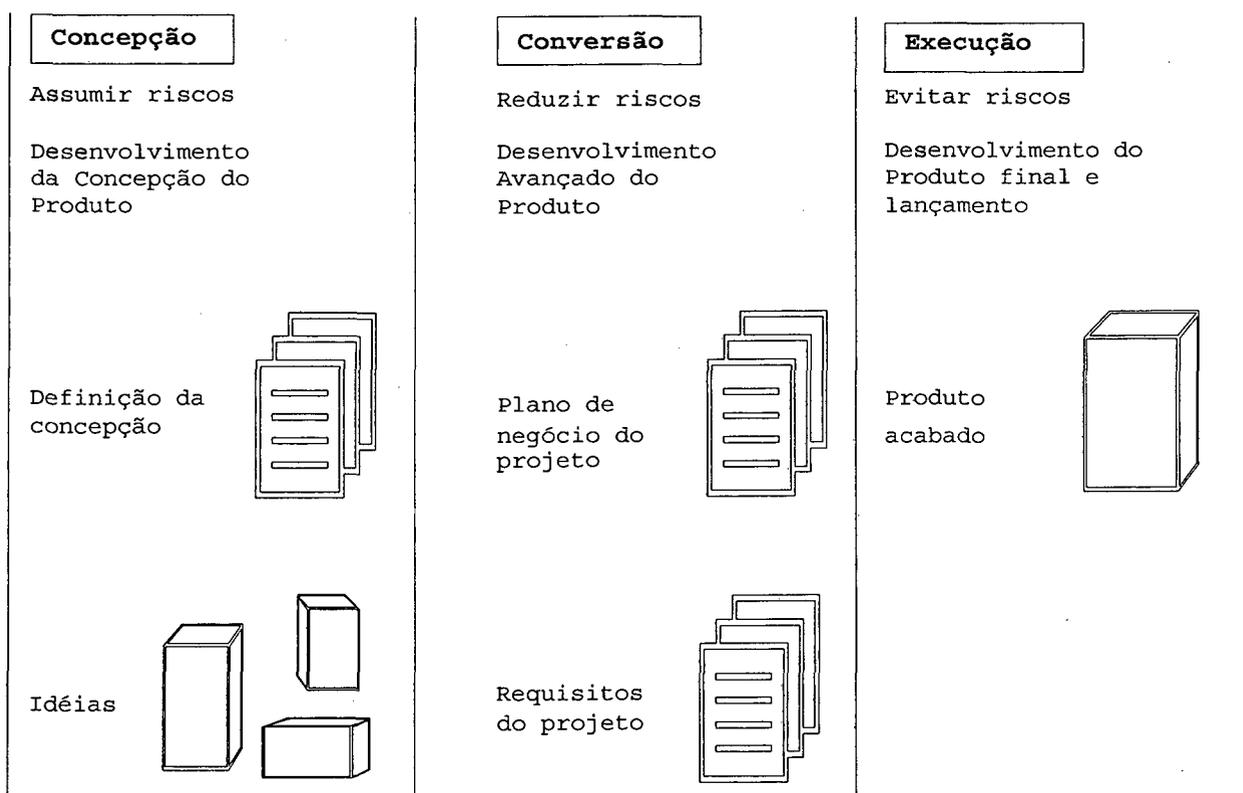


Fig. 3.1 - Representação Gráfica do Conceito C2C.

Ao longo do processo C2C existem alguns pontos de decisão, *tollgates*, que são utilizados para avaliar o processo de projeto e para determinar a conveniência de prosseguir, ou não, para a próxima fase. Um dos princípios fundamentais do processo C2C é que estes *tollgates* sejam pontos de avaliações rigorosas do projeto entre cada fase. Assim, uma vez que a decisão tenha sido tomada, permitindo que se vá adiante, as atividades subsequentes prosseguirão para o próximo, sem uma reavaliação.

**Fase 1- Concepção** - Durante a fase de Concepção do processo C2C, as idéias para futuros produtos são analisadas, a fim de determinar seu potencial de aumento de competitividade da empresa. Se uma idéia de produto for escolhida, então é formado um grupo de desenvolvimento da concepção. A tarefa atribuída a esta equipe é a de desenvolver e verificar a concepção do produto. Esta fase, caracterizada pela inovação e assunção de riscos.

Atividades do desenvolvimento da concepção:

- análise preliminar do mercado
- análise de viabilidade técnica
- análise preliminar do negócio
- definição preliminar dos requisitos
- especificação preliminar do projeto

**Fase 2- Conversão** - Na fase de Conversão do processo C2C, as concepções de produtos aprovadas devem ser desenvolvidas mais profundamente. Para uma concepção aprovada, um grupo de desenvolvimento de projeto é formado e inicia o desenvolvimento avançado do produto. Esta fase é caracterizada por atividades de redução de risco: desenvolvimento das especificações do produto, verificação da viabilidade de mercado e planejamento detalhado do negócio.

Atividades do desenvolvimento avançado do produto:

- análise de mercado;
- planejamento do negócio;
- definição dos requisitos;
- especificação do projeto;
- especificações preliminares de engenharia do produto e processo;
- seleção de fornecedores estratégicos

Nesta fase, um passo de extrema importância e que contribui de maneira significativa para reduzir os riscos técnicos, é a execução de protótipos que são testados em campo.

**Fase 3- Execução** - Na fase de **Execução** do C2C, o plano de negócio do produto aprovado no *tollgate* anterior, deve ser completamente desenvolvido. Para os planos aprovados, os recursos necessários são comprometidos; o grupo de desenvolvimento de projeto inicia o desenvolvimento do produto final. Simultaneamente, serão formadas equipes de marketing e produção para planejar o lançamento e a produção do produto.

Atividades do grupo de desenvolvimento do projeto:

- desenvolvimento do produto final;
- suporte a introdução do produto;
- preparação do lançamento do produto,
- planejamento da produção.

Nesta fase, também de extrema importância, o lote piloto é testado por completo em laboratório e em campo ( os protótipos anteriormente postos em teste de campo da fase de conversão, são trocados ).

### 3.2.2 - Abordagens ao Processo de Projeto

Segundo Leduc (1986), a descrição da gênese de um produto pode ser apresentada analogamente a uma seqüência biológica e se articular em três grandes partes. Inicialmente, a **concepção** do produto, no curso da qual serão estudados os problemas de pesquisa e seleção dos germes. Depois, a **gestação** (ou desenvolvimento), onde se examinará o itinerário que percorre a idéia até, ir-se tornando, progressivamente, realidade e adquirir suas características definitivas, e ainda o **nascimento**, isto é, o lançamento do produto propriamente dito.

Na prática, o processo de projeto é constituído de uma série de fases subdivididas e que definem a conclusão de estágios ou etapas de atividades consideradas os marcos do projeto (da língua inglesa, *milestones*) nos quais, aspectos específicos do programa de desenvolvimento devem estar finalizados antes que se passe ao estágio seguinte. Os princípios “concepção”, “desenvolvimento” e “lançamento”, já citados, devem ser desenvolvidos consistentemente dentro de *milestones*. (Marzano, 1994).

Para Pedroso (1994), em se tratando de desenvolvimento de projetos, o fator tempo torna-se crucial. Portanto, é comum que tarefas sejam divididas em fases que estabelecem as seqüências a serem seguidas, independentemente da demanda de cada projeto.

Após a aceitação da idéia de desenvolvimento de um novo produto, defini-se o grupo de projeto que será responsável por este desenvolvimento, iniciando os trabalhos pela fase de concepção.

Esta fase de projeto tem como objetivo definir todo o planejamento do desenvolvimento do produto. São estabelecidas a viabilidade técnica, a viabilidade de mercado, a viabilidade do negócio; são elaborados a especificação dos requisitos do produto e o projeto preliminar.

O enfoque principal desta fase é o desenvolvimento de conceitos inovadores de produto, encorajando-se a assunção de riscos. Durante a concepção, a viabilidade técnica do produto deve ser claramente estabelecida e comprovada por meio de protótipos, embora não seja a intenção de projetar ou construir protótipos completos do produto.

O protótipo não funcional também se faz necessário para pesquisas clínicas de mercado, onde são avaliadas questões relacionadas às funções propostas.

Uma vez concluída a fase de exploração e análise preliminar, e estabelecido o caminho a ser seguido, tem início a fase de desenvolvimento do produto, muito semelhante ao que é a gestação no plano biológico.

Durante esta fase, o que era projeto passa a ser objeto; o que era uma noção ainda vaga e irreal torna-se um artigo definido, prestes a ser fabricado em série.

Projeto de produto é o processo de criar novos e melhores produtos para as pessoas usarem. As considerações primordiais são: desempenho, confiabilidade, usabilidade, aparência e custo. Desenvolver produto para uso próprio é simples; contudo quando se desenvolve um determinado produto para uma classe, este desenvolvimento torna-se complexo devido as informações necessárias que devem ser extraídas do mercado e corretamente interpretadas e materializadas.

Segundo Zaccai (1994), não importa somente o que o consumidor diz, mas a interpretação. O importante é quem usa o produto.

Para novos desenvolvimentos de produtos ou adequações, especialistas desenvolvem pesquisas que podem nos dizer o que os clientes pensam que querem.

Segundo Lovelock (1995), compradores freqüentes de um produto familiar podem, geralmente, nos dizer exatamente os benefícios que estão procurando e os que eles estão preparados para pagar a fim de obtê-los. Eles também dirão, enfaticamente, o que não querem. Clientes inexperientes ou compradores em potencial de novos bens têm mais probabilidade de ter problemas para articular suas necessidades. A consulta freqüentemente

desempenha um papel vital em ajuda-los a esclarecer quais são as necessidades e o que pode constituir uma solução satisfatória.

A ordem de desenvolvimento contém a tarefa, formulada de forma muito aberta e genérica, e algumas informações (restrições, limitações), úteis para a definição dos requisitos técnicos, ergonômicos, econômicos, ecológicos e outros que o produto a ser desenvolvido deve preencher.

A elaboração de um procedimento que auxilie a análise das exigências, desejos, anseios dos clientes, mas também as limitações de projeto, provenientes do *know-how* técnico disponível na empresa, da experiência do pessoal, da disponibilidade de materiais, da legislação, etc. Estas exigências e aspirações, normalmente, recebem o nome de requisitos, que podem ser classificados em obrigatórios e desejáveis.

A lista de requisitos de produto, que tradicionalmente contém requisitos técnicos e econômicos, relacionados com aspectos de fabricação, custos, transporte, embalagem, etc., deve conter também requisitos de confiabilidade relacionados com o produto, em todas as fases de vida do produto, isto é, desde a construção de protótipos até, a sua eliminação ou reciclagem.

Os requisitos definidos no início do desenvolvimento do produto são utilizados durante todo o processo. Nesse processo, há oportunidades para a detecção de pontos fracos nas alternativas de produtos de interesse da empresa. As alternativas de solução concebidas e desenvolvidas no decorrer do processo são classificadas quanto a seu atendimento aos requisitos desejáveis. Uma alternativa será tanto melhor quanto mais requisitos desejáveis preencher e/ou quanto melhor preencher estes requisitos. Alternativas que não atendem aos requisitos obrigatórios devem ser eliminadas.

Para definir os requisitos de projeto, assegurar o cumprimento desses requisitos e garantir a qualidade do produto, serão apresentadas, no item 3.3, ferramentas para o desenvolvimento de projeto de produtos.

### **3.3 - Ferramentas Aplicadas no Desenvolvimento de Produtos**

Existem inúmeras ferramentas destinadas a desenvolver produtos, com enfoque no consumidor. O QFD por exemplo, é uma ferramenta que considera as necessidades do consumidor como requisito de projeto. Na empresa pesquisada, o QFD, FMEA e o FTA são ferramentas utilizadas em novos projetos desde 1992. Sabe-se da sua importância e tenta-se, a cada projeto, desenvolvê-las na sua totalidade. Porém, em função de problemas relacionados a

falta de recursos humanos dedicados e prazos de projetos curtos entre outros, acabam sendo interrompidas.

Todas estas ferramentas quando bem aplicadas, apresentam êxitos em suas conclusões. Porém, de forma isolada, sua contribuição pode ser reduzida.

O método proposto, a ser mostrado no Capítulo 4, utilizar-se-á da aplicação integrada de algumas ferramentas, tais como: Análise funcional, QFD, FTA e FMEA.

### 3.3.1 – Utilização do QFD

A ferramenta básica do QFD é a matriz, a qual é usada para representar dois conjuntos de informações e para indicar como eles se relacionam. Por exemplo, a matriz pode ser usada para relacionar as atitudes da empresa com as necessidades do consumidor. O uso de matrizes requer que a equipe de desenvolvimento seja capaz de identificar o que é necessário produzir e onde conseguir os insumos.

Na empresa pesquisada, a aplicação do QFD iniciou em 1992 tendo sido executada a primeira matriz. Posteriormente, com o produto já em fase de produção, as 3 matrizes restantes foram preenchidas para efeito de conhecimento da ferramenta. De 1993 até os dias de hoje, foram executados vários projetos novos tendo se chegado no máximo à segunda matriz do modelo da *American Supplier Institute*.

Com base na experiência adquirida, concluiu-se que é extremamente difícil fazer na íntegra todas as quatro matrizes do QFD devido, principalmente, à falta de recursos humanos em cada projeto. Isto necessitaria de pessoas totalmente dedicadas à realização desta atividade. Entretanto, em todos os projetos desenvolvidos, as matrizes elaboradas foram muito aproveitadas, pois serviram de base para as fases seguintes de processos e produção, apesar da inexistência das demais matrizes.

### 3.3.2 - Análise Funcional

As informações obtidas da especificação do produto (*briefing*), definem pontos a serem atendidos pelo futuro produto, alguns *features* e restrições industriais. Estas informações não determinam características de um novo produto em relação aos existentes no mercado. O que oferecer ao consumidor para que este novo produto seja diferente dos atuais?

A partir dos pontos-bases, ou seja, das diretrizes de projeto (comercial, industrial ou de produto), divide-se o produto em partes, com o auxílio da Análise Morfológica que

consiste, de acordo com Csillag (1991), em estabelecer o problema e seus objetivos e identificar dois ou três de seus aspectos considerados como dimensões básicas e críticas.

Esta técnica é muito adequada no que diz respeito à Análise de Valor para gerar idéias.

De acordo com a técnica citada, enumeram-se os elementos básicos do produto e descreve-se de que forma estes elementos poderiam se apresentar.

Gera-se um grande número de idéias, que são agrupadas posteriormente, possibilitando um maior número de soluções para os problemas. O resultado obtido é um Diagrama de Árvore.

Quando o desdobramento dos elementos básicos do produto, que podem ser chamados de partes, chega no ponto em que a definição depende da interface produto/usuário, passa-se a analisar as funções destas partes, utilizando-se a Técnica de Análise Funcional de Sistemas (*Function Analysis System Technique*, ou FAST) que proporciona, segundo Csillag (1991), que todas as funções orientadas ao projeto sejam mostradas de uma maneira organizada, tornando compreensíveis suas relações e importâncias relativas.

Um exemplo da aplicação do diagrama FAST é apresentado na figura 3.2, a qual mostra como foi construído tal diagrama para se ter um entendimento mais amplo do problema. Neste caso, foi aplicado num projeto de aparador de água, desenvolvido pela empresa pesquisada. (Csillag, 1991).

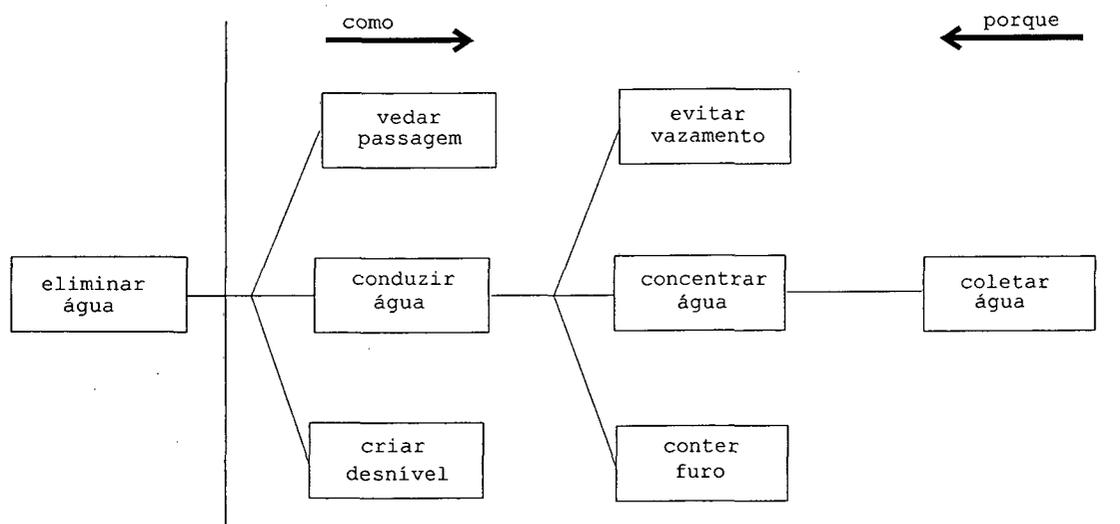


Fig. 3.2 – Diagrama FAST do Aparador de Água. (Csillag, 1991)

Esta ferramenta representa um grande auxílio na análise de função de componentes para a aplicação do FTA e FMEA.

### 3.3.3 – FMEA e FTA

Conforme mostrado no Capítulo 2, estas duas ferramentas se completam em função das características que cada uma apresenta. De um lado, o FTA parte de um evento de topo considerado anormal para obter-se uma seqüência de fatos normais e/ou anormais do mesmo. Por outro lado, o FMEA é utilizado identificar os possíveis modos de falhas em potencial e determinar o efeito de cada um sobre o comportamento do sistema.

O FMEA foi utilizado pela primeira vez na empresa pesquisa em 1992. Foi aplicado posteriormente em todos os novos projetos até os dias de hoje, porém de forma tímida. Não teve um acompanhamento posterior completo com relação às ações recomendadas.

O FTA foi utilizado em um projeto pela primeira vez, em 1993 com o foco no evento de topo “Incêndio”. Em 1996, foi aplicada em um outro projeto focado nos eventos de topo “Barulho Trepidando” e “Não Refrigera ou Não Congela”.

Uma das maiores causas encontradas, e que impede um maior êxito na aplicação do FMEA, até hoje na empresa, tem sido a falta de uma aplicação detalhada da análise de função dos componentes, na execução do FTA. Outra causa, é a falta de continuidade do processo.

### 3.4 - A Experiência em Engenharia Simultânea na Empresa Pesquisada

O processo de engenharia simultânea na empresa pesquisada, é atualmente a ferramenta mais utilizada no desenvolvimento de novos projetos. Por intermédio dela, geram-se várias alternativas com um maior envolvimento de pessoas de diversas áreas da empresa que também fazem o uso do QFD, FMEA e FTA entre outros como parte do trabalho. Portanto, o desenvolvimento de um novo projeto, no ambiente da engenharia simultânea, favorece a aplicação de uma metodologia que visa dar suporte ao projeto na solução de problemas de campo.

Na busca de um método mais rápido de desenvolvimento de projetos, a empresa pesquisada, a partir de 1992, iniciou a aplicação do método de desenvolvimento de projetos por meio da formação de equipes multifuncionais, conhecido como engenharia simultânea. O trabalho teve seu início na formação de um grupo de pessoas que já se dedicavam por algum

tempo ao estudo da técnica, suas formas de aplicação, pesquisa de casos de implantação, seus resultados e relatórios de sucesso dos quais alguns exemplos são mostrados na tabela 3.1.

Tempo de aplicação	30 a 70% menor
Alterações de Engenharia	65 a 90% menores
Tempo para o lançamento	20 a 90% menor
Qualidade total	200 a 600% maior
Produtividade da equipe	20 a 110% maior
Economia	5 a 50% maior
Retorno dos investimentos	20 a 120% maior

Tabela 3.1 – Aplicação da Engenharia Simultânea. (Empresa Pesquisada, 1993)

Após a criação do primeiro grupo de engenharia simultânea, a técnica foi disseminada para outras equipes em reuniões, discussões e cursos ministrados por consultores. A partir daí surgiram os primeiros protótipos de aplicação do método.

A medida em que os projetos foram surgindo e os grupos se formando, criaram-se as mais diferentes formas de trabalho em equipe sem que efetivamente ocorresse uma troca de experiências entre estes grupos.

A falta de uma metodologia pré estabelecida de condução dos grupos gerou em alguns projetos, resultados positivos em termos de prazo, custo e qualidade, e também outros cujo resultado esteve aquém do esperado. Na tentativa de resolver este problema, a empresa promoveu um levantamento de informações nas áreas envolvidas, ou seja, Engenharia de Desenvolvimento, Suprimentos, Garantia de Qualidade, Engenharia Industrial, Planejamento e controle de Produção e Ferramentaria. Com base nas mesmas, surgiram as sugestões de melhoria que posteriormente foram aplicadas. Nos dias de hoje, a técnica é utilizada por um vários grupos em diversos projetos inclusive para projetos mundiais.

### 3.5 – Áreas em Estudo e suas Funções.

Dentro da estrutura organizacional da empresa pesquisada, será dada maior atenção às duas áreas que diretamente estão relacionadas ao propósito desta dissertação:

- Engenharia de Produtos que situa-se abaixo da diretoria da unidade de negócio refrigeração, por exemplo, e atua diretamente no desenvolvimento e manutenção dos projetos dos produtos; e

- Assistência ao Consumidor, que dá suporte, ao consumidor, em todos os tipos e marcas de produtos produzidos pela empresa, na tentativa de atendê-los. Situa-se dentro da estrutura da unidade de negócios Brasil;

A Engenharia de produtos tem como função:

- desenvolver novos projetos;
- reformular produtos de linha por meio da readequação do projeto, em função de novos equipamentos, melhoria de processos produtivos, além da alteração no conceito visual, estrutural e funcional do produto;
- racionalizar o custo industrial dos produtos por intermédio de alterações de projetos; e
- desenvolver alterações nos projetos visando a solução de problemas identificados no campo e/ou em produção.

A Assistência ao Consumidor tem como função proporcionar a Assistência Técnica aos produtos da empresa, a todos os seus consumidores conforme consta no termo de garantia do manual de instruções do produto. Basicamente, a sua função resume-se em:

- garantir um Serviço Autorizado ( assistência técnica autorizada ) e o Serviço de Atendimento ao Consumidor por meio de uma orientação pós-venda, um atendimento para a solução de problemas e auxílio no desenvolvimento e adequação de produtos e processos;
- atender as necessidades do consumidores por meio de um Serviço de Assistência Técnica ao produto, em função de falhas ou defeitos gerados na manufatura, projeto, transportes, armazenagem, utilização ou aplicação inadequada. Este atendimento ao consumidor é obtido por intermédio de uma estrutura de treinamento e comunicação com o foco voltado diretamente na relação com os consumidores e seus produtos.

O fluxograma básico de funcionamento das atividades da Engenharia de Produtos é representado pela figura 3.3 que mostra o roteiro de execução das atividades em projetos de produtos novos ou alterações de produtos solicitada pelas áreas clientes. As áreas clientes e suas interfaces técnicas e organizacionais são mostradas na figura 3.4.

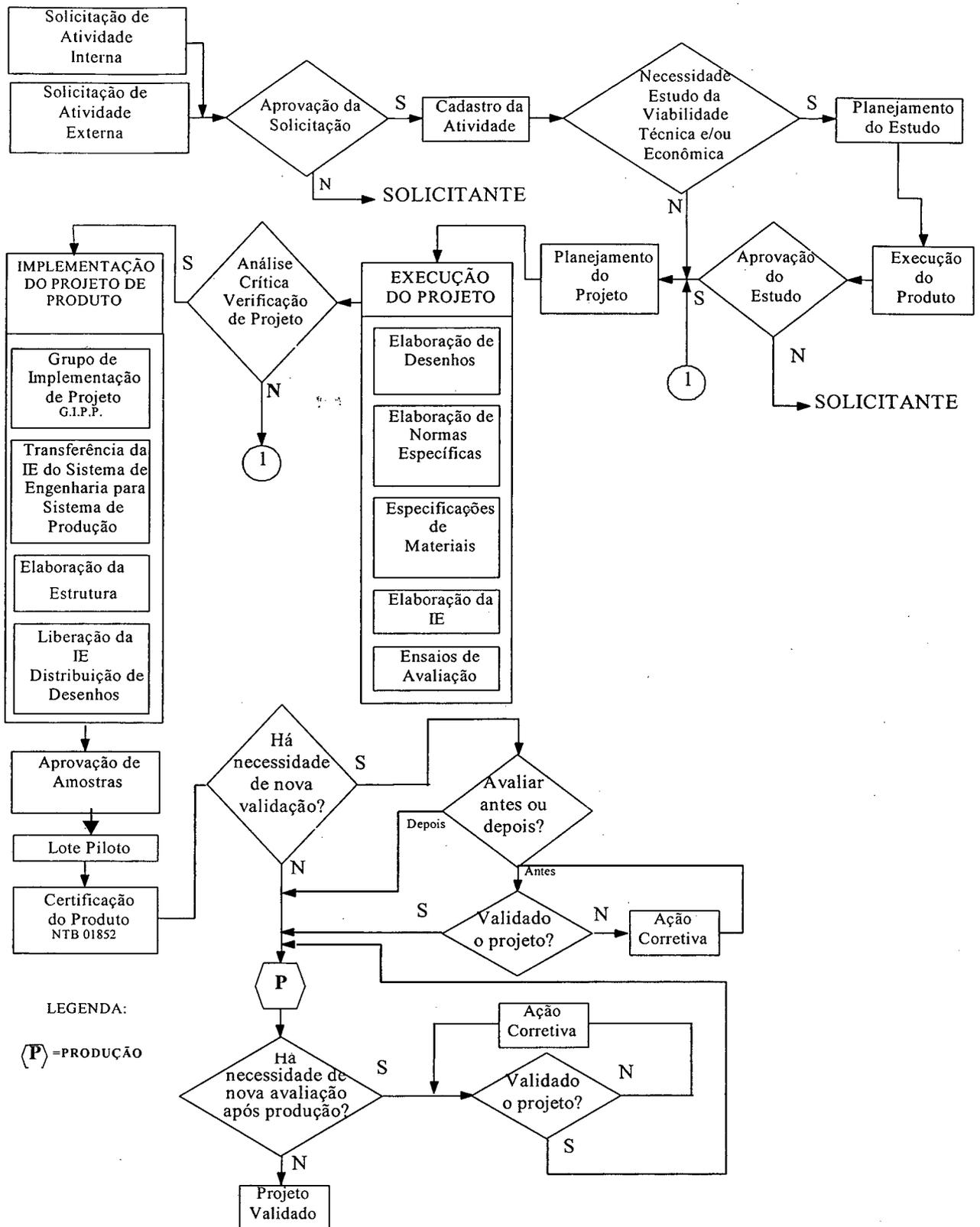


Fig. 3.3 - Roteiro de Execução das Atividades em Projeto de Produtos Novos ou Alterações.

(Adaptado das normas da empresa pesquisada, 1997)

Visando melhores esclarecimentos a respeito do roteiro apresentado, descreve-se a seguir as principais atividades dentro de um caso típico de desenvolvimento de produto:

- **Solicitação de atividade (alteração ou novo produto).** Toda a solicitação para a realização de um estudo, desenvolvimento de produto, alteração de um produto/componente ou desenho de produto deve ser efetuada por meio do uso de um documento chamado solicitação de atividade (SA), à qual deve ser emitida pelo solicitante de uma alteração de projeto, ou de um novo produto;
- **Necessidade de estudo da viabilidade técnica e econômica.** A avaliação da necessidade de estudo da viabilidade técnica e econômica deve ser realizada pelo engenheiro responsável pelo projeto com base na natureza e na complexidade da alteração solicitada. O planejamento é obrigatório para projeto e desenvolvimento de novos produtos ou alterações em produtos que afetam sua especificação final, seu desempenho, segurança e/ou interfira no atendimento dos requisitos legais. Este planejamento só não é necessário nos casos de solicitações de alterações nos desenhos em que não representem variações no custo ou investimento. Nos demais casos, deve-se planejar e executar o estudo da viabilidade técnica e econômica, passando por uma etapa de aprovação antes do planejamento do projeto;
- **Planejamento do estudo.** O Planejamento deve ser feito em um formulário específico, no qual devem ser definidos os testes necessários e o respectivo cronograma do laboratório responsável pela execução dos testes previstos;
- **Execução do estudo.** Nesta fase são avaliadas as características técnicas, como folgas, tolerâncias, estrutura, etc. E também faz-se uma análise do custo da alteração e do investimento em ferramentas, equipamentos, dispositivos, etc.;
- **Aprovação do estudo.** Após concluída a fase de execução do estudo, são avaliados todos os resultados objetivando definir a aprovação do mesmo. Caso a avaliação resulte na rejeição da solicitação, a mesma retorna ao solicitante;
- **Planejamento do projeto.** O planejamento do projeto consiste na execução do cronograma definitivo, contendo todas as tarefas realizadas pela engenharia de produtos e demais áreas afins;
- **Execução do projeto.** Uma vez definido o planejamento do projeto, inicia-se a execução do mesmo por meio da elaboração de estudos; desenhos; especificações; protótipos e, quando necessários, alguns ensaios e a elaboração da ME ( Modificação de Engenharia ), documento necessário para a implantação do projeto. Quando a solicitação refere-se a um

novo produto, todas as fases do projeto são seguidas, desde a análise de necessidades do mercado até a fabricação e acompanhamento do produto;

- **Análise crítica do projeto.** A partir da IE elaborada, a mesma é submetida à Análise Crítica. O grupo de Análise Crítica é composto de pessoas representantes das principais áreas da empresa: Engenharia de Qualidade; Manufatura; Programação e Controle de Produção e Assistência ao Consumidor, Suprimentos e Engenharia de Fábrica. Este grupo elabora uma análise crítica no projeto proposto, ME, promove um consenso e uma aprovação ou rejeição. Este processo de análise, ocorre por meio do confronto da proposta de alteração com os dados de entrada da solicitação de atividade e uma verificação para confirmar se realmente o projeto cumpre com o que foi solicitado;
- **Implementação do projeto de produto.** Uma vez aprovada em Análise Crítica, a ME é apresentada ao GIPP (Grupo de Implementação de Projeto de Produto) que elaborará todos os procedimentos necessários para que a ME seja efetivada na linha de manufatura;
- **Aprovação de amostras.** Após concluídas as ferramentas, são realizadas as primeiras experiências com as mesmas. Desta forma são geradas as primeira amostras de peças que farão parte do produto final. Quando percebe-se que as condições de processo estão adequadas, as peças são encaminhadas para uma avaliação dimensional, gerando-se um relatório de aprovação de amostras. Este relatório contém todas as dimensões especificadas no desenho de produto sendo comparadas com as encontradas na peça. O objetivo deste relatório é gerar a aprovação ou rejeição da peça, contendo além do dimensional também as especificações de acabamento (pintura, serigrafia, etc.), material, e um parecer sobre seu funcional;
- **Lote Piloto.** Após a liberação destes relatórios de aprovação de amostras, inicia-se a fabricação do lote piloto. O lote piloto, tem o objetivo de verificar pequenos problemas relacionados com o projeto ou com o processo em tempo hábil para que se possa fazer os ajustes necessários. Estes ajustes podem ter várias procedências, que são geradas em função da necessidade de alterações nas ferramentas, ou por correções no processo. Muitas vezes, o projetista só descobre que determinada medida especificada previamente no desenho de engenharia não é viável em função das dificuldades encontradas no processo de fabricação;
- **Certificação do produto.** Após a aprovação de todas as peças mencionadas na instrução de engenharia e também de todos os ensaios de avaliação, emite-se o relatório de certificação do produto. Este relatório é o documento que permite a produção seriada de

novos produtos ou para os casos de alterações que afetam as condições funcionais ou estruturais do projeto original;

- **Validação do projeto.** Nos casos de projetos em fase de lançamento, esta é uma pequena fase que antecede a produção seriada. Esta validação é uma atividade realizada por um grupo específico, que confronta os dados de entrada do projeto com o produto a ser fabricado, ou seja, se a SA realmente está sendo cumprida. Nos casos de haver divergências no projeto, faz-se um plano de ação afim de se corrigi-las até que o produto apresente todas as condições de ser produzido. Nos casos de alterações de projeto, a avaliação é submetida ao grupo de Análise Crítica, com o objetivo avaliar a eficácia de uma alteração no campo, confrontando-a com os dados de entrada do projeto. Avaliam-se os dados de campo de um produto com uma suposta correção de projeto, depois de um período de uso no campo no sentido de verificar se tudo o que consta na solicitação de atividade realmente está sendo cumprido no campo. Nos casos de se verificar a ineficácia de uma ação em relação a uma solicitação de atividade, procede-se com ações corretivas, e submete-se a nova validação até que o produto esteja finalmente em condições de ser validado definitivamente. Quando a ME visa solucionar um problema identificado no campo, é estipulado à esta, um prazo mínimo normalmente de 06 meses após a sua efetivação, para que se possa avaliar a sua eficácia em campo. Somente após esta etapa, há a efetiva Validação do Projeto (da ME ). Algumas ME não necessitam de validação de projeto (por exemplo, alterações simples como mudar a cor de um componente do produto).

A Engenharia de produtos dentro do seu processo de trabalho, faz o uso de uma série de procedimentos. Estes procedimentos, estabelecem uma interface técnica com as demais áreas da empresa pesquisada. A figura 3.4, mostra as áreas clientes da engenharia de produtos e suas interfaces técnicas e organizacionais. Na mesma figura é mostrado os serviços e documentos recebidos pela Engenharia de produtos, da empresa pesquisada, seus serviços e documentos elaborados enfatizando a interface técnica com a área de Assistência ao Consumidor.

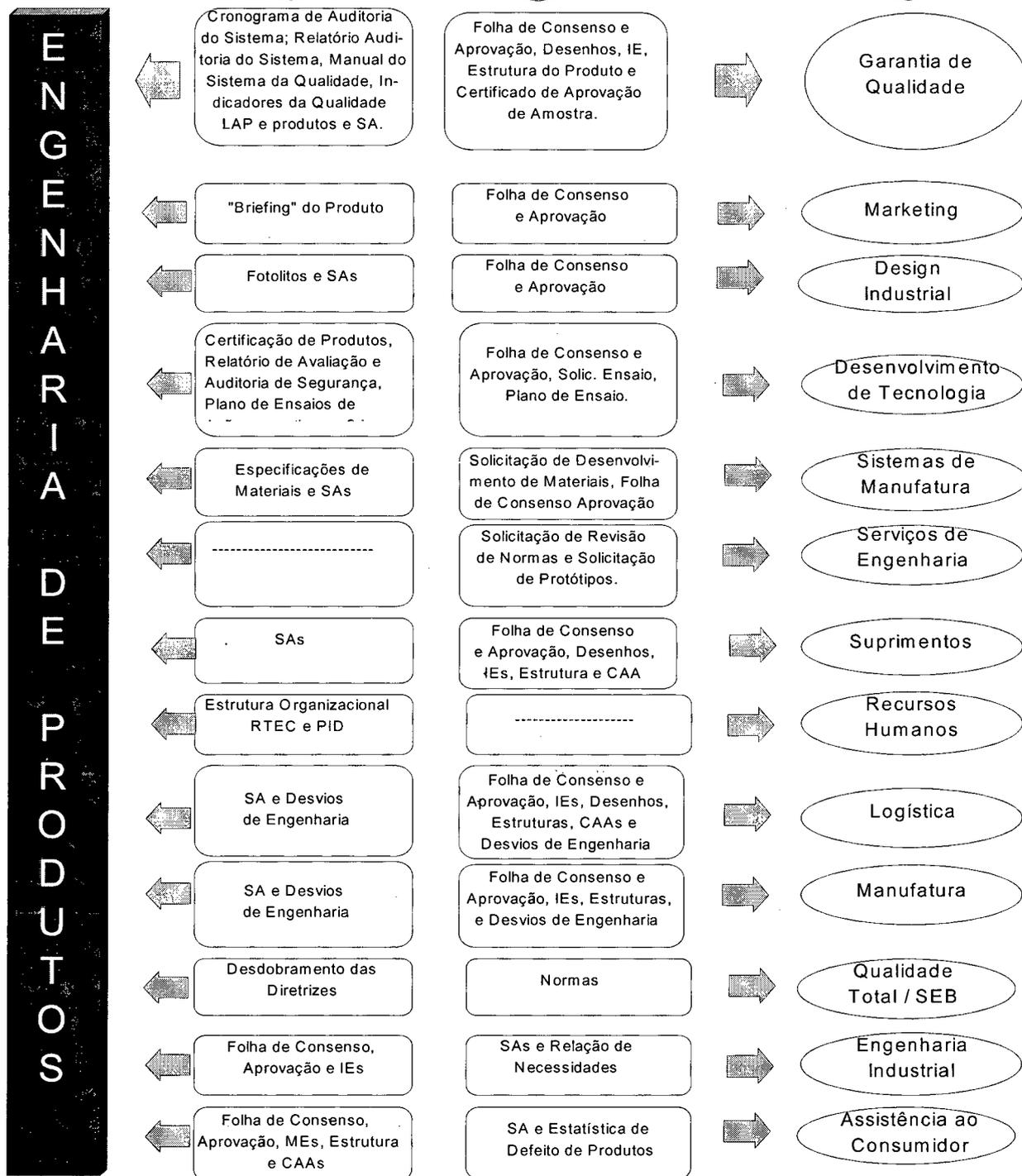


Figura 3.4 – As Áreas Clientes da Engenharia de Produtos e suas Interfaces Técnicas e Organizacionais. (Empresa pesquisada, 1997)

Quanto a área de Assistência ao Consumidor, o fluxograma principal de funcionamento de suas atividades é mostrado na figura 3.5. Por se tratar de uma área de atuação pós venda, seu cliente direto é o próprio consumidor.

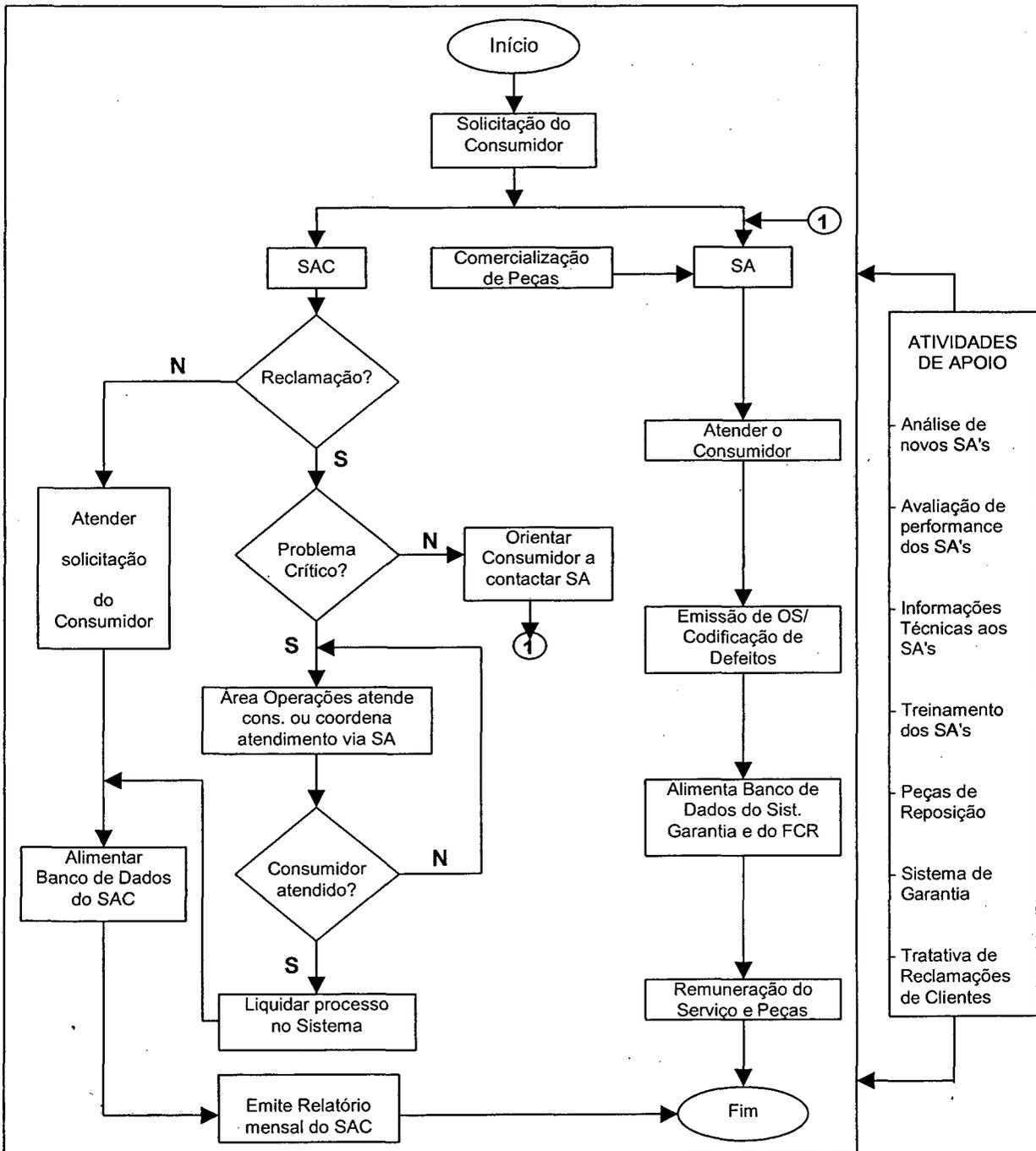


Figura 3.5 – Fluxo de Atividades da Assistência ao Consumidor. (Empresa pesquisada, 1997)

Para uma melhor compreensão, descreve-se a seguir os principais passos das Atividades da área de Assistência Técnica, ou seja, o fluxo da informação da “Solicitação do Consumidor” até a resposta de correção de projeto, o encerramento do processo:

- **Solicitação do Consumidor.** É o início do processo. O Consumidor efetua um contato com a Empresa por intermédio da área do SAC ( Serviço de Assistência ao Consumidor ) ou com um SA (Serviço Autorizado) por meio de um telefonema, carta ou pessoalmente descrevendo a sua necessidade. A solicitação do Consumidor é avaliada de maneira que o haja o seu correto encaminhamento independente de qual foi a sua opção no momento de efetuar o contato, diretamente com a empresa (SAC) ou com um Serviço Autorizado (SA);
- **Contato com o SAC:** Neste caso se a sua necessidade se tratar de uma orientação, o consumidor é atendido e suas dúvidas são esclarecidas e em seguida, faz-se o registro da ocorrência em um banco de dados do SAC. A partir daí registra-se o caso no relatório mensal do SAC encerrando-se o mesmo. Entretanto se o SAC verificar que se trata de uma reclamação, o mesmo avalia o seu grau de criticidade. Não se tratando de um caso crítico, o SAC orienta o consumidor a fazer uso do SA mais próximo. Porém quando se tratar de um caso crítico, a área de operações o atende e coordena o atendimento do Consumidor via um Serviço Autorizado. Após este encaminhamento avalia-se se o consumidor foi ou não atendido satisfatoriamente. Se não, volta a área de operações que o atende novamente ou coordena o seu atendimento via nova intervenção da SA. Caso o atendimento do S.A. tenha sido satisfatório ao consumidor, o processo se encerra com o registro do caso, em banco de dados do SAC para ser incluído no relatório mensal do SAC;
- **Contato direto com o Serviço Autorizado:** Neste caso o atendimento ao consumidor é feito por um funcionário do Serviço Autorizado, que faz uso do documento, OS ( Ordem de Serviço ), para registro e atendimento do caso que posteriormente é executado por um técnico do SA. Ao atender o consumidor, o técnico normalmente se baseia pelo defeito reclamado pelo cliente, registrado na OS, para fazer um diagnóstico prévio baseado na sua experiência. Em função do defeito diagnosticado pelo técnico, o mesmo procede a visita ao consumidor de posse das prováveis peças de reposição com o propósito de atender o consumidor na primeira visita. Todo o defeito em garantia, constatado pelo técnico em cada caso, recebe uma codificação a fim de permitir a sua identificação e medição por intermédio do número de ocorrências no banco de dados do SAC. O Serviço Autorizado

tem como meta intervir o número de vezes necessárias até que o consumidor seja satisfatoriamente atendido;

- **A rede de Serviço Autorizado alimenta, o banco de dados do Sistema de Garantia e do FCR ( *Field Call Rate* ).** A Assistência ao Consumidor, contabiliza todos os casos ocorridos mensalmente, e os disponibiliza para a área de manufatura e de desenvolvimento de produtos da unidade pela área de garantia da qualidade;
- **Remuneração do Serviço e Peças.** O Serviço Autorizado é remunerado pela empresa, pelo serviço prestado em garantia e peças eventualmente trocadas, são pagas e encerra-se o processo.

Após o acesso aos dados de FCR, as áreas de engenharia de desenvolvimento de produtos, manufatura e de qualidade analisam as informações por meio do uso dos gráficos com informações variadas e que podem ser cruzadas (ex.: tipo de defeito reclamado mais freqüente associado com a troca de uma peça específica ou, um ou mais modelos associados à uma reclamação em particular ).

A partir daí, faz-se um acompanhamento mensal de problemas ocorridos em campo em todos os produtos. É gerado então, à medida que seja constatada a necessidade, um pedido formal de Solicitação de Atividade, pela Engenharia de Qualidade, para a Engenharia de Desenvolvimento de Produtos. Esta última elabora um estudo para a solução do problema conforme mostrado na figura 3.3, que tem o seu início na análise desta solicitação e posterior avaliação da mesma para aprovação.

O fluxo da informação desde consumidor à engenharia de produtos, ao longo do seu percurso, está suscetível a uma série de falhas que podem resultar em erros de coletas de dados, como por exemplo:

- inexistência de um padrão no diagnóstico de falhas. A análise para constatar o real problema do produto, feita pelo técnico, depende da sua experiência e muitas vezes é feita com vícios de trocas de peças sem uma análise adequada;
- falta de tempo em função da necessidade de se produzir, ou seja, atendimento rápido ao cliente, em função do excessivo número de casos para se acompanhar fazendo com que a qualidade do atendimento muitas vezes seja comprometida;
- falta de motivação, pois a lucratividade, para o S.A. e para o técnico é baixa para produtos em garantia;

A forma de codificação dos defeitos é feita por um funcionário do Serviço Autorizado, na maioria das vezes sem especialidade técnica. Este, muitas vezes não interpreta

adequadamente o tipo de defeito ou falha, codificando-os de maneira errada. Este procedimento pode levar um engenheiro a um erro de análise dos gráficos de IRC, quando da tentativa de identificação de um problema;

O gráfico de Pareto, para a análise do FCR, apesar da sua grande versatilidade, permite que produtos estocados há tempo em determinados revendedores, sejam contabilizados nas O.S. como produtos recentemente produzidos. Isto faz com que a produção de diferentes períodos sejam confundidas e os dados coletados podem ficar confusos gerando erros na análise.

Portanto, busca-se aqui dar uma visão deste processo na empresa pesquisada. Como já foi mencionado, considerar-se-ão válidos e corretos todos os dados de campo da empresa pesquisada para o estudo de caso a ser mostrado no Capítulo 5.

### **3.6 – Experiência em Solução de Problemas de Campo**

No que diz respeito aos problemas de campo, chamado neste trabalho de FCR, *Field Call Rate* ( Índice Reclamação de Campo ), empresas correm em busca da satisfação do consumidor por meio da comercialização de produtos que tem como meta o menor número de problemas em campo possível. Será mostrado a seguir, um breve descritivo sobre a experiência em solução de problemas de campo, na empresa pesquisada.

#### **3.6.1- Histórico de Problemas de Campo**

A empresa pesquisada tem buscado alternativas de como atender melhor o consumidor por meio da busca permanente das soluções de projetos em sua área de engenharia. Efetivamente, a partir de meados de 1992, iniciou a aplicação de ferramentas como QFD, FTA e FMEA em projetos novos. Em 1994, iniciou a implantação do TQC ( *Total Quality Control* ) por intermédio da aplicação de técnicas como MASP ( Método de Análise e Solução de Problemas ). Esta técnica vem sendo utilizada até hoje por grupos multifuncionais de trabalhos dentro da organização.

Apesar da técnica do MASP estar sendo utilizada pela empresa, tem-se alcançado resultados de FCR em torno de 5%. A intensificação do uso de ferramentas como o FTA e FMEA para o auxílio de projetos novos ou alterações, visa alcançar um FCR em nível de classe mundial. Nos últimos três anos tem-se considerado mundialmente, entre as indústrias de eletrodomésticos, um índice em torno de 2%.

### 3.6.2- Principais Dificuldades

Quando estes produtos apresentam problemas em campo, o grande êxito passa a ser a obtenção de uma solução mais rápida possível e sem desgaste ao consumidor. Entretanto, em função de uma série de fatores, nem sempre é possível se alcançar estes objetivos. Na empresa pesquisada, estes fatores caracterizam-se como problemas e são listados a seguir:

- buscar simultaneamente, FCR e, ao mesmo tempo, reduções de custos desafiadores em produtos, sem com isto, mensurar, definir um limite ou até mesmo estabelecer um correto grau de prioridade para ambas as metas;
- a falta de um padrão de trabalho que direcione as ações à confiabilidade, faz com que a empresa conte muito com a experiência prática de seus profissionais;
- desviar-se do foco ao agir sem um critério na tomada de decisões, que muitas vezes é gerado subitamente levando à concentração de esforços em uma atividade que não é a mais adequada para a empresa;
- demora na solução de problemas de campo causando um desconforto maior para o consumidor e desgaste à imagem da empresa, além de custos representativos conseqüentes deste fato;
- diagnóstico incorreto na solução de um problema em função da interpretação não adequada das informações do campo;
- dificuldade de se reproduzir uma falha ou defeito em laboratório. Quando não é possível encontrar-se evidências reais do problema de campo, esta opção é uma alternativa;

### 3.7 – A Necessidade de um Modelo que Auxilie a Solução de Problemas de Projetos.

Conforme abordado anteriormente, a necessidade de um modelo para auxiliar a solução de problemas em projetos, se faz necessária na empresa pesquisada. Os principais fatores são:

- fazer com que as informações de campo, encontradas em bancos de dados, sejam utilizadas em conjunto com dados físicos de casos reais de campo;
- que se estabeleça um plano adequado de crescimento de confiabilidade nos projetos novos. Há um programa de testes, porém há também a falta de um programa voltado à confiabilidade;

- falta da utilização integrada das ferramentas de auxílio a projetos tais como, QFD, FMEA, FMECA e FTA;
- falta de uma aplicação sistemática de conceitos de Análise Funcional, ou seja, à função para a qual o componente ou sistema foi desenvolvido.

## CAPÍTULO 4 - MODELO DE SUPORTE AO PROJETO

Neste Capítulo será apresentado um Modelo de Suporte ao Projeto – MSP, para enfatizar a aplicação da confiabilidade dentro do processo de desenvolvimento do produto. Por intermédio do uso de alguns procedimentos voltados à confiabilidade, o modelo se propõe a orientar equipes de trabalho à realização de correções de projeto de produtos. Adicionalmente, para projetos de produtos novos, é apresentada uma conceituação da utilização do QFD integrado ao FTA e FMECA a fim de se obter a especificação melhorada da confiabilidade.

### 4.1 – Visão Macro do Modelo no Desenvolvimento de Produtos

Antes de descrever o modelo proposto, a figura 4.1 mostra as principais fases de desenvolvimento de produtos, para dar uma visão macro do modelo proposto.

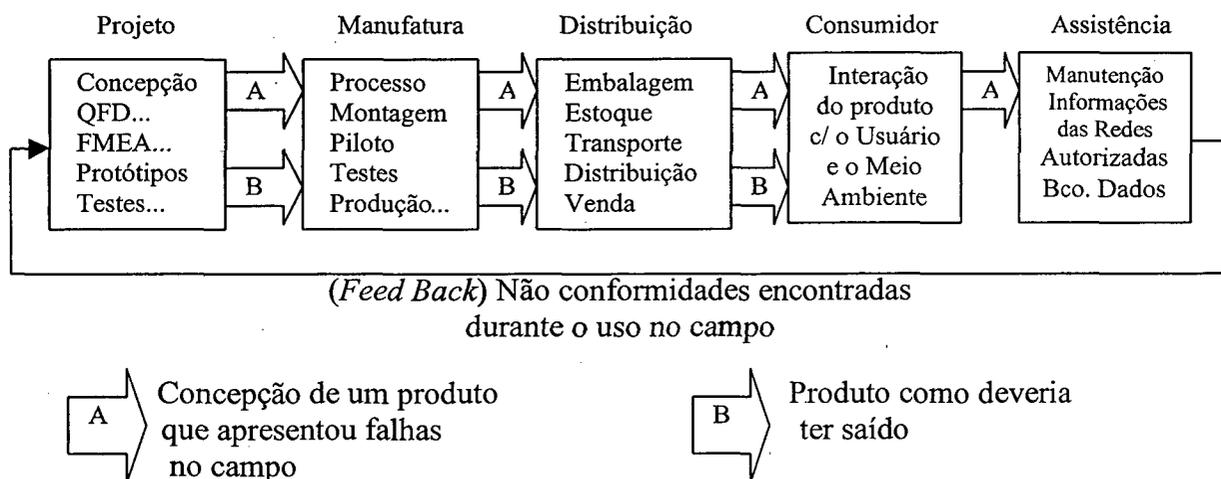


Fig. 4.1 – Fases de Desenvolvimento de um Produto.

O conceito do modelo, se baseia principalmente na interação entre as áreas de Assistência ao Consumidor (Assistência Técnica) e a área de Projetos de Produtos. Trata-se do *feed back* de campo alimentando a engenharia de produtos com dados que mostram as não-conformidades dos produtos. O foco desta proposta está centrado nas ações da área de projetos em função de nela, estar o nascimento do produto, bem como na área de assistência

ao consumidor, que trata de trazer à engenharia, os dados de entrada aos projetos novos e alterações de projeto, ou seja, o *feed back* de campo.

O caminho “A” da figura 4.1, mostra a concepção projetada de um produto que apresentou problemas no campo e teve a intervenção da Assistência Técnica para executar a manutenção do mesmo.

O Caminho “B” da mesma figura, mostra como o projeto deveria ter saído no início, ou seja, não apresentaria falhas dentro de um tempo estipulado e não teria a intervenção da Assistência Técnica.

## 4.2 – Modelo Proposto

O modelo aqui proposto, chamado de Modelo de Suporte ao Projeto – MSP, está voltado para soluções de problemas de campo em produtos, em função de que a grande maioria dos problemas, ocorrem quando os produtos estão em uso no campo. O MSP foi desenvolvido com base nas seguintes etapas:

1. Preparação;
2. Identificação dos dados de campo;
3. Identificação das causas das falhas;
4. Desenvolvimento das ações corretivas (proposta de projeto);
5. Avaliação da Viabilidade técnica, econômica e financeira;
6. Confirmação dos resultados;
7. Implantação da ação corretiva (alteração do projeto);
8. Validação da solução.

O Modelo de Suporte ao Projeto, está estruturado conforme mostra a figura 4.2, que apresenta os dois caminhos de correção de um projeto de produto: em produtos existentes e na criação produtos novos.

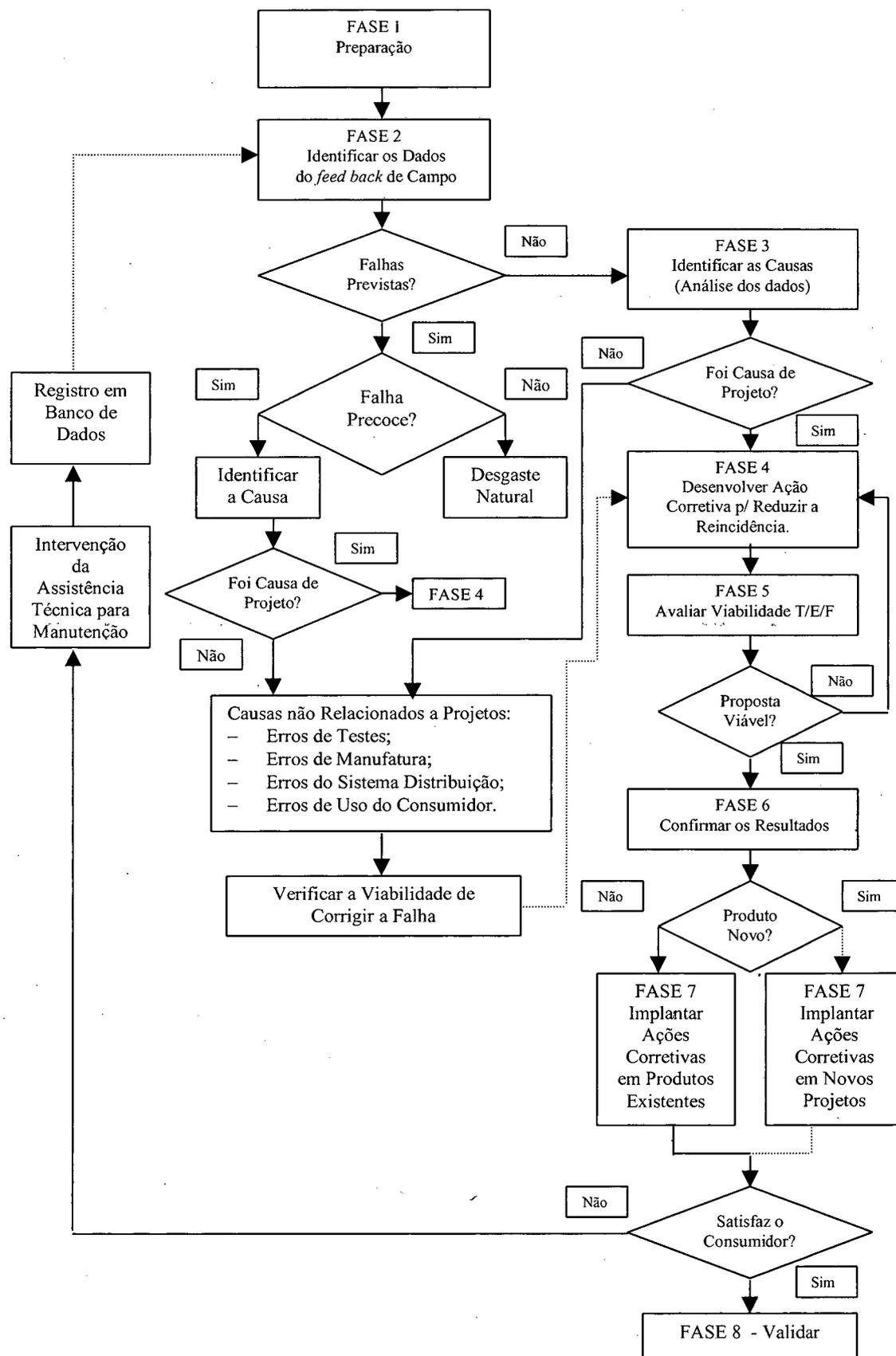


Fig.4.2 – Fluxo do Modelo de Suporte ao Projeto.

#### 4.2.1 – FASE 1: Preparação

O objetivo desta fase é estabelecer uma infra-estrutura para a aplicação do modelo de apoio ao projeto em termos de formação de equipe e processo de comunicação (ver figura 4.3).

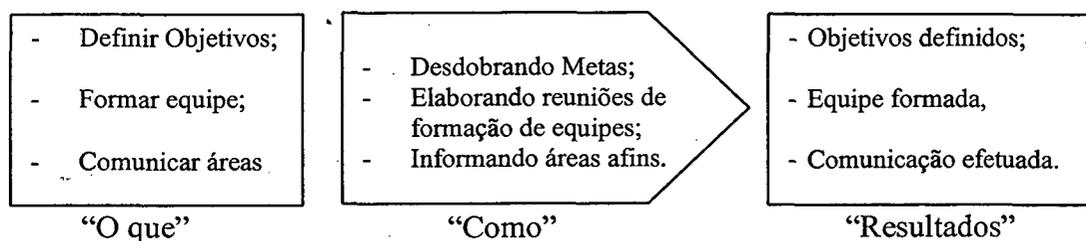


Fig. 4.3 – FASE 1: Preparação.

##### 4.2.1.1 – Definir Objetivos e Metas

O desdobramento das metas de uma organização é um procedimento importante e necessário, para o planejamento das atividades e definição dos seus objetivos. Quando as metas estão alinhadas com os objetivos da organização, normalmente o comprometimento com a atividade é maior. O desdobramento das estratégias, parte dos objetivos estratégicos da alta administração da empresa e, hierarquicamente, se desdobra em metas aos demais níveis de funcionários. Para que os objetivos sejam alcançados, necessariamente todas as metas, abaixo deles, devem ser atingidas. Portanto, metas de qualidade são definidas e planejadas pelas organizações, normalmente por intermédio do desdobramento das diretrizes da empresa, e são transformadas em planos de ação anuais, ao serem definidos os projetos necessários para se atingir tais metas.

Para que se possa montar um bom plano de ação é necessário que executivos tenham conhecimento dos problemas de seus produtos no campo, por meio do uso de gráficos de Pareto, por exemplo. Feita esta análise, torna-se possível definir objetivos a serem seguidos.

##### 4.2.1.2 – Reuniões de Formação de Equipes

Uma vez definidas as metas de qualidade, a organização define uma estrutura formada por um grupo de profissionais das áreas afins e, um executivo na função de patrocinador, conforme segue:

- Um patrocinador: gerente, gerente geral, diretor ou presidente dependendo do porte da organização. Sua função, normalmente, se baseia em selecionar inicialmente a equipe e indicar um líder para mesma. A partir daí, orientá-la, estabelecer seus objetivos, priorizar suas ações e, principalmente, disponibilizar os recursos humanos e materiais necessários para a realização do trabalho além de promover, como facilitador, o apoio de outras áreas para com o grupo;
- coordenador (líder), normalmente um profissional de projetos, engenheiro ou técnico com experiência na área e conhecimento do produto a ser estudado;
- profissional da área de assistência ao consumidor. Este, deve representar a sua área servindo de meio facilitador para trazer ao grupo, todo apoio relacionado às informações de campo necessárias à realização das atividades;
- profissional da área de qualidade para apoiar o grupo no que se refere aos aspectos de qualidade;
- profissionais de atuação esporádica e/ou indireta, tais como: projetistas para estudos de projetos, técnicos para realização de ensaios de verificação e modelistas de protótipos entre outros;

É importante que o líder tenha, além experiência na área e conhecimento do produto a ser estudado, bom relacionamento com as demais áreas da organização.

#### 4.2.1.3 – Processo de Comunicação

Uma vez iniciado um novo grupo de trabalho, para a solução de determinado problema, as áreas direta e indiretamente relacionadas com o problema, tais como: projetos, processos, manufatura, logística, vendas e assistência ao consumidor, devem ter o conhecimento claro da criação do grupo, seus objetivos e suas prioridades. Este procedimento, normalmente promove a colaboração das áreas indiretamente envolvidas com o processo, durante suas atividades. Outro aspecto relevante, do processo de comunicação, é o sistemático registro e clara divulgação, das decisões e ações tomadas, a fim de se evitar surpresas posteriores e retrabalhos nas demais áreas.

#### 4.2.2 – FASE 2: Identificar os Dados do *Feed Back* de Campo

O objetivo desta fase é identificar os dados de campo relacionados aos problemas definidos como meta (ver figura 4.4).

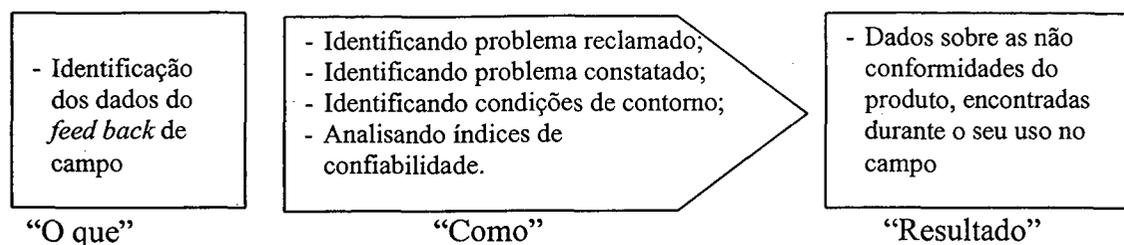


Fig. 4.4 – FASE 2: Identificar os Dados de *Feed Back* de Campo.

A identificação dos dados de campo é uma etapa relevante para a realização da correção de um problema. O grupo de trabalho, por intermédio dos representantes da assistência ao consumidor e qualidade, deve proceder a análise de gráficos de campo e/ou relatórios de satisfação do consumidor e/ou performance e, quando necessário, fazer visitas adicionais aos clientes. Este procedimento se faz necessário para a realização dos passos a seguir:

1. identificar o sintoma da falha reclamada pelo consumidor, ou seja, o que realmente gerou a sua insatisfação e como ocorreu na sua ótica. A reclamação de um consumidor, normalmente, representa uma falha no seu produto. Esta, é um efeito de uma falha de um, ou mais componentes ou subsistemas;
2. identificar a falha constatada pelo fabricante ou profissional representante durante o reparo, ou seja, o que foi identificado. A falha constatada do produto, nada mais é que a confirmação ou não da reclamação do consumidor. Adicionalmente, o técnico busca identificar qual componente ou subsistema apresentou a falha, geradora da reclamação. Este componente ou subsistema, na sua maioria, é então substituído. Dependendo da complexidade do problema, a identificação da causa da falha só é obtida após uma análise laboratorial. Portanto, a obtenção de evidências físicas da falha diagnosticada durante o reparo, quando possível, auxilia na investigação e é, portanto, recomendada para a realização deste passo;
3. analisar as divergências entre o que foi reclamado pelo consumidor e o que foi constatado pelo fabricante. Trata-se do auxílio gráfico da árvore de falhas do evento de topo, correspondente ao problema identificado. A execução da FTA se faz necessária para a visualização do desdobramento do evento de topo em componentes, auxiliando assim a análise. A análise de divergências é fundamental para permitir que haja uma aproximação

entre o fabricante e o consumidor e dar oportunidade para que se conheça melhor o consumidor. Conhecendo-o melhor, torna-se mais fácil a tarefa de atendê-lo. Problemas novos passam a ser conhecidos e registrados nesta etapa, a fim de retro alimentar as próximas análises;

4. identificar as condições de contorno do problema:

- informações relativas aos fatores ambientais, tais como temperatura, umidade relativa do ar, ambiente salino, vibração e fungos entre outros; e
- informações relativas aos fatores operacionais, tais como taxa de utilização, forma de manuseio, forma de transporte (quando possível), taxa de uso, taxa de potência, características peculiares do consumidor e frequência de limpeza entre outros;

5. índices de Confiabilidade do componente existentes, como MTTF, MTBF e MTTR.

Conforme citado no item 2.9, para se obter um grau satisfatório de aquisição de dados de campo, é necessário que se faça a coleta levando-se em consideração os seguintes itens:

- tempo incompleto de vida, ao considerar uma coleta de dados de taxa de falhas, incluindo neste tempo, períodos em que o produto ou sistema não estava em uso;
- mascaramento da falha quando se tratar de um subsistema que seja trocado sem que haja a análise suficiente que permita identificar qual componente apresentou a falha, e não o módulo (subsistema) inteiro;
- ambientes desconhecidos que ofereçam condições adversas, normalmente poderá aumentar a taxa de falha. Daí a importância de coletar dados sobre o ambiente operacional.

A coleta de dados de campo deve ser confiável para o êxito de um projeto, seja ele corretivo ou lançamento. Neste trabalho, conforme já citado anteriormente, será levado em consideração uma coleta de dados conveniente, ou seja, com informações confiáveis e completas.

Uma vez identificados os dados de campo, uma avaliação deve ser elaborada. Trata-se da verificação e escolha das falhas consideradas não previstas. Esta escolha, quando da existência das planilhas de FMEA do processo de manufatura e de projeto do item em análise, é feita por meio da sua utilização, pois os modos de falhas identificados nas planilhas, devem ser considerados como falha prevista nesta escolha. Quando não há planilhas elaboradas, torna a escolha, de uma certa forma, subjetiva e depende da experiência do grupo. De qualquer forma, estando ou não de posse das planilhas de FMEA, esta análise depende da experiência do grupo de trabalho. Sabe-se das variáveis previsíveis do processo de

manufatura, logístico e de uso do produto entre outros. Entretanto, quando há falhas no produto, não relacionadas a estas etapas, normalmente são relacionadas ao projeto e, normalmente, não são consideradas falhas previsíveis. Este julgamento é considerado uma etapa necessária neste modelo, em função estar voltado à soluções de projeto.

Quando as falhas são consideradas previstas, estas podem ser provocadas por desgaste natural devido ao longo tempo de uso e, portanto não é necessária uma ação corretiva. Por outro lado, quando ocorrem falhas precoces, deve ser verificada a viabilidade de se corrigir a falha e ainda há a possibilidade da causa estar relacionada a projeto, conforme mostra a figura 4.2.

#### 4.2.3 – FASE 3: Identificação das Causas

Esta fase objetiva promover o levantamento das causas dos problemas estudados e sua triagem, separando as causas relacionadas a projeto de outras causas (ver figura 4.5).

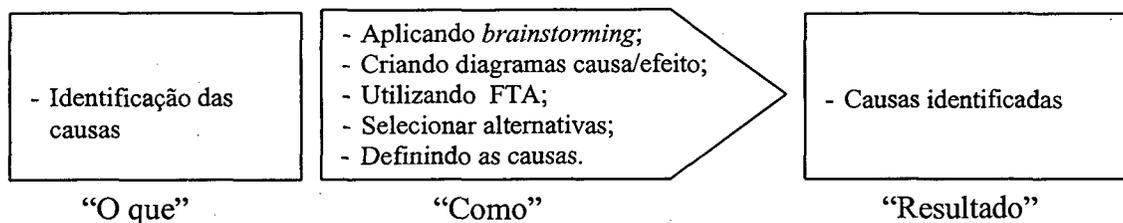


Fig. 4.5 – FASE 3: Identificação das Causas.

Identificar causas de problemas é uma tarefa que requer conhecimento profundo do produto e problema em estudo. Além disto, algumas recomendações para que o grupo de trabalho obtenha mais êxito nesta tarefa, são consideradas necessárias:

- fazer uso de técnicas de geração de idéias como *brainstorming* e *brainwriting*;
- utilizar ou criar gráficos e/ou diagramas para auxiliarem na organização das idéias geradas e que permitam o estabelecimento de uma relação entre causa e efeito, das causas levantadas;
- utilizar a Árvores de Falhas ( FTA ) do evento de topo do sistema que apresentou a falha, para auxílio gráfico no momento da, análise das causas. Este procedimento permite que se veja todas as componentes do sistema em estudo, permitindo que se analise todos;
- comparar de relatórios de avaliação e desenvolvimento do componente e/ou produto, com o ocorrido em campo, a fim de identificar eventuais correções em suas especificações;

- análise em relatórios do histórico do problema em campo, especialmente em produtos semelhantes;
- o uso de evidência física da falha constatada, quando possível, pode auxiliar na identificação da causa.

A estrutura deste sistema de informações vai auxiliar na solução de um problema à medida em que ela for mais completa e de melhor qualidade. Um sistema *on line* para a verificação de problemas em campo, por exemplo, permite que se tenha dados que registram o momento exato da falha. Estes, são muito mais importantes que dados de um passado recente, pois permitem a avaliação da situação real no momento da consulta e com isso ganha-se tempo e evita-se gastos.

Em Coelho (1998), é mostrado o desenvolvimento de um Sistema de Informações para o Auxílio no Desenvolvimento de Novos Produtos ou Alterações. Este sistema, oferece um auxílio bastante significativo no que diz respeito à análise de dados de experiências vividas em produtos no passado.

Após a identificação das causas mais prováveis do problema ou problemas em estudo, por exemplo por meio do uso de um diagrama causa/efeito, faz-se a seleção das causas relacionadas ao projeto. Nesta fase é oportuno não somente apontar as falhas relacionadas ao projeto, mas também aquelas que tenham relação com outras áreas.

#### 4.2.4 – FASE 4: Ação Corretiva (Proposta de Projeto)

Após a identificação das causas, parte-se para o plano de ação em busca de uma proposta de solução de projeto a fim de solucionar o problema (ver figura 4.6).

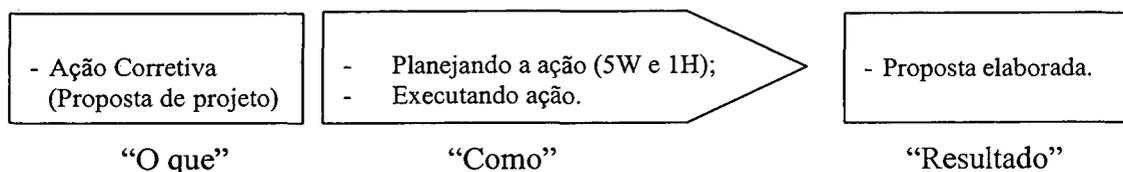


Fig. 4.6 – FASE 4: Ação Corretiva.

O grupo, deve desenvolver um planejamento da ação. Este, pode ser elaborado de várias formas. Uma ferramenta muito empregada nas empresas, é o “5W 1H” que organiza o planejamento da ação conforme segue:

- definir “O quê” será feito (“*What*”);
- definir “Quando” será feito (“*When*”);

- definir “Quem” fará (“Who”);
- definir “Onde” será feito (“Where”);
- detalhar ou delegar o “Como” será feito (“How”).

Entretanto, sabe-se que a solução efetiva de projeto, depende da experiência e criatividade do grupo. Nesta fase, há fatores importantes os quais o grupo deve atentar-se:

- o conhecimento claro da função básica do(s) componente(s) ou sistema que apresentou a falha;
- as ações devem focar a causa da falha e não seus efeitos;
- as ações propostas não devem produzir efeitos colaterais no sistema. Caso isto ocorra, estes devem ter sua correção prevista;
- as ações devem ser acompanhadas da análise de sua eficácia, bem como dos seus custos;
- as condições de contorno identificadas no campo devem ser comparadas com as especificadas em testes de desenvolvimento e avaliação de produtos, a fim de se verificar a necessidade de atualização das mesmas.

A solução do problema propriamente dito depende, além da verificação de todos estes itens, do histórico existente, do conhecimento dos profissionais responsáveis e da aplicação de técnicas de geração de idéias como *brainstorming*, *brainwriting* entre outras.

#### 4.2.5 – FASE 5: Avaliação da Viabilidade Técnica, Econômica e Financeira

Uma vez desenvolvida a proposta de projeto, uma triagem considerando os aspectos técnicos, econômicos e financeiros, se faz necessária para avaliar a viabilidade destes aspectos (ver figura 4.7).

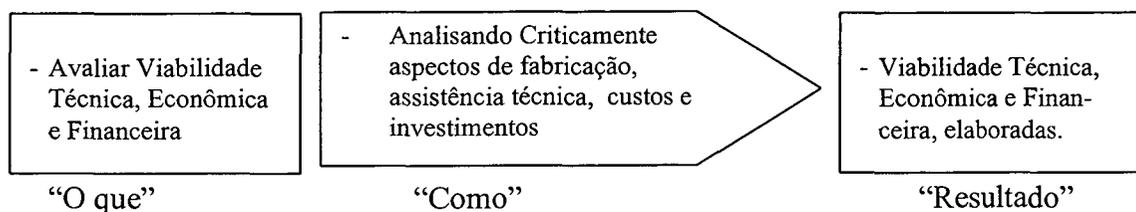


Fig. 4.7 – FASE 5: Avaliação da Viabilidade Técnica, Econômica e Financeira.

Nesta fase, as propostas de projeto devem ser analisadas criticamente. Os aspectos técnicos de fabricação devem ser avaliados para saber se a área de manufatura é capaz de produzir o novo componente ou subsistema melhorado e normalmente, com um nível de exigência dimensional maior. Outro aspecto técnico a ser avaliado é a capacidade, do

componente ou subsistema alterado, de permitir a montagem e desmontagem em campo, especialmente nos produtos anteriores a alteração.

No que se refere ao aspecto econômico, convém lembrar que toda solução é possível. A pergunta que se faz normalmente é: a que custo? Isto o torna um desafio maior, aliar o custo à robustez. Uma ferramenta que pode ser empregada para otimização do custo, no auxílio ao projeto é a engenharia do valor que, quando aplicada, pode possibilitar a viabilidade técnica de um projeto ou sua alteração. Aqui, os aspectos relacionados a quantidade de matéria prima, concepção de fabricação do componente, bem como sua concepção de montagem, entre outros aspectos, interferem diretamente no seu custo e, portanto devem ser avaliados.

Quanto a viabilidade financeira, a avaliação deve-se centrar no nível de investimentos em ferramentas, dispositivos, máquinas ou até mesmo em recursos humanos necessários para a realização da correção do produto. Isto, levando-se em conta o retorno financeiro, o custo de assistência técnica e tempo de vida do produto no mercado, entre outros.

Se as análises de viabilidade técnica, econômica e financeira forem minuciosas, poderão conduzir o grupo a um julgamento mais adequado antes de prosseguir com o projeto.

#### 4.2.6 – FASE 6: Confirmação dos Resultados

A confirmação da solução se dá por meio da execução de protótipos, testes laboratoriais e/ou de campo. Nesta etapa, um importante fator para o desenvolvimento da confiabilidade, é assegurar uma alta probabilidade de detectar todos os problemas potenciais (ver figura 4.8).

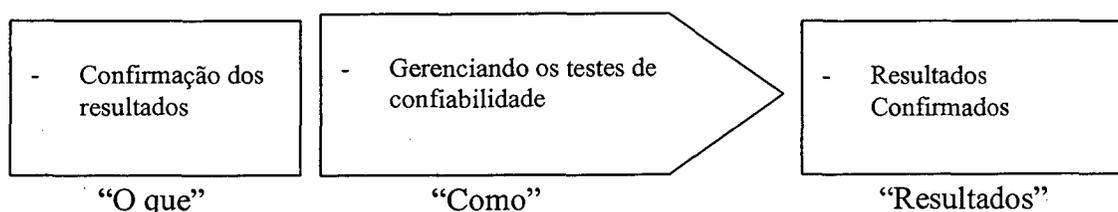


Fig. 4.8 – FASE 6: Confirmação dos Resultados.

Conforme citado no item 2.6.3, quando protótipos do projeto final são testados, estes testes de verificação da confiabilidade devem ser capazes de demonstrar que o projeto reúne e atinge todos os objetivos. Este mesmo procedimento, teste de validação da confiabilidade, deve ser feito antes que os produtos produzidos sejam distribuídos aos clientes no campo.

Portanto, para que o grupo de trabalho faça a aplicação de testes do crescimento da confiabilidade do modelo proposto, foi incorporado o fluxo mostrado na figura 2.6 - Gerência dos Testes de Confiabilidade proposto por Bieda (1991).

#### 4.2.7 – FASE 7: Implantação da Ação Corretiva (Alteração do Projeto ou Projeto Novo)

A implantação de uma ação corretiva, pode ser em um produto de linha ou em novos projetos. O objetivo desta fase é implantar no campo, a alternativa escolhida como solução de projeto de produto de linha, ou produto novo(ver figura 4.9).

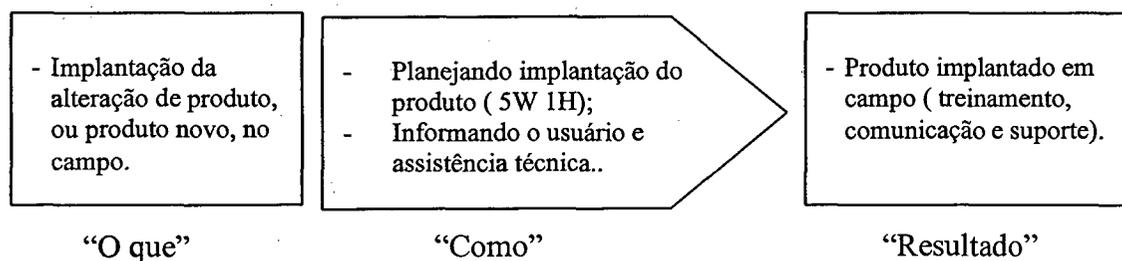


Fig. 4.9 – FASE 7: Implantação da Ação Corretiva.

A implantação de sistemas corrigidos ou novos deve ser planejada e executada de maneira que haja a correta interpretação das instruções de uso por parte dos consumidores. Quando o sistema de informações é falho, normalmente, há uma boa possibilidade do consumidor não entender o seu funcionamento e voltar a reclamar. Isto pode caracterizar-se como uma falha no ponto de vista do consumidor. A fim de evitar que tais problemas ocorram, a implantação do novo sistema corrigido deve ser planejada considerando os aspectos tais como:

- eventual necessidade de fazer um manual de instruções ou corrigir o manual existente;
- etiquetas orientativas, de instruções de uso e/ou manutenção;
- treinamento adequado ao grupo de técnicos que atuam na assistência ao consumidor;
- treinamento, quando necessário, ao grupo de vendas.

Uma ferramenta como o 5W 1H pode ser utilizada para facilitar o planejamento e acompanhamento destas atividades. Após a implantação, estipula-se um período de tempo a partir do qual o produto é produzido e inicia-se um monitoramento no campo. Acompanha-se o *feed back* de campo a fim de avaliar a eficácia da solução de projeto.

#### 4.2.7.1 – Produtos de Linha

Uma vez confirmados os resultados dos testes de confiabilidade do item 4.2.6, que objetiva garantir a eficácia da correção do problema, a ação corretiva de projeto é executada e o produto é liberado para alteração na linha de produção. Caso tenha sido identificada a necessidade de se alterar alguma especificação de testes, por exemplo, esta fase é a indicada.

A forma de execução desta tarefa é conduzida em função do roteiro de execução de alteração de projeto de cada empresa.

#### 4.2.7.2 – Projetos de Novos Produtos

A proposta do MSP é que, em desenvolvimentos de novos produtos, haja uma ênfase na confiabilidade. Com a experiência adquirida no passado, em produtos de linha semelhantes, utiliza-se o seu histórico dos dados de campo.

Muitas informações são necessárias para correção de determinados problemas de campo. O dados de *feed back* de campo tais como os citados item 4.2.2, devem ser utilizados, quando possível, como dados de entrada para novos projetos.

O êxito de um produto, é atender as expectativas do cliente. Por se tratar, o QFD, de uma ferramenta que auxilia a traduzir estas expectativas, o seu uso pode torna-se indispensável em um novo projeto. Mas a confiabilidade de um produto, é adquirida por meio da robustez dos projetos. Por estes aspectos, a idéia de integrar o QFD ao projeto robusto, na fase inicial de um projeto, passa a ser uma proposta deste trabalho.

A utilização do QFD integrado ao Projeto Robusto, implica em buscar às necessidades do consumidor relacionadas à confiabilidade. Inicia-se da medição da confiabilidade, dirigida pelo cliente, e desenvolve-se a confiabilidade interna integrando QFD e o projeto robusto, no estágio do projeto de produto.

O desdobramento da função qualidade do desdobramento da função da confiabilidade é definida como sendo o desdobramento da qualidade por meio do desdobramento das funções da qualidade.

Segundo, Yang & Kapur (1997), este processo foi bem documentado e muitas estratégias e estudos de caso bem sucedidos, estão disponíveis. Entretanto, a tradução e o desdobramento das exigências da confiabilidade da voz do cliente até as especificações melhoradas de projeto de confiabilidade, não são definidas claramente ou padronizadas. Uma das dificuldades em aplicar QFD na confiabilidade é que o problema da confiabilidade não é

idêntico ao problema da qualidade. A confiabilidade trata das falhas. Em todo o esforço da melhoria da confiabilidade, a análise da falha é uma parte indispensável da atividade de projeto.

A figura 4.10 é uma adaptação do estudo de Yang (1997), apresentado no Simpósio Internacional de Confiabilidade e Manutenibilidade (RAMS, *Reliability and Maintainability Symposium*) e estabelece os passos a seguir:

**Primeiro Passo – Desdobramento do Sistema.** O novo conceito de produto é desdobrado em sistemas e, a partir daí, os sistemas são desdobrados em componentes. Por exemplo, um automóvel pode ser desdobrado: em sistema elétrico, estrutural, mecânico, etc.. Em seguida pode-se desdobrar o sistema estrutural: em chassi, coluna, lataria, porta-malas, etc..

Aqui se está considerando projetos por evolução, ou seja, para os quais a base do sistema não é muito alterada e, portanto, já se sabe basicamente com quais componentes são formados.

Já para os casos de produtos por inovação, dos quais não se sabe quais componentes os compõem antes do projeto, este modelo não é proposto.

**Segundo Passo – Filtro Funcional.** Em um QFD tradicional, a voz de cliente é alimentada na casa da qualidade (HOQ, *House of Quality*) como exigências funcionais. Na HOQ, estas exigências funcionais são transformadas em especificações da engenharia.

**Terceiro Passo - Filtro da confiabilidade.** Propõe obter os dados de entrada dos clientes sobre suas exigências percebidas da confiabilidade ou modalidades de falha percebidas, com seu grau de prioridade. Esse passo, quando necessário, é elaborado por meio do auxílio de uma FTA e sua prioridade pode ser estabelecida com base nas taxas de falhas.

**Quarto passo - FMECA.** A voz do cliente é alimentada então em uma tabela do FMECA e, a partir destas informações, um FMECA é conduzido.

**Quinto passo – Especificação Melhorada da Confiabilidade.** Os resultados do FMECA são então alimentados na matriz do projeto melhorado de confiabilidade. Nesta matriz, o efeito de cada modalidade de falha é mapeado para as especificações de engenharia correspondentes, para então, resultar em uma especificação melhorada de confiabilidade.

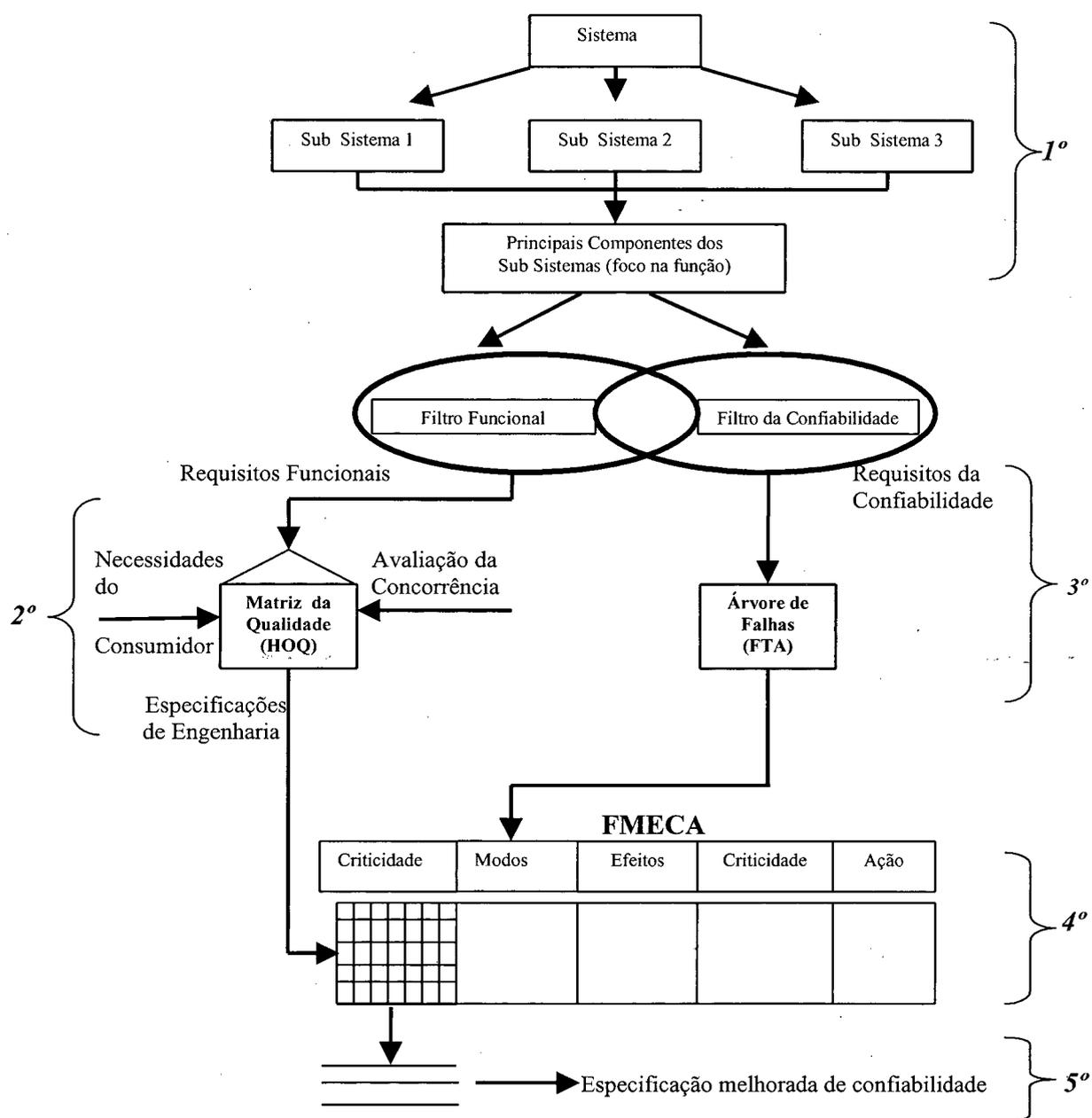


Fig. 4.10 - Integração do QFD, FTA e FMECA. (adaptado de Yang & Kapur, 1997)

Este processo segue um caminho ou sentido contrário no desenvolvimento da confiabilidade em um projeto de produto, pois parte de dados de confiabilidade existentes e, a partir daí, busca-se a sua melhoria. Na engenharia de qualidade, o projeto robusto tem contribuído bastante na melhoria de qualidade de produtos nos projetos de produto. A proposta aqui é compará-lo durante o projeto, a fim de melhorar a confiabilidade no estágio inicial do projeto.

O modelo de Yang (1997), foi adotado como referência neste trabalho, em função do fato de oferecer uma integração do QFD com das principais ferramentas de confiabilidade, o

FTA e o FMECA. Este conceito permite que se faça um desenvolvimento de produto voltado para a confiabilidade, tema deste trabalho.

#### 4.2.8 – FASE 8: Validação

Esta fase representa a confirmação real de campo. Trata-se do novo *feed back* de campo que avaliará todas fases anteriores. (ver figura 4.11).

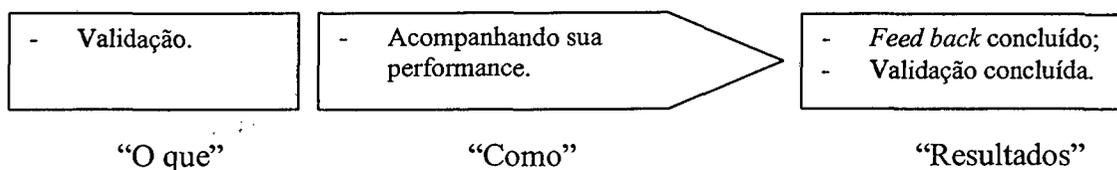


Fig. 4.11 – FASE 8: Validação

Nesta fase, o grupo de trabalho observa, por um período determinado, o comportamento do produto no seu uso real e confirma, ou não, a sua eficácia. Somente a partir de uma confirmação, ou seja, identificação de que a correção anteriormente implantada, foi eficaz, será possível validá-la. Esta etapa é realizada por meio do acompanhamento mensal do *feed back* de campo. Pode-se construir, neste caso, gráficos a fim de medir a eficácia da correção.

Um sistema de acompanhamento estruturado, pode abreviar substancialmente o tempo de resposta de campo, dependendo do componente ou sistema avaliado. Porém, a confiabilidade é uma característica que depende do tempo para ser avaliada. Portanto, o julgamento a ser feito quanto ao tempo adequado de resposta, depende do fabricante com base na sua experiência com o produto e sua metas de confiabilidade.

# CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Para a validação do MSP, foi escolhido um caso considerado problema em *freezers*. A aplicação se desenvolveu nas seguintes situações de projetos:

- em uma alteração de projeto para a correção de um problema identificado no campo; e
- na simulação, a título de exemplo, do desenvolvimento de um componente em um novo projeto, que visa a correção de um problema existente em um produto de linha.

Desta forma, permite-se que o Método Proposto possa ser avaliado nas duas situações propostas inicialmente.

## 5.1 - Aplicação do modelo em uma Correção de Projeto

Trata-se de um problema identificado no campo, em *freezers* verticais, para o qual a alegação do consumidor relaciona-se com os sistemas, estrutural e elétrico do produto (ver figura 5.1).

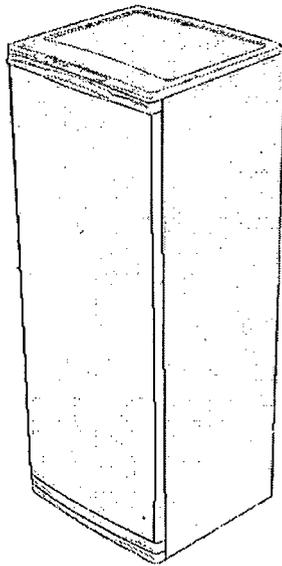


Fig.5.1 – *Freezer* Vertical.

### 5.1.1 – FASE 1: Preparação

O primeiro aspecto observado na empresa pesquisada, foi identificar suas metas anuais. Dentro dos 10 principais objetivos da organização, a redução do índice de reclamações

de campo, estava entre os três primeiros. A partir daí, viu-se a importância que tinha, para a organização, esta atividade. Após desdobradas, as atividades foram priorizadas e um grupo de gerentes, do chamado comitê da garantia de qualidade, estabeleceu a necessidade da criação de grupos de trabalho para atuarem na resolução dos problemas. O comitê tinha também sua meta de índice de reclamação de campo definida como meta para os grupos, em função da meta global de qualidade para os produtos.

Foi definida a composição de um grupo de trabalho ao qual será acompanhado a seguir para a aplicação do modelo. Este grupo foi formado pelos seguintes profissionais: 01 engenheiro da área de assistência ao consumidor; 01 engenheiro da área de garantia da qualidade; e 01 engenheiro de produtos da área de suprimentos (líder).

Esta composição deu-se em função de que a alta administração tinha planos definidos de resolver um problema que vinha sendo apontado nos relatórios de qualidade e estava associado a um conjunto no qual um componente é comprado. Conseqüentemente, optou-se pelo engenheiro de suprimentos para desempenhar a função de líder do grupo.

O objetivo foi definido como sendo: solucionar os problemas, reclamados pelos consumidores, nos componentes do conjunto console formado pelos itens: Console e Chave *Fast Freezing* (ver figura 5.2).

O console é uma peça plástica, (PSAI, Poliestireno de Alto Impacto) produzida pelo processo de injeção. Sua função, no produto, é estrutural e estética, ou seja sustenta os componentes elétricos de comando do produto e proporciona uma estética que, segundo pesquisa de mercado, torna o produto mais bonito. A Chave *Fast Freezing*, é um componente elétrico comprado, e sua função é permitir o congelamento rápido do produto através do seu acionamento.

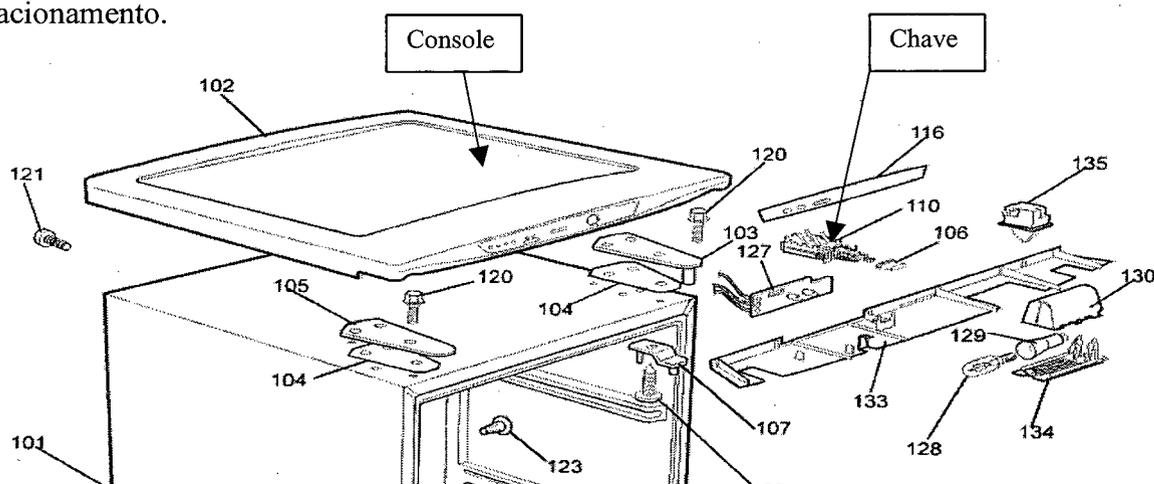


Fig.5.2 – Vista Explodida da Região Superior do Produto.

A figura 5.2 mostra componentes montados na região superior do *freezer*, onde, entre outros, o conjunto em estudo é formado pelos itens 102 (console) e 110 (chave *fast freezing*). Segundo os gráficos de qualidade de campo, *feed back* de campo, estes itens são responsáveis pelas reclamações ocorridas em 0,9% dos produtos, deste modelo, vendidos.

A comunicação, quanto à criação e o trabalho do grupo, foi feita através de correio eletrônico interno à todas as pessoas das áreas das empresas, direta ou indiretamente, envolvidas com o trabalho. Estabeleceu-se um processo de comunicação periódico (semanal) às áreas, a fim de mantê-las atualizadas quanto a evolução do trabalho do grupo.

### 5.1.2 – FASE 2: Identificação dos Dados de Campo

**Primeiro Passo.** Para a identificação do sintoma das falhas reclamadas pelo consumidor, extraiu-se os dados do *feed back* de campo. Dentro de uma população de 1338 produtos, em garantia no período entre fevereiro/98 a abril/99, o *feed back* de campo registrou 184 reclamações, das quais 6,52% estão relacionadas ao Conjunto Console em estudo. Estas reclamações foram feitas nos primeiros quinze meses de uso dos produtos ainda em garantia. Esta distribuição é ilustrada no gráfico da figura 5.3.

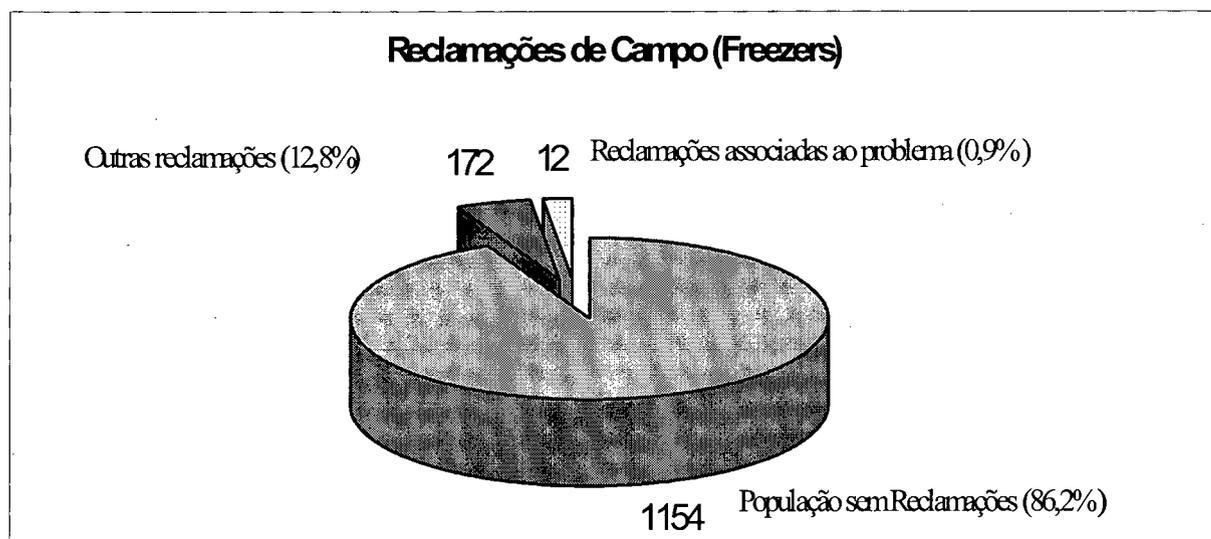


Fig.5.3–Reclamações de Campo relacionadas aos *Freezers*.

Das 12 reclamações relacionadas ao conjunto Console em estudo, 08 estão relacionadas ao console e 04 à chave *fast freezing*. Os dados relativos às falhas reclamadas pelos consumidores, foram extraídos dos gráficos mensais de qualidade registrados na área de qualidade na tabela 5.1 a seguir.

Componente	Falha reclamada	Nº de ocorrências
Console	Quebrado/Trincado	02
Console	Não liga	02
Console	Solto/mal fixado	02
Console	Não desliga	01
Console	Solto/mal fixado	01
Chave <i>Fast Freezing</i>	Não liga	02
Chave <i>Fast Freezing</i>	Não solta/Trancado	01
Chave <i>Fast Freezing</i>	Não desliga	01

Tab.5.1– Falhas Reclamadas Relacionadas ao Conjunto Console.

**Segundo Passo.** Quanto aos dados relativos às falhas constatadas pelo fabricante, estes foram extraídos de diagnósticos que se iniciaram e terminaram durante o reparo no atendimento ao consumidor. Os técnicos da Assistência Técnica examinaram cada caso e fizeram o seu diagnóstico. Estes reparos são registrados em uma ficha denominada OS (ordem de serviço). Durante o preenchimento da OS, a meta é atender o consumidor e, portanto, seu julgamento é normalmente rápido e dependente da sua experiência. A partir daí se faz o conserto do produto com ou sem troca de componentes, conforme o diagnóstico do técnico. Em alguns casos, dependendo da complexidade do problema, os dados que confirmam a efetiva falha de componentes somente são obtidos após análises laboratoriais nos componentes já trocados, ou em produtos (evidências físicas). A tabela 5.2 apresenta os sintomas das falhas constatadas e ações tomadas durante o reparo.

Componente	Falha constatada	Nº de ocorrências	Ação Tomada
Console	Quebrado/Trincado	04	Trocados
Console	Solto/mal fixado	04	Consertados
Chave <i>FF</i>	Não liga	02	Consertadas
Chave <i>FF</i>	Não solta/Trancado	01	Trocada
Chave <i>FF</i>	Não desliga	01	Trocada

Tab. 5.2 – Falhas Constatadas e Ações Tomadas Durante o Reparo Relacionadas ao Conjunto Console.

**Terceiro Passo:** Divergências entre o que foi reclamado e constatado. Com base na análise das tabelas 5.1 e 5.2, procurou-se investigar como o consumidor viu os defeitos no produto. Verificou-se as diferenças mostradas nas tabelas 5.3 e 5.4 a seguir.

A análise das divergências se baseou na busca de uma resposta às diferenças, entre falhas reclamadas e constatadas, identificadas nas seqüências 03 e 05 da tabela 5.3 a seguir.

Seq.	O Que foi reclamado	Tempo (h) de uso quando Reclamada a falha	O Que foi constatado
01	Quebrado/Trincado	672	Quebrado/Trincado
02	Quebrado/Trincado	1056	Quebrado/Trincado
03	Não liga	1416	Quebrado/Trincado
04	Console Solto/Mal fixado	2136	Solto/Mal fixado
05	Não desliga	2856	Solto/Mal fixado
06	Console Solto/Mal fixado	5016	Solto/Mal fixado
07	Console Quebrado/Trincado	7176	Quebrado/Trincado
08	Console Solto/Mal Fixado	7896	Solto/Mal fixado

Tab. 5.3 – Comparativo entre Falhas Reclamadas & Constatadas Relacionadas ao Console.

Seq.	O Que foi reclamado	Tempo (h) de uso quando Reclamada a falha	O Que foi constatado
01	Chave Não Liga	1080	Não Liga
01	Chave Não liga	1440	Não liga
03	Chave Trancada	2160	Trancado
04	Chave Não desliga	7920	Não desliga

Tab. 5.4 – Comparativo entre Falhas Reclamadas & Constatadas Relacionadas à Chave *Fast Freezing*.

Na seqüência 03 da tabela 5.3, a reclamação do consumidor, “não liga”, se deu em função de que a chave *fast freezing (FF)*, montada no console, estava solta. Este fato fez o consumidor entender que a chave não oferecia condições de ser acionada e por isto, reclamou que a mesma não ligava no conjunto console. Portanto, ficou provado que a reclamação do consumidor foi um efeito, do problema constatado pelo técnico, console Quebrado/Trincado que foi substituído.

Na seqüência 05 da tabela 5.3, a reclamação do consumidor, não desliga, apresentou quase que a mesma condição da seqüência 03. Aqui o conjunto estava montado de maneira inadequada e, por isto, o consumidor entendeu que a tecla *FF* não oferecia condições de ser desacionada. Portanto, ficou caracterizado que a reclamação do consumidor foi também um efeito, do problema constatado pelo técnico, console Solto/Mal Fixado que foi consertado.

De posse da FTA do sistema estrutural, ao qual pertence o componente console, foi feita uma análise na sua construção a fim de se verificar se havia sido contemplada, ou não, uma possibilidade de falha associada às falhas reclamadas. A figura 5.4 mostra uma parte da FTA do sistema estrutural, enfatizando o componente console.

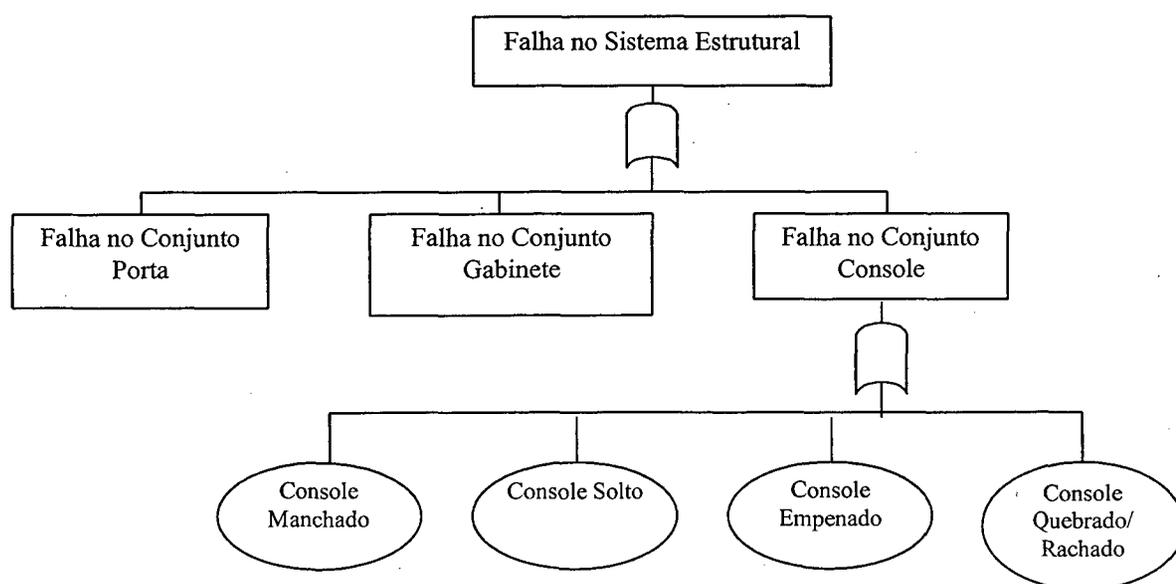


Fig. 5.4 – FTA - “Falha no Sistema de Estrutural”.

Com base nas divergências apontadas nas seqüências 03 e 05, observou-se a possibilidade de alterar a FTA do Evento de Topo “Falha no sistema de Estrutural”, figura 5.4. Então, fez-se uma atualização da FTA através da figura 5.5.

A figura 5.5 mostra uma nova configuração de possibilidades de falha do sistema estrutural, que contempla a interface com um componente de outro sistema, o elétrico. Isto mostra, conforme identificado em campo, que uma falha no componente console pode acarretar em uma falha no sistema elétrico.

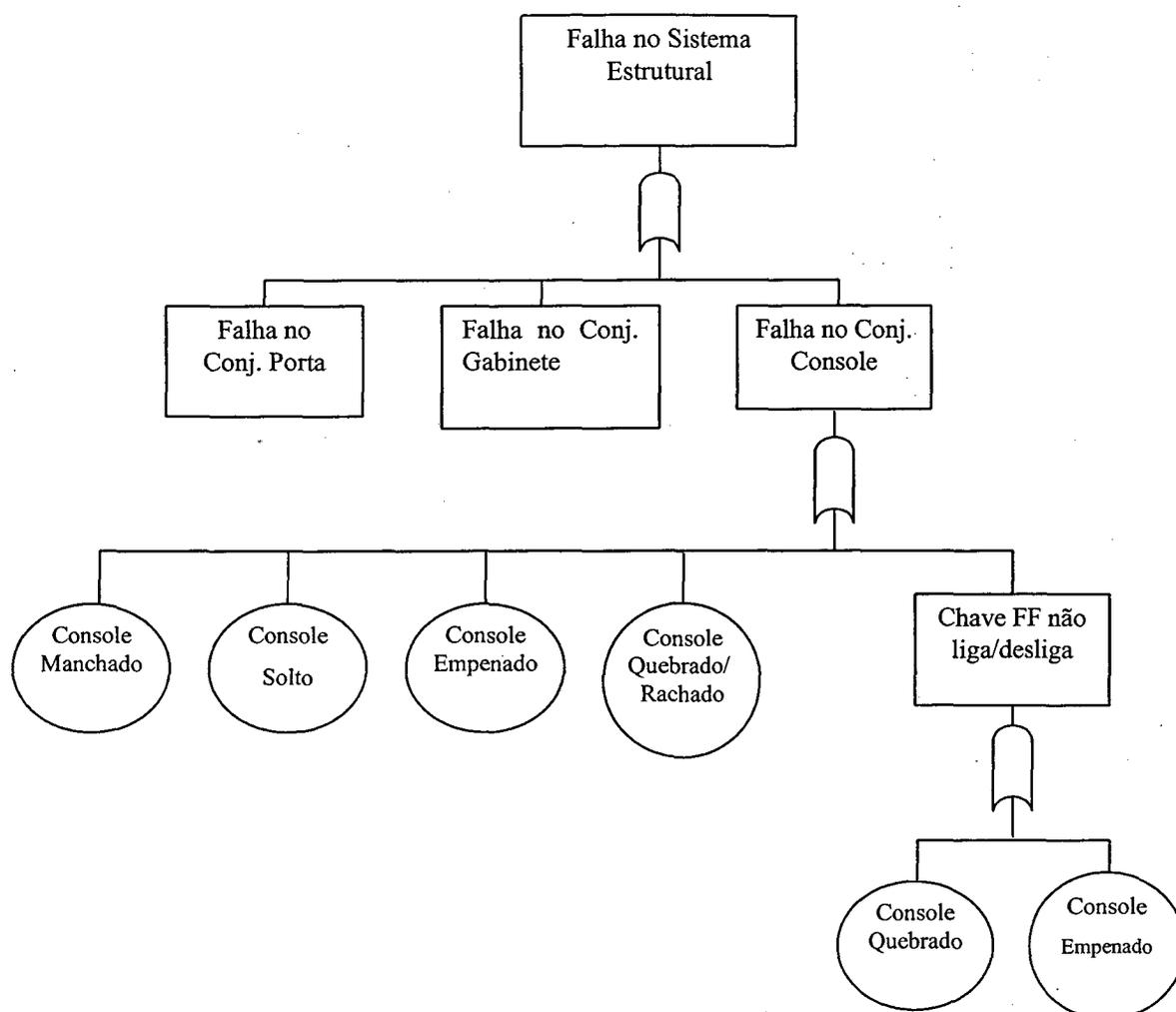


Fig. 5.5 – FTA - “Falha no Sistema Estrutural” Atualizada.

Por outro lado, tem-se a FTA do evento de topo “Falha no Sistema Elétrico”. Esta também pode ser atualizada através da inclusão da possível falha do console interferindo no sistema elétrico.

As figuras 5.6 e 5.7 mostram respectivamente a FTA simplificada do Evento de Topo “Falha no sistema Elétrico” e a FTA simplificada do Evento de Topo “Falha no sistema Elétrico” atualizada.

A atualização de FTA é um procedimento que pode auxiliar futuras análises da mesma, pois trata-se de uma maneira de se registrar uma investigação e fazer o seu registro. Em alguns casos, o grupo pode considerar desnecessário fazê-lo. Trata-se de um procedimento que, quando sistematicamente verificado, poderá auxiliar outros os grupos de trabalho que não tem o profundo conhecimento do produto.

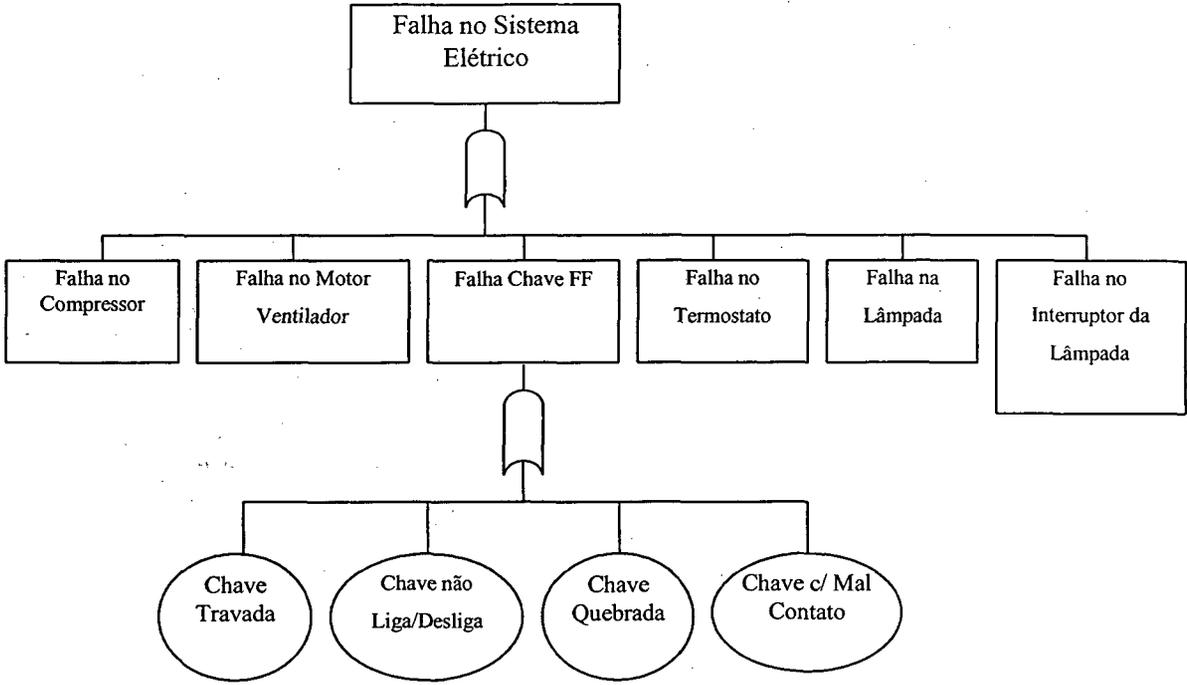


Fig. 5.6 - FTA - "Falha no Sistema Elétrico"

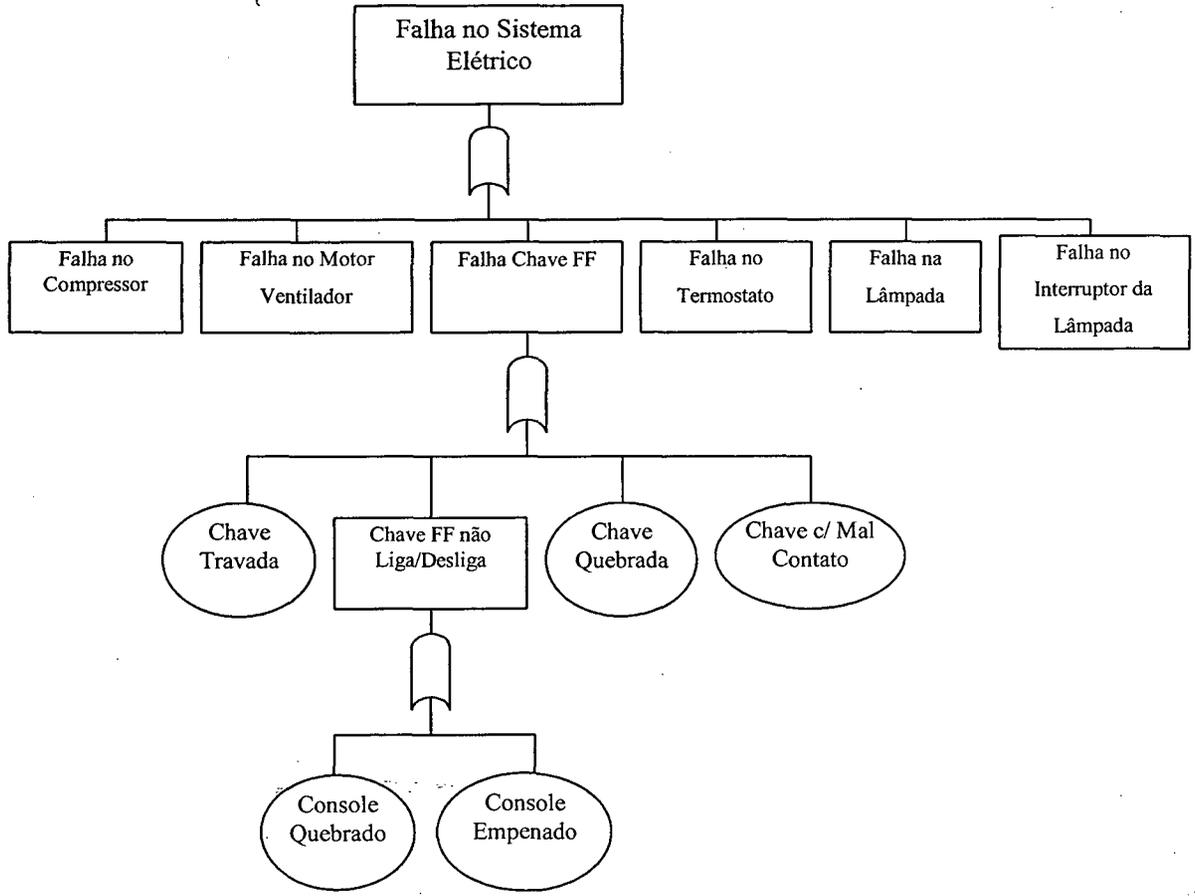


Fig. 5.7 - FTA - "Falha no Sistema Elétrico" Atualizada.

Este passo promoveu um avanço em termos de conhecimento em relação ao que o consumidor entende como falha, e como este entendimento pode auxiliar em análises futuras, tanto para solução de problemas, bem como desenvolvimentos novos.

**Quarto Passo.** Condições de Contorno do Problema. As informações relativas aos fatores ambientais e operacionais foram obtidas através da análise das OSs e abordagem direta aos serviços autorizados. As tabelas 5.5 e 5.6 mostram as informações obtidas para os dois componentes.

Seq.	O Que foi constatado.	Fatores Ambientais:	Fatores Operacionais:
		1. Temperatura; 2. U.R.Ar; 3. Salinidade	1. Forma de Manuseio; 2. Sintoma da Falha.
01	Console Quebrado/Trincado	1. 24°C 2. 65% 3. Não Salino	1. Uso Normal; 2. Subitamente.
02	Console Quebrado/Trincado	1. 20°C; 2. 70%; 3. Não Salino	1. Uso Normal; 2. Subitamente.
03	Console Quebrado/Trincado	1. 32°C; 2. 70%; 3. Não Salino	1. Uso Normal; 2. Subitamente.
04	Console Solto/Mal fixado	1. 25°C; 2. 55%; 3. Não Salino	1. Uso Normal; 2. Subitamente.
05	Console Solto/Mal fixado	1. 21°C; 2. 65%; 3. Não Salino	1. Uso Normal; 2. Subitamente.
06	Console Solto/Mal fixado	1. 25°C; 2. 60%; 3. Salino	1. Uso Normal; 2. Subitamente.
07	Console Quebrado/Trincado	1. 30°C; 2. 65%; 3. Não Salino	1. Uso Normal; 2. Subitamente.
08	Console Solto/Mal fixado	1. 33°C; 2. 70%; 3. Salino	1. Uso Normal; 2. Subitamente.

Tab. 5.5 – Fatores Ambientais e Operacionais Identificados em Campo Relacionadas ao Console.

A seguir, é mostrada a tabela 5.6 com a coleta de dados dos fatores ambientais e operacionais, nas residências onde houve o atendimento para os casos relacionados à chave *Fast Freezing*.

Seq.	O Que foi constatado	Fatores Ambientais: 4. Temp.(°C); 5. URA (%); 6. Salinidade	Fatores Operacionais: 3. Tensão de Trabalho; 4. Forma de Manuseio; 5. Sintoma da Falha
01	Chave Não Liga	1. 23°C; 2. 65%; 3. Não Salino	1. Dentro do Espec.; 2. Uso Normal; 3. Subitamente
02	Chave Não liga	1. 32°C; 2. 60%; 3. Não Salino	1. Dentro do Espec.; 2. Uso Normal; 3. Subitamente
03	Chave Trancada	1. 20°C; 2. 71%; 3. Não Salino	1. Dentro do Espec.; 2. Uso Excessivo; 3. Subitamente
04	Chave Não desliga	1. 22°C; 2. 66%; 3. Não Salino	1. Dentro do Espec.; 2. Uso Normal; 3. Subitamente

Tab. 5.6 – Fatores Ambientais e Operacionais Identificados em Campo Relacionadas à Chave *Fast Freezing*.

Para um melhor esclarecimento, a seguir estão algumas considerações adicionais quanto a forma de obtenção, e critérios adotados, dos dados das tabelas 5.5 e 5.6:

1. As informações foram selecionadas em função de terem sido consideradas de relevância para o produto em estudo;
2. O item temperatura ambiente e umidade relativa do ar, foram considerados como médias mensais das regiões onde foram atendidos os casos. Este procedimento foi adotado em razão de não terem sido coletados no momento do diagnóstico;
3. Considerou-se Salinas as regiões litorâneas;
4. Considerou-se dentro do especificado, as tensões nominais de trabalho dos produtos em Volts +/- 10%;
5. Classificou-se a forma de manuseio em função de como os consumidores fizeram o uso do produto:
  - Para o console, considerou-se o nível de gordura depositado no componente (possibilidade de um ataque químico), quando da abertura da porta, em função do contato da mão no mesmo. Todos os produtos foram considerados como de “uso normal” em função de se tratar de um *freezer* e, por isto, muito pouco solicitado quando comparado com um refrigerador;

- Para a Chave *FF*, considerou-se “uso normal” para os casos em que o consumidor seguiu as instruções do manual, e “uso excessivo” ao casos em que o consumidor fez o uso da tecla por um período acima do recomendado. Normalmente, por tê-la esquecido ligada.

**Quinto Passo.** Índices de Confiabilidade dos componentes. Inicialmente, por se tratar de uma análise de falhas reclamadas, optou-se por identificar a Confiabilidade  $R(t)$ , índice do MTTF e a Taxa de Falhas dos casos em estudo.

Para iniciar os cálculos destes índices, partiu-se do teste de aderência das distribuições das falhas. Conforme as tabelas 5.3 e 5.4, respectivamente, foram obtidos os tempos em que as falhas se apresentaram em campo para o Console e Chave *FF*.

As figuras 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11, a seguir, mostram como a distribuição do defeito console adere às diferentes distribuições. Esta análise foi elaborada através do *software Minitab for Windows, Release 12.22* (Empresa Minitab Inc. 1998).

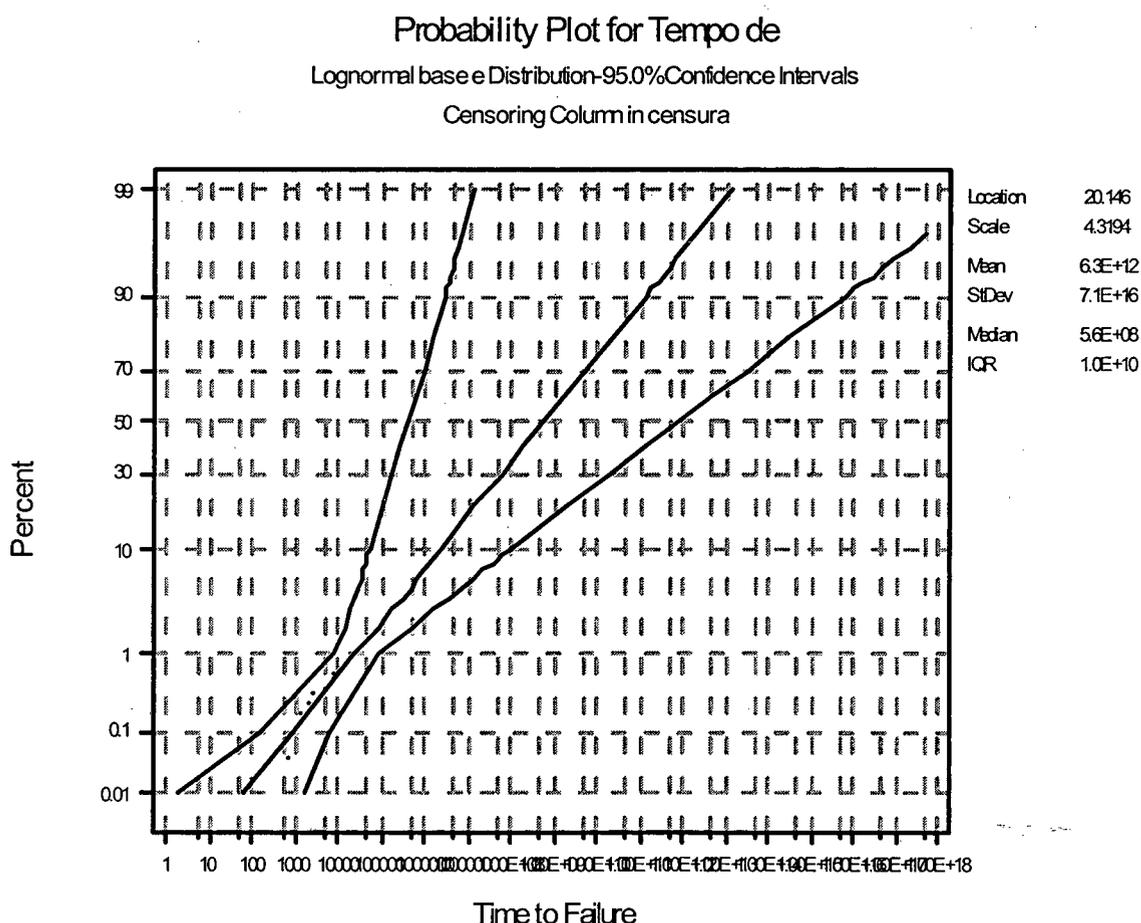


Fig. 5.8 – Análise de Aderência da Amostra Consoles na Distribuição Lognormal

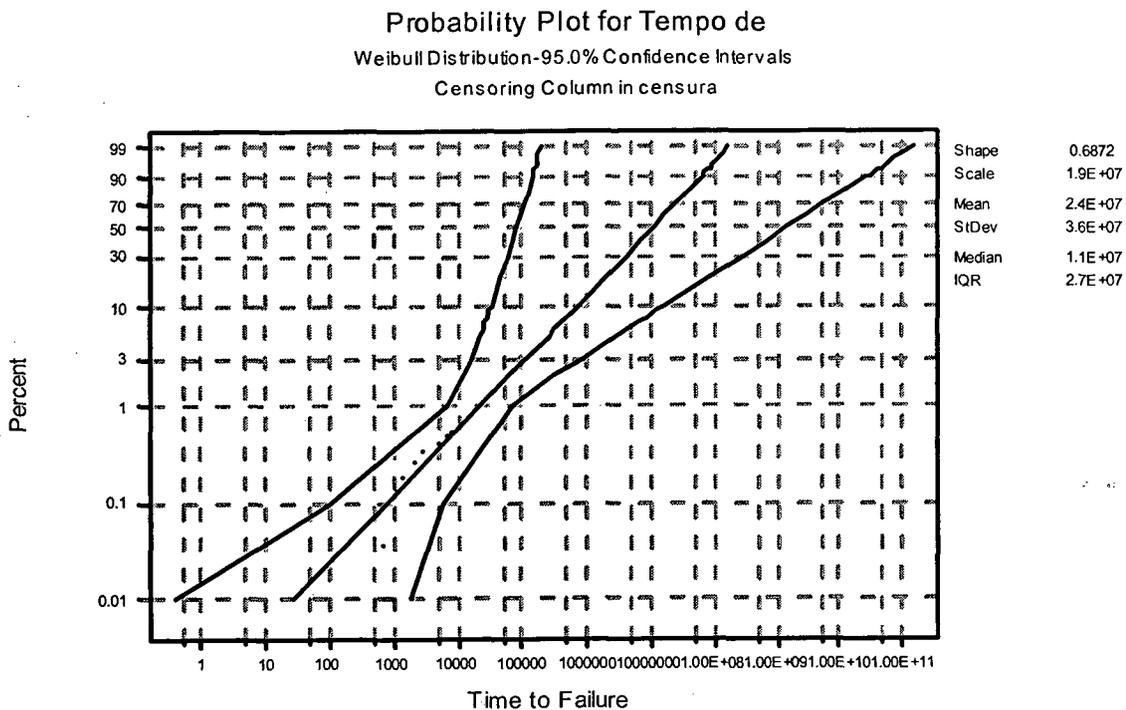


Fig. 5.9 – Análise de Aderência da Amostra Consoles na Distribuição Weibull.

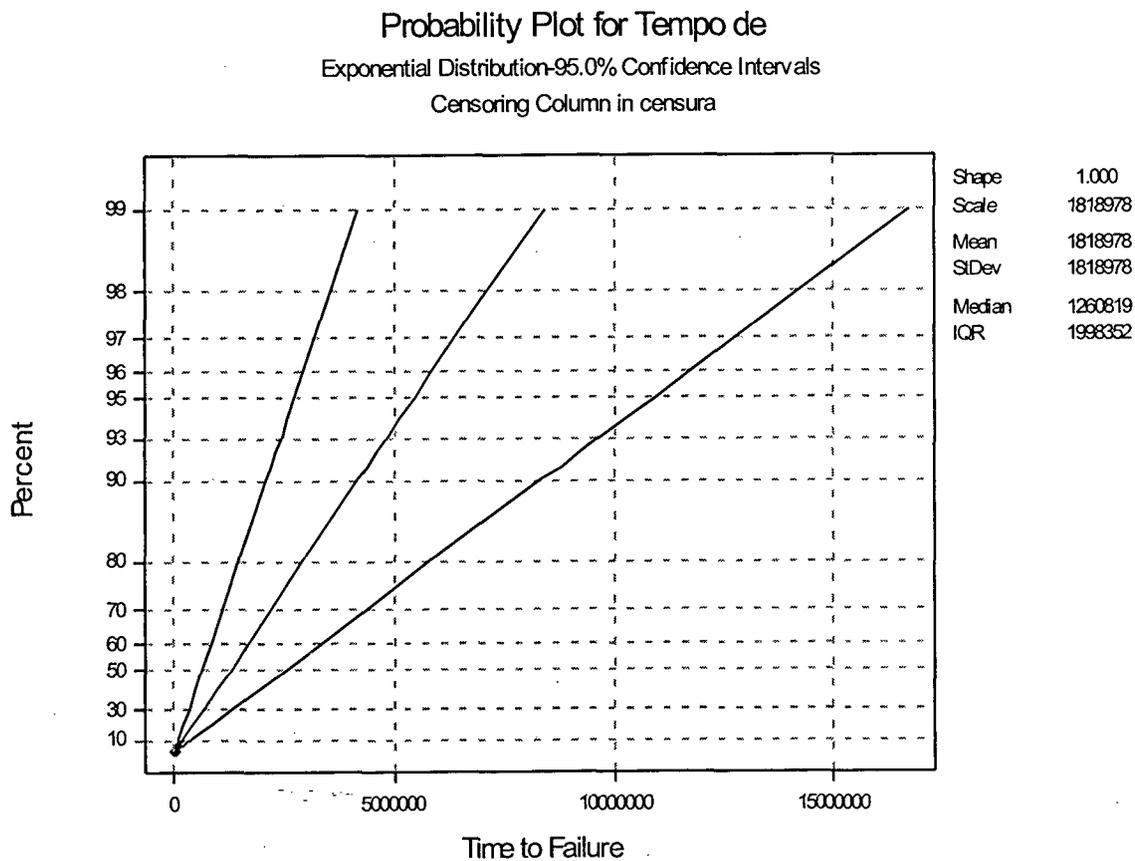


Fig. 5.10 – Análise de Aderência da Amostra Consoles na Distribuição Exponencial.

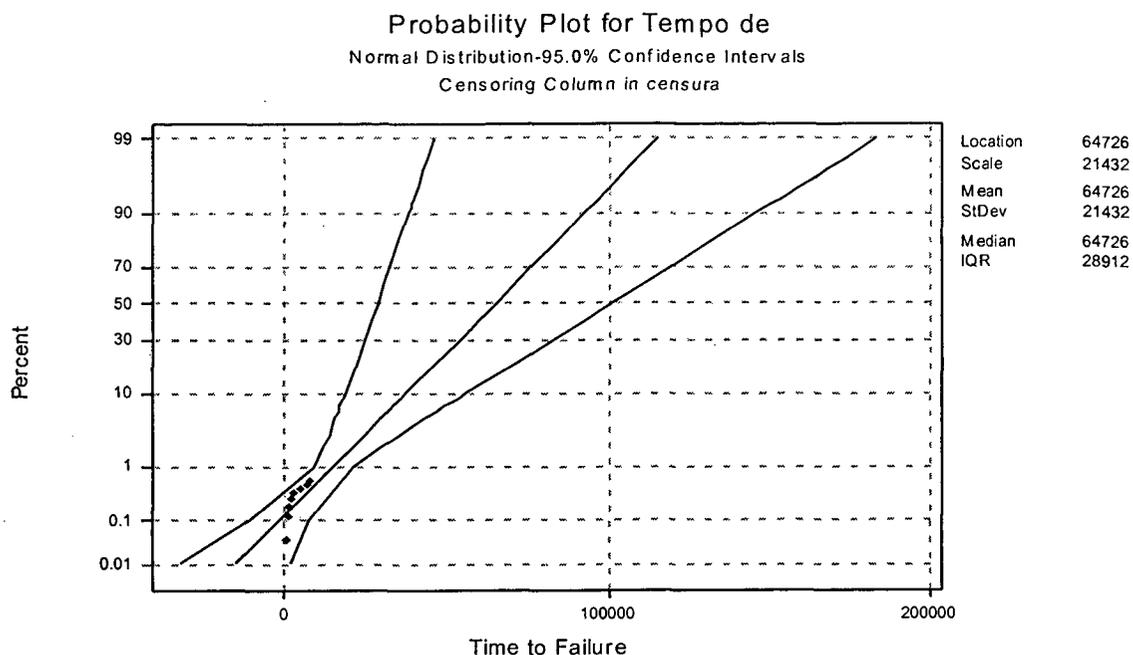


Fig. 5.11 – Análise de Aderência da Amostra Consoles na Distribuição Normal.

Observou-se aqui, que os dados apresentam uma maior aderência às distribuições Lognormal e Weibull (Anexos 8 e 9), ou seja, seus dados oferecem uma maior aproximação a estas distribuições. Fez-se então, a escolha pela distribuição de Weibull mostrada na figura 5.9. Conforme a figura 5.9, tem-se que:

$\beta = 0,6872$  (parâmetro de forma ou inclinação) Conforme este varia, pode aderir às principais distribuições.

$\eta = 1,9E+07$  h (parâmetro de vida característica ou escala)

O tempo de análise da amostra é de 15 meses ou:

$t = 10920$  h

Tem-se que a confiabilidade do componente console em função do tempo,  $R(t)$  é:

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

Então, obtém-se a confiabilidade do componente console em 15 meses ou 10960h, como sendo:

$$R(10920) = e^{-\left[\frac{10920-0}{1,9 \times 10^7-0}\right]^{0,6872\beta}} = 99,41\% \quad (2)$$

Assim, para obter-se a probabilidade do console apresentar uma falha no campo dentro dos 15 meses, sob condições operacionais e ambientais dentro do especificado, tem-se:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (3)$$

$$F(10920) = 1 - R(10920) = 1 - 0,9941 \Rightarrow F(10920) = 0,59\% \quad (4)$$

Para o cálculo do MTTF, tem-se:

$$MTTF = \eta \times \tau \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (5)$$

Conforme tabela gama para  $\beta = 0,6872 \Rightarrow \tau = 1,3024$

$$MTTF = 1,9 \times 10^7 \times 1,3024 \left( 1 + \frac{1}{0,687} \right) = 60.765.396,22h \quad (6)$$

Para o cálculo da taxa de falhas, tem-se:

$$h(t) = \frac{\beta \times t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \quad (7)$$

Então, a taxa de falhas para o console é:

$$h(10.920) = \frac{0,65 * 10920^{0,65-1}}{(1,9 \times 10^7)^{0,65}} \Rightarrow h(10.920) = 4,659 \times 10^{-7} \text{ falhas / h} \quad (8)$$

As figuras 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15, a seguir, mostram como a distribuição do defeito chave *FF* adere às diferentes distribuições.

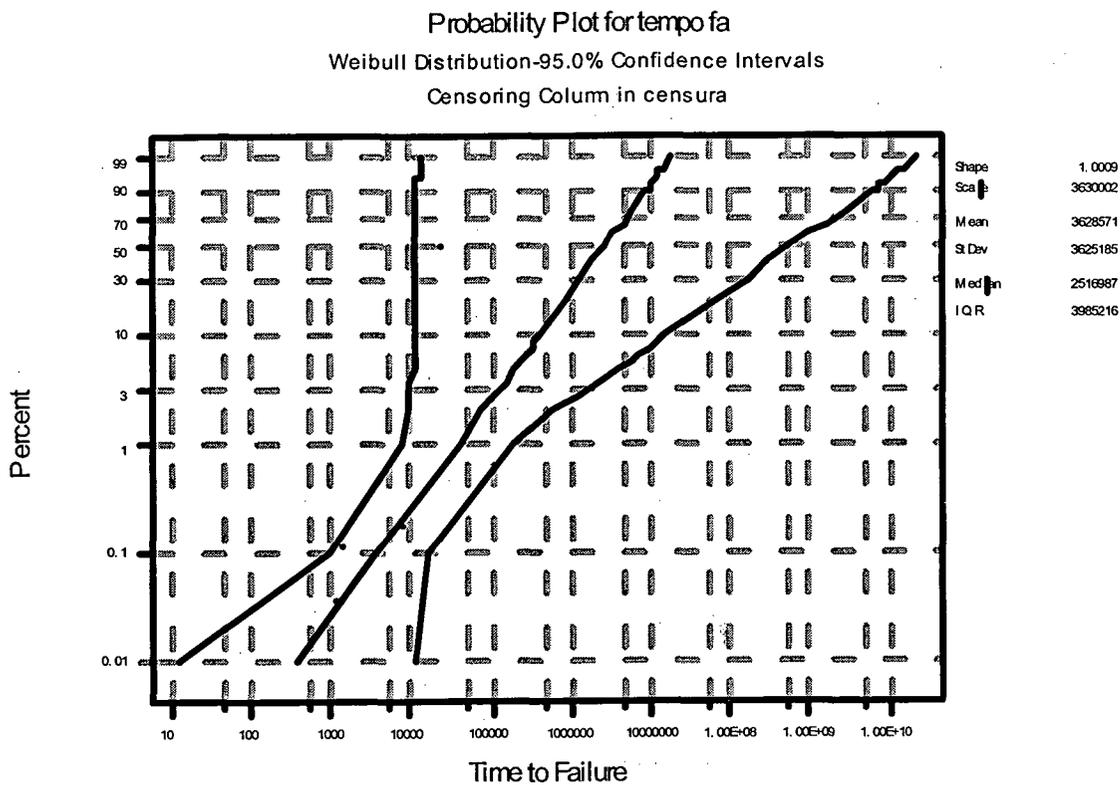


Fig. 5.12 – Análise de Aderência da Amostra Chaves *FF* na Distribuição Weibull.

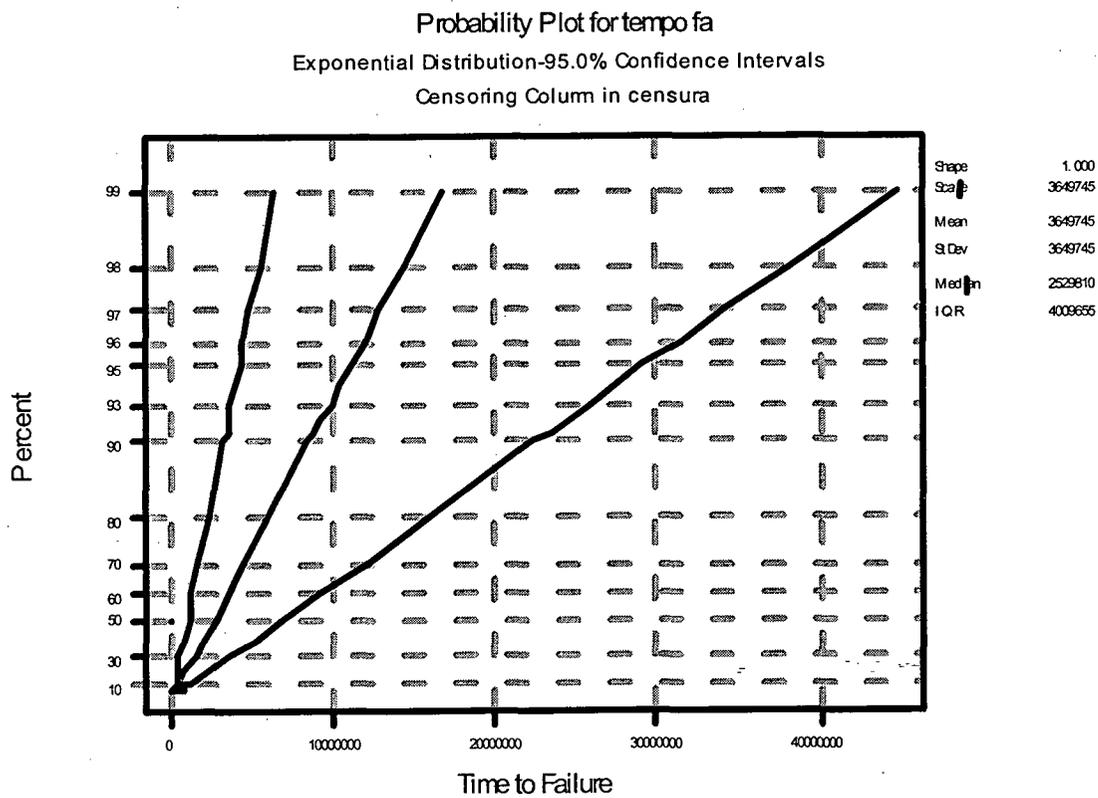


Fig. 5.13 – Análise de Aderência da Amostra Chaves *FF* na Distribuição Exponencial.

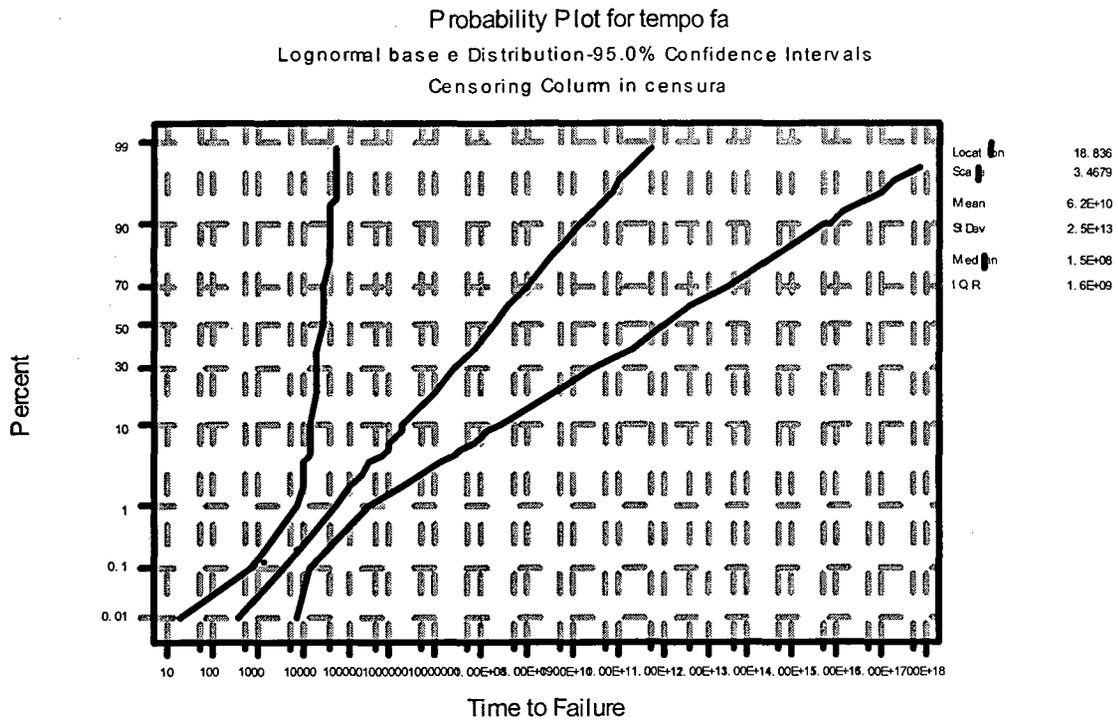


Fig. 5.14 – Análise de Aderência da Amostra Chaves *FF* na Distribuição Lognormal.

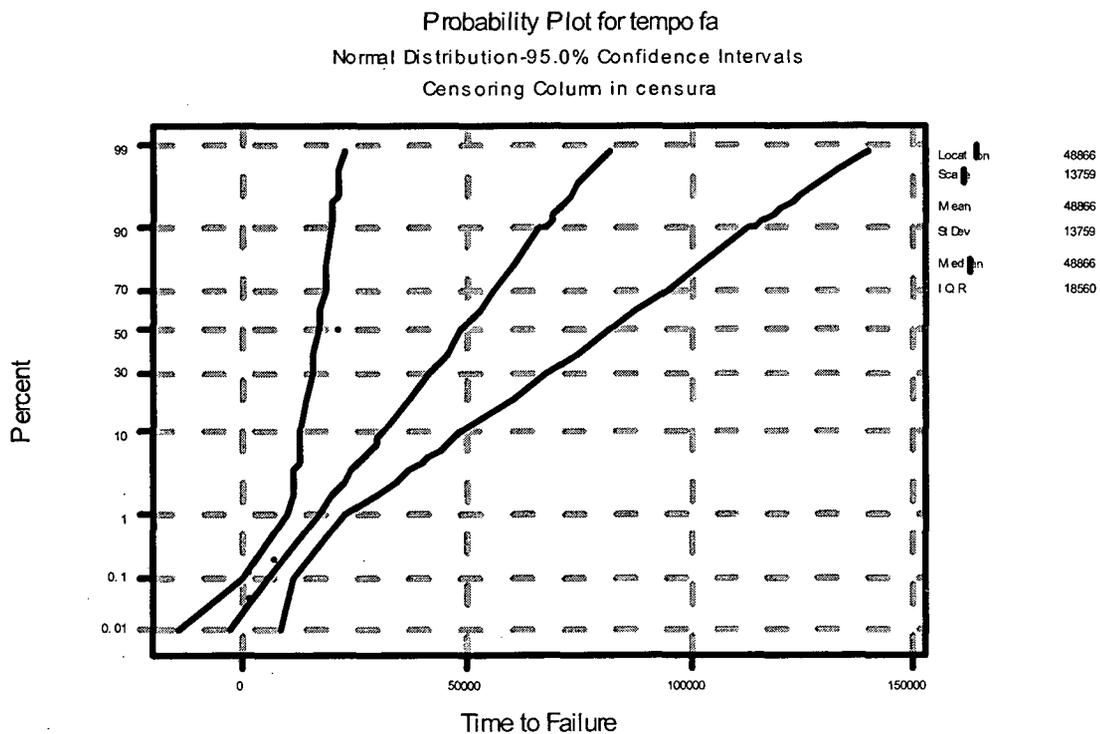


Fig. 5.15 – Análise de Aderência da Amostra Chaves *FF* na Distribuição Normal.

Na distribuição das falhas da chave FF, um ponto mais distante se destacou dos demais. Isto pode ser observado nas figuras 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15. Estes dados apresentam uma discreta aderência à distribuição Weibull, Lognormal e Normal (Anexos 10, 11 e 12). Optou-se também pela distribuição de Weibull. Uma vez escolhida, seus dados poderão oferecer um erro em função de parte dos dados estarem aderindo a esta distribuição, ver figura 5.11.

Conforme a figura 5.11, obtém-se:

$$\beta = 1,0009 \text{ (parâmetro de forma ou inclinação)}$$

$$\eta = 1,9E+07 \text{ h (parâmetro de vida característica ou escala)}$$

O tempo de análise da amostra é de 15 meses ou:

$$t = 10920 \text{ h}$$

Analogamente ao console, aplicando se a equação (1), temos que a confiabilidade do componente chave FF em 15 meses ou 10960h:

$$R(10920) = e^{-\left(\frac{10920-0}{3630002-0}\right)^\beta} = 99,69\% \quad (9)$$

Portanto, para se obter a probabilidade da chave apresentar uma falha no campo dentro dos 15 meses sob condições operacionais e ambientais dentro do especificado, aplica-se a equação (3) e tem-se:

$$F(10920) = 1 - R(10920) = 1 - 0,996 \Rightarrow F(10920) = 0,4\% \quad (10)$$

Para o cálculo do MTTF, aplica-se a equação (5). Conforme tabela gama, para  $\beta=1,0009 \Rightarrow \Gamma = 1,000$ . Então, tem-se que:

$$MTTF = 3630002 \times 1,000 \left(1 + \frac{1}{1,000}\right) = 7.260.004h \quad (11)$$

Para o cálculo da taxa de falhas, aplicando-se a equação (7), tem-se que:

$$h(10.920) = \frac{1,000 \times 10920^{1-1}}{(3630002)^1} \Rightarrow h(10.920) = 2,7548 \times 10^{-7} \text{ falhas / h} \quad (12)$$

Como pôde ser observado, tanto o componente console como a chave, apresentaram confiabilidade acima de 99%. Mesmo assim, o propósito do grupo é eliminar o problema para que não haja qualquer caso em campo.

Com base na análise dos cinco passos anteriormente abordados, há um ponto de decisão que representa a avaliação das falhas identificadas como previstas ou não. Conforme abordado no item 2.7, as dificuldades de se prever falhas com precisão, através de testes de vida acelerados, é muito grande. Exige um trabalho dispendioso, extenso e demorado, utilizando sempre o histórico de falhas anteriores de produtos da empresa. Neste caso, foram considerados como problemas não previstos as falhas constatadas do console quebrado/trincado e da chave *FF* não solta/trancada e não desliga.

### 5.1.3 – FASE 3: Identificação das Causas

Esta fase contempla a determinação das causas de cada problema estudado. Cada problema deve ser tratado como um problema individual e suas causas fundamentais devem ser descobertas.

Pelo grupo de trabalho foram levantadas, através de seções de *brainstorming*, as causas possíveis que levariam aos problemas em estudo, representadas através do diagrama de Ishikawa.

A seguir, os defeitos a serem estudados são mostrados através, de seus diagramas com a análise destes defeitos das figuras 5.16 e 5.17.

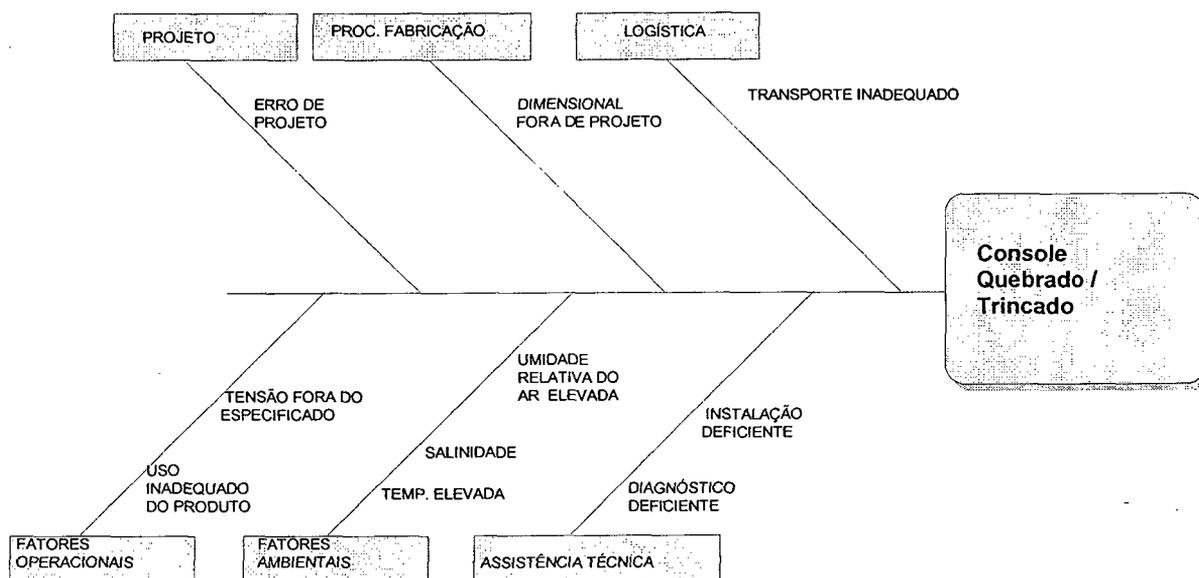


Fig. 5.16 – Análise das Causas Influentes na Defeito Console Quebrado/Trincado.

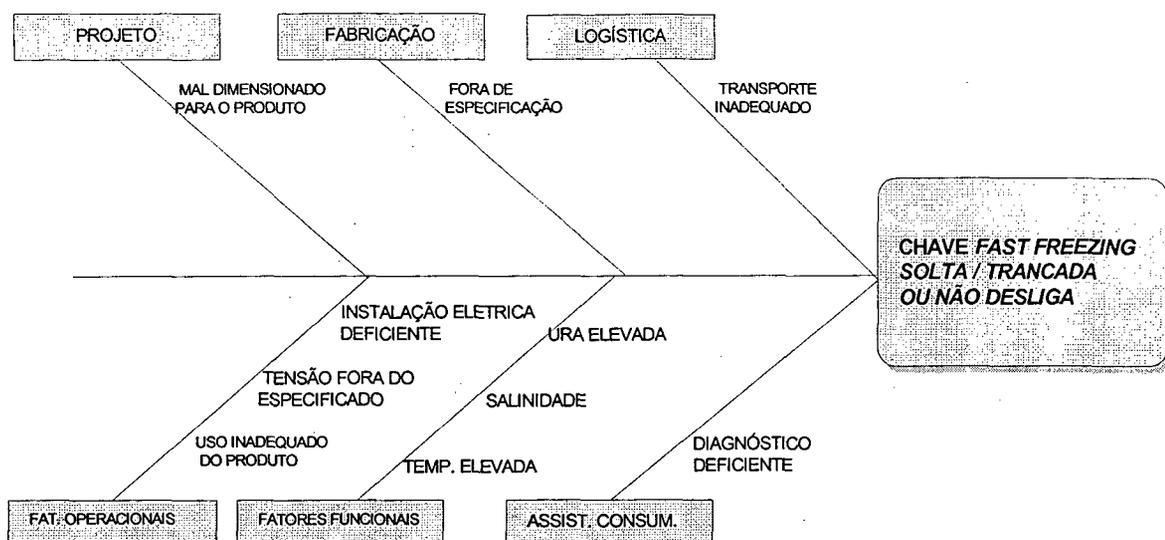


Fig. 5.17 – Análise das causas Influentes no Defeito Chave *FF* Solta/Trancada ou Não Desliga.

Para a análise destes diagramas, foram utilizadas, como auxílio gráfico, as FTAs correspondentes a estes defeitos constatados (figuras 5.5 e 5.7). Desta análise, algumas considerações foram feitas:

- em função da montagem do console com a chave, um cuidado especial deve ser dado à região de encaixe da chave no console. Este problema pode ser o resultado de um erro de projeto ou processo de fabricação;
- o console quebrado/trincado pode ser consequência do transporte, erro de projeto ou mau uso;
- o console solto, pode estar relacionado a um erro de montagem, ou erro de projeto ou processo;
- a chave trancada pode estar associada à eventual salinidade ou erro de projeto;
- a chave não liga / não desliga, estar relacionada a um problema do console.

Os relatórios de desenvolvimento e avaliação que tinham relação como o componente console foram: o relatório de transporte do produto, que contempla a aprovação do console sem restrições; e alguns testes contemplados em uma seqüência descrita em norma ASTM, deslizamento em rampa com impacto posterior, vibração e compressão, que também aprovaram o componente. Nesta análise dos relatórios (console), o grupo não conseguiu visualizar qualquer deficiência nos ensaios que pudesse justificar o ocorrido em campo.

Com relação aos testes de avaliação da chave *FF*, foram analisados os relatórios de aprovação dos ensaios: de durabilidade, estabilidade dimensional, resistência a isolação, rigidez dielétrica; determinação da força de acionamento e resistência a umidade. Nesta análise, foi possível ter uma idéia e discussão com o grupo, sobre o tempo dos ensaios, bem como o tamanho da amostra. Apesar da relação clara existente entre os ensaios e os problemas constatados (não liga, não desliga e trancado), concluiu-se que as condições operacionais e ambientais de ensaio, em laboratório, são muito mais severas que as condições identificadas em campo. O que não se podia mensurar até o momento, é o quanto os ensaios acelerados de laboratório representavam em campo.

Em análise de problemas passados, relatórios mostraram que os consoles já haviam apresentado problemas de quebra no início do ano anterior. Como havia sido tomada uma ação corretiva, acreditava-se que o problema havia sido resolvido. Uma possibilidade pensada, foi estes casos em estudo terem sido produtos com console sem a tal correção. Para sanar a dúvida, conseguiu-se ter acesso às evidências físicas, ou seja, três peças do console, trocadas em campo, para análise. A primeira observação feita, foi que as peças quebraram na mesma região. Após uma investigação mais detalhada, concluiu-se que:

- havia uma região da peça que ficava tensionada, quando montada no produto, e quando em uso em contato com a gordura de cozinha (a região da trinca se dava próximo ao puxador do produto, onde o consumidor tocava ao abrir a porta), levava o console a trincar por ataque químico;
- havia uma variação dimensional acima do especificado, na região do console à qual é montada a chave *FF*.

Quanto a chave, não foi identificado um histórico de falhas que pudesse auxiliar na investigação. Não foram obtidas evidências físicas para auxiliar na investigação.

O ponto de decisão nesta tarefa, foi separar as causas relacionadas a projeto das causas não relacionadas ao mesmo para serem endereçadas às áreas correspondentes, conforme orienta o modelo através da figura 4.2. Com base em análise nas figuras 5.15, 5.16 e da investigação citada anteriormente, foram extraídas duas causas relacionadas a projetos: especificação inadequada do console nos pontos identificados com de tensão e tolerância dimensional da região do montagem com a chave *ff*. Os demais pontos de investigação, não relacionados ao projeto, foram endereçados às áreas correspondentes.

Quanto ao componente chave *ff*, foi solicitada à empresa fabricante do componente que desenvolva uma investigação no seu processo de fabricação, pois o grupo entendeu que as falhas constatadas em campo, eram conseqüentes de problemas desta natureza.

#### 5.1.4 – FASE 4: Desenvolvimento da Ação Corretiva (Proposta de Projeto)

Com base na análise das figuras 5.16 e 5.17 foi elaborado um plano de ação a fim de investigar e/ou corrigir cada uma das causas identificadas. O plano de ação contemplou as correções da especificação do componente console a fim de evitar a reincidência do problema. Trata-se de uma alteração no projeto para a correção da região tensionada e de montagem da chave, da peça, para evitar a sua suscetibilidade ao ataque químico e a sua deficiência de montagem com chave *FF*. Adicionalmente, ficou registrada, uma causa de quebra de console, anteriormente não imaginada, e foi então recomendada a criação de um procedimento de ensaio-laboratorial, a fim de se verificar a conformidade das peças de mesma natureza, quanto a possíveis ataques químicos combinados com pontos de tensão.

#### 5.1.5 – FASE 5: Avaliação de Viabilidade Técnica, Econômica e Financeira

A alteração proposta, foi considerada viável tecnicamente, pois a alteração se resume em uma correção do molde de injeção do console o qual o processo, quando bem controlado, é capaz de produzir e garantir. A proposta de alteração foi considerada aplicável, do ponto de vista de reposição em campo, pois é intercambiável em campo.

Do ponto de vista econômico, verificou-se que para cada console trocado em campo, a empresa gasta R\$ 25,00. Se fosse levado em consideração apenas os 8 casos trocados em campo, o custo total com as trocas ficaria em R\$ 200,00. Entretanto, há um custo não mensurável que é o custo da insatisfação dos consumidores, que tiveram seus produtos com problemas e sofreram o transtorno de ter que chamar a assistência técnica. Levando-se em consideração o custo da alteração, estimado em R\$5.000,00, seriam necessários em torno de 25 anos para se pagar este investimento. Neste caso, a alteração tem um custo baixo e, portanto, facilita a decisão de se considerar viável a proposta. Especialmente por ter como foco, atender a todos os consumidores através de uma melhor confiabilidade do componente.

#### 5.1.6 – FASE 6: Confirmação dos Resultados

O modelo propõe uma Gerência de Testes, conforme figura 2.6 proposta por Bieda (1991). Para este exemplo, devido tratar-se da proposta de um novo procedimento de teste, os testes não foram elaborados.

Efetivamente, a aplicação do modelo aconteceu até esta fase e não foi possível implantá-la por razões outras dentro da organização. Consequentemente, para esta aplicação, as fases a seguir apenas descreverão a maneira por meio da qual o processo seria concluído.

#### 5.1.7 – FASE 7: Implantação da Ação Corretiva

A implantação deve ser elaborada pelas pessoas pertencentes ao grupo de projetos. Neste caso, o projeto sofrerá uma alteração sem a necessidade de maiores cuidados com o sistema de informações ao consumidor. Isto em função da característica da alteração. Em determinadas correções, a informação aos consumidores é necessária e dela depende parte do sucesso da correção.

Nesta fase, as empresas planejam suas ações seguindo seu roteiro padronizado de trabalho para informar ao campo. Um dos cuidados necessários neste caso, é o registro da data do primeiro lote alterado na linha de produção. Pode ser feito um esclarecimento junto a rede de assistência ao consumidor com o intuito de esclarecer dúvidas sobre o novo sistema corrigido.

#### 5.1.8 – FASE 8: Validação

O processo de validação ocorre após um período em campo, conforme abordado no Capítulo 4. Neste exemplo considera-se adequado que o acompanhamento seja feito através do acompanhamento do número de reclamações de campo relacionadas ao componente console e, se necessário, posterior investigação.

Caso tratar-se de um componente comprado, este acompanhamento pode ser feito com o auxílio do fabricante do componente, como o caso da chave *FF*. Após o período de aproximadamente 06 meses em campo, serão extraídos os gráficos de *field call rate* com as análises apontadas.

Estes gráficos por exemplo, podem ser chamados de “Gráficos de Eficácia”, servirão como uma das ferramentas do *feed back* de campo que auxiliarão a nova análise. A partir daí, deverá ser avaliada, através das reuniões periódicas de análise crítica de projeto, com o intuito de se confirmar, a eficácia ou não das alterações.

## 5.2 - Aplicação em Projeto Novo

Para efeito didático, será exemplificada a aplicação não real do MSP apenas em um componente de um novo projeto de produto. Isto, em função da falta de oportunidade na empresa para a aplicação em uma situação real.

Como descrito no Capítulo 3, após a constituição do grupo de projeto para o desenvolvimento do novo produto, e como definido pela metodologia "C2C" no item 3.2, conclusão do planejamento do projeto contido no documento especificação de produto, inicia-se a fase de **Concepção**, com a participação do grupo de projeto.

Para um projeto novo, o Modelo propõe o início do processo na fase 6 da figura 4.2, Execução da Ação Corretiva.

A atividade parte de um desdobramento do produto em sistemas e em componentes, passa por uma matriz do QFD, para auxiliar a sua integração ao FTA e FMECA.

**Primeiro Passo – Desdobramento do Sistema.** Conforme mostrado no item 3.3.2, divide-se o produto em partes com auxílio da análise morfológica, que consiste, de acordo com Csislag (1991), em estabelecer o problema e seus objetivos, e identificar dois ou três de seus aspectos considerados como dimensões básicas ou críticas.

Portanto, esta fase resume-se em utilizar um produto, na sua fase conceitual, desmembrá-lo em sistemas e posteriormente em componentes. O Anexo 13 mostra o desdobramento de um refrigerador onde apenas um dos sistemas é desmembrado em componentes.

**Segundo Passo - Filtro Funcional.** Para atender a qualidade exigida pelo consumidor de "Formar Gelo Adequadamente", por exemplo, definiu-se funções no produto que se relacionam com tal exigência do consumidor, vistas na figura 5.17. Para cada função definida, desenvolveu-se análise para determinar as características de projeto e elaborar a lista dos requisitos para tal item, exigido pelo consumidor.

Nesta atividade foi utilizado o diagrama FAST, conforme descrito no Método proposto no Capítulo 3.

A seguir é mostrada a figura 5.18, Análise Morfológica da Qualidade exigida "Formar gelo Adequadamente".

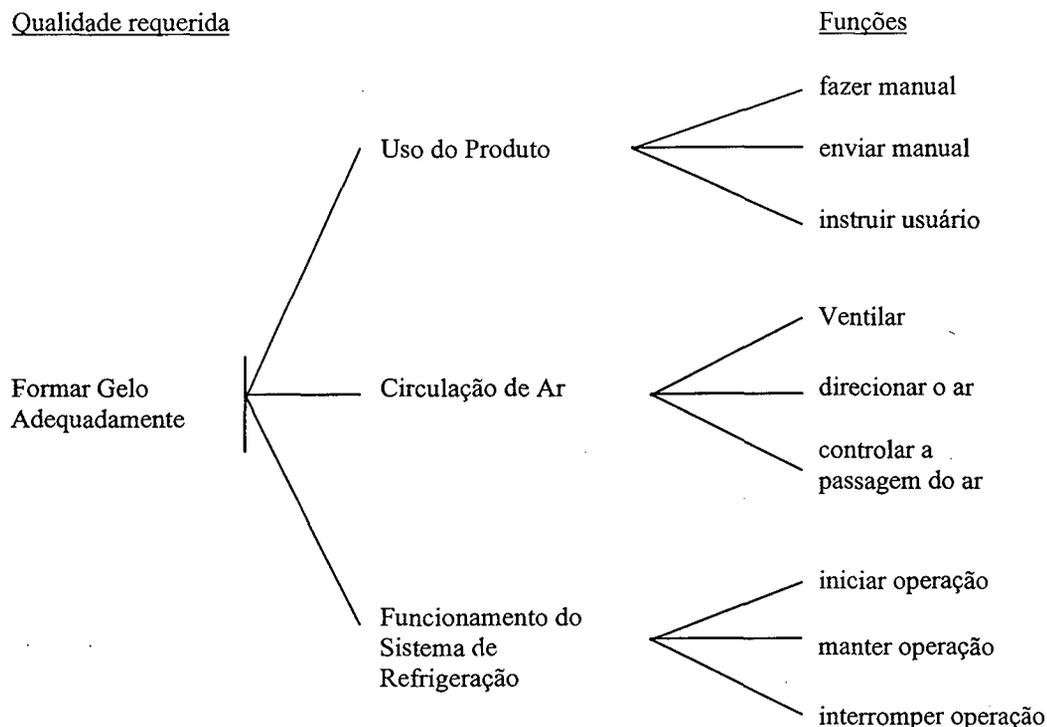


Fig. 5.18. Análise Morfológica da Qualidade Exigida “Formar Gelo Adequadamente”.

A título de verificar o uso da ferramenta citada, a figura 5.19 mostra a análise funcional da função “manter operação do sistema de refrigeração” no diagrama FAST.

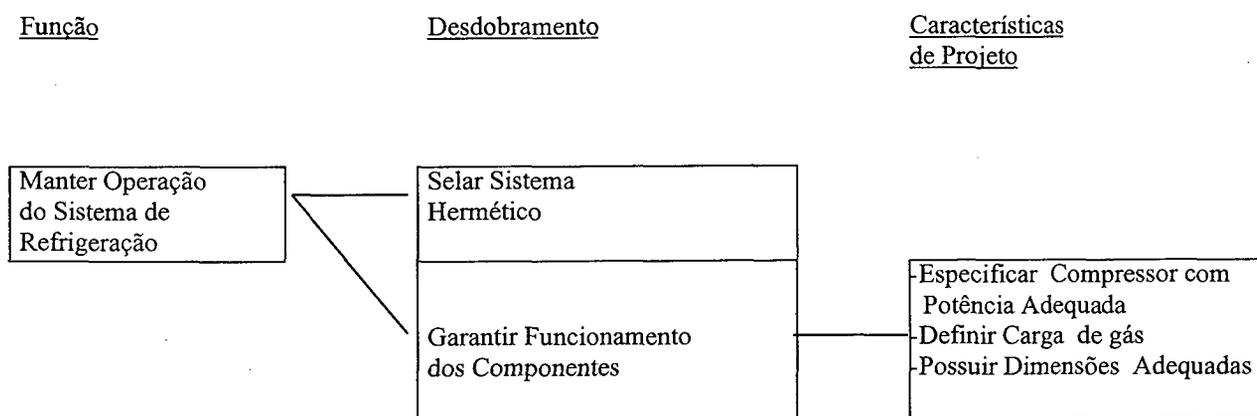


Fig. 5.19. Diagrama FAST da função “Manter Operação do Sistema de Refrigeração”.

Com o resultado do diagrama FAST, obtiveram-se as características de projeto, definidas como requisitos a serem atendidos pelo projeto. Tais requisitos norteiam o projeto

de produto, garantindo que a necessidade do consumidor em “Formar gelo adequadamente”, seja atendida. Estas informações compõem o documento “requisitos gerais de projeto”, que dá suporte à equipe de projeto para o desenvolvimento do produto na fase de concepção.

Através documento especificação de produto, são extraídas as necessidades do consumidor. O filtro, se baseia na relação existente entre os componentes e as necessidades dos consumidores. A primeira matriz do QFD é criada relacionando as qualidades exigidas do consumidor, também conhecidas como a voz do consumidor, e se define as características da qualidade, ou requisitos de projetos, que as atendam. O Anexo 14, mostra uma matriz do QFD exemplificando uma característica do produto, performance. Ela apresenta uma forte relação com um requisito funcional, capacidade do compressor. Esta matriz, resulta em uma especificação do componente para atender ao requisito de performance, desejado pelo consumidor.

**Terceiro Passo – Filtro da confiabilidade.** Com base no histórico de campo, de produtos existentes, tem-se um grau de importância em relação a confiabilidade requerida pelo consumidor. Adotou-se o compressor como um componente deste filtro da confiabilidade, baseado no seu alto grau de complexidade de funcionamento e importância deste no produto. Conforme já visto no Anexo 13, este componente pertence ao sistema de refrigeração. Neste caso, pode ser utilizada uma FTA que tenha relação com o compressor como, por exemplo, um Evento de Topo – “Não Refrigera / Não Congela”, mostrando que seqüência de eventos poderiam provocar uma falha no componente compressor para assim resultar em uma falha no sistema de refrigeração. Neste passo, o modelo propõe a opção do uso da FTA para auxílio gráfico no sentido de permitir uma melhor visualizar do modo de falha do componente em análise.

**Quarto Passo - FMECA.** Por se tratar do compressor, o exemplo, este passo se resume em alimentar uma planilha do FMECA com todos os dados referentes ao mesmo. O Anexo 15, mostra os efeitos de cada modalidade de falha, suas causas e ações recomendadas para que se evite estes modos de falha.

**Quinto passo – Especificação Melhorada da Confiabilidade.** Neste passo, o efeitos do modo de falha do compressor “Potência fora do especificado” são extraídos conforme segue: excesso de formação de gelo, falta de rendimento e velocidade excessiva de formação de gelo. Estes, são mapeados para a especificação de engenharia do componente

compressor, extraída do Anexo 14. A partir daí, é conduzido o projeto levando-se em consideração os efeitos, anteriormente citados, conseqüentes do modo de falha indesejável: potência fora do especificado.

# CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

## 6.1 – Conclusões

Neste trabalho, no qual buscou-se atender aos objetivos iniciais, propostos no Capítulo 1, procurou-se considerar todos os aspectos relativos ao problema levantado. Esta busca resultou na criação do Modelo de Suporte ao Projeto (MSP). A seguir, serão abordados os seus pontos considerados fortes e fracos.

Pontos do MSP, considerados fortes:

- promove a utilização da FTA, como auxílio gráfico, bem como a sua atualização durante a aplicação do método. Em uma eventual atualização da FTA, quando criada para um evento de topo específico, todas as possíveis falhas existentes no sistema podem não ter sido visualizadas por se tratar, na sua criação, de uma visualização teórica. Quando do seu uso, para auxílio gráfico às mudanças necessárias de projeto, é possível que se encontrem novas falhas inicialmente não imaginadas. Trata-se neste caso, de uma oportunidade de se atualizá-la, tornando-a mais completa;
- orienta a equipe de trabalho a realizar uma investigação nos relatórios de desenvolvimento de componentes, a fim de compará-los com os dados extraídos de campo. A análise dos relatórios de testes de avaliações feitos anteriormente no console e chave, permitiu que se avaliasse a importância de se ter em mãos, as informações relativas às condições de contorno do problema. Esta comparação, no caso do console, promoveu uma recomendação para que se faça a correção na especificação dos testes de avaliação do componente;
- recomenda a utilização de evidência física. O uso de evidências físicas de falhas, dos componentes trocados por terem sido considerados falhos, mostrou a sua importância. Através dele foi possível identificar a causa do problema com maior rapidez. Nem sempre é possível obter evidências físicas das falhas ou do seu diagnóstico, e quando é possível obtê-las, corre-se o risco de mascarar as reais causas de falhas. Este fato reforça a necessidade de se estruturar o nível de coleta de dados e de componentes trocados de campo, nas empresas;
- a realização do cálculo da confiabilidade de componentes / sistemas, permite uma visualização da confiabilidade do evento de topo da FTA, bem como auxilia na tomada

de decisões. Os cálculos de alguns índices de confiabilidade, feitos no Capítulo 5, devem servir de item de controle de confiabilidade dos produtos, bem como auxiliar na tomada de decisões no que se refere a análise de viabilidade técnica, econômica e financeira;

- apesar de estar focado somente à área de projeto, o nível de investigação, para a identificação dos dados de *feed back* de campo, auxilia as demais áreas.

Pontos do MSP, considerados fracos:

- o modelo é focado apenas em projeto. Embora a figura 4.2 apresente um fluxo de trabalho direcionado a projetos, é necessário que se faça um fluxo contemplando todas as outras etapas do processo de desenvolvimento de um produto, tais como processos de manufatura e sistemas logísticos por exemplo. Quando ocorre uma falha, prevista ou não, a mesma deve ser tratada e resolvida, pois um programa de confiabilidade contempla todas as fases de desenvolvimento de um produto;
- exige uma estrutura de recursos humanos não só da empresa, mas também fora dela, a fim de obter uma estrutura de dados confiável. A etapa de identificação do dados do *feed back* de campo da figura 4.2, apresenta cinco passos importantes para proporcionar uma investigação confiável. Entretanto, parte-se da premissa de que o sistema de coleta de dados seja confiável e que informações, como as condições de contorno, sejam efetivamente investigadas para auxiliar a tomada de ação corretiva. Conforme abordado no item 2.9, os dados de campo não são sempre reunidos para o propósito de análises estatísticas, e são freqüentemente incompletos, de alguma forma. Portanto, se uma empresa não tiver um nível de coleta de dados estruturado e confiável, inviabilizará a aplicação do modelo proposto neste trabalho. Na empresa pesquisada, o sistema de coleta de dados (figura 3.5) permitiu que se levantassem os dados principais. Entretanto, só possibilitou a aplicação do modelo por meio: da obtenção de evidências físicas, visitas aos clientes e visitas às assistências técnicas para a obtenção de dados mais detalhados;
- faz o uso, para novos projetos, apenas da primeira matriz do QFD. Se faz necessário abordar a importância da aplicação completa do QFD em um novo projeto, por meio da criação das demais matrizes da qualidade, contemplando todo o programa da confiabilidade;
- é limitado, para novos projetos, a projetos por evolução nos quais já se sabe quais serão os sistemas e a maioria dos componentes antes do projeto ser iniciado. O que não seria possível em um projeto por inovação, no qual não se sabe quais são os componentes antes de projetá-los.

Para a aplicação do modelo nas empresas, se fazem necessárias algumas considerações:

- os conceitos e utilização das ferramentas QFD, FTA, e FMECA devem estar fundamentados na empresa. O modelo proposto, na aplicação em produtos novos, se baseia no uso das ferramentas QFD, FTA e FMECA, pois as utiliza como um auxílio gráfico a fim de ordenar o raciocínio para a análise das falhas visando corrigi-las. Portanto, o uso destas ferramentas, especialmente em novos projetos, é uma premissa para aplicação deste modelo;
- o tamanho da empresa é considerado um fator importante. Uma estrutura maior, poderá tornar a aplicação do MSP mais difícil pois, normalmente, já tem seus procedimentos e cultura enraizados, e maior número de pessoas envolvidas. Portanto, nestes casos, o comprometimento por parte da alta administração, é um fator de grande relevância para tornar possível a aplicação do MSP;
- devido as características do modelo, há a necessidade da utilização das ferramentas do QFD, FTA e FMECA. Para tornar esta utilização adequada, demanda-se recursos humanos dedicados;
- ter claro o conhecimento de que o Modelo é direcionado ao projeto. A solução de problemas de campo, normalmente envolve outras áreas da empresa, tais como processos de manufatura e sistema logístico, entre outros.

Portanto, apesar da aplicação do modelo no Capítulo 5, não ter sido executada totalmente, considerou-se que os objetivos propostos no item 1.1 foram atingidos, pois:

- foi criado um fluxo de trabalho a fim de orientar as atividades do MSP;
- a interpretação dos dados pode ser considerada mais confiável em função dos questionamentos entre defeitos reclamados e constatados, da necessidade de se adquirir as informações relativas às condições de contorno do problema e da maior importância da avaliação das evidências físicas;
- o uso de ferramentas da qualidade como FTA, FMECA e QDF foi premissa deste trabalho;
- a comparação dos resultados de campo com os de laboratórios, foram executadas como base de análise dos dados para a identificação das causas do problema.

## 6.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros

A Seguir, serão propostas algumas sugestões para trabalhos futuros a serem realizados segundo esta linha de pesquisa:

- fazer um estudo visando a aplicação do Modelo Proposto em um projeto de produto novo, visando obter uma real avaliação do mesmo, a qual não foi possível neste trabalho;
- desenvolver um Modelo focado às demais etapas do ciclo de desenvolvimento de produtos, especialmente às áreas de processos de manufatura e sistema logístico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCQ, Associação Brasileira de Controle de Qualidade, **Curso de Preparação para o exame de certificação "Quality Engineer" da American Society for Quality Control**, pg. 244-248, 1995.
- AKAO, Y., **Introdução ao Desdobramento da Qualidade**, V1, Fundação Christiano Ottoni, 1990.
- BACK, N. & FORCELLINI, F., **Projetos de Produtos**. (Apostila do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC), Florianópolis, 1997.
- BAXTER, A. L. & TORTORELLA, M., Dealing with Real Field Reliability. Data: Circumventing Incompleteness by Modeling & Interaction. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1994, p. 255-261.
- BERKE, T. M. & ZAINO, A. N. Warranties: What are they? What do they really cost?. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1991, pg. 326-330.
- BIEDA, J. Reliability Growth Test Management in a Product Assurance Environment Within the Automotive Component Industry. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1991, p. 317-321.
- BLACHE, M. K. & SHRIVASTAVA, B. A., Defining Failure of Manufacturing & Equipment. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1994, p. 69-75.
- BRALL, A. A model for Success in Implementing an R&M Program by a Supplier of Manufacturing Machinery. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1994, p. 59-64.
- BS 5760: **Reliability of Systems, Equipment and Components**. British Standards Institution, London-1985.
- COELHO, E., **Sistema de Informações para Auxílio no Desenvolvimento de Novos Produtos**. Florianópolis, 1998 (Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC).
- CSILLAG, J. M., **Análise de Valor**. 3ª ed., São Paulo, 1991.
- CROW H, L. Franklin H. P., Robbins B. N., Principles of Successful Reliability - Growth Applications. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1994, p. 157-159.

- DEPPE W. R. & MINOR O. E., Reliability Enhancement Testing (RET). In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1994, p. 91-98.
- ENGLISH, J. R. & Yan, L. & Landers, T. L., A Modified Bathtub Curve with Latent Failures. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1995, p. 217-222.
- EMPRESA PESQUISADA, Multibrás S/A Eletrodomésticos – **Resultados da Aplicação da Engenharia Simultânea** – Relatório Técnico Informativo, 1993.
- EMPRESA PESQUISADA, Multibrás S/A Eletrodomésticos – **Roteiro de Execução da Atividades em Projetos de Produtos** – Norma Multibrás, 1997.
- EMPRESA PESQUISADA, Multibrás S/A Eletrodomésticos – **As Áreas Clientes da Engenharia de Produtos e suas Interfaces Técnicas e Organizacionais** – Norma Multibrás, 1997.
- EMPRESA PESQUISADA, Multibrás S/A Eletrodomésticos – **Fluxo de Atividades da Assistência ao Consumidor** – Norma Multibrás, 1997.
- GIUNTINI, R. E. & GIUNTINI, M. E. , Simulating a Weibull Posterior Using Bayes Inference.. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1993, p. 48-55.
- HELMAN, H. & ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas ( Aplicação do Método FMEA e FTA)**, Fundação Cristiano Ottoni, MG, Belo Horizonte, 1995
- HENLEY, E. J. & KUMAMOTO H. **Reliability Engineering and Risk Assessment**, Prentice-Hall, 1981, pp 1-5.
- IRESON, W. G. & COOMBS, C. F., **Handbook of Reliability and Management**, 1988.
- KARPUR, K. C., **Reliability Engineering: Design, Analysis, testing & Management**. In.: **An Education & Training Program**, 1994, pg. 19-20.
- LEDUC, R., **Como Lançar um Produto Novo**. 3ªed. São Paulo, 1986.
- LOLL, V. , From Reliability-Prediction To a Reliability-Budget. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1998, p. 421-427.
- LOVELOCK, C., **Product Plus: Produto + Produto = Vantagem Competitiva**. São Paulo, 1995.
- MARZANO, S., **The High Way – Design**, p. 14-21, fev/1994.
- MILLER, E. P. & MOORE, I. R. Field Reliability Versus Predicted Reliability: An Analysis of Root Causes for the Difference. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1991, p. 405-410.

- MIL-STD-1629 **Failure Mode and Effects Analysis**, Available from the National Technical Information Service, Springfield, Virginia,
- MIL-STD-1629A. **Procedures for performing a FMECA**, Washington, D.C. Department of Defense, 1984.
- MIL-STD-785 **Reliability Programs for Systems and Equipment - Development and Production**, Available from the National Technical Information Service, Springfield, Virginia.
- MIL-HDBK-217 **Reliability Prediction for Electronic Systems**. Available from the National Technical Information Service, Springfield, Virginia.
- O'CONNOR, P. D. T. **Practical Reliability Engineering**, New York: John Wiley & Sons Ltda, 1991.
- ONODERA, K., **Effective Techniques of FMEA at each Life-Cycle Stage**. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1997, p. 50-56.
- PECHT, G. M. **Design for Qualification**. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1993, p. 1-4.
- PECHT, G. M. **Reliability predictions: their use and misuse**. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1994, p. 386-389
- PIZZO, T. J. & ADIB M. R. **Probabilistic FMECA**. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1994, pg. 390-395.
- PEDROSO, D. M. W., **A Ergonomia Cognitiva e a Percepção Humana como base para uma Proposta de Modelo de Sinalização em Ambientes Universitários**. Florianópolis, 1994. (Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC).
- PRICE, C. J. & TAYLOR, N. S., **FMEA for Multiple Failures**. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1998, pg. 43-47.
- SARAWGI, N. & KURTZ, S. K., **A Simple Method for Predicting Cumulative Failures of Customer Products during the Warranty Period**. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1995, pg. 384-390.
- STANDERBERG, K. **IEC 300: The Dependability Counterpart of ISSO 9000**. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1991, p. 463-467.

- STRACENER, J. & BRENNEMAN E, J. Reliability, Maintainability, Supportability, Initiatives: Contributing to the Competitive Edge. In: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1991, p. 137-148.
- TAGUCHI, G, - Taguchi Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção – São Paulo, 1990.
- TALMOR, M. & ARUETI, S., Reliability Prediction: The Turn-over Point. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1997, pg. 254-262.
- TEN, L. M. & XIE, M., Bayes Reliability Demonstration Test Plan for Series-Systems with Binomial Subsystems Data. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1998, pg. 241-246.
- VOLLERT, J. R., **Confiabilidade e Falhas de Campo: Um Estudo de Caso em uma Concessionária**. Florianópolis, 1995. (Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC).
- WOOD, A. P. & ELERATH, T. G., A Comparison of Predict MTBFs to Field and Test Data. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1995, pg. 153-156.
- YANG, K. & KARPUR, K. C. , Customer Driven Reliability: Integration of QFD and Robust Design. In.: **Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1997, pg. 339-345.
- ZACCAI, G., **Design para uma Economia Global**. Forum Internacional Diseño y Marketing de Productos, Montevideo, Set./ 1994.

**BIBLIOGRAFIA**

- CAMPOS, V. F., **Controle de qualidade Total (No Estilo Japonês)**, Rio de Janeiro, 1992.
- CAMPOS, V. F., **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia**, Rio de Janeiro, 1994.
- CHENG, L. C & SCAPIN, C. A., **QFD – Planejamento da Qualidade**. Fundação Christiano Ottoni, 1995.
- CLEMENTS, R. B., **Handbook of Statistical Methods in Manufacturing**. New Jersey, 1991.
- CROSBY, P. B., **Qualidade é Investimento** – Rio de Janeiro, 1988.
- DRUCKER, P. F., **Inovação e Espírito Empreendedor – Práticas e Princípios** – São Paulo, 1987.
- GIANESI, I. N. & CORRÊA, H. L., **Administração Estratégica de Serviços – Operações para a Satisfação do Cliente** – São Paulo, 1994.
- MARDEGAN, S., **Uma Contribuição ao Processo de Tomada de Decisão Visando a Extensão do Prazo de Garantia**. Florianópolis, 1999. (Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC).
- MARQUES, J. M., **Produtividade – Alavanca para a competitividade** – São Paulo, 1995.
- PALADINI, E. P., **Qualidade Total na Prática – Implementação e Avaliação de Sistemas de Qualidade Total**. São Paulo, 1994.
- PALADINI, E. P., **Gestão da Qualidade no Processo – A Qualidade na Produção de Bens e Serviços**. São Paulo, 1995.
- PEDROSO, M. A. R., **Método de Avaliação de Aspectos Ergonômicos em Produtos de Consumo**. Florianópolis, 1998. (Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC).
- R&M, **Annual Reliability and Maintainability Symposium** – Las Vegas Nevada, 1992.
- VALENTINA, L.V.O.D., **Desenvolvimento de um Modelo Integrado de Engenharia de Processos com Melhoria Contínua para o Redesenho de Processos**. Florianópolis, 1998. (Tese de Doutorado do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC).

**ANEXO 1 : Lista de tarefas proposta pela Norma IEC**

**(International Electrotechnical Commission) para um programa de confiabilidade.**

ELEMENTOS	TAREFAS
1- Planejamento e Gerência	Planos de Confiabilidade & Manutenibilidade, Gerência de Decisão de Projeto, Gerência de acompanhamentos
2- Contrato	Revisões de Contrato, Ligações representativas
3- Requisitos de C&M	Pesquisa de Mercado e Planejamento de Produto, Especificações, Revisões e Alocações dos Requisitos
4- Engenharia	Engenharia da Confiabilidade, Engenharia da Manutenibilidade, Engenharia de Suporte da Manutenção, Engenharia de Testes, Engenharia de Fatores Humanos (Ergonomia)
5- Produtos fornecidos externamente	Produtos fornecidos por Fornecedores Externos
6- Análise de Projeto, Predições e Revisões de Projeto	FMEA, Arvore da Falha, Análise de Estresse e Carga, Análise de Causa - Efeito, Predições, Análise de Trade-off, Análise dos Riscos e Revisões de Projeto
7- Verificação, Validação e Testes	Planejamento, Teste de Vida, Teste de Confiabilidade e Manutenibilidade, Testes de Crescimento da Confiabilidade, Testes de Produção, Testes de Aceitação, Burn-in e Triagem de Estresse Ambiental
8- Programa do Custo do Ciclo de Vida	
9- Planejamento de Suporte da Manutenção	Planejamento, Instalação, Suporte de Serviços, Engenharia de Suporte, Otimização de Peças de Reposição
10- Controle de Mudanças	Programas de melhorias, Aquisição de Dados, Análise de Dados

**ANEXO 2 : Tarefas do Programa de Confiabilidade e a Fase do Ciclo  
de Vida de Aplicação, utilizado pela General Motors.**

<b>Matriz Genérica do Programa de Confiabilidade &amp; Manutenibilidade</b>					
<b>FASES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Requisitos de Confiabilidade	X				
Requisitos de Manutenção	X				
Definição de Falha	X				
Definição dos Ambientes	X				
Margem de Projeto		X			
Projeto para Manutenibilidade		X			
Predição da Confiabilidade		X			
FMEA e Árvore de Falha		X			
Revisões de Projeto		X			
Estudos de Tolerâncias			X		
Análise de Estresse			X		
Teste de Qualificação da Confiabilidade			X		
Teste de Aceitação			X		
Teste de Crescimento da Confiabilidade				X	
Registro de Falhas				X	
<i>Feed back</i> do Campo				X	
<b>1- Concepção</b> <b>2- Projeto &amp; Desenvolvimento</b> <b>3- Produção e Instalação</b> <b>4- Operação</b> <b>5- Distribuição</b>					

ANEXO 3: Matriz FMEA ( MIL-STD-1629 e a MIL-STD-1629A )

Sistema:  
Desenho n°:  
Objetivo:

Data:  
Aprovação:

N° Identificação	Nome Item	Função	Modos de Falhas e Causas	Objetivo	Efeito da Falha			Método de Detecção da Falha	Ações a Tomar	Severidade	Observação
					Efeito Local	Efeito Seguinte	Efeito Final				

Fig. a

Sistema:  
Desenho n°:  
Objetivo:

Data:  
Aprovação:

Nome Item	Função	Modos de Falhas e Causas	Objetivo	Severidade	Taxa de Falha / Probabilidade falha	Probabilidade de Efeito da Falha (a)	Razão do Modo de Falha ( $\lambda$ )	Tempo de Operação ( $\beta$ )	Modo Falha Crítico ( $m = \beta a \lambda$ )	Ítem Crítico ( $C = \Sigma(Cm)$ )	Observação

Fig. b

Sistema:  
Desenho n°:  
Objetivo:

Data:  
Aprovação:

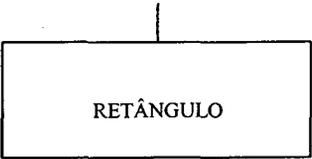
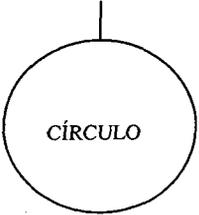
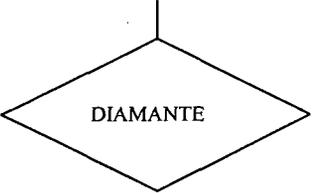
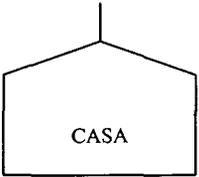
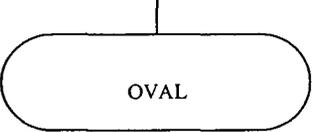
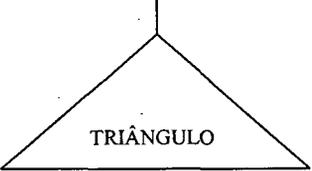
Nome Peça	Função	Falhas em Potencial			Formas de Controle	Formas de Validação	Índices				Ações / Resp / Data	Índices			Obs.			
		Tipo	Efeito	Causa			Ocorr	Severid	Detec	Risco		Ocorr	Severid	Detec		Risco		

Fig. c

### ANEXO 4: Exemplo de Formulário da FMEA

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS <input type="checkbox"/> PROJETO DE PRODUTO <input type="checkbox"/> PROJETO DE PROCESSO		DIVISÃO  FOLHA															
<input type="checkbox"/> PROJETO DE PRODUTO <input type="checkbox"/> PROJETO DE PROCESSO <input type="checkbox"/> REVISÃO DO PROJETO DO PRODUTO <input type="checkbox"/> REVISÃO DO PROJETO DO PROCESSO		DATA DA ELABORAÇÃO  DATA DA PRÓXIMA REVISÃO															
CLIENTE REF. (2)		ÁREAS ENVOLVIDAS															
APLICAÇÃO		FORNECEDOR															
DATA ULT. REV. PROJ.		PRODUTO / PROCESSO															
ITEM	NOME DO COMPO-NENTE/ PROCESSO	FUNÇÃO DO COMPO-NENTE/ PROCESSO	FALHAS POSSÍVEIS		ATUAL			AÇÃO CORRETIVA			RESULTADO			RESPON-SÁVEL			
			MODO	EFEITO(S)	CAUSA(S)	CONTROLES ATUAIS			ÍNDICES			RECOMEN-DAÇÕES			ÍNDICES REVISADOS		
(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA • MUITO REMOTA ..... 1 • MUITO PEQUENA ..... 2 • PEQUENA ..... 3 • MODERADA ..... 4, 5, 6 • ALTA ..... 7, 8 • MUITO ALTA ..... 9, 10			GRAVIDADE • APENAS PERCEPTÍVEL ..... 1 • POUCA IMPORTÂNCIA ..... 2 e 3 • MODERADAMENTE GRAVE ..... 4 a 6 • GRAVE ..... 7 e 8 • EXTREMAMENTE GRAVE ..... 9 e 10			PROBABILIDADE DE DETECCÃO • MUITO ALTA ..... 1 • ALTA ..... 2 e 3 • MODERADA ..... 4 a 6 • PEQUENA ..... 7 e 8 • MUITO PEQUENA ..... 9 • REMOTA ..... 10			RISCO • BAIXO ..... 1 a 135 • MODERADO ..... 135 a 500 • ALTO ..... 501 a 1000								

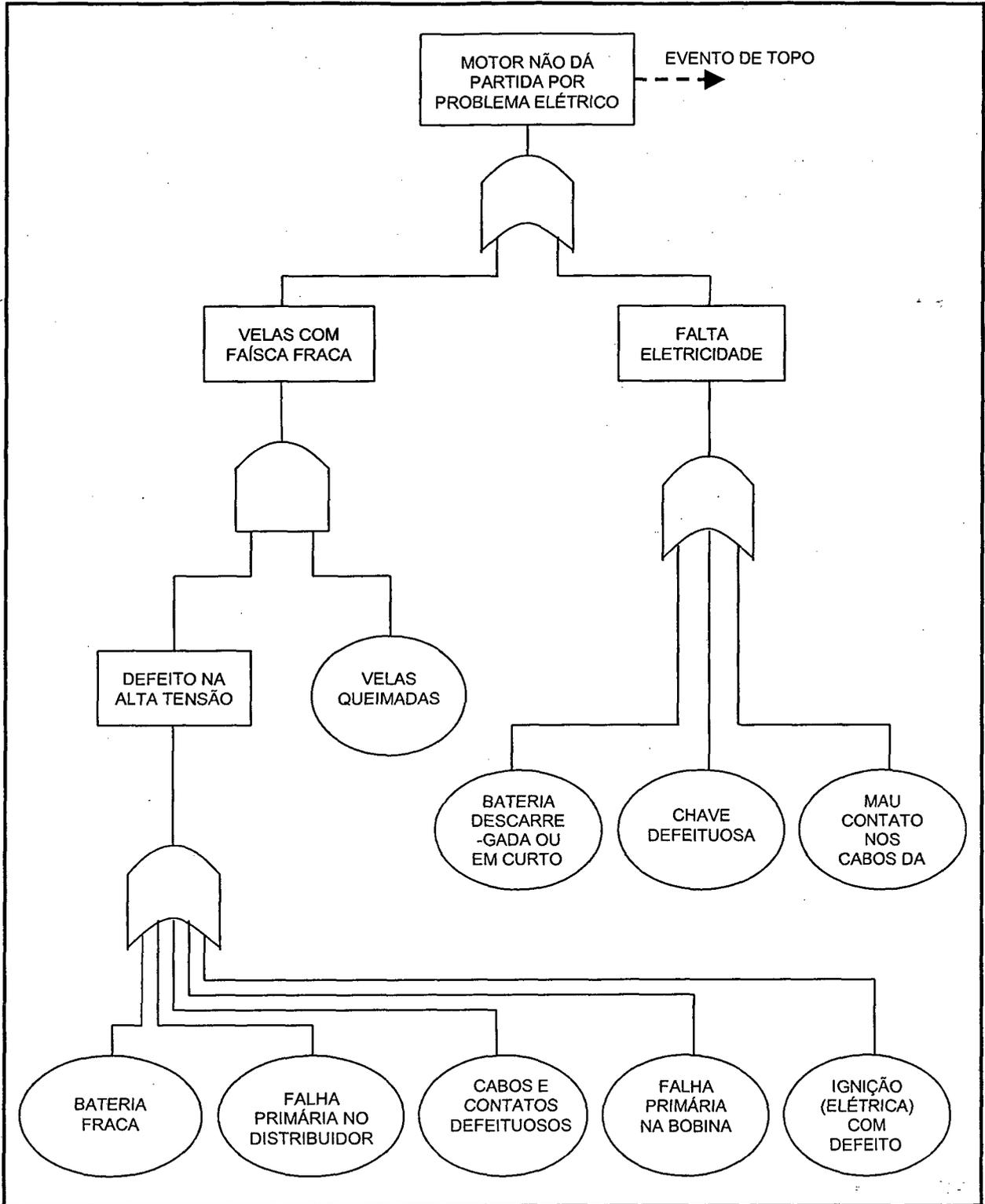
## ANEXO 5: Símbolos de Eventos

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
 <p>RETÂNGULO</p>	EVENTOS QUE SÃO SAÍDAS DE PORTAS LÓGICAS
 <p>CÍRCULO</p>	EVENTOS ASSOCIADOS A FALHAS BÁSICAS
 <p>DIAMANTE</p>	EVENTOS NÃO REALIZADOS ( OMITIDOS )
 <p>CASA</p>	PARÂMETRO ASSOCIADO A UM EVENTO QUE DEVE SER MONITORADO
 <p>OVAL</p>	EVENTO CONDICIONAL: USADO EM JANELAS DE INIBIÇÃO
 <p>TRIÂNGULO</p>	

## ANEXO 6: Símbolos de Portas Lógicas

SÍMBOLO	NOME	RELAÇÃO CAUSUAL
	<b>E</b>	EVENTO DE SAÍDA SÓ OCORRE SE TODOS OS DE ENTRADA OCORREREM
	<b>OU</b>	EVENTO DE SAÍDA OCORRE SE PELO MENOS UM DOS DE ENTRADA CORRER
	<b>INIBIÇÃO</b> (CONDICIONAL)	EVENTO DE SAÍDA SÓ CONDUZ AO DE SAÍDA SE O CONDICIONAL CORRER
	<b>E</b> (PRIORIDADE)	EVENTO DE SAÍDA OCORRE SE OS DE ENTRADA OCORREREM NA ORDEM DA ESQUERDA PARA A DIREITA
	<b>OU</b> (EXCLUSIVA)	EVENTO DE SAÍDA OCORRE SE UM, MAS NÃO AMBOS, DOS DE ENTRADA OCORRER
	<b>M em N</b>	EVENTO DE SAÍDA OCORRE SE M EM N DOS DE ENTRADA OCORREREM

Anexo 7 - Exemplo de uma Árvore de Falhas ( Helman & Andery, 1995 )



## Anexo 8 - Análise das Falhas da Console na Distribuição Lognormal

### Distribution Analysis

Variable: Tempo de

Censoring Information	Count
Uncensored value	8
Right censored value	1330

Distribution: Lognormal base e  
Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Location	20.146	3.692	12.910	27.382
Scale	4.319	1.431	2.256	8.269

Log-Likelihood = -59.70

Characteristics of Distribution

Mean =	6.3207E+12	Median =	561563613
Standard Deviation =	7.1143E+16	IQR =	1.0313E+10
		Q1 =	30487989
		Q3 =	1.0344E+10

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
0.01	59.2822	103.8923	1.9107	1839.328
0.10	896.3049	839.0975	143.0813	5614.728
1.00	24289.62	15151.54	7152.416	82487.60
2.00	78847.34	70256.48	13750.82	452111.3
3.00	166430.4	182973.0	19294.09	1435624
4.00	291944.5	369447.0	24441.63	3487148
5.00	461137.7	647570.4	29410.19	7230416
6.00	680473.2	1037275	34299.43	13500043
7.00	957136.4	1560825	39165.10	23390978
8.00	1299080	2243112	44042.58	38317673
9.00	1715090	3111974	48956.43	60084705
10.00	2214859	4198537	53924.92	90970958
20.00	14811809	37119888	108996.2	2012820492
30.00	58301542	172065172	179279.8	1.8960E+10
40.00	187995330	626698393	273271.6	1.2933E+11
50.00	561563613	2073273358	404382.6	7.7984E+11
60.00	1677454921	6795529899	597519.7	4.7092E+12
70.00	5409011209	2.3994E+10	906215.4	3.2285E+13
80.00	2.1291E+10	1.0405E+11	1473643	3.0760E+14
90.00	1.4238E+11	7.8498E+11	2887655	7.0203E+15
91.00	1.8387E+11	1.0292E+12	3160917	1.0696E+16
92.00	2.4275E+11	1.3811E+12	3487072	1.6899E+16
93.00	3.2948E+11	1.9077E+12	3884560	2.7945E+16
94.00	4.6343E+11	2.7355E+12	4382131	4.9010E+16
95.00	6.8386E+11	4.1244E+12	5027650	9.3019E+16
96.00	1.0802E+12	6.6776E+12	5908234	1.9749E+17
97.00	1.8948E+12	1.2065E+13	7204364	4.9835E+17
98.00	3.9995E+12	2.6454E+13	9376724	1.7060E+18
99.00	1.2983E+13	9.0921E+13	14201855	1.1869E+19

## Anexo 9 - Análise das Falhas do Console na Distribuição Weibull

### Distribution Analysis

Variable: Tempo de

Censoring Information	Count
Uncensored value	8
Right censored value	1330

Distribution: Weibull

#### Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	0.6872	0.2427	0.3439	1.3733
Scale	18678660	50064097	97698	3571139377

Log-Likelihood = -59.94

#### Characteristics of Distribution

Mean =	24070990	Median =	10957891
Standard Deviation =	35957134	IQR =	26996497
		Q1 =	3047870
		Q3 =	30044368

#### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
0.01	28.2410	61.1526	0.4052	1968.164
0.10	805.9136	849.2752	102.1618	6357.528
1.00	23135.02	13399.98	7434.427	71993.31
2.00	63900.72	51725.90	13076.19	312270.0
3.00	116136.2	113999.2	16960.11	795254.9
4.00	177837.7	197858.6	20090.68	1574176
5.00	247926.7	301937.2	22787.10	2697477
6.00	325727.2	425354.7	25194.33	4211196
7.00	410782.2	567519.5	27392.21	6160218
8.00	502769.2	728031.2	29430.16	8589042
9.00	601456.4	906626.1	31341.24	11542296
10.00	706676.1	1103143	33148.84	15065116
20.00	2105983	4063228	47992.04	92414594
30.00	4167222	9012280	60115.71	288871878
40.00	7028233	16462873	71285.14	692936292
50.00	10957891	27347282	82301.65	1458966768
60.00	16447483	43358861	93791.09	2884279156
70.00	24471074	67882182	106522.2	5621679261
80.00	37332102	109036021	121891.9	1.1434E+10
90.00	62865827	195014388	143855.1	2.7473E+10
91.00	67094841	209654795	146857.0	3.0654E+10
92.00	71923106	226483383	150128.8	3.4457E+10
93.00	77522106	246139793	153738.5	3.9090E+10
94.00	84146460	269577869	157784.1	4.4875E+10
95.00	92197021	298306481	162415.1	5.2337E+10
96.00	102357237	334912243	167877.5	6.2409E+10
97.00	115935226	384377576	174621.7	7.6972E+10
98.00	135945078	458273566	183631.1	1.0064E+11
99.00	172365657	595334289	197917.0	1.5011E+11

## Anexo 10 - Análise das Falhas da Chave FF na Distribuição Weibull

### Distribution Analysis

Variable: tempo fa

Censoring Information		Count		
Uncensored value		4		
Right censored value		1334		
Distribution: Weibull				
Parameter Estimates				
Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	1.0009	0.5001	0.3759	2.6649
Scale	3630002	10684906	11334	1162565453

Log-Likelihood = -31.24

#### Characteristics of Distribution

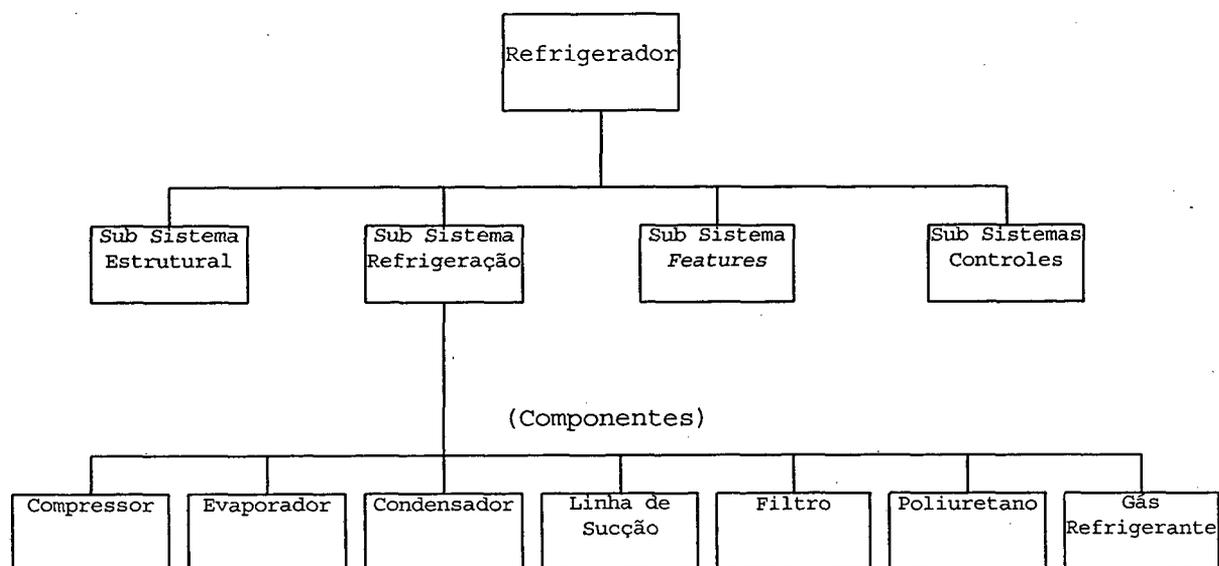
Mean =	3628571	Median =	2516987
Standard Deviation =	3625185	IQR =	3985216
		Q1 =	1045502
		Q3 =	5030718

#### Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
0.01	366.1525	647.5771	11.4348	11724.56
0.10	3655.308	2707.774	855.7994	15612.63
1.00	36639.72	28735.34	7877.392	170420.5
2.00	73603.44	79203.84	8931.606	606550.1
3.00	110927.9	139902.5	9364.899	1313948
4.00	148627.0	207575.2	9622.627	2295629
5.00	186711.7	280741.3	9801.609	3556686
6.00	225192.0	358554.7	9936.976	5103305
7.00	264077.5	440473.9	10045.03	6942434
8.00	303378.1	526127.6	10134.54	9081640
9.00	343103.3	615250.2	10210.73	11529036
10.00	383263.1	707645.8	10276.92	14293242
20.00	811146.4	1792073	10679.04	61612131
30.00	1295977	3159503	10900.01	154087592
40.00	1855461	4849589	11058.09	311331862
50.00	2516987	6955388	11186.35	566334866
60.00	3326409	9648261	11299.58	979239569
70.00	4369667	13261294	11407.15	1673860728
80.00	5839669	18557594	11518.53	2960597542
90.00	8351885	28016547	11652.36	5986254774
91.00	8733682	29490180	11668.83	6536833568
92.00	9160475	31147271	11686.35	7180538051
93.00	9644312	33037742	11705.20	7946278611
94.00	10202832	35234956	11725.73	8877720785
95.00	10863384	37853079	11748.53	1.0045E+10
96.00	11671784	41084204	11774.50	1.1570E+10
97.00	12713916	45290290	11805.30	1.3692E+10
98.00	14182584	51289151	11844.45	1.6982E+10
99.00	16692967	61714050	11902.38	2.3412E+10





**Anexo 13 - Desdobramento do Produto em Componentes.**

Anexo 14 - QFD - Matriz da Qualidade

