DANIELLI VILLAR LEMES

PROPOSTA DE MÉTODO DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE
SISTEMAS ELETRÔNICOS EMPREGANDO DADOS DE RETORNO
EM GARANTIA.

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia.

São Paulo
2006

DANIELLI VILLAR LEMES

PROPOSTA DE MÉTODO DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE
SISTEMAS ELETRÔNICOS EMPREGANDO DADOS DE RETORNO
EM GARANTIA.

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Doutor
Gilberto F. Martha de Souza

São Paulo
2006

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de julho de 2006

Danielli Villar Lemes

Gilberto F. M. de Souza

FICHA CATALOGRÁFICA

Lemes, Danielli Villar

**Proposta de método de análise de confiabilidade de sistemas eletrônicos empregando dados de retorno em garantia / D.V. Lemes. -- São Paulo, 2006.
p. 149**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.Confiabilidade (Análise) 2.Garantia I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.

Dedico este trabalho ao meu marido, companheiro e amigo Vinícius Rico, que me forneceu condições financeiras, físicas e psicológicas para a execução e conclusão deste trabalho. Além da compreensão e paciência que ele me dedicou, nas viagens e nas madrugadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza pelos ensinamentos, incentivos e confiança. E pela amizade e atenção que com certeza não se findarão com a conclusão deste trabalho.

Aos colaboradores, Marcelo Ghizoni, Cabral, Cidral, Wendel, Figueiredo e Joinch que disponibilizaram tempo e dedicação para que fosse possível a execução deste trabalho.

Ao FDTE que me forneceu a bolsa para que eu pudesse me manter enquanto realizava este trabalho.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

E, finalmente a DEUS que me dá saúde para execução de todas as minhas tarefas.

RESUMO

Atualmente, a grande concorrência de mercado faz com que as empresas busquem maior confiabilidade e qualidade em seus produtos, aumentando assim a confiança e fidelidade de seus clientes. Além disso a diminuição dos gastos com garantia e a possibilidade de extensão da mesma é um grande diferencial de mercado, e pode ser obtido com a realização de estudos de confiabilidade dos sistemas e equipamentos. Este trabalho propõe um método para esse estudo e apresenta um caso exemplo, aplicando o método sugerido, e, propondo melhorias.

O presente trabalho reúne conceitos básicos de confiabilidade, apresentando as ferramentas mais utilizadas e explana sobre análise de dados de retorno em garantia. São propostas também algumas soluções para vencer as dificuldades possíveis de serem encontradas.

O método consiste em adequar os dados obtidos, de um banco de dados qualquer, para se realizar uma análise de confiabilidade partindo do conhecimento do produto através de materiais apropriados e da execução da árvore funcional, seguida da Análise de Modos e Efeitos de Falha, e, realizando a análise dos dados de garantia, classificando o tipo de registro, como suspenso, completo ou agrupado, e atribuindo a aproximação dos dados a uma distribuição estatística adequada para se calcular os parâmetros e obter a confiabilidade do equipamento ou sistema. A partir dessa análise dos dados é possível se obter relações de sazonalidade entre falhas, entre falhas e lotes de produção, entre tempos até a falha, além de estimativas de confiabilidade e taxa de falha, entre outras. Além disso, é possível se realizar a validação da análise de modos e efeitos de falha a partir dos dados de retorno em garantia.

A aplicação do método é realizada através de um caso exemplo, central telefônica. O estudo segue o modelo proposto e, de posse da estimativa de confiabilidade, é possível se calcular os custos de garantia e realizar melhorias, principalmente no banco de dados de retorno em garantia, para que a análise seja cada vez mais precisa.

ABSTRACT

Nowadays, the great market competition makes that the companies look for higher reliability and quality in their products, the customers' fidelity trust. Besides the decrease of the expenses with warranty makes possible its extension which is a great market differential this objective can be accomplished with product reliability – based analysis. The objective of this work is to propose a method for that study and to present an example of analysis, proposing improvements and validation the suggested method.

The present work gathers basic reliability concepts, presenting the most used tools for data associated with warranty period.

The method consists on adapting the failure data, of any database, to develop a reliability analysis, following basic steps such as product analysis based on functional trees, followed by the Failure Mode, Effects and Analysis, to define the critical components and, to accomplish the analysis of the warranty data, the failure data are classified as suspended complete or contained, and an appropriate statistical distribution is adjusted to evaluate the reliability of the equipment or system. Starting from that data analysis it is possible to obtain seasonal relationships among faults, between faults and production lots, among times to failures. Besides, it is possible to validate the Failure Mode, Effects and Analysis based on warranty registers.

The application of the method is demonstrated through an example, involving the reliability analysis of an analogic PABX of. The study follows the proposed model and, based on reliability estimative, it is possible to calculate the warranty costs and to propose possible product and data collection improvements, mainly in the warranty database in order to improve the reliability analysis results.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

FICHA CATALOGRÁFICA 3

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... 1

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Considerações Iniciais:..... 1

1.2 Objetivo do Trabalho 4

1.3 Organização do Trabalho 5

2. CONCEITOS BÁSICOS DE CONFIABILIDADE 6

2.1 Considerações Iniciais..... 6

2.2 Conhecimento do Produto..... 12

2.3 Análise de Falha 16

2.4 Tipos de Registros..... 28

2.5 Modelos Estatísticos 32

2.6 Cálculo dos Parâmetros de Distribuição de Probabilidade: 37

2.7 Intervalos de Confiança..... 43

3. ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE SISTEMAS ELETRÔNICOS A
PARTIR DE DADOS DE RETORNO DE GARANTIA 45

3.1 Considerações Iniciais..... 45

3.2 Proposta de Método para Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos
baseado em Dados de Garantia 51

3.2.1. Conhecimento do Produto..... 52

3.2.2 Modos de Falha 53

3.2.3. Tipos de Registros..... 56

3.2.4. Modelos Estatísticos 56

3.2.5. Cálculo dos Parâmetros..... 56

4. CASO EXEMPLO: ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE UMA
CENTRAL TELEFÔNICA..... 65

4.1. Panorama do Mercado..... 65

4.2. Centrais Telefônicas 68

4.3. Análise de Confiabilidade de uma Central Telefônica Digital 72

4.3.1. Componentes e Lógica de Operação..... 72

4.3.2. Análise de Modos e Efeitos de Falha 78

4.4.3. Análise de Dados de Garantia 84

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS 101

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 103

ANEXO I – TABELAS DE FMEA PARA CENTRAL TELEFÔNICA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Fatores influentes em uma Análise de Confiabilidade, Khan (2001)	3
Figura 2-1 – Custo do Produto X Confiabilidade, Murad (2005).....	7
Figura 2-2 – Histograma de dados de falha, Ryabinin (1976).	8
Figura 2-3 – Função de Probabilidade Acumulada $F(t)$, Leitch (1995).....	9
Figura 2-4 - Função de Confiabilidade $R(t)$, Leitch (1995).	9
Figura 2-5 – Representação da Curva da Banheira, Castro (2003).....	10
Figura 2-6 – Proposta de Fluxograma de Análise de confiabilidade.	12
Figura 2-7 – Ferramentas para Conhecimento do produto.....	13
Figura 2-8 – Arranjo Geral de uma Árvore Funcional, Massarani (2003).....	15
Figura 2-9 – Fluxo de Estudo dos Modos de Falha, ReliaSoft (2005b) – Adaptado .	16
Figura 2-10 – Diagrama de Ishikawa – Mello et al (2002) - Adaptado.	27
Figura 2-11 – Tipos de Registros.	29
Figura 2-13 – Dados Suspensos ou Censurados, Lafraia (2001) – Adaptado.....	31
Figura 2-14 – Dados Completos, Lafraia (2001) - Adaptado.	32
Figura 2-15 – Modelos Estatísticos de Distribuições de Probabilidade.....	32
Figura 2-16 – Funções Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade da Distribuição Exponencial, Nelson (1982).	33
Figura 2-17 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade da Distribuição Normal, Nelson (1982).....	34
Figura 2-18 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade da Distribuição Lognormal, Nelson (1982).	35
Figura 2-19 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade para a Distribuição de Weibull, Nelson (1982).	36
Figura 2-20 – Métodos de Cálculo dos Parâmetros de Distribuições de Probabilidade.	37
Figura 2-21 – Método Gráfico para Distribuição Exponencial.....	38
Figura 2-22 – Método dos Mínimos Quadrados, ReliaSoft (2005a).....	42
Figura 2-23 – Número de Elementos da Amostra X Amplitude do Intervalo de Confiança – ReliaSoft (2006b).....	44
Figura 3-1- Gráfico de reposição imediata de elementos falhos, Jensen (1995).	48
figura 3-2 – Conceitos de Componente, elemento e sistema, Jensen (1995).....	49
Figura 3-3- Renovação de componentes em função do tempo, Jensen (1995).....	50
Figura 3-4 – Fluxo de Análise de Confiabilidade Sugerido, baseado na Figura 2-6.	52
Figura 3-5 – Fluxograma para Análise do tipo FMEA sugerido.	53
Figura 3-6 – Exemplo de Árvore Funcional para Controle Remoto.....	54
Figura 3-7 – Proposta de adequação para o estudo do Banco de Dados.....	57
Figura 3-8 – Fluxo da proposta para Tratamento dos Dados.	59
Figura 3-9 – Relação entre Lotes de Produção e Falhas registradas com exemplo: meses 1 e 5.	60
Figura 3-10 – Exemplo de Diagrama de Pareto para Tipos de Defeitos, Martins (2001).	63
Figura 3-11 – Exemplo de Curva ABC, Martins (2001).....	64
Figura 4-1 – Utilização do Serviço Telefônico Fixo Comutado (STFC), Anatel (2005).....	65
Figura 4-2 – Estudo sobre as principais características de uma central telefônica, Lobo (2005).....	66

Figura 4-3- Cartão postal francês do final do século XIX. O homem está tentando falar com as telefonistas, Martins (2002).	68
Figura 4-4 - O sistema Strowger de comutação automática: esquema, Martins (2002)	70
Figura 4-5 - Representação esquemática de um dispositivo de comutação com 100 linhas, cada uma delas ligada a um telefone, Martins (2002)	70
Figura 4-7 – Árvore Funcional da Central Estudada	74
Figura 4-8 – Datas determinadas para o caso em estudo.	85
Figura 4-9 – Período definido para o Estudo.	86
Figura 4-10 – Fluxo da análise de Dados para o Caso exemplo.	87
Figura 4-11 - Relação de falhas por meses do ano.	88
Figura 4-12 - Relação entre falhas e Lotes de Produção.	90
Figura 4-13 - Relação entre meses de Produção e de falha dos equipamentos.	93
Figura 4-14 – Gráfico que apresenta o número de ocorrência de falhas em função dos meses de utilização do equipamento.	94
Figura 4-15 – Confiabilidade da Central Telefônica obtida a partir dos dados de Assistência Técnica.	96
Figura 4-16 – Diagrama de Pareto para as Falhas dos Componentes	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Informações para Elaboração da Análise de Modos e Efeitos das Falhas Reliasoft (2005b) - Adaptado.....	20
Tabela 2.2 – Classificação de Severidade conforme Norma SAE J-1739, ReliaSoft (2005b).	21
Tabela 2.3 - Classificação de Ocorrência, Norma SAE J-1739, ReliaSoft (2005b). .	22
Tabela 2.4 - Classificação de Detecção, Norma SAE J-1739, ReliaSoft (2005b).	23
Tabela 3.1 – Evolução da Confiabilidade dos Componentes, Băjenescu e Băzu (1999).	47
Tabela 3.2 – Análise do tipo FMEA com Estruturação e Identificação do exemplo: Controle Remoto.	55
Tabela 3.3 - Análise do tipo FMEA com incluindo a Avaliação do exemplo: Controle Remoto.	55
Tabela 4.1 – Descritivo Funcional de cada componente, subsistema ou sistema da árvore funcional	75
Tabela 4.2 - Modos de Falha de Componentes Tipicamente Encontrados em Sistemas Eletro-eletrônicos. (MIL – HDBK – 338B 1988) – Adaptada e Traduzida.....	79
Tabela 4.3 - Formulário Simplificado para Execução da Análise de Modos e Efeitos de Falha de Centrais Telefônicas.	81
Tabela 4.4 – Exemplo da Análise do tipo FMEA para Bloco de Bateria da memória RAM.....	83
Tabela 4.5 – Análise Sazonal das falhas registradas durante os meses do ano.....	88
Tabela 4.6 – Percentagem de equipamentos que apresentaram falhas durante o período estudado e durante o período de garantia.....	89
Tabela 4.7 – Consistência dos Dados.....	91
Tabela 4.8 - Exemplo de Relação entre lote de Produção e Falhas	92
Tabela 4.9 – Relação entre mês de produção e falhas durante o período de garantia.	94
Tabela 4.10 – Estimativa do MTTF em horas calendárias.....	97
Tabela 4.11 – MTTF estimado para a Central Telefônica.	97
Tabela 4.12 – Custos de Garantia	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA	Failure Mode, Effects and Analysis
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTF	Mean Time To Failure
SAE	Society of Automotive Engineering
ISO	International Standards Organization
FMECA	Failure Mode and Effects Criticality Analysis
NPR	Número de Prioridade de Risco
CPA	Central de Programa Armazenado

LISTA DE SÍMBOLOS

$F(t)$	Função de Probabilidade de Falha
$f(t)$	Função Densidade de Probabilidade de Falha
$R(t)$	Função Confiabilidade
λ	Taxa de Falha
σ_t	Desvio Padrão da População
μ_t	Média da População
σ'_t	Desvio Padrão no domínio logarítmico
μ'_t	Mediana da População
β	Constante de Forma ou Inclinação da Distribuição
η	Constante de Escala ou Vida Característica
γ	Parâmetro de Localização – Determina a Vida Mínima
α	Escala das Funções Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade para Distribuição de Weibull.
t	Tempo
x	Dados de tempos até a falha
θ_n	Parâmetros do Método da Máxima Verossimilhança
L	Função de Verossimilhança
Λ	Função Log-verossimilhança
n	Número de dados total
m	Número de dados suspensos
$\hat{\lambda}$	Estimador de Máxima Verossimilhança
ρ	Coefficiente de Correlação
$\sigma_{x,y}$	Covariância de x e y
σ_x	Desvio Padrão de x
σ_y	Desvio Padrão de y
$m(t)$	Função de Renovação
$n(t)$	Número de Falhas

$E[]$	Valor esperado (exemplo: média)
μ	Valor médio de tempo de vida de componentes do mesmo tipo na população
$\varepsilon(t)$	Resíduo que tende a zero, quando t tende a infinito
d	Tempo de valor independente
σ^2	Variância de distribuição de tempo de vida do componente, permite prever a expectativa total do número de falhas e reparo a longo prazo.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais:

A análise de confiabilidade de componentes eletrônicos, passou a ser objeto de estudo no decorrer da Segunda Guerra Mundial, pois em função do desenvolvimento de armamentos mais complexos como as bombas V1 e V2, a indústria bélica passou a necessitar de mais confiança nos equipamentos produzidos; para isso havia a necessidade de se estimar a vida ou mesmo a probabilidade de um equipamento operar com sucesso. Esse conceito foi amplamente utilizado, principalmente com o desenvolvimento de sensores empregados em componentes de sistemas de navegação e comunicação utilizados pelo exército norte-americano. As técnicas de análise desenvolvidas, na época, têm sido, constantemente, aprimoradas e passaram a ser empregadas em outros setores industriais, como a indústria aeronáutica e a eletro-eletrônica, em geral, incluindo bens de consumo tais como televisores, computadores ou mesmo telefones celulares, Souza (2003).

Após o fato histórico, iniciou-se o desenvolvimento dos sistemas empregados em usinas termelétricas que usam combustível nuclear onde devido aos efeitos extremamente severos de vazamento de material radioativo, foram utilizados como requisitos de projeto conceitos e técnicas de confiabilidade.

A princípio entendia-se que projetar um equipamento confiável significava selecionar corretamente os componentes e empregá-los conforme recomendações do fabricante. Entretanto, com o aumento da sofisticação e da severidade das consequências das falhas de sistemas eletrônicos, passou-se a empregar técnicas mais sofisticadas de predição de confiabilidade de um sistema, ainda em suas fases iniciais de projeto, as quais são complementadas com a execução de experimentos que visam simular a operação do sistema. A partir dos resultados destes experimentos avalia-se a confiabilidade do mesmo verificando-se se as exigências de projeto foram atingidas e, caso contrário, realizam-se modificações no projeto, a fim de se obter um aumento de confiabilidade.

O projeto de um equipamento deve ser executado a fim de garantir que o mesmo permaneça operacional por um período de tempo específico, sem apresentar falhas que causem a interrupção parcial ou total de sua operação, considerando como

requisito de projeto as condições ambientais associadas com a sua operação, bem como condições específicas de utilização do mesmo.

Uma maneira de definir confiabilidade é: a capacidade de um componente / sistema executar a função para a qual foi projetado, por um período de tempo específico, sob condições previamente definidas.

A análise da confiabilidade deve definir os seguintes pontos:

- Principais modos de falha associados aos componentes do sistema;
- Comportamento estatístico destes modos de falha;
- Progressão da falha de um componente ao longo do sistema e as suas conseqüências sobre a operacionalidade do mesmo.

Vale ressaltar que a confiabilidade é um estudo baseado em dados probabilísticos, mas com a aplicação de metodologias estatísticas adequadas, é possível obter, na maior parte dos casos, resultados com aproximação aceitável.

Assim, um conceito de confiabilidade é a “probabilidade de um sistema ou item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo pré- determinado”, Lewis (1996).

Confiabilidade é, também, uma maneira de “prever” o futuro do produto, envolvendo produção, técnicos, engenheiros, gerentes, diretores e demais conhecedores do produto, de modo que todos contribuam com seus conhecimentos para a realização de uma boa análise. A Figura 1-1 ilustra os fatores que influenciam uma análise de confiabilidade.

Figura 1-1 – Fatores influentes em uma Análise de Confiabilidade, Khan (2001) .

A Figura 1-1 mostra a importância de uma análise de confiabilidade no aumento dos lucros da organização, mostra também que a confiabilidade é influenciada pela mão de obra utilizada, pelas máquinas envolvidas no processo de manufatura, pela liderança da mão de obra e pelo procedimento de trabalho adotado, considerando o ambiente de trabalho e a priorização de tarefas. Por isso, uma análise de confiabilidade de projeto deve contemplar todos esses fatores.

A confiabilidade deve ser implementada desde o início do projeto, quando se pode especificar e executar testes nos componentes. Na fase intermediária do desenvolvimento, o teste de protótipos e, na fase final de desenvolvimento, realização de testes no produto.

Na fase de produção, são realizados treinamentos de montagem, para que a manufatura do equipamento seja executada conforme o projeto e as confiabilidades

de liderança e humana no processo aumentem, e permitam avaliar modificações e melhorias. Por fim, no pós-venda, a confiabilidade, utilizando-se de dados de garantia, determina o tempo médio até a falha do produto e propõe alterações de projeto, reiniciando-se o ciclo de projeto, com objetivo da revisão do mesmo.

Atualmente, a concorrência acirrada e o mercado consumidor exigente fazem com que as empresas busquem a cada dia uma nova solução para a redução da probabilidade de falha dos sistemas, utilizando ferramentas de confiabilidade.

1.2 Objetivo do Trabalho

O objetivo deste trabalho é a proposta de um procedimento de estimação da confiabilidade de equipamentos eletrônicos empregando-se o banco de dados relativo às falhas observadas em produtos, durante o período de garantia, utilizando ferramentas e critérios para propor melhorias na análise do projeto, do processo e do produto, visando aumentar a confiabilidade de sistemas eletrônicos em geral.

O modelo baseia-se no emprego do conceito de confiabilidade para estimar o tempo médio entre falhas do produto sob condições específicas de uso, utilizando-se dos registros de reparo durante o período de garantia, constantes no banco de dados da empresa fabricante e alimentados pelas Assistências Técnicas Autorizadas.

Com o emprego da análise de dados “censurados” e outros conceitos de confiabilidade, é possível prever o tempo médio entre falhas do sistema em estudo.

A demonstração da aplicabilidade da metodologia proposta será feita através de um caso exemplo ilustrando a confiabilidade de uma Central Telefônica.

Os resultados dessa pesquisa podem ser utilizados para se aprimorar projetos, produção, venda, pós-venda, controles de banco de dados e estudos sobre o comportamento em campo dos produtos fabricados, gerando suporte para avaliações de melhorias, de custos e de estratégias de “marketing”.

1.3 Organização do Trabalho

O capítulo 1 faz uma abordagem introdutória discorrendo sobre a importância da análise de confiabilidade dos sistemas eletrônicos nos dias atuais. Ainda determina os objetivos desta pesquisa e avalia os ganhos que a mesma pode agregar ao produto.

No capítulo subsequente é realizada uma abordagem simplificada de confiabilidade, abordando seus principais aspectos e ferramentas utilizadas para a análise. É, também, neste capítulo que se descrevem os métodos de análise e apresentam-se as vantagens e desvantagens de cada um. Também são abordadas fórmulas matemáticas que auxiliam o estudo.

Já no terceiro capítulo desta pesquisa, é realizada uma explanação aprofundada sobre a proposta do método de análise de confiabilidade utilizando-se os dados de retorno de garantia, são citadas as dificuldades e os problemas que podem ser encontrados por esta análise. Também são mostradas as ferramentas que podem auxiliar esta análise e os métodos para a estimativa de parâmetros. Além disso, são mostrados métodos que podem ser utilizados para refinamento dos resultados e as conclusões de sugestões e melhorias.

O capítulo 4 refere-se ao caso exemplo, realizando uma introdução sobre o produto em questão, e a atual conjuntura no mercado, referenciando os componentes principais e a lógica de operação da central telefônica estudada e apresentando a Árvore Funcional da mesma. A Análise dos dados de garantia também é abordada neste capítulo, e é realizado um estudo para a validação da análise tipo FMEA, a partir desses dados.

O quinto capítulo apresenta as principais conclusões sobre o estudo, bem como sugestões para trabalhos futuros. Adicionalmente, apresenta sugestões de melhoria de confiabilidade para sistemas eletrônicos em geral.

No último capítulo dessa dissertação apresentam-se todas as referências utilizadas para o estudo realizado.

No anexo I encontram-se as tabelas da análise do tipo FMEA realizada para todos os componentes ou subsistemas, encontrados no último nível da árvore funcional.

2. CONCEITOS BÁSICOS DE CONFIABILIDADE

2.1 Considerações Iniciais

Tomando-se a definição de confiabilidade apresentada pelo U.S. Military Handbook 217E (1987), “probabilidade de um item executar suas funções sob condições pré-definidas de uso e manutenção, por um período de tempo específico”, Souza (2003), pode-se notar alguns pontos importantes:

- Desempenho específico é esperado;
- Condições de uso devem ser especificadas;
- Há um período de tempo de utilização.

Alguns outros pontos são merecedores de atenção na determinação da confiabilidade, tais como:

- A função do equipamento deve ser claramente definida, pois isto permite reconhecer as formas de utilização e eventuais modos de falhar,
- Ambiente, sendo um aspecto complexo, pois não só inclui o meio físico, mas as ações de manutenção e operação;
- O tempo de utilização, o qual pode expressar a expectativa de uso imposta ao equipamento.

A confiabilidade é uma grandeza mensurável a partir da análise estatística da ocorrência do evento falha. Falha é o fenômeno que compromete o desempenho ou impossibilita a operação de um item. Sua observação e tratamento estatístico são relevantes para a ciência da confiabilidade, pois a partir desta análise pode-se obter a probabilidade citada na definição acima.

A análise de confiabilidade está diretamente relacionada aos custos inerentes do produto, mas vale ressaltar que os custos devem ser considerados durante toda a vida do produto, desde projeto, produção até o pós venda, conforme ilustra a Figura 2-1.

Figura 2-1 – Custo do Produto X Confiabilidade, Murad (2005).

Uma análise de confiabilidade otimizada, é caracterizada pelo ponto ótimo de mínimo custo, como mostra o gráfico da Figura 2-1. O estudo de confiabilidade deve ser realizado durante as fases de projeto, produção e durante o pós-venda. Uma das maneiras de realização deste estudo é a análise do histórico do produto em campo, baseado em dados de garantia.

É comum que a confiabilidade seja reportada de várias formas, utilizando-se um ou mais dos seguintes conceitos: tempo médio entre falhas, tempo no qual se espera que uma porcentagem dos produtos colocados em operação venham a falhar; e função confiabilidade do item, que fornece a probabilidade do item funcionar por um período t ($R(t)$), entre outros.

O tempo médio entre falhas é um indicador de confiabilidade mais simples, indicando que uma porcentagem determinada dos produtos em análise venham a falhar até que seja atingido esse tempo. Pode ser utilizado de duas formas diferentes, quando tratar-se de itens:

- Reparáveis - MTBF (do inglês, “mean time between failures”);
- Não reparáveis - MTTF (do inglês, “mean time to failure”).

A diferença entre as duas abordagens é que a primeira acumula também o tempo de reparo do equipamento, conforme a norma US MIL- STD 1629A (1977).

Matematicamente, a Função Densidade de Probabilidade $f(t)$, nada mais é que um histograma, representando o número de falhas num período de tempo, com

muitos dados, que se aproxima de uma função contínua, conforme apresentado na Figura 2-2.

Figura 2-2 – Histograma de dados de falha, Ryabinin (1976).

A probabilidade de ocorrência de falha, representada por $F(t)$, avalia a possibilidade de um produto apresentar falha no período de tempo $(0, t^*)$ e é representada pela equação 2.1, sendo graficamente apresentada na Figura 2-3.

$$F(t^*) = \int_{-\infty}^{t^*} f(t).dt \quad (2.1)$$

Figura 2-3 – Função de Probabilidade Acumulada $F(t)$, Leitch (1995).

Verifica-se que quanto maior o tempo de operação do equipamento, maior a probabilidade da ocorrência da falha. Portanto, para tempos muito longos, tendendo a infinito, a probabilidade é de que 100% dos equipamentos estejam em estado de falha.

Como um sistema ou está operando adequadamente ou está no estado de falha, a confiabilidade $R(t)$ pode ser expressa pela relação (2.2), sendo graficamente representada na Figura 2-4.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.2)$$

Figura 2-4 - Função de Confiabilidade $R(t)$, Leitch (1995).

A taxa de falha λ é uma importante função obtida a partir da confiabilidade e é definida como sendo a probabilidade de um item falhar em um próximo intervalo de tempo de operação, dado que o mesmo está operando no início do intervalo, e permite a determinação do número de falhas ocorridas por unidade de tempo, Castro (2003). Uma das expressões da taxa de falha é:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

sendo:

$f(t)$: Função densidade de probabilidade de falha;

$R(t)$: Confiabilidade.

A análise do comportamento da taxa de falha de um equipamento genérico por um longo período de tempo, pode ser representada por uma curva que possui a forma de uma banheira. Por isto, conhecida como Curva da Banheira. Esta curva para componentes elétricos e eletrônicos, é mostrada na Figura 2-5, Castro (2003).

Figura 2-5 – Representação da Curva da Banheira, Castro (2003).

A região I do gráfico constante da Figura 2-5, denomina-se de região de falhas precoces. Estas falhas estão relacionadas a problemas associados às matérias primas utilizadas ou aos processos de fabricação e montagem. São falhas esporádicas, admitindo erros durante a instalação e início da utilização do produto, são falhas, geralmente, decorrentes do processo de produção. Conforme se dá a

utilização, essa taxa decai tendendo a ficar constante e dando início à região de falhas aleatórias do gráfico.

A região II da curva representa o período de vida útil do produto, onde se apresentam as menores taxas de falha e onde essa taxa é praticamente constante. Nesta região as falhas são aleatórias e originadas por solicitações de grande magnitude que superam as previstas em projeto como vibrações, variação de tensão, impactos mecânicos, oscilação de temperatura e de umidade, etc. Quando esta taxa se torna crescente, inicia-se a região III do gráfico, região de desgaste.

Na região III, a taxa de falha é crescente em função do desgaste do equipamento, que já ultrapassou o período de operação e os seus componentes começam a apresentar falhas associadas a danos cumulativos.

As falhas que ocorrem nesta fase usualmente têm como causa, para os itens mecânicos, mecanismos de fadiga, corrosão ou desgaste. No caso de sistemas eletrônicos, estas falhas geralmente ocorrem devido à fadiga dos pontos de solda, associados à presença de vibração ou solicitação térmica cíclica, ou por degradação das trilhas devido à ação da umidade.

Segundo Henney (1956), sistemas eletrônicos apresentam-se nas regiões I e II da curva da banheira, pois há falhas precoces e aleatórias, porém as características de envelhecimento não são muito acentuadas para esses componentes.

Já, Souza (2003), afirma que componentes mecânicos apresentam-se predominantemente nas regiões I e III, pois estes usualmente falham por danos causados pela ação temporal como desgaste, corrosão ou fadiga

Um caso particular de grande interesse no estudo de falhas de componentes / sistemas eletrônicos é a representação da confiabilidade pela distribuição exponencial, que apresenta uma taxa de falha constante, e é utilizada para representar a parte II da curva da banheira.

Para o início da análise de Confiabilidade de um produto, o autor deste trabalho propõe o fluxograma apresentado na Figura 2-6. Cada um dos blocos apresentados no fluxograma é analisado em detalhes na sequência deste texto.

Figura 2-6 – Proposta de Fluxograma de Análise de confiabilidade.

2.2 Conhecimento do Produto

A partir de um conhecimento detalhado do produto, pode-se definir o que se entende por falha do sistema, sempre a caracterizando como perda da capacidade deste executar, uma ou mais, de suas funções, podendo-se definir as condições nas quais a confiabilidade do mesmo será avaliada. Entende-se por sistema um conjunto de componentes interligados de uma forma pré-definida e funcionando em conjunto para a realização de uma tarefa específica. Usualmente um produto pode ser considerado um sistema.

O conhecimento do produto se faz necessário para se saber qual a contribuição de cada subsistema para o funcionamento global do mesmo. Esta etapa facilitará as demais pois é o alicerce de todo estudo. Sabendo a contribuição de cada subsistema e seus respectivos componentes é mais fácil a detecção de sua falha e a

descoberta das conseqüências que ela acarreta para o sistema e para os subconjuntos a que pertencem.

Os sistemas ou equipamentos, em geral, são compostos de muitas partes atuando de forma combinada, a fim de possibilitar seu funcionamento conforme as especificações de projeto. São raros os exemplos, sobretudo em equipamentos mais modernos, de apenas uma ou duas peças operando para executar uma função complexa.

Para alcançar os objetivos pretendidos, as partes do equipamento devem interagir, ou seja, o funcionamento de uma parte influenciará o desempenho das demais. Quando isto se observa, tem-se um sistema em operação.

Isto acrescenta notável complexidade à análise de confiabilidade de um sistema, pois tem-se componentes interligados de diversas maneiras, de forma que a falha dos mesmos se propagam para outros subsistemas e daí causam um possível efeito detrimental na operação do sistema.

Portanto, a análise de confiabilidade de um sistema complexo, exige uma análise detalhada da função de cada um dos seus componentes, como estes se agrupam em subsistemas e qual a relação dos mesmos com as diversas funções executadas pelo sistema.

Para se obter esse conhecimento, são, frequentemente, utilizadas duas ferramentas básicas, conforme ilustra a Figura 2-7, as quais são: experiência da equipe de projeto e formalização da estrutura operacional do sistema, com o emprego da árvore funcional.

Figura 2-7 – Ferramentas para Conhecimento do produto

- **Experiência:**

Uma equipe formada apenas por pessoas que detêm experiência com o projeto, fabricação, utilização ou assistência técnica do produto, pode não ser uma solução eficiente para o conhecimento total do equipamento ou sistema, pois algumas características se tornam tão óbvias que acabam não sendo exploradas pela equipe.

Além disso não há uma ferramenta formal que englobe os conhecimentos dos membros da equipe, necessitando de uma redação dos temas abordados em reuniões, que não é visualmente amigável e pode acarretar ofuscamento de alguma informação.

- **Árvore Funcional:**

A execução da análise do sistema deve ser sistematizada, baseando-se em uma descrição das funções de cada um dos seus componentes, bem como a inter-relação entre os mesmos, de forma a caracterizar a estrutura física deste em termos das relações funcionais entre seus componentes.

As relações lógicas entre as funções dos diversos componentes de um sistema baseia-se na decomposição do sistema em subsistemas, conjuntos, subconjuntos e componentes.

Para um determinado componente do sistema define-se função como uma qualidade ou atributo de um item, a qual é definida por um verbo mais um substantivo.

A execução da árvore funcional envolve a execução de perguntas cujas respostas permitem construir uma árvore estruturada que indica a ligação entre os componentes de um sistema sob o ponto de vista funcional, ou seja, como os componentes devem ser agrupados em termos de funções a fim de permitir a execução da(s) função(ões) principal(is) do sistema em análise. As perguntas a serem executadas são:

- 1) Como é executada (cumprida) uma determinada função?
- 2) Porque uma determinada função deve ser executada?

A resposta à primeira questão é colocada no nível primário e permite definir quais componentes (ou funções) devem ser utilizados para executar a função objeto

da pergunta, colocados no nível secundário, e, assim, devem ser realizadas novamente as perguntas para a função do componente colocado no nível secundário, conforme ilustrado na Figura 2-8, propagando verticalmente a árvore em outros níveis.

Figura 2-8 – Arranjo Geral de uma Árvore Funcional, Massarani (2003).

Segundo Massarani (2003), ao se perguntar como, de que modo ou por quem a função é executada, a resposta é posicionada abaixo. Executa-se a análise até obterem-se respostas que indiquem as funções básicas (ou os componentes que a executem) que permitem a operação de um sistema.

A segunda pergunta é utilizada para verificar se a árvore funcional baseada nas respostas da pergunta 1 está correta. No caso da segunda pergunta, tem-se como ponto de partida a definição da função de cada um dos componentes básicos do sistema e verifica-se a necessidade de execução da mesma, ou seja, define-se uma outra função, que deve ser executada por um outro componente ou por um subsistema. As respostas à Questão 2 são utilizadas para validar a árvore construída a partir da Questão 1.

A execução desta árvore funcional permite um registro claro da função de cada um dos componentes do sistema, subsidiando a execução da próxima etapa do fluxograma apresentado na Figura 2-6, pois indica de maneira visual e lógica o inter-

relacionamento entre os componentes de um sistema com o objetivo de executar a função principal do mesmo.

Esta análise também permite um registro do modo de funcionamento detalhado do sistema, possibilitando o registro de informações bastante precisas sobre o projeto do mesmo. Adicionalmente, esta árvore possibilita a todos os membros da equipe o perfeito entendimento do sistema em estudo, evitando que vícios mascarem as funções de componentes básicos ou características óbvias da inter-relação entre os mesmos.

2.3 Análise de Falha

A experiência no trato com os equipamentos possibilitou à Engenharia conhecer empiricamente alguns modos de falhar, como por exemplo, a fadiga, o desgaste, a corrosão, etc.

O estudo sobre a análise de falhas não só envolve a definição de como os componentes podem falhar, mas também contempla a consequência (efeito) da falha sobre o sistema e as causas de origem do modo de falha estudado, para propor ações que minimizem o efeito ou a falha. O estudo, conforme ReliaSoft (2005b), segue o fluxograma apresentado na Figura 2-9:

Figura 2-9 – Fluxo de Estudo dos Modos de Falha, ReliaSoft (2005b) – Adaptado

- **Efeitos – Consequências:**

As consequências dos Modos de Falha determinados para um componente no início do estudo são obtidas a partir das seguintes perguntas:

1. Qual é o impacto de cada modo de falha no cliente ?
2. O que o cliente vê ou sente quando este modo de falha ocorre?

Os efeitos podem ser classificados de 3 maneiras diferentes:

✓ Efeito Local

Efeito que ocorre afetando um sistema ou subsistema do equipamento e que pode ser percebido por outros sistemas ou não.

✓ Efeito Global

Efeito que ocorre afetando o funcionamento do equipamento, comprometendo funções de menor relevância para o funcionamento do equipamento.

✓ Efeito Final

Efeito encontrado na utilização do produto ou equipamento, comprometimento em funções vitais do mesmo, inutilizando o mesmo.

- **Causas – Origem:**

O conhecimento das causas da ocorrência dos modos de falhas auxilia a execução de ações para minimização da ocorrência dos mesmos, gerando revisões de projetos, materiais e melhorias nos produtos para garantia de qualidade e satisfação do cliente. As causas estão associadas a processos de degradação do componente, decorrentes de um mecanismo de falha específico, como corrosão, fadiga e desgaste.

- **FMEA**

A análise de modos e efeitos de falhas (FMEA, do inglês “Failure Modes and Effects Analysis”), tem por objetivo verificar as consequências da falha de um componente sobre a operacionalidade de um sistema de grande porte.

A execução da análise do tipo FMEA se inicia com a definição dos possíveis modos de falha dos componentes de um sistema. Os componentes considerados na análise são os listados no final dos diversos ramos das árvores funcionais dos sistemas que o compõe.

Verifica-se, em qualquer sistema eletrônico que há um grupo de componentes eletrônicos básicos, tais como capacitores, resistores e diodos, que executam basicamente a função de proteção dos denominados circuitos integrados ou compõe circuitos de ajuste de tensão, no caso de fontes. Os circuitos integrados executam as funções lógicas do sistema. Adicionalmente, especificam-se os modos de falha dos componentes considerando que estes estão operando de acordo com as

especificações de projeto, ou seja, na condição operacional de maior solicitação, de natureza contínua, admissível no projeto dos mesmos.

A cada modo de falha estão relacionadas possíveis causas, que se relacionam com fenômenos físicos que ocorrem durante a operação, fabricação ou montagem dos componentes.

Levantados os modos de falha, procede-se a uma avaliação das consequências (ou efeitos) da ocorrência de uma destas falhas sobre os sistemas, dos quais os componentes fazem parte. A definição destas consequências é feita baseando-se no estudo das características operacionais do sistema eletrônico, tendo por base a descrição das funções de cada componente, detalhadas na árvore funcional. As consequências estão sempre relacionadas a uma degradação da condição operacional do sistema, sendo a gravidade das mesmas classificada em função do grau de deterioração na capacidade de execução das funções previstas para o sistema. Este grau de deterioração é classificado, nesta metodologia, conforme dados da norma MIL-HDBK-1629A (1977).

A partir da associação entre modos de falha de componentes e as suas consequências para a condição operacional do sistema pode-se executar uma classificação dos componentes de uma forma hierárquica, tomando como base a degradação da condição operacional do sistema em função da falha dos componentes. Sob o ponto de vista do usuário, sem levar em consideração a frequência de ocorrência dos modos de falha, maior atenção deve ser destinada aos componentes cujas falhas são prejudiciais à operação do equipamento eletrônico. Uma análise do tipo FMEA para esses componentes, considerados críticos, pode resultar em ações para diminuição do risco associado à falha do componente em questão.

A sofisticação dos equipamentos, os requisitos cada vez mais exigentes quanto à segurança e a necessidade de dominar os fenômenos relativos à falha dos equipamentos e seus desdobramentos deu origem ao método denominado FMEA. O FMEA é o método de análise de confiabilidade mais amplamente utilizado e de maior eficácia, segundo alguns autores da área, sendo uma das razões para tal uso a análise conjunta dos modos das falhas com seus efeitos.

O FMEA é um método empregado na melhoria de projetos de sistemas, na

determinação dos pontos vulneráveis no projeto, no projeto de linhas de produção (chão de fábrica) e no planejamento da manutenção, onde a elaboração de rotinas de diagnose e requisitos de manutenção preventiva são benefícios relevantes.

Este método é uma das técnicas mais importantes e mais empregadas para enumerar os possíveis modos de falha de um dado componente e, a partir das características de operação do sistema, definir as consequências de cada um destes modos de falha sobre a operação desse sistema como um todo. O método apresenta, basicamente, natureza qualitativa.

Sua origem remonta ao meio militar, sendo freqüente a referência à norma MIL-STD-1629A (1977).

A atividade civil que primeiro se beneficiou da análise do tipo FMEA foi a aeronáutica, por causa dos requisitos de legislação, segurança, complexidade e sofisticação de seus produtos e os altos valores envolvidos. A partir da década de oitenta, a indústria passou a adotar maciçamente este método, muitas vezes como ferramenta importante de RCM (do inglês “Reliability Centered Maintenance” – Manutenção Centrada em Confiabilidade).

Como método, o FMEA tem diretrizes gerais as quais norteiam sua elaboração. Desta forma é necessário refletir sobre cinco questões a respeito do sistema como base para a elaboração do FMEA:

- 1 - Como cada componente do sistema pode falhar (quais seus modos de falha)?
- 2 - Quais os efeitos desta(s) falha (s) sobre o sistema?
- 3 - Quão críticos são estes efeitos?
- 4 - Como detectar a falha?
- 5 - Quais as medidas contra estas falhas (evitar, prevenir a ocorrência das mesmas ou minimizar seus efeitos)?

A análise via FMEA baseia-se na execução de uma tabela, similar à indicada na Tabela 2.1, que apresenta o número mínimo de informações para a execução de uma análise adequada. No cabeçalho da análise apresenta-se a identificação do componente, sob um código ou numeração indicada pelo projetista do sistema analisado, nome e subconjunto ao qual pertence.

Tabela 2.1 - Informações para Elaboração da Análise de Modos e Efeitos das Falhas SAE 1739 (1997)- Adaptado

Componente															
Sub-Sistema															
Função Ítem	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial (is) da falha	Severidade	Causa(s) e mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Ocorrência	Método de Detecção da Falha	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR

Na primeira coluna apresenta-se a descrição da função do componente, indicando a sua relação com o sistema em estudo. Na segunda coluna descrevem-se as possíveis falhas que podem ser apresentadas pelo componente e em qual modo de operação do sistema. Eventualmente, poderão ser listados todos os possíveis modos de falha do componente, pois, dependendo do tipo do sistema em análise, do ambiente em que este irá operar, ou outras causas, apenas alguns modos de falha se aplicam ao caso em estudo, devendo esta hipótese ser claramente especificada na folha de análise. Na sequência da tabela, são discutidas as consequências de cada modo de falha do componente sobre o funcionamento do sistema, incluindo os efeitos locais e os efeitos sobre outros subsistemas, até as consequências sobre o sistema como um todo, subindo do nível de componente da árvore funcional até o sistema global (nível primário).

É realizada, em seguida, a classificação da severidade de um modo de falha, a qual tem como objetivo fornecer uma idéia qualitativa do efeito do modo de falha do componente sobre o sistema como um todo. A norma MIL-STD-1629A (1977), para efeito de aplicação do FMEA, classifica a severidade nas seguintes categorias de acordo com ReliaSoft (2005b):

- ✓ Catastrófica : um modo de falha que cause a interrupção do funcionamento ou a perda do sistema, podendo causar inclusive mortes.
- ✓ Crítica : um modo de falha que cause um dano severo ao sistema, ou uma grave degradação na operação do mesmo, causando redução em seu desempenho e/ou ferimentos graves.
- ✓ Marginal : um modo de falha que cause ferimentos leves ou degradação moderada no desempenho do sistema.
- ✓ Menor : um modo de falha que não cause ferimentos ou degradação no desempenho do sistema, mas resulte na sua falha, exigindo manutenção não

programada.

A classificação de severidade apresentada pela norma MIL-STD-1629A não é única. Outras normas, como por exemplo a SAE J-1739 (“Society of Automotive Engineers”) propõe esta classificação em 10 categorias como é apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Classificação de Severidade conforme Norma SAE J-1739 (1997) - Traduzida.

Efeito	Severidade do Efeito	Severidade
Perigoso sem Aviso Prévio	Índice de Severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio	10
Perigoso com Aviso Prévio	Índice de Severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio	9
Muito Alto	Veículo/ Item inoperável (perda das funções primárias)	8
Alto	Veículo/ Item operável, mas com níveis de desempenho reduzidos. Cliente muito insatisfeito.	7
Moderado	Veículo/ Item operável, mas item(s) de conforto/ conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito	6
Baixo	Veículo/ Item operável, mas item(s) de conforto/ conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos. Cliente um tanto insatisfeito.	5
Muito Baixo	Itens de Ajuste, acabamento/ Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%)	4
Menor	Itens de Ajuste, acabamento/ Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes	3
Muito Menor	Itens de Ajuste, acabamento/ Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%)	2
Nenhum	Sem efeito identificado ou perceptível	1

Em seguida, inicia-se uma análise a respeito das possíveis causas dos modos de falha listados e a classificação da ocorrência das mesmas.

As normas indicam os valores de ocorrência em escalas de 1 a 10, tal como no caso da severidade, indicada na Tabela 2.2. Quanto maior este índice, maior é a chance de ocorrer um dado modo de falha, e, menor é a chance de terem havido ações de projeto ou existirem controles de processo de manufatura que evitem ou detectem a possibilidade da ocorrência desse modo de falha. Os valores de ocorrência sugeridos pela norma SAE J-1739 (1997) são baseados em equipamentos produzidos por processo controlado e estão indicados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Classificação de Ocorrência, Norma SAE J-1739 (1997) - Traduzida.

Probabilidade	Probabilidade de Ocorrência	Ocorrência
Muito Alta Falhas Inevitáveis	maior que 1 em 2 peças	10
	1 em 3 peças	9
Alta Falhas Frequentes	1 em 8 peças	8
	1 em 20 peças	7
Moderada Falhas Ocasionais	1 em 80 peças	6
	1 em 400 peças	5
	1 em 2.000 peças	4
Baixa Relativamente Poucas Falhas	1 em 15.000 peças	3
	1 em 150.000 peças	2
Remota Falha Improvável	Menor que 1 em 1.500.000 peças	1

Deve-se também apresentar possíveis formas de se detectar um dado tipo de falha, ou a indicação de que a mesma está para ocorrer, de forma a possibilitar a manutenção ou correção do problema antes da ocorrência do mesmo e a conseqüente propagação de seus efeitos sobre o sistema.

A Tabela 2.4 com valores propostos para a detecção dos modos de falha apresentados, segue o mesmo padrão na escala de 1 a 10, e varia de acordo com os controles existentes para a detecção das falhas.

Tabela 2.4 - Classificação de Detecção, Norma SAE J-1739 (1997).

Detecção	Probabilidade	Critério
1	Quase Certamente	Controle de Projeto irá quase certamente detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
2	Muito Alta	Possibilidade muito alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
3	Alta	Possibilidade alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
4	Moderadamente Alta	Possibilidade moderadamente alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
5	Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
6	Baixa	Possibilidade baixa que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
7	Muito Baixa	Possibilidade muito baixa que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
8	Remota	Possibilidade remota que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
9	Muito Remota	Possibilidade muito remota que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/ mecanismo potencial e subsequente modo de falha
10	Quase Impossível	Controle de Projeto não irá e ou não pode detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha, ou não existe Controle de Projeto

Da forma como foi apresentada, a ênfase do FMEA é definir as causas e conseqüências de um dado modo de falha de um componente sobre a operação de um sistema. Além disso, esta ferramenta serve como um ponto de partida para enumerar e entender os possíveis mecanismos de falha do sistema, possibilitando uma melhor compreensão da eventual progressão de um acidente, tendo em vista a falha do componente.

Esta análise também fornece subsídios para definir o quão crítico são alguns componentes sobre o funcionamento do sistema, indicando pontos onde há necessidade da utilização de componentes redundantes e mais robustos.

O FMEA é um método qualitativo de análise da confiabilidade. Se

considerada a criticidade da falha, que engloba estudos de confiabilidade, gráficos e cálculos estatísticos através de dados ensaiados de campo ou de bancada, o estudo resulta em uma probabilidade de falha do modo de falha estudado, o que já é um indício de análise de risco potencial. A essa análise dá-se o nome de FMECA – Analise de Modos, Efeitos e Criticidade das Falhas.

Tendo em vista que a análise de criticidade proposta pela norma MIL STD 1629A (1977) pode ser difícil de ser executada dada a dificuldade de definição da taxa de falha associada ao componente bem como da chance de ocorrência de um dado modo de falha, o FMEA propõe a execução desta análise de criticidade de uma forma um pouco mais qualitativa, com o emprego do índice denominado de Número de Prioridade de Risco ou simplesmente *NPR*.

Este número é uma avaliação do denominado risco associado com a ocorrência de um determinado modo de falha. Risco é expresso pelo produto entre a probabilidade de ocorrência de um dado modo de falha e a consequência desta falha.

Tendo em vista que a avaliação das consequências de uma falha é uma tarefa bastante laboriosa e a própria avaliação da probabilidade de ocorrência de um dado modo de falha também é uma tarefa complexa, as normas associadas com a análise de processos e projetos, tais como a norma ISO 9000 e a norma SAE J-1739, propõem o cálculo deste risco com o emprego do índice *NPR*, que é calculado pela relação:

$$NPR = S \cdot O \cdot D \quad (2.4)$$

sendo:

S : Indicação da severidade das consequências associadas a um dado modo de falha;

O : A probabilidade de ocorrência de um dado modo de falha e;

D : A detecção, que avalia os meios de detectar uma falha de fabricação, de documentação, de uso, etc.

Os modos de falha considerados críticos para a operacionalidade do sistema são aqueles que apresentam o índice *NPR* elevado. Para esses modos de falha o projetista deve revisar o projeto ou o próprio processo de fabricação, a fim de

minimizar a ocorrência ou a severidade do mesmo, ou maximizar a sua detecção ainda em fase de desenvolvimento. O valor limite aceitável de *NPR* não é claramente definido em normas e pode ser estabelecido de acordo com o caso estudado.

Tradicionalmente, esta reavaliação envolve alterações no projeto e/ou no processo de manufatura do sistema em análise, bem como alterações na qualidade dos componentes presentes no mesmo. Após a implementação destas alterações a análise de modos e efeitos de falha deve ser atualizada, possibilitando a verificação de novos pontos críticos no projeto do sistema.

Executar a análise do tipo FMEA exige pessoal especialmente preparado para esta função, pois além de dominar o conhecimento acerca do sistema (suas características, princípios de funcionamento e especificações), exige conhecimento dos conceitos relativos à confiabilidade, uma vez que taxas de falha e probabilidades devem ser calculadas.

Como o nível de detalhamento é alto, o tempo consumido na elaboração da análise FMEA de um sistema é elevado. Estes fatos tornam esta análise um método sofisticado, mas dispendioso. Por isso, sua aplicação se consagrou sobre equipamentos complexos ou críticos para a operação da empresa ou organização. É interessante ressaltar que para determinar quais equipamentos, em uma planta, são convenientes para serem analisados com o emprego do FMEA, pode-se aplicar este método à própria planta, considerando-a como um sistema e os equipamentos como componentes. Esta abordagem é atualmente empregada, consistindo na aplicação sucessiva da análise do tipo FMEA primeiro ao ambiente da organização, às divisões, seções ou departamentos, aos equipamentos selecionados, seus subsistemas, até o menor nível de detalhamento possível de alcançar (por exemplo, componentes indivisíveis).

A análise do tipo FMEA tem como uma de suas deficiências considerar a progressão dos modos de falha isoladamente, não sendo possível avaliar os efeitos para a combinação de diversos modos de falha ocorrendo simultaneamente. Mais ainda, a ocorrência de um modo de falha pode não afetar negativamente o

desempenho do sistema, porém, ocorrendo juntamente com outros modos, os efeitos podem ser amplificados, especialmente se os modos de falha são interdependentes. A literatura sobre confiabilidade reconhece que a análise do tipo FMEA não responde isoladamente a todos os problemas relacionados ao tema, porém a aplicação do método fornece informações valiosas para novos projetos, para a manutenção, e contribuições inegáveis à segurança do sistema, de seus operadores e do ambiente, devendo ser utilizado desde a fase inicial do projeto do sistema, seja ele qual for.

- **Diagrama de Ishikawa:**

Esta é uma ferramenta gráfica usada para explorar e indicar indícios sobre fontes de variação em um processo. Pode ser chamado também de Diagrama de Causa e Efeito ou diagrama Espinha de Peixe. O nome Diagrama de Ishikawa foi dado após o inventor da ferramenta, Kaoru Ishikawa (1969), utilizar primeiramente a técnica nos anos 60.

Mello et al (2002) concluíram que a finalidade desta ferramenta é chegar em algumas fontes-chaves que contribuem significativamente ao problema que está sendo examinado. Estas fontes são, então, alvejadas para a melhoria. O diagrama ilustra também os relacionamentos entre as várias causas possíveis para contribuir ao efeito.

Rossato (1996) propõe a aplicação deste diagrama quando se necessitar identificar todas as causas possíveis de um problema, obter uma melhor visualização da relação entre a causa e efeito delas decorrentes, classificar as causas fatorando em sub-causas, sobre um efeito ou resultado. Ainda, pode ser utilizado para saber quais as causas que estão provocando o problema em estudo, para identificar com clareza a relação entre os efeitos, e suas prioridades, e, finalmente, em uma análise dos defeitos, perdas, falhas, desajuste do produto, etc. com o objetivo de identificá-los e melhorá-los.

A Figura 2-10 mostra uma representação simplificada do diagrama de Ishikawa.

Figura 2-10 – Diagrama de Ishikawa – Mello et al (2002) - Adaptado.

Rossato (1996) descreve a utilização do diagrama espinha de peixe como é popularmente conhecido este diagrama. O problema básico de interesse é colocado à direita, no “osso principal”. As principais causas possíveis para a ocorrência do problema (o efeito) são colocadas nos ossos fora da espinha dorsal, respondendo à pergunta “porque isto ocorre?”.

As categorias dos 6 M’s são usadas tipicamente como um ponto inicial para se agrupar as possíveis causas levantadas: materiais, máquinas, mãos de obra, métodos, meio ambiente e medidas. Em cada chave devem ser colocadas todas as influências possíveis, levantadas por um grupo de pessoas que realizam um Brainstorming, para as causas do evento problemático do “osso principal”, constituindo as “vértebras” da Espinha de Peixe.

Quando o diagrama de Espinha de Peixe está completo, tem-se um retrato completo de todas as possibilidades sobre o que poderia ser a causa raiz para o problema designado.

Após completar o diagrama, a discussão da equipe ocorre para decidir quais as causas mais prováveis da raiz do problema. Estas causas são circundadas para indicar que devem ser corrigidas, e o uso da ferramenta está completo.

O diagrama de Ishikawa, como a maioria de ferramentas da qualidade, é uma ferramenta visualizadora da organização e do conhecimento. Simplesmente coletar as idéias de um grupo em uma maneira sistemática facilita a compreensão e o diagnóstico final do problema.

2.4 Tipos de Registros

A análise de dados é uma ferramenta crucial no estudo de confiabilidade. Mais que auxiliar esse estudo, ela é a ferramenta de validação e aprovação do mesmo. Os registros utilizados podem vir de testes realizados em bancos de provas, constituindo a primeira origem de informações sobre a confiabilidade dos produtos.

Estes dados são obtidos sob condições controladas, o que permite avaliar alguns parâmetros de confiabilidade relevantes, porém os realizados em bancada são caros e podem não representar, em alguns casos, a situação de solicitação encontrada em campo, principalmente quando o efeito do usuário do equipamento influencia demasiadamente a magnitude da solicitação.

Outra proveniência de registros relevantes para o estudo de confiabilidade são os dados obtidos em campo, que evidenciam o histórico do produto em sua íntegra, lidando com dados reais e apresentando dados de falha de cada produto vendido, sistemas críticos que apresentaram falhas em campo e ações tomadas para o conserto dessas falhas, além de apresentarem também os defeitos alegados pelo cliente e os realmente encontrados pelo técnico que executa o reparo. Porém, geralmente o sistema ou processo utilizado para a coleta desses dados não possui finalidade de realizar um estudo de confiabilidade e sim uma análise financeira de custo de garantia, o que faz com que os dados sejam, algumas vezes, tendenciosos.

Hoje em dia, baseado em uma análise de mercado, as empresas possuem forte tendência a se especializarem apenas no desenvolvimento, produção e venda indireta de seus produtos, sem possuir grande atuação no ramo de pós venda diretamente com o consumidor. A terceirização de distribuidoras, instaladoras e assistências técnicas de produtos, abalam a credibilidade dos registros fornecidos para a análise de confiabilidade. A falta de comprometimento das empresas terceirizadas, aliada à falta de controle da empresa fabricante evidencia sérios problemas com os dados obtidos.

Uma maneira de se refinar os dados obtidos é o aumento do tempo de verificação dos dados de campo. Quanto mais dados, mais próximo da realidade é o resultado da análise de confiabilidade realizada.

Para a análise de confiabilidade, é necessário saber classificar corretamente os registros obtidos, e essa classificação é fundamental para as etapas posteriores da análise. Os dados podem ser classificados como mostra a Figura 2-11.

Figura 2-11 – Tipos de Registros.

- **Dados Agrupados**

Nelson (1982) afirma que quando os dados são analisados conforme inspeções realizadas em intervalos de tempo pré-definidos, eles se apresentam de maneira agrupada, ou seja, sabe-se o número de equipamentos ou sistemas que falharam entre dois períodos, mas não se sabe o momento exato da ocorrência da falha.

Por exemplo, em um teste inspecionado de 100 em 100 horas, se na primeira inspeção, o item A não apresentou falha e na segunda, depois de 200 horas, apresentou, pode-se afirmar apenas que o item A falhou entre 101 e 200 horas de uso.

A análise que envolve este tipo de dado é feita baseada em cada grupo de falhas independente e não se baseia na falha de cada item.

A Figura 2-12, representa os dados agrupados de falhas entre inspeções feitas em períodos determinados:

Figura 2-12 – Dados Agrupados, Lafraia (2001) – Adaptado.

De acordo com a Figura 2-12, são colocadas 5 amostras do produto em análise para teste. Depois de um período determinado, quando é feita a primeira observação, das cinco amostras, sabe-se que o corpo de prova 2 apresentou falha. Então, novamente, depois do intervalo de verificação estipulado verifica-se o funcionamento dos corpos de prova e conclui-se que o corpo de prova 4 apresentou falha dentro do período entre a observação 1 e a observação 2 e, da mesma maneira, o corpo de prova 5 apresentou falha no último período de observação.

• Dados Suspensos

Dados suspensos ou censurados são obtidos quando, ao fim do ensaio realizado, existem ainda equipamentos ou sistemas que não falharam. É o caso mais comum de tipo de dado quando utiliza-se registros de avaliações de campo ou de dados de garantia para a análise de confiabilidade, pois, geralmente, nem todos os equipamentos produzidos e em uso no mercado apresentaram falhas, ao final do período de tempo definido para coleta de dados existindo ainda equipamentos funcionando em perfeito estado, que devem fazer parte e contribuem para a análise de confiabilidade.

Se os dados suspensos não forem considerados, há uma falha na análise, pois assume-se a consideração errônea de que todos os equipamentos ou sistemas falharam. Por exemplo, se de um lote de 10 equipamentos, 3 apresentaram falhas ao

longo de 10 dias e os outros 7 não apresentaram falhas, esses últimos estarão suspensos na análise, e representarão maior confiabilidade que os primeiros.

A Figura 2-13 representa graficamente o conceito de dados suspensos ou censurados, ou seja, nota-se que alguns itens continuam em operação ao final do período pré-definido para coleta de dados de falha.

Figura 2-13 – Dados Suspensos ou Censurados, Lafraia (2001) – Adaptado.

De acordo com a Figura 2-13, os corpos de prova 1 e 3 estão em funcionamento após o término do período de observação, sendo considerados como amostras suspensas ou censuradas.

- **Dados Completos:**

Os dados completos são os obtidos, por exemplo, em ensaios de bancada, que ensaiam um número de elementos até sua total degradação, ou seja, até que todos os equipamentos ou sistemas analisados apresentem falhas. Neste tipo de ensaio o tempo de execução do mesmo não é um fator determinante, o ensaio pode durar muito tempo ou apenas algumas horas, dependendo da robustez e confiabilidade do equipamento ou sistema analisado.

Segundo Nelson (1982), na análise utilizando dados completos, o valor do tempo até a falha de cada elemento da amostra é observado e conhecido, e portanto,

torna-se mais precisa a determinação dos parâmetros da função de probabilidade que representa a probabilidade de falha do componente ensaiado.

Figura 2-14 – Dados Completos, Lafraia (2001) - Adaptado.

A Figura 2-14 mostra a representação dos tempos até a falha para dados completos, deixando claro o tempo para a falha de cada item.

2.5 Modelos Estatísticos

Há alguns modelos de distribuições estatísticas que podem ser utilizados para modelar matematicamente o comportamento da função de probabilidade ($F(t)$).

Nelson (1982) afirma que as distribuições mais comumente utilizadas para representação da probabilidade de falha de componentes e sistemas são: exponencial, normal, lognormal e Weibull, tal como indicado na Figura 2-15.

Figura 2-15 – Modelos Estatísticos de Distribuições de Probabilidade.

A análise dos dados de vida de um equipamento ou sistema pode ser realizada através da função confiabilidade, função taxa de falha e ainda através dos valores de vida média e vida mediana. Todas essas funções e valores podem ser determinadas diretamente a partir de uma aproximação, utilizando a distribuição adequada, da função de probabilidade de falha ($F(t)$). Cada distribuição possui alguns parâmetros particulares que a descreve e define, esses parâmetros são estimados a partir dos dados de falha obtidos em observações experimentais.

- **Exponencial:**

Uma das distribuições comumente utilizada para representar a probabilidade de falha de equipamentos eletrônicos é a exponencial, que representa o tempo de vida útil do equipamento, com taxa de falha constante.

A função densidade de probabilidade $f(t)$ de uma distribuição exponencial é matematicamente definida como:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.5)$$

sendo:

t : Variável aleatória que representa o tempo;

λ : Parâmetro da Distribuição.

Os gráficos que representam essa distribuição podem ser vistos na Figura 2-16.

Figura 2-16 – Funções Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade da Distribuição Exponencial, Nelson (1982).

- **Normal:**

Esta distribuição é comumente utilizada na engenharia de qualidade e menos utilizada na análise de confiabilidade. Se usada para este fim, a mesma modela a confiabilidade de equipamentos com taxa de falha crescente, modelando bem a região III da curva da banheira, representada Figura 2-5, que representa o envelhecimento, ou desgaste dos componentes.

A função densidade de probabilidade é expressa por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu_t}{\sigma_t} \right)^2} \quad (2.6)$$

A distribuição é caracterizada por 2 parâmetros: σ_t e μ_t , respectivamente desvio padrão e média da população.

Os gráficos que representam essa distribuição podem ser vistos na

Figura 2-17:

Figura 2-17 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade da Distribuição Normal, Nelson (1982).

- **Lognormal:**

A distribuição lognormal é utilizada na análise de confiabilidade em ciclos até a falha por fadiga, resistência dos materiais e no projeto probabilístico com cargas variáveis, de acordo com Nelson (1982).

O nome Lognormal caracteriza a distribuição que é utilizada por funções densidade de probabilidade cujo logarítmo natural dos tempos até a falha são

normalmente distribuídos. A função densidade de Probabilidade para esta distribuição é escrita como:

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma'_t \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu'_t}{\sigma'_t} \right)^2} \quad (2.7)$$

Esta distribuição possui 2 diferentes parâmetros, σ'_t e μ'_t . Onde μ'_t representa a mediana da população, podendo assumir qualquer valor, e σ'_t é o desvio padrão, no domínio logarítmico, que só pode assumir valores positivos. A distribuição lognormal é assimétrica e deslocada para a esquerda. Devida a essa assimetria, conforme há variação do σ'_t , desvio padrão, as curvas de densidade de probabilidade e da distribuição acumulada, variam, como pode ser visto na Figura 2-18, em que a escala varia 10^{μ_t} .

Figura 2-18 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade da Distribuição Lognormal, Nelson (1982).

- **Weibull:**

A distribuição de Weibull é muito flexível e pode representar todas as regiões da curva da banheira apresentada na Figura 2-5, sendo amplamente utilizada em estudos de confiabilidade.

Esta distribuição representa a função densidade de probabilidade como:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (2.8)$$

O'Connor (2002) diz que esta distribuição pode possuir até 3 parâmetros, η , β e γ , sendo que η representa a constante de escala ou vida característica do equipamento ou sistema estudado, definindo a probabilidade de 62,3% dos equipamentos ou sistemas analisados apresentarem falhas, β é a constante de forma ou inclinação da distribuição, é o parâmetro que define o formato da curva que caracteriza a densidade de probabilidade de falha, e, γ é o parâmetro de localização, que determina a vida mínima, ou seja, o intervalo de tempo mínimo em que o equipamento ou sistema analisado não apresentará falha, podendo ser nulo, indicando uma distribuição de dois parâmetros.

Conforme a variação do parâmetro de forma, β , a curva da distribuição varia, como indicado na Figura 2-19, em que a escala α equivale a $\frac{t-\gamma}{\eta}$.

Figura 2-19 - Função Distribuição Acumulada e Densidade de Probabilidade para a Distribuição de Weibull, Nelson (1982).

É importante notar que quando $\beta = 1$, a distribuição se torna idêntica à distribuição Exponencial, representando o período de vida útil do produto, em que a taxa de falhas do mesmo é constante, quando $\beta = 2$, a distribuição se aproxima da

lognormal e, quando $\beta = 4$, a distribuição se aproxima da distribuição normal, mostrando a flexibilidade da distribuição de Weibull, Nelson (1982).

Os resultados mostram que, para $\beta < 1$, a distribuição representa bem a infância dos componentes, para $\beta = 1$, a distribuição refere-se à vida útil do produto e para $\beta > 1$, a distribuição trata do envelhecimento ou fase de degradação do produto.

2.6 Cálculo dos Parâmetros de Distribuição de Probabilidade:

Os parâmetros são propriedades de uma distribuição de probabilidade que regem o comportamento de uma dada população e estão associados, a este comportamento, apresentando um valor fixo para cada população, Souza (2003).

O cálculo desses parâmetros pode ser executado de diversas maneiras, conforme indicado na Figura 2-20.

Figura 2-20 – Métodos de Cálculo dos Parâmetros de Distribuições de Probabilidade.

• Método Gráfico

A utilização do método gráfico envolve o uso de papéis probabilísticos e representa uma facilidade de utilização, permitindo a visualização do comportamento da série dos dados. Porém este método não é muito preciso, pois se utiliza de aproximações um pouco subjetivas e possui erros de aproximações gráficas manuais.

O método, segundo material da ReliaSoft (2005a), consta das seguintes etapas:

1º Passo: Ordenação dos dados.

Os dados devem ser colocados em ordem crescente de tempos até a falha.

2º Passo: Cálculo dos Valores a serem plotados.

São calculados os valores que devem ser plotados no gráfico, através de fórmulas específicas para avaliação da estimação da função de probabilidade.

3º Passo: Plotar os pontos.

Identificar os tempos até a falha e os valores obtidos nos cálculos do 2º passo, “plotando” pontos coordenados no papel de probabilidade.

4º Passo: Traçar a reta.

Traçar a melhor reta que passa pelos pontos “plotados”.

5º Passo: Obter os Parâmetros da Distribuição.

Para cada distribuição existe uma maneira de obter esses parâmetros, a partir de avaliações executadas no próprio papel probabilístico.

6º Passo: Calcular a Confiabilidade e a Probabilidade de falha para o produto em questão, em um tempo específico.

O método Gráfico não permite a obtenção de dados consistentes, pois duas pessoas dificilmente traçariam a mesma reta sobre os pontos “plotados”, gerando diferentes valores para os parâmetros da distribuição. Um exemplo da utilização desse método pode ser visto na Figura 2-21.

Figura 2-21 – Método Gráfico para Distribuição Exponencial.

Na Figura 2-21, percebe-se que o método utilizado aproxima os dados obtidos por uma reta, já que é “plotado” no papel logarítmico. Outro fator importante é que quando $Ln(F(t)) = 0,63$, o tempo é igual a $\frac{1}{\lambda}$, que é o MTTF para distribuição exponencial, tempo em que 63% dos sistemas em análise, terão apresentado falha.

- **Método da Máxima Verossimilhança**

O Método da Máxima Verossimilhança é considerado o mais robusto dos métodos de estimação dos parâmetros.

ReliaSoft (2006a) faz uma abordagem sobre o Estimador de Máxima Verossimilhança e explica que o método de máxima verossimilhança estima os valores dos parâmetros da distribuição que maximiza a função de verossimilhança.

A função de verossimilhança é baseada na função densidade de probabilidade, $f(t)$, para uma dada distribuição. Considerando uma $f(t)$ genérica:

$$f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (2.9)$$

Sendo:

x : dados (tempo até a falha),

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ são os parâmetros a serem estimados.

Para conjuntos de dados não censurados, a função de verossimilhança é o produto das funções $f(t)$ de cada observação do conjunto de dados:

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (2.10)$$

Matematicamente é mais conveniente trabalhar com o logaritmo da função de verossimilhança. A função log-verossimilhança é dada por:

$$\Lambda = \ln L = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (2.11)$$

Utilizando-se a equação 2.16, basta encontrar os valores dos parâmetros que maximizam a função. Isto é feito calculando as derivadas parciais da equação log-linear para cada parâmetro e resolvendo o sistema, igualando-o à zero.

Este processo é facilmente ilustrado com a distribuição Exponencial de um parâmetro. Desde que haja somente um parâmetro, há somente uma equação para ser resolvida. Além disso, a função de verossimilhança da distribuição exponencial é derivável em todos os pontos, devido a natureza da função densidade de probabilidade. A função de verossimilhança da distribuição exponencial é dada por:

$$L(\lambda|t_1, t_2, \dots, t_n) = \prod_{i=1}^n f(t_i) \quad (2.12)$$

$$L(\lambda|t_1, t_2, \dots, t_n) = \prod_{i=1}^n \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t_i} \quad (2.13)$$

$$L(\lambda|t_1, t_2, \dots, t_n) = \lambda^n \cdot e^{-\lambda \cdot \sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.14)$$

Sendo:

λ (lambda) o parâmetro que se quer estimar.

Desde que a função Log-verossimilhança seja matematicamente mais fácil de manipular, calcula-se o logaritmo natural da função de verossimilhança, da seguinte forma:

$$\Lambda = \ln(L) = n \cdot \ln(\lambda) - \lambda \cdot \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.15)$$

Tomando a derivada da equação 2.20 em relação λ e igualando o resultado a zero:

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial \lambda} = \frac{n}{\lambda} - \sum_{i=1}^n t_i = 0 \quad (2.16)$$

Obtendo-se o estimador de máxima verossimilhança, $\hat{\lambda}$:

$$\hat{\lambda} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.17)$$

O método é mais complexo para distribuições com mais de um parâmetro ou com dados suspensos. Entretanto, freqüentemente encontra-se conjunto de dados com suspensões.

Essencialmente, tratar de dados suspensos ou dados com censura à direita, envolve incluir um outro termo na função de verossimilhança. Como dito antes, o termo para dados completos usa a função de densidade de probabilidade $f(t)$. O segundo termo para incluir as suspensões incorpora a função probabilidade $F(t)$. Esta função de verossimilhança estendida tem a seguinte forma:

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \cdot \prod_{j=1}^m [1 - F(y_j; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)] \quad (2.18)$$

Sendo:

m : número de dados suspensos,

y_j : j -ésima suspensão, e

$F(y_j; q_1, q_2, \dots, q_k)$: função de probabilidade $F(t)$.

Com esta função, o processo da análise prossegue como descrito anteriormente: toma-se o logaritmo natural da função de verossimilhança, encontram-se as derivadas parciais em relação aos parâmetros, e resolve-se o sistema de equações, simultaneamente, igualando a zero.

A função de verossimilhança para dados com suspensões ilustra algumas das vantagens que esta análise tem sobre outras técnicas de estimação de parâmetros. Primeiramente, antes de tudo, o método de verossimilhança adiciona na função de verossimilhança os valores dos tempos das suspensões. O outro método, gráfico, toma somente a posição relativa das suspensões, e não avalia o tempo até a suspensão real. Isto torna a técnica de estimação por máxima verossimilhança uma ferramenta muito mais poderosa do que as outras ao trabalhar com um conjunto de dados que apresenta uma quantidade relativamente grande de suspensões, ReliaSoft (2006a).

- **Método dos Mínimos Quadrados**

A utilização do método dos Mínimos Quadrados é feita utilizando a estimação dos parâmetros pela análise de regressão linear. Este método permite o

alinhamento da reta sobre os pontos, escolhendo o alinhamento que minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre pontos e reta, podendo ser realizado em Y, à esquerda da Figura 2-22 onde os desvios considerados são os verticais, e podem ser realizados em X, considerando os desvios horizontais.

Figura 2-22 – Método dos Mínimos Quadrados, ReliaSoft (2005a).

O método, segundo material da ReliaSoft(2005a), é adequado para funções que podem ser linearizadas, possuindo cálculos fáceis e diretos, porém para algumas combinações de dados e distribuições, a utilização deste método é complexa e pode ser impossível de ser implementada.

O coeficiente de correlação, permite verificar a adequação do modelo linear aos dados, este coeficiente é denotado por ρ . Esta medida mostra a relação linear entre a categoria mediana, que é a representação da regressão, e os dados, conforme equação (2.24)

$$\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (2.6)$$

Sendo:

σ_{xy} :Covariância de x e y;

σ_x :Desvio Padrão de x; e

σ_y :Desvio Padrão de y.

Se o valor do coeficiente de correlação, $|\rho|$, estiver longe de $|1|$, a indicação é de que existem múltiplos modos de falha, neste caso há uma dificuldade em se

linearizar os dados obtidos e, portanto, a análise pelo método dos mínimos quadrados não é adequada.

2.7 Intervalos de Confiança

Os parâmetros estimados possuem certa imprecisão estatística e são utilizados para tomar decisões importantes, que não podem correr certos riscos, então o cálculo de intervalos de confiança fornece uma estimativa do tamanho do erro, a partir da variação possível decorrente da estimação dos parâmetros como indicado no material da ReliaSoft (2006b).

Segundo Sisdelli (1991), os intervalos de confiança são obtidos considerando-se a variância da estimação dos parâmetros e o nível de confiança. Pode-se exemplificar um nível de confiança de 90%, que representa que há uma probabilidade de 90% de que o intervalo de confiança determinado, a partir da estimativa do parâmetro, possa conter o valor real do parâmetro.

Os intervalos de confiança serão menores, quanto maior for o tamanho da amostra, ou seja, quanto mais produtos ou equipamentos em análise, menor o intervalo em que os parâmetros podem se encontrar, mais próximos de um valor absoluto estará a confiabilidade do equipamento, ou seja, mais precisos são os parâmetros estimados. Na Figura 2-23 indica-se a variação da amplitude do intervalo de confiança em função do número de elementos testados, considerado como uma amostra da produção total dos equipamentos.

Figura 2-23 – Número de Elementos da Amostra X Amplitude do Intervalo de Confiança – ReliaSoft (2006b).

3. ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE SISTEMAS ELETRÔNICOS A PARTIR DE DADOS DE RETORNO DE GARANTIA

3.1 Considerações Iniciais

Um dos objetivos apresentados no capítulo 1 deste trabalho é a proposta de um método para o estudo de confiabilidade de sistemas eletrônicos baseado em dados de retorno de garantia, e, este capítulo visa apresentar esse método para equipamentos eletrônicos e propor a sua utilização. O mesmo é baseado na teoria de confiabilidade apresentada no capítulo 2. Para tanto é necessário estabelecer alguns conceitos sobre o comportamento quanto à falha de componentes eletrônicos ao longo de sua vida operacional.

- **Sistemas Eletrônicos**

Ohring (1998) afirma que, nunca, na existência humana, houve um avanço científico e tecnológico, capaz de transformar a vida dos seres humanos mais profundamente e em tão curto espaço de tempo como durante a denominada era da eletricidade e eletrônicos.

Inicialmente vieram o telefone e a lâmpada incandescente, com a infraestrutura (eletricidade), e posteriormente os produtos e invenções começaram a surgir.

O mesmo autor ainda afirma que o projeto e análise de componentes e equipamentos eram realizados através de muitos estudos, para garantir durabilidade aos equipamentos, e os materiais e processos de fabricação eram selecionados da melhor maneira para garantia da qualidade, assim, iterações nos projetos ou processos dos materiais introduziram a confiabilidade.

Băjenescu e Băzu (1999) relatam que os componentes eram testados a altas temperaturas, incluindo variações cíclicas das mesmas, sob choques mecânicos, submetidos a testes de umidade entre outros, e os fabricantes pensavam que se o componente passasse nos testes estavam aprovados e considerados “confiáveis”, ou seja, todos os componentes eram testados e eram considerados aprovados os que não sofriam danos devidos à seqüência de ensaios. Mas os fabricantes não consideravam que esses esforços poderiam já iniciar um processo de degradação dos componentes, podendo, portanto, reduzir a sua confiabilidade.

A confiabilidade é o resultado de uma combinação de projeto, qualidade dos materiais e processos de fabricação. Consequentemente, a solução de problemas de confiabilidade só pode ser encontrada com a força co-operacional entre usuários e fabricantes.

Somente os usuários sabem a mais importante característica do componente, por exemplo, a função que exerce, a maneira como funciona e as condições a que é submetido. E, se o fabricante sabe a condição operacional, a confiabilidade requerida do componente pode ser encontrada.

Para a correta seleção do conceito de confiabilidade e grau de adequação para suprir as exigências de mercado, o engenheiro necessita de todas as informações possíveis sobre o comportamento de componentes comuns e da predição de defeitos e falhas, afirmam Băjenescu e Băzu (1999).

Os engenheiros compreendem a influência de condições ambientais e das solicitações mecânicas atuantes durante a operação normal do componente sobre o processo de degradação do mesmo, definindo este processo em termos de taxa de falha e confiabilidade, indicando a vida útil, tempo de utilização sem apresentar falhas, do componente. Já para os usuários, a taxa de falha do componente depois de erros operacionais é o mais importante critério de confiabilidade.

Ainda de acordo com Băjenescu e Băzu (1999), a determinação da taxa de falha é feita com vários dados e em várias condições, temperaturas muito altas e muito baixas, altas taxas de umidade, variações cíclicas de umidade e temperatura, por exemplo. Esses elementos constituem cálculos básicos para a operação em condições normais.

A Tabela 3.1 mostra a evolução dos estudos de confiabilidade dos componentes.

Tabela 3.1 – Evolução da Confiabilidade dos Componentes, Băjenescu e Băzu (1999).

Período	Características Principais	Domínio
1945 - 1960	Testes normais com falha de todos os produtos. Coleção dos dados de confiabilidade Análise de falhas	Inspeções Finais
1960 - 1975	Testes acelerados de vida Controle estatístico de processo Físicas da Falha Predições de Confiabilidade	Controle
1975 - 1990	Prevenção da Falha Confiabilidade de Processo Estratégias de Seleção Testes de Confiabilidade	Garantia
Depois de 1990	Gerenciamento de Qualidade Total Engenharia Simultânea Construção da Confiabilidade Mudança na Aquisição	Gerenciamento

Até 1960, as falhas em equipamentos eletrônicos foram relacionadas com a baixa qualidade intrínseca dos mesmos, associada à falhas no processo de fabricação e de processamento dos materiais. Nasceu o conceito da curva da Banheira. Jensen (1995) afirma que toda a ênfase do tempo foi utilizada para analisar o período de vida, onde componentes eram vistos exibindo constantes taxas de falha. Alguns falharam mais frequentemente que outros e começaram a registrar as taxas de falhas por famílias dos componentes e como a mesma variava de acordo com as condições ambientais.

Com a tabela de valores de taxa de falha para os componentes, é simples computar a confiabilidade de um sistema completo ou equipamentos feitos com esses componentes, através da composição da taxa de falha, em conformidade com a arquitetura funcional do sistema, representada no diagrama de blocos. Para tanto, os pesquisadores consideram que a confiabilidade dos componentes é expressa pela distribuição exponencial, definida por um único parâmetro, a taxa de falha do componente, constante ao longo da vida útil.

As falhas de componentes eletrônicos são possíveis de serem observadas durante a fase de Mortalidade Infantil e durante o período de vida útil, causadas por problemas de montagem ou de manufatura, de acordo com Jensen (1995).

O autor afirma ainda que as empresas não estão satisfeitas com a forma de coleta de dados referentes à falhas observadas em campo, nem com a análise de procedimentos da análise de dados de falhas em campo, além disso, os técnicos de serviço e os engenheiros de campo não são treinados para reconhecer a importância

de encontrar e registrar as causas raízes das falhas de equipamentos eletrônicos complexos, sendo observados casos onde placas são trocadas, às vezes, sem necessidade.

Há um sentimento inerente de que os dados de campo podem ter somente um valor histórico e não há o reconhecimento sobre a importância de se ter o evento falha e qual componente foi trocado para recuperar a falha, relatados em um formulário de assistência técnica. O banco de dados, deve ainda identificar o tempo até a falha e o tempo de reparo. Essa investigação pode ser realizada pelo serviço técnico com a colaboração do usuário, a fim de, efetivamente, detectar os modos de falha do equipamento quando operando no campo, subsidiando a melhoria do projeto do mesmo.

O componente retornado deve ser analisado e atua-se na causa raiz da falha. Essa descoberta pode ter um impacto dramático na melhoria da confiabilidade do produto.

Experiência frustrada da análise de dados registrados pelas assistências técnicas é a observação do grande número de “falhas não encontradas”, por falta de treinamento dos técnicos ou preenchimento incorreto do banco de dados.

Se um componente falha, ele pode ser reparado ou trocado por um novo, imediatamente. De fato, podem-se inserir componentes indefinidamente, como mostra a Figura 3-1.

Figura 3-1- Gráfico de reposição imediata de elementos falhos, Jensen (1995).

A figura 3-2 retrata os conceitos utilizados para a explanação de reposição imediata. O elemento pode ser considerado um componente eletrônico que agrupado constitui o sistema eletrônico em estudo.

figura 3-2 – Conceitos de Componente, elemento e sistema, Jensen (1995).

Segundo Jensen (1995), se o elemento for um componente eletrônico com mortalidade infantil, o tempo de operação é dado pelas equações:

$$m(t) = E[n(t)] \quad (3.1)$$

onde:

$m(t)$: Função de Renovação;

$n(t)$: Número de Falhas;

$E[]$: Valor esperado (exemplo: média)

E, a função de renovação é dada pela equação 3.2:

$$m(t) = \frac{t}{\mu + d + \varepsilon(t)} \quad (3.2)$$

sendo:

μ : Valor médio de tempo de vida de componentes do mesmo tipo na população;

$\varepsilon(t)$: Resíduo que tende a zero, quando t tende a infinito;

d : Tempo de valor independente, dado por:

$$d = \frac{(\sigma^2 + \mu^2)}{2\mu^2} \quad (3.3)$$

σ^2 : Variância de distribuição de tempo de vida do componente, permite predizer a expectativa total do número de falhas e reparo a longo prazo.

O gráfico apresentado na Figura 3-3 representa o número de renovações dos componentes, em função do tempo.

Figura 3-3- Renovação de componentes em função do tempo, Jensen (1995).

A inclinação constante mostra que a taxa de falha (λ), é constante para equipamentos eletrônicos, no início, a representação tracejada da mortalidade infantil e especificação do fim do período transiente. Se a taxa de falha é constante, a distribuição mais apropriada para este tipo de elemento é a Exponencial, Jensen (1995).

• Garantia

Chukova, Arnold, Wang (2003) afirmam que garantia é um contrato ou acordo sobre o qual o produtor de um produto ou serviço concorda em reparar, reembolsar, substituir ou providenciar serviços quando o produto falha ou o serviço não atende os requisitos do consumidor antes de um tempo especificado.

A origem das garantias inicia-se na metade do século XIX, quando alguns comerciantes começaram a fornecer uma garantia escrita de devolução de dinheiro para seus produtos, de acordo com Hart (1996). Ao longo do tempo as garantias foram regulamentadas proporcionando aos fabricantes uma concorrência e aos consumidores maior qualidade e confiabilidade dos produtos.

Segundo Guimarães (2002), atualmente a garantia tem sido utilizada por empresas como ferramenta de marketing e garantia de qualidade. Para tal, há necessidade de se estabelecer formas de garantias internas para que a empresa

alcance os objetivos propostos. Uma análise de confiabilidade dos dados de garantia é ideal para esse propósito, criando um banco de dados de confiabilidade e gerando resultados aplicáveis a estudos de garantia.

Os dados de garantia são obtidos através de bancos de dados alimentados pelas assistências técnicas e apresentados para as empresas com foco financeiro. Por isso, muitas vezes, não apresentam algumas informações relevantes para o estudo de confiabilidade, como efeito alegado pelo cliente, data de início de utilização, data da falha, peça trocada, etc.

3.2 Proposta de Método para Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos baseado em Dados de Garantia

O método proposto prevê uma análise detalhada do produto de que se deseja obter a confiabilidade, considerando materiais de apoio do próprio produto e algumas ferramentas de confiabilidade, como árvore funcional e análise do tipo FMEA. Depois de familiarizado com o produto em questão, inicia-se um estudo dos dados de garantia, classificando-os e utilizando-os para obtenção dos parâmetros de confiabilidade requeridos.

A sugestão para Análise dos dados de garantia alimentados pela assistência técnica segue o fluxo apresentado na Figura 3-4.

Figura 3-4 – Fluxo de Análise de Confiabilidade Sugerido, baseado na Figura 2-6.

3.2.1. Conhecimento do Produto

O conhecimento do Produto é obtido estudando-se os manuais operacionais e descritivos técnicos, permitindo um estudo aprofundado de como funciona o equipamento e seus componentes. Desmontar o equipamento e ver suas partes pode ser uma boa solução para aumentar o conhecimento sobre a operação do mesmo, permitindo a elaboração da árvore e descrição funcional.

3.2.2 Modos de Falha

Para o estudo dos modos de falha, tal como relatado no capítulo 2 deste trabalho, a ferramenta utilizada é o FMEA, Análise de Modos e Efeitos de Falha, e a aplicação sugerida para esta ferramenta, segue o fluxograma indicado na Figura 3-2.

Figura 3-5 – Fluxograma para Análise do tipo FMEA sugerido.

- **Estruturação:**

Consiste na Verificação e Validação da Árvore Funcional, relatando a importância de cada componente no funcionamento global do sistema.

Nesta etapa pode-se agrupar componentes em sub-sistemas menores para verificar a contribuição dessas partes para o sistema como um todo.

Utilizando um sistema simplificado de um controle remoto como exemplo pode-se realizar o conhecimento do produto com base na Árvore Funcional do mesmo conforme Figura 3-6.

Figura 3-6 – Exemplo de Árvore Funcional para Controle Remoto

- **Identificação**

Para se levantar os Modos de Falha de um produto, a solução sugerida é, a partir da árvore funcional, verificar o modo como cada componente ou sub-sistema do nível mais inferior pode falhar, ou ainda a utilização do Diagrama de Ishikawa. Para a execução desta tarefa, é recomendável que exista uma equipe heterogênea de pessoas para que nenhum modo de falha seja esquecido.

Uma vez conhecidos os Modos de Falha, o grupo de estudo da análise deve verificar o impacto dos modos de falha na operação do sistema como um todo, analisando como cada modo de falha interfere no funcionamento global do sistema, SAE J1739 (1997).

Por fim, devem-se verificar quais as possíveis causas de ocorrência do modo de falha estudado. Esse levantamento também deve ser realizado com o apoio de uma equipe heterogênea para evitar que sejam desapercibidas algumas dessas causas.

A Tabela 3.2 ilustra o exemplo do Controle Remoto para essa etapa do estudo.

Tabela 3.2 – Análise do tipo FMEA com Estruturação e Identificação do exemplo: Controle Remoto.

Equipamento	Controle Remoto		
Componente/ Sub-Sistema	Pilhas		
Estruturação	Identificação		
Análise Funcional	Modos de Falha	Impacto dos Modos	Causas dos Modos de Falha
Prover Energia	Não ter carga	Não fornece Energia	Colocação Incorreta da Pilha Colocação de Pilha Usada
		Não alimenta o Circuito	
		Não Funciona o Controle	
	Apresentar Corrosão	Não fornece Energia	Deixar o Controle com pilha, exposto ao sol. Deixar pilha por longo tempo no equipamento
		Danifica o Circuito	
		Não Funciona o Controle	

• Avaliação

A avaliação representa a etapa quantitativa do método, é onde, utilizando as tabelas apresentadas no capítulo 2, se atribuirão notas para requisitos de Severidade, Ocorrência e Detecção. É importante ressaltar que a nota é atribuída ao Modo de Falha em questão, levando em consideração a gravidade das consequências, a frequência com que esse Modo de Falha ocorre e a probabilidade de detecção do mesmo.

Continuando o exemplo aplicado, complementa-se a tabela de análise do tipo FMEA como indicado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Análise do tipo FMEA com incluindo a Avaliação do exemplo: Controle Remoto.

Equipamento	Controle Remoto					
Componente/ Sub-Sistema	Pilhas					
Estruturação	Identificação				Avaliação	
Análise Funcio	Modos de Falha	Impacto dos Modos	Causas dos Modos	Severidade	Ocorrência	Detecção
Prover Energia	Não ter carga	Não fornece Energia	Colocação Incorreta da Pilha, Colocação de Pilha Usada	7	5	1
		Não alimenta o Circuito				
		Não Funciona o Controle				
	Apresentar Corrosão	Não fornece Energia	Deixar o Controle com pilha, exposto ao sol	9	3	1
		Danifica o Circuito				
		Não Funciona o Controle				

• Ações

Nesta etapa são propostas ações para prevenir os Modos de Falha, as quais se baseiam em reduzir a severidade, minimizar as ocorrências e melhorar a detecção. Estas ações podem ser aplicadas no projeto causando modificações e adequações do mesmo, principalmente quando objetiva-se reduzir a severidade da falha.

No exemplo do controle remoto ter-se-ia uma ação considerada para o primeiro modo de falha, a indicação na tampa da pilha do controle da maneira correta de se encaixar as pilhas e para o segundo modo, uma clara explicação no manual de que a pilha pode danificar o equipamento, se este estiver, incorretamente, exposto ao sol ou se permanecer por muito tempo no equipamento.

- **Acompanhamento**

Depois de realizar as ações, deve-se atualizar a análise do tipo FMEA e validar as ações tomadas, recalculando os índices de severidade, ocorrência e detecção que estarão modificados devido à implantação destas ações.

Kaminski (2000) afirma que o documento resultante da aplicação da análise do tipo FMEA deve refletir as características da última atualização do projeto, e as ações futuras que este prevê, além de manter um histórico das ações realizadas e as vantagens obtidas com a sua implantação.

3.2.3. Tipos de Registros

Para análise de dados de garantia, deve-se considerar que alguns equipamentos apresentaram falhas e outros continuam funcionando normalmente, o estudo em questão utiliza-se desses dados, portanto trata-se de uma análise de dados censurados ou em suspensão.

3.2.4. Modelos Estatísticos

O modelo estatístico que melhor representa a distribuição dos tempos até a falha de equipamentos eletrônicos é o que tem como característica a presença de falhas aleatórias, portanto é o que apresenta taxa de falha constante, o modelo exponencial, afirmam Băjenescu e Băzu (1999).

3.2.5. Cálculo dos Parâmetros

Para realizar o Cálculo dos Parâmetros da distribuição será utilizado o Método da Máxima Verossimilhança que possui vantagens conforme especificado no capítulo 2 deste material.

O banco de dados deverá possuir informações pertinentes para o estudo de confiabilidade, ou seja, informações sobre o tempo operacional até a falha de um equipamento específico, reparado durante o período de garantia. Algumas vezes

serão necessárias adequações nos bancos de dados por eles tratarem dos dados exclusivamente com caráter financeiro.

Os passos para utilização do Banco de Dados são mostrados no fluxograma constante da Figura 3-7.

Figura 3-7 – Proposta de adequação para o estudo do Banco de Dados

- **Determinação das datas**

A data em que o produto inicia o seu funcionamento, data em que apresenta a falha e a data em que entrou na assistência técnica e que saiu da mesma, já reparado, são datas muito importantes para a análise de confiabilidade do produto.

No caso, o ideal seria existir um registro de base instalada com a data de instalação efetiva do produto, porém algumas empresas fabricantes de equipamentos eletrônicos não realizam a instalação dos seus produtos e portanto não se tem um registro efetivo desta data. Outra alternativa aplicável é possuir um registro da data

de emissão da nota fiscal do produto para o consumidor, a utilização desta data se aproxima mais da data em que o mesmo foi colocado em funcionamento, pois já elimina o tempo em que o equipamento ficou no estoque das lojas, distribuidoras e afins. Em casos em que o banco de dados não contempla nenhuma das opções anteriores, deve-se realizar a melhor aproximação, menos grosseira, por exemplo, a utilização da data de fabricação do produto, muitas vezes expressa pelo número de série do mesmo.

Outra data relevante para o estudo é a data em que ocorreram as falhas, que pode ser representada pelo primeiro contato do usuário com a assistência técnica, com a abertura de um chamado técnico, por exemplo, ou pela data em que o equipamento foi levado para assistência técnica, mas esta não contempla o tempo decorrido entre a falha do equipamento e sua entrada na assistência Técnica, pois muitas vezes as pessoas não conseguem levar o equipamento para assistência no ato da ocorrência da falha, decorrendo, às vezes, dias, até que o mesmo entre na assistência técnica.

A diferença entre as duas datas, de início de utilização e da ocorrência da primeira falha, representa o tempo de utilização, sem apresentar falhas, do produto em questão. Quanto mais precisas estas datas, melhor será a aproximação do tempo de utilização do produto até a primeira falha do mesmo.

O período de reparo é determinado pela diferença entre a data de saída do equipamento consertado e a data da entrada na Assistência Técnica.

O problema encontrado para este tipo de análise é que, algumas vezes, por descuido ou falta de comprometimento, esses dados não representam a realidade, podendo existir dados de equipamentos que possuem números de série inexistentes, componentes trocados sem relação com as falhas apresentadas, etc.

- **Determinação do Período de Estudo**

O Período que o estudo contempla é importante pois representa o período determinado de estudo para o componente, sistema ou equipamento. A análise deve ser feita para determinar os equipamentos produzidos e que apresentaram falha durante o período de estudo, desta forma, devem ser desprezados os dados de equipamentos produzidos fora desse período ou que apresentaram falhas fora do mesmo.

Quanto maior o espaço amostral, no caso o período estudado, mais rico se mostra o banco de dados utilizado e o refinamento desses dados se torna mais coerente, diminuindo a incerteza da confiabilidade obtida, diminuindo o intervalo de confiança, tornando os parâmetros obtidos, mais confiáveis.

- **Análise dos Dados**

Propõe-se que a Análise dos dados seja realizada conforme a Figura 3-8:

Figura 3-8 – Fluxo da proposta para Tratamento dos Dados.

Comparando-se o número de falhas ocorridas, pelo mês de ocorrência das mesmas, pode-se descobrir uma relação de sazonalidade, que permite verificar se as

falhas ocorrem com maior frequência em uma determinada época do ano, por exemplo no calor ou no frio. Esses podem ser fatores relevantes para as causas das mesmas.

Em seguida, propõe-se a verificação da percentagem dessas falhas num período pré-determinado, para se descobrir qual a percentagem de equipamentos que retornam em garantia, ou seja, apresentam falhas dentro do período determinado para o estudo. Esse valor é a percentagem de falhas registradas e pode-se extrair dele a confiabilidade prevista para o equipamento em estudo.

A relação entre lotes de produção e falhas registradas deve ser obtida com base na relação mensal entre mês de produção e falha, exemplo: dos 10 equipamentos produzidos no mês 1, 3 apresentaram falha no mês 2, 1 no mês 6 e os demais encontram em pleno funcionamento, suspensos, até o final do período de garantia, como pode ser visto na Figura 3-9. Essa análise é simples de ser feita, desde que haja um banco de dados adequado, que permita a realização, mês a mês, desta análise.

Figura 3-9 – Relação entre Lotes de Produção e Falhas registradas com exemplo: meses 1 e 5.

A partir desses dados, é possível se verificar o tempo de funcionamento dos equipamentos até apresentarem falhas. Esse dado é importante para avaliar se a falha ocorre, geralmente, depois de certo período pré-determinado de utilização.

No caso da análise dos dados de garantia, com a utilização de softwares adequados, é possível se determinar quantos equipamentos estão suspensos ou em falha ao final do período de estudo, permitindo a obtenção da curva de confiabilidade, a taxa de falha e a determinação do MTTF, que são parâmetros importantes desta análise.

O período de garantia também pode ser estipulado a partir da análise realizada, podendo ser estendido ou diminuído conforme análise realizada, contemplando custos e estratégia de marketing.

As decisões tomadas a partir desta análise envolvem custos e são bem relevantes, podendo gerar um grande problema se estiverem baseadas em dados que não representem a situação real encontrada em campo.

Os registros devem contemplar o efeito alegado pelo cliente, para se realizar a validação da análise do tipo FMEA. Usualmente, o usuário fornece o dado do que ocorre com o equipamento, ou seja, o efeito da falha sobre a condição operacional do mesmo. De posse desta informação, o técnico buscará o componente que está em estado de falha. Esta relação causa/ efeito permitirá a verificação da análise do tipo FMEA executada no início do estudo.

Além desses dados, o controle sobre a peça trocada ou reparada também auxilia a manter a consistência entre o Modo de Falha e a Ação tomada pela Assistência Técnica, além de possuir o caráter financeiro do Banco de Dados, pois permite o registro justificado dos custos de reparo dos equipamentos que falharam durante o período de garantia.

- **Correção dos dados**

Sempre que possível, os dados devem ser refinados, principalmente quando os registros dos dados não forem gerados para a utilização no estudo de confiabilidade, devendo sempre se realizar uma análise crítica dos dados obtidos.

Por isso, a utilização dos dados de algumas assistências técnicas consideradas mais “confiáveis”, é uma maneira de se validar os dados globais e determinar a coerência dos mesmos.

- **Análise dos componentes Críticos**

Com a utilização dos dados de garantia, é possível se validar a análise do tipo FMEA realizada e verificar se o defeito alegado pelo cliente, efeito da falha, tem relação com o Modo de Falha diagnosticado em bancada e se há relação com o componente trocado. Mais uma vez, um banco de dados preparado para essa análise geraria um melhor desempenho, pois contemplaria os três campos mencionados e

ainda poderia contemplar o subsistema, ou subconjunto ao qual o componente trocado pertence.

A validação da Análise de Modos e Efeitos Falha feita através do estudo dos dados de garantia, compara as falhas obtidas e suas informações com as informações realizadas pela Análise, assim, auxilia a pontuar aspectos importantes do sistema para a falha de interesse, a estabelecer um método padronizado de análise de falhas, a detectar as falhas, a fornecer opções para análise de confiabilidade quantitativa e qualitativa, a concentrar em uma falha por vez e a estudar o efeito conjunto da falha de componentes.

Uma vez levantados os Modos de Falha, com a utilização de metodologias como o Diagrama de Pareto e curva ABC, são possíveis se estudar com maior aprofundamento os causadores das falhas, componentes críticos. Que podem ser estudados isoladamente para se estabelecerem ações para diminuir a incidência de falhas do mesmo e verificar os custos de garantia.

- *Diagrama de Pareto*

O gráfico de Pareto é definido como: um diagrama que apresenta os itens e a classe na ordem dos números de ocorrências, apresentando a soma total acumulada, Karatsu and Ikeda (1985).

É uma figura simples que visa dar uma representação gráfica à estratificação. O modelo de Pareto utiliza-se do conceito de que alguns elementos são vitais; muitos, apenas triviais. Este princípio também conhecido como "Lei 20/80" pode ser citado: 20% das falhas encontradas em campo é responsável por 80% dos custos de garantia ou 80% das falhas encontradas em campo são realizadas por 20% dos componentes. Resumidamente, pode-se dizer que: se os sistemas ou causas de produtos defeituosos ou de algum outro efeito são identificados e registrados, é possível determinar que porcentagem pode ser atribuída a cada uma das causas. O diagrama de Pareto evidencia a existência de elementos críticos, utilizando-se de um modelo gráfico que os classifica em ordem decrescente de importância, a partir da esquerda.

Para montar um diagrama de Pareto, segundo Rossato (1996), deve-se:

- Decidir o que vai ser analisado;

- Selecionar o método e o período para coletar os dados. Coletar os dados de acordo com sua causa e assunto;
- Estabelecer um período de tempo para coletar dados, tais como: horas, dias, semanas, meses, etc;
- Reunir os dados dentro de cada categoria;
- Traçar dois eixos, um vertical e um horizontal de mesmo comprimento. No eixo vertical da direita, fazer uma escala de 0 a 100%, e na esquerda uma escala de 0 até o valor total. No eixo horizontal fazer uma escala de acordo com o número de itens;
- Listar as categorias em ordem decrescente de frequência da esquerda para a direita. Os itens de menos importância podem ser colocados dentro de uma categoria "outros" que é colocada na última barra à direita do eixo.
- Calcular a frequência relativa e a acumulada para cada categoria, sendo que a acumulada será mostrada no eixo vertical e à direita, como pode ser visto na Figura 3-10.

Figura 3-10 – Exemplo de Diagrama de Pareto para Tipos de Defeitos, Martins (2001).

- *Curva ABC para relação Incidência X Custos*

A curva ABC é uma ferramenta importante, que permite realizar o controle dos componentes que apresentam grande incidência de falhas considerando a relação com os custos que os mesmos representam.

Nem sempre o componente que apresenta maior número de falhas é o mais crítico do processo, porque se um fusível queima 10 vezes mais que um controlador, a representação financeira desta falha pode não ser tão significativa quanto outras em termos de custos envolvidos com o reparo, incluindo custos de mão-de-obra e do próprio componente.

Para montar uma curva ABC, segundo Martins (2001), deve-se executar os seguintes passos:

- Relacionar todos os itens que foram consumidos em determinado período;
- Para cada item, registrar o preço unitário e a quantidade utilizada no período considerado;
- Em seguida, calcular o valor total para cada item, realizando a operação preço unitário x quantidade utilizada;
- Ordenar os itens de maneira decrescente, iniciando com maior valor total gasto;
- Para cada item, calcular o valor de consumo acumulado, que é igual ao seu valor de consumo somado ao valor de consumo acumulado da linha anterior;
- Calcular o percentual sobre o valor total acumulado, que é igual ao seu valor de consumo acumulado dividido pelo valor de consumo acumulado do último item.
- Finalmente, traçar o gráfico, colocando no eixo das abcissas os dados dos itens, agrupados de acordo com níveis de custos (A, B, C) e no eixo das ordenadas, os dados de custo, obtendo uma curva crescente. Conforme apresentada na Figura 3-11.

Figura 3-11 – Exemplo de Curva ABC, Martins (2001).

A curva ABC representa uma boa solução para a determinação de componentes críticos, porém necessita de informações confidenciais, de custos, que muitas vezes não são fáceis de serem obtidas.

4. CASO EXEMPLO: ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE UMA CENTRAL TELEFÔNICA

4.1. Panorama do Mercado

O mercado de telefonia teve um acréscimo enorme de vendas, devido à privatização da Telebrás, que, segundo a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), permitiu o crescimento em 300% do número de usuários de telefonia fixa e móvel. Os investimentos no setor aumentaram e a demanda por aparelhos de telecomunicação também. A linha telefônica tornou-se mais acessível e a sua utilização aumentou consideravelmente, conforme apresentado na Figura 4-1.

Figura 4-1 – Utilização do Serviço Telefônico Fixo Comutado (STFC), Anatel (2005)

A facilidade de acesso às linhas gerou uma maior necessidade de equipamentos de telecomunicação, como telefones e centrais telefônicas, gerando um crescimento de empresas nesse ramo de atividade, aumentando a concorrência e as exigências do mercado. As grandes empresas direcionaram sua atuação para a qualidade total de seus produtos, preocupando-se com a qualidade e confiabilidade dos equipamentos produzidos, para aumento da competitividade no mercado, acompanhando tendências mundiais, assimilando tecnologias e apresentando produtos inovadores, com agilidade e dinamismo.

A qualidade e robustez do equipamento é a característica mais relevante que distingue a melhor fabricante de centrais de suas concorrentes, segundo estudo feito pelo gestor de Produto, Ernesto Pires Lobo e mostrado na Figura 4-2.

Figura 4-2 – Estudo sobre as principais características de uma central telefônica, Lobo (2005).

Segundo Mello et al (2002), a busca incessante por diminuição de custos e melhoria de qualidade e competitividade dos produtos, aliada às rigorosas exigências dos consumidores provocam investimentos em todas as etapas do processo produtivo, desde desenvolvimento de fornecedores de matéria prima até os gastos com garantia dos produtos. Para este último, há uma grande concentração de esforços visando sua redução. Os dados coletados durante o período de garantia do produto são muito importantes para a evidência de problemas, pois revelam o verdadeiro desempenho da confiabilidade dos componentes e sistemas, além de apontarem possíveis erros de projeto e originarem ações corretivas e preventivas para o produto, aumentando sua qualidade e robustez, conforme exigência do mercado, Lutz (1998).

O prazo de garantia também pode ser um fator decisivo na hora da compra e, feita uma análise de confiabilidade aprofundada do histórico de garantia dos produtos, aliada a uma pesquisa de mercado, é possível estender esse prazo. Porém, o grande problema desta análise é a necessidade de alimentação do banco de dados pelas Assistências Técnicas Autorizadas, que muitas vezes trabalham sem critérios específicos e sem fiscalização eficiente da empresa fabricante. Essa falta de comprometimento, da empresa que presta esse tipo de serviço de forma independente, com os resultados gerados a partir dos dados registrados por ela dificulta muito a análise e tomada de decisão, pois as informações apresentadas no banco de dados, algumas vezes, não refletem a situação real.

O estudo do projeto ou do produto, utilizando-se de ferramentas de confiabilidade, proporciona a descoberta das funções de cada componente do sistema e as possíveis falhas que os mesmos podem acarretar ao equipamento.

A correção dessas falhas de projeto em estágio preliminar do desenvolvimento evita que erros sejam detectados pelo cliente, causando insatisfação, e reparos em campo, produzindo resultados bem menos onerosos financeiramente, e não abalando a credibilidade da empresa fabricante do produto.

As ações corretivas, realizadas a partir de falhas detectadas em campo, ajudam a realizar novas revisões do produto, modificando os pontos falhos e dando continuidade à produção com as modificações necessárias. Também é possível amenizar o descontentamento do consumidor realizando uma programação de assistência técnica, que permite ao usuário o conserto ágil do seu equipamento, fornecendo peças para reposição, treinamentos técnicos, etc.

Neste contexto, um dos principais desafios com o qual desenvolvedores de sistemas se deparam é o de assegurar a confiabilidade dos equipamentos projetados. Esse objetivo torna-se ainda mais imperativo em sistemas cuja falha operacional pode ocasionar perdas humanas, econômicas ou causar degradação na prestação de serviços.

Situação similar ocorre em sistemas sujeitos a sofrer degradação no nível de prestação de serviços, quando operando em situação de falha. Exemplos de tais

sistemas compreendem os sistemas de telecomunicações e sistemas de bancos com caixa de auto-atendimento. Tais sistemas enquadram-se dentro da categoria de sistemas reativos e compreendem os sistemas para os quais a análise de confiabilidade do produto torna-se muito importante, quase vital.

Essa análise em sistemas como, por exemplo, controle de tráfego aéreo, telecomunicações e caixas de auto-atendimento de bancos é muito importante. Note que se algum desses sistemas falhar ou deixar de operar, isto pode implicar em degradação da qualidade de serviços oferecidos, prejuízos financeiros e até perdas humanas (no caso de sistemas críticos). Portanto, assegurar a corretude de funcionamento de um sistema, significa garantir disponibilidade de serviços e confiabilidade operacional, Castro (2003).

Hoje, a análise de confiabilidade de produtos ou sistemas críticos é um diferencial de empresas modernas e tende a ser um parâmetro exigido pelo mercado num futuro bem próximo.

4.2. Centrais Telefônicas

As centrais telefônicas são, basicamente, sistemas que permitem ligar dois telefones de uma rede telefônica entre si.

Quando uma pessoa faz uma chamada, a central telefônica estabelece uma ligação elétrica entre o par de fios que vem do telefone que está chamando com o do telefone que está sendo chamado, tornando possível a conversa entre essas duas pessoas.

As centrais telefônicas mais antigas eram manuais, isto é, tudo era feito pelas telefonistas, que recebiam as chamadas e faziam as ligações elétricas necessárias, conforme ilustra a Figura 4-3.

Figura 4-3- Cartão postal francês do final do século XIX. O homem está tentando falar com as telefonistas, Martins (2002).

Na central havia, tantos pares de fios, quanto telefones instalados, que vinham de diversas residências (ou escritórios) e ficavam ligados a interruptores ou tomadas em um painel de controle.

Ao terminarem a conversa, as pessoas colocavam seus fones de volta ao corpo do aparelho, porém seus fios continuavam ligados na central telefônica. Nas centrais mais antigas, a telefonista precisava ouvir as conversas, de vez em quando, para ver se já tinham terminado e só então, desligar as duas linhas. Já, nas mais modernas, dispositivos como lâmpadas que acendiam, ou janelinhas que se abriam na mesa da telefonista, avisavam quando as pessoas haviam desligado seus aparelhos.

O primeiro painel comercial para comutação de linhas telefônicas, feito em 1878, era bastante primitivo, podendo atender apenas 8 assinantes e fazendo apenas 4 ligações por vez.

Pouco tempo após a invenção do telefone e das centrais de comutação, surgiu a idéia de que a ligação entre as várias linhas telefônicas poderia ser feita automaticamente, sem a ajuda de operadores. Em uma central telefônica automática, a própria pessoa que quer telefonar envia sinais elétricos especiais de seu aparelho para certos instrumentos na central telefônica, e esses instrumentos ligam a pessoa com o telefone desejado.

Em 1889, um agente funerário da cidade de Kansas chamado Almon B. Strowger começou a desenvolver um sistema automático de comutação que realmente funcionou. Conta-se que Strowger desconfiava das telefonistas e acreditava que elas propositadamente desviavam os chamados de seus clientes para um outro agente funerário. Por isso, ele resolveu inventar um sistema de comutação que dispensasse o uso das telefonistas.

O sistema de Strowger era um aperfeiçoamento dos aparelhos anteriores. Ele também tinha um dispositivo com um contato metálico principal, móvel, que se deslocava passo a passo, acionado por eletroímãs, “varrendo” diversos contatos fixos, cada um deles conectado a uma linha telefônica, tal como indicado na Figura 4-4, Martins (2002).

Mas havia uma diferença importante: o sistema se movia dentro de um cilindro e podia tanto girar em torno do eixo do cilindro como também se mover para cima e para baixo. O cilindro tinha, em sua parte interna, 10 fileiras com 10 contatos

metálicos cada uma, totalizando 100 contatos. A “vassoura” ou “escova” metálica central podia assim se deslocar facilmente e escolher um dos 100 contatos, cada um dos quais representava uma linha telefônica.

Figura 4-4 - O sistema Strowger de comutação automática: esquema, Martins (2002)

O sistema de comutação automática desenvolvido por Strowger tem duas partes básicas. Uma, é o dispositivo existente na própria central telefônica, que realiza as conexões entre as linhas telefônicas. A outra é um dispositivo colocado nos aparelhos dos usuários, que permite enviar sinais à central telefônica informando o número do telefone com o qual se quer fazer conexão, conforme a Figura 4-5.

Figura 4-5 - Representação esquemática de um dispositivo de comutação com 100 linhas, cada uma delas ligada a um telefone, Martins (2002)

Inicialmente, os usuários não dispunham de nenhum mecanismo especial para enviar os sinais à central. Eles tinham dois botões na caixa dos seus telefones e deviam apertar cada um deles um determinado número de vezes. Por exemplo, para se conectar com o telefone número 34, era necessário apertar o primeiro botão 3 vezes, e o segundo botão 4 vezes. Cada vez que um botão era apertado, ele enviava

um pequeno pulso elétrico para a central e fazia o dispositivo se mover um passo.

O sistema funcionava, portanto, da seguinte forma: Quando uma pessoa queria telefonar, ela tirava o telefone do gancho (para se ligar com a central telefônica) e então apertava os botões do seu aparelho. Na central telefônica, o dispositivo ligado a este telefone ia se movendo, primeiro na direção vertical, depois girando, até fazer a ligação com o número desejado. Então, a pessoa girava a manivela do magneto, para produzir um sinal na campainha do número chamado.

Durante toda a conversa, o dispositivo Strowger se mantinha na mesma posição, ligando as duas linhas. Quando a conversa terminava, era necessário apertar um botão que fazia o dispositivo Strowger da central telefônica voltar para a sua posição inicial. Se a pessoa não apertasse esse botão, seu telefone continuaria conectado à linha que havia sido chamada antes.

Os problemas encontrados eram que, além do alto custo de uma linha telefônica, uma pessoa podia se conectar a um telefone que já estava sendo usado, pois o dispositivo não verificava linhas ocupadas, então se podia ouvir a conversa de outras pessoas e intrometer-se. Por fim, muitos se esqueciam de apertar o botão que fazia o dispositivo retornar a posição inicial.

A primeira evolução das centrais eletromecânicas foram as centrais analógicas, que permitem o tráfego de informações através do modo contínuo, isto é, os dados não podem ser interrompidos quando enviados de um lugar para outro, porém resultam em constantes sobrecargas e paralisações que em muitos casos podem se agravar mediante problemas relacionados à chuva, umidade, etc.

Na década de 70 as centrais telefônicas passaram por um processo evolutivo da era analógica para a era digital (processamento por computador). Essa mudança ocorrida nos núcleos de processamento das centrais, através da troca de componentes eletromecânicos por processadores digitais estendeu-se aos outros componentes funcionais das centrais, dando origem ao que é chamado de central digital CPA. A CPA é uma central telefônica que operacionalmente possui um programa armazenado na sua memória principal, responsável pelas funções básicas de comutação e controle. Pode-se dizer que é um sistema de comutação digital controlado por um sistema de informação baseado em computador. São funções comuns as centrais telefônicas a interligação de terminais telefônicos (linhas de

assinantes), controle da chamada telefônica, serviços de identificação e tarifação dos assinantes.

As centrais digitais não apresentam problemas relacionados à chuva e umidade, como as analógicas, uma vez que sua estrutura é montada sobre cabos de fibra óptica impedindo que tais problemas externos interfiram no envio e recebimento das informações via Internet, sem falar que os dados podem trafegar a intervalos sem com isso perder a qualidade da informação

Na verdade, as centrais digitais são verdadeiros computadores específicos para a função, e trabalham com um Software internamente para execução das operações, tais como, interligar (comutar) terminais, executar controle, teste e gerenciamento do Hardware, além de serviços adicionais (identificação de chamadas, transferência de chamadas, ligações simultâneas, etc.).

4.3. Análise de Confiabilidade de uma Central Telefônica Digital

4.3.1. Componentes e Lógica de Operação

Conforme ilustrado na Figura 3-4, o conhecimento do produto se dá através da execução da árvore funcional, baseando-se em cada componente e na inter-relação entre eles.

Com o objetivo de definir as funções dos componentes presentes neste tipo de central, inicialmente propõe-se a divisão dos mesmos em sistemas específicos, tais como, fonte de tensão, circuito de proteção de subtenção, gerenciamento e controle da central, e, comutação.

Na seqüência da análise, na Figura 4-6, apresenta-se uma proposta de diagrama que representa a relação funcional dos diversos sistemas e componentes presentes nesta central, sendo este denominado de árvore funcional.

Adicionalmente, executa-se a análise funcional de cada um destes sistemas e de seus componentes, visando a definição da contribuição de cada um dos mesmos, para a operacionalidade da central telefônica. Esta análise funcional subsidia a definição das falhas operacionais dos mesmos e a consequência para a confiabilidade desta central telefônica.

A árvore funcional divide a central estudada em 3 grandes grupos: Microcontrolador, Comutação e Bloco sistema de Alimentação, com atuação direta do Circuito de Proteção de Subtensão, que trava o funcionamento da Central em caso de tensões muito baixas que podem danificar a memória RAM, gravando nela “sujeiras” e alterando suas funcionalidades.

A Figura 4-6 exibe a Árvore Funcional da Central estudada.

Figura 4-6 – Árvore Funcional da Central Estudada

Cada sistema, subsistema e componente, mostrado na Árvore funcional da Figura 4-6, possui uma função específica para o funcionamento e as funcionalidades da central, essas funções serão descritas, componente a componente, na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Descritivo Funcional de cada componente, subsistema ou sistema da árvore funcional – Folha 01/ 03.

1. Central Telefônica
Executa as operações previstas para a central telefônica, como recebimento, execução, transferência de chamadas entre ramais, identificação de chamadas, música de espera, porteiro eletrônico, acionamento externo, desvio de chamadas, atendimento automático, agenda e rota de menor custo.
1.1.Circuito de Proteção de Subtensão:
Protege a Central quando a mesma é submetida a baixas tensões, correndo o risco de gravar dados incoerentes na memória e de danificar o funcionamento da central, impede a gravação de dados quando a tensão é inferior a 4,5 V e “reseta” a central, quando a tensão é inferior a 3,6 V.
1.1.1. Sensor de 3,6 V:
Detecta tensão abaixo de 3,6 V.
1.1.2. Sensor de 4,5 V:
Detecta tensão abaixo de 4,5 V.
1.2. Microcontrolador:
Controla todas as atividades da Central Telefônica.
1.2.1. Solda
Garante que o microcontrolador e os outros componentes estejam, corretamente, fixados nas placas.
1.2.2. Trilha
Transmite os dados através das placas.
1.2.3. Gerador de Chip Select
Fornece sinal para habilitar o circuito integrado para receber ou enviar dados para a CPU, de acordo com o endereço presente no barramento de dados naquele momento.
1.2.3.1. Lógica
Controla todas as funções realizadas pela Central.
1.2.3.1.1. WTD
Verifica a Rotina do Software, se está passando por todas as etapas necessárias.
1.2.3.1.1.1. Bloco Saída de WTD
Comanda o Reinício do programa, quando percebe que a rotina não está sendo corretamente seguida.
1.2.3.1.2. RAM
Memória Utilizada pelo Microcontrolador para armazenar dados intermediários
1.2.3.1.2.1. Proteção de Subtensão da RAM
Proíbe o acesso à memória quando a tensão estiver baixa.
1.2.3.1.2.1.1. Sensor de 4 V
Detecta tensão a baixo de 4 V.
1.2.3.1.2.2. Bloco Bateria

Tabela 4.1 – Descritivo Funcional de cada componente, subsistema ou sistema da árvore funcional – Folha 02/ 03.

Alimenta a memória RAM quando tiver falta de energia, para manter sua memória (setup).
1.2.3.1.3. EPROM
Memória programada em fábrica com as programações e operações que a central oferece.
1.2.3.1.4. Bloco de Leitura
Recebe os Dados.
1.2.3.1.4.1. Bloco de Atendimento
Permite o atendimento das Ligações, mantendo a linha “presa”.
1.2.3.1.4.1.1. Relé
Permite a transmissão dos dados de maneira confiável.
1.2.3.1.4.1.2. Sensor de Ring
Transmite o dado da presença da Tensão de Ring.
1.2.3.1.4.2. Sensor de Ocupação de Ramal
Indicar a ocupação do ramal.
1.2.3.1.4.3. Placas Acessórios
Inclui funções extras na central, como detecção de chamadas, discagem automática, calendário, despertador, serviços de programação, terminais inteligentes, portas seriais para inclusão .
1.2.3.1.5. Bloco de Escrita
Envia mensagens para outros sistemas.
1.2.3.1.5.1. Sensores
Detecta a presença de outros sistemas.
1.2.3.1.5.2. Controle de Bina para Ramal
Envia sinal de Bina para Ramal
1.2.3.1.5.3. Seleção de Música
Oferece a opção do Usuário, para escolher música interna ou externa.
1.2.4. Proteção de Sobretensão 5V
Protege a central contra tensões elevadas.
1.2.5. Linhas de Endereço
Transmite endereços de controle do microcontrolador.
1.2.6. Linhas de Controle
Transmite comandos de controle do microcontrolador.
1.2.7. Linhas de Dados
Transmite dados de controle do microcontrolador.
1.3. Comutação
Comuta as Linhas e os Ramais, fazendo as ligações.
1.3.1. Matriz de Comutação
Realiza todas as relações entre linhas e ramais.
1.3.1.1. Entradas de Linhas Externas
Recebe a entrada da linha externa.
1.3.1.2. Seleção de Ramais / Vias

Tabela 4.1 – Descritivo Funcional de cada componente, subsistema ou sistema da árvore funcional – Folha 03/ 03.

Seleciona o Ramal desejado para a ligação.
1.3.1.3. Entrada de Sinal da Operadora (BINA)
Detectar a entrada do número proveniente da Linha externa
1.3.1.4. Vias Internas para Comutação entre Ramais
Provê Ligações entre Ramais Internos
1.3.1.5. Buffer do Chip Select
Recebe o Sinal do Chip Select, conforma-o, inverte-o e distribuí-o.
1.3.2. Conformador/ Atenuador de Sinal
Transforma onda quadrada para senoidal.
1.3.3. Circuito de Música
Provê música para a espera.
1.3.3.1. Matriz Música
Oferece a opção do Usuário, para escolher música interna ou externa
1.3.3.2. Proteção de Áudio da Matriz
Protege o equipamento na entrada de música Externa e permitir que funcione mesmo sem energia elétrica.
1.3.4. Bloco Interface Linha
Faz a Interface entre Linha e Ramal.
1.4. Bloco do Sistema de Alimentação
Provê alimentação elétrica para todo o Sistema.
1.4.1. Circuito de Ring
Transmite o sinal de presença de Ring.
1.4.2. Fonte de 5V
Fornece tensão para microprocessador.
1.4.3. Sistema Fonte
Fornece energia elétrica para o acionamento da central.
1.4.3.1. Fiação e Conector
Transmite energia elétrica para o acionamento da central.
1.4.3.2. Entrada
Recebe energia elétrica da fonte externa (tomada).
1.4.3.2.1. Chave 110\ 220V
Seleciona a tensão de entrada requerida.
1.4.3.3. Proteção A\C
Protege o Circuito Fonte.
1.4.3.4. Trafo
Transforma a tensão de rede para outro valor.
1.4.4. Fonte de 12V
Fornece tensão para matriz.

4.3.2. Análise de Modos e Efeitos de Falha

Para execução da análise de modos e efeitos de falha da central telefônica consideram-se os mecanismos de falha associados com os componentes básicos dos circuitos elétricos que a compõem visando avaliar o efeito da falha dos mesmos sobre a operacionalidade da central.

Para definição dos modos de falha dos diversos componentes presentes na central utilizou-se a descrição das falhas de semi-condutores apresentada na norma MIL-HDBK-338B (1998). Esta norma apresenta uma tabela, reproduzida na Tabela 4.2, onde, para diversos componentes eletro-eletrônicos são apresentados os principais modos de falha dos componentes. A probabilidade de falha do componente deve ser calculada através de ensaios de confiabilidade ou obtida através de informações do fabricante.

A maioria dos componentes presentes na central, tal como capacitores, resistores e diodos, apresentam três modos de falhas típicos, os quais são: componente em curto, componente com alteração no valor nominal e componente aberto.

Para componentes microeletrônicos os modos de falha estão bastante associados com defeitos introduzidos nos processos de fabricação e montagem do mesmo bem como por falhas mecânicas induzidas por ações ambientais, tais como umidade, vibração e variação de temperatura, O'Connor (2002).

Tabela 4.2 - Modos de Falha de Componentes Tipicamente Encontrados em Sistemas Eletro-eletrônicos. (MIL – HDBK – 338B 1988) – Adaptada e Traduzida 01/ 03.

Tipo de Componente	Modos de Falha
Bateria de Lítio	Tensão de Saída degradada
	Atraso na partida
	Curto
	Aberto
Bateria (Ácido)	Tensão de Saída degradada
	Curto
	Saída intermitente
Bateria Ni-Cd	Tensão de Saída degradada
	Sem tensão de Saída
Capacitor, Cerâmica	Curto
	Valor Trocado
	Aberto
Capacitor, Vidro	Curto
	Valor Trocado
	Aberto
Capacitor, Papel	Curto
	Aberto
Capacitor, Plástico	Curto
	Valor Trocado
	Aberto
Capacitor, Tantalum	Curto
	Valor Trocado
	Aberto
Capacitor, Eletrolítico	Curto
	Valor Trocado
	Aberto
Capacitor, Variável	Curto
	Valor Trocado
	Aberto
Disjuntor de Circuito	Aberto sem estímulo
	Não abre quando deve
Conector/ Conexão	Aberto
	Intermitente
	Curto
Contador	Contagem Incorreta
	Seized
Diodo, Geral	Curto
	Aberto
	Parâmetro Modificado
Diodo, Retificador	Curto
	Aberto
	Parâmetro Modificado

Tabela 4.2 - Modos de Falha de Componentes Tipicamente Encontrados em Sistemas Eletro-eletrônicos. (MIL – HDBK – 338B 1988) – Adaptada e Traduzida 02/ 03.

Tipo de Componente	Modos de Falha
Diodo, SCR	Curto
	Aberto
Diodo, Baixo Sinal	Curto
	Aberto
	Parâmetro Modificado
Diodo, Tiristor	Falha desligado
	Falha Ligado
	Curto
	Aberto
Diodo, Triac	Falha desligado
	Falha Ligado
Diodo Zener, Referência de Tensão	Curto
	Aberto
	Parâmetro Modificado
Diodo Zener, Regulador de Tensão	Curto
	Aberto
	Parâmetro Modificado
Fusível	Falha para Abrir
	Demora para Abrir
	Abre antes
Conjunto do Teclado	Falha da Mola
	Falhas de contato
	Falhas de Conexão
	Trava acima
Display de Cristal Líquido	Fileiras não ofuscantes
	Imagem em branco
	Fileiras cintilantes
	Faltam elementos
Microcircuito, Digital, Bipolar	Entrada Aberta
	Saída Aberta
	Saída mais Baixa que normal
	Saída mais Alta que normal
Microcircuito, Digital, MOS	Entrada Aberta
	Saída Aberta
	Sem alimentação
	Saída mais Baixa que normal
	Saída mais Alta que normal
Microcircuito, Interface	Saída mais Baixa que normal
	Entrada Aberta
	Saída Aberta
	Sem alimentação
Microcircuito Linear	Saída Imprópria
	Sem Saída
Microcircuito, Memória, Bipolar	Demora na Transferência de dados
	Perde os Bits de dados
Microcircuito, Memória, MOS	Perde os Bits de dados
	Curto
	Aberto
	Demora na Transferência de dados

Tabela 4.2 - Modos de Falha de Componentes Tipicamente Encontrados em Sistemas Eletro-eletrônicos. (MIL – HDBK – 338B 1988) – Adaptada e Traduzida 03/ 03.

Tipo de Componente	Modos de Falha
Resistor, Composição	Parâmetro Trocado
	Aberto
	Curto
Resistor, Filme	Parâmetro Trocado
	Aberto
	Curto
Resistor, Wirewound	Parâmetro Trocado
	Aberto
	Curto
Resistor, Rede	Aberto
	Curto
Resistor, Variável	Saída Errada
	Aberto
	Curto

Considerando que, nesta dissertação, o objetivo da execução da análise de modos e efeitos de falha é determinar os componentes cujas falhas implicam em graves consequências para a operacionalidade da central telefônica, sendo a palavra grave associada com a quantidade de funções perdidas dada a ocorrência de uma falha específica. Procurou-se empregar uma tabela de análise FMEA simplificada, tal como indicado na Tabela 4.3, onde definem-se os modos de falha e as consequências associadas a eles, medidas em termos de severidade, de acordo com a escala indicada na norma MIL-HBDK-338B (1998).

Tabela 4.3 - Formulário Simplificado para Execução da Análise de Modos e Efeitos de Falha de Centrais Telefônicas.

	Componente: Sistema: Obs:						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR

A análise ora executada considera uma análise de ocorrência baseada em dados probabilísticos de cada modo de falha, presente nos dados de assistência técnica, e a classifica conforme Tabela 2.3. Os dados de detecção foram baseados na Tabela 2.4 e definidos juntamente com a equipe de engenheiros e técnicos formada por membros da Assistência Técnica, Projeto e Desenvolvimento e Laboratório de Confiabilidade.

A principal função da realização da análise do tipo FMEA é definir os componentes críticos da central telefônica em termos de redução da capacidade operacional da mesma.

Como exemplo da análise do Tipo FMEA realizada, a Tabela 4.4 mostra-se o estudo do Bloco Bateria da Memória RAM do microcontrolador.

Tabela 4.4 – Exemplo da Análise do tipo FMEA para Bloco de Bateria da memória RAM.

Componente: Bloco Bateria Sistema: RAM/ Microcontrolador							
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
Carregar a Bateria para que possa ser utilizada sem energia	Permitir passagem de corrente muito alta.	Problema de Fornecedor	1. Sobrecarga na bateria. 2. A Memória RAM é apagada por falta de alimentação. 3. A lógica continua funcionando normalmente. 4. O ChipSelect funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Pode haver uma sobrecarga na bateria, que provocará o estouro da mesma, travando a central, o setup será perdido.	7	6 2%	3	126
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
	Não Permitir passagem de corrente.	Problema de Fornecedor	1. Não carrega a bateria. 2. A Memória RAM é apagada por falta de alimentação. 3. A lógica continua funcionando normalmente. 4. O ChipSelect funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Apaga a programação da Central, o usuário deve programar o setup novamente	5	6 2%	3	90
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
	Permitir passagem de corrente aleatória no circuito.	Problema de Fornecedor	1. Fornece energia insuficiente em caso de falta de fornecimento. 2. A Memória RAM é apagada por falta de alimentação. 3. A lógica continua funcionando normalmente. 4. O ChipSelect funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Pode apagar a programação da Central, o usuário deve programar o setup novamente e ele pode ser apagado novamente.	6	6 2%	6	216
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Ação da Temperatura					

Para a avaliação da análise é necessário considerar que cerca de 2% dos Modos de falha apresentados pelos dados de Assistência Técnica referem-se a problemas na memória RAM, o que reflete em uma ocorrência de nível 8, segundo a Tabela 2.3 . A detecção, como era de se esperar, possui um número mais alto para a corrente aleatória, já que é mais difícil detectar essa falha.

Essa análise exemplificada mostra que a corrente aleatória no circuito possui um NPR maior que as outras duas, sendo considerado um modo potencial de Falha que deve ser revisto, implementando ações.

A análise do tipo FMEA dos demais componentes da central telefônica encontra-se no Anexo I desta dissertação.

Neste trabalho não foi estipulado um NPR aceitável, levando em consideração, somente a severidade dos componentes. Assim, os componentes/sistemas que provocam a parada da central e, portanto, são considerados críticos para a central são:

- Circuito de Proteção;
- WTD;
- Linhas de Endereço, Dados e Controle;
- Bloco Sistema de Alimentação;
- Outros relacionados à Matriz de Comutação.

4.4.3. Análise de Dados de Garantia

A análise dos dados de Garantia foi feita baseando-se nos dados de Assistência Técnica, e são importantes para evidenciar a situação real do equipamento em campo, pois esses registros formam o histórico dos produtos, aliados aos dados de produção e projeto. A partir deles, é possível determinar a confiabilidade do equipamento em estudo, expressa através da curva de confiabilidade do produto e do Tempo Médio até a Falha calculado.

Os dados fornecidos pela empresa, fabricante da Central Telefônica em estudo, foram listados em forma de tabelas, contendo as seguintes informações:

- **Autorizada:** Consta o nome da Assistência Técnica Autorizada que realizou aquele reparo.
- **Parte:** Bloco da Central telefônica em que foi executado o reparo.
- **Número de Série:** Número de Série da Central que apresentou o defeito e foi registrado no banco de dados, a partir deste número, consegue-se obter o mês e ano de produção da central.
- **Data de Entrada:** Data em que o Equipamento entrou na Assistência Técnica Autorizada e data utilizada como data da Falha do equipamento.

- **Data de Saída:** Data em que o equipamento saiu da Assistência Técnica Autorizada, utilizada para saber o tempo de reparo da falha.
- **Defeito:** Registro do Defeito constatado pelo técnico, em termos de confiabilidade, é a falha do equipamento.
- **Material Utilizado:** Parte da Central Telefônica, ou componente que foi reparado ou trocado.

O estudo de confiabilidade analisa, entre os equipamentos produzidos, quantos apresentaram falhas, e faz um estudo probabilístico sobre o comportamento dessas falhas.

Foi definido, como lote de produção, a produção mensal realizada pela empresa, então, outro dado fornecido foi a quantidade de equipamentos produzidos mensalmente.

Como o banco de dados possui o número total de falhas registradas num período determinado, existem equipamentos que falharam no período de estudo, mas que não foram produzidos dentro do mesmo, estes dados são desprezados pela análise.

• Determinação das Datas

Seguindo a proposta da análise apresentada no Capítulo 3, é realizada a primeira etapa do fluxograma, determinação das datas:

Figura 4-7 – Datas determinadas para o caso em estudo.

A Figura 4-7 mostra que a Data de Instalação extraída do banco de dados do caso em estudo é a Data de Fabricação, que pode ser obtida através de uma análise do registro do número de série do produto. Essa aproximação prevê que o equipamento saia da linha de produção e já esteja em pleno funcionamento, não contempla o tempo que ficou na “prateleira”, ou seja, o tempo que levou para ser vendido e instalado. Neste caso, a empresa fabricante não é a responsável pela

instalação do equipamento e por isso não possui esse registro, além disso, os registros de garantia não contemplam o número e data da nota fiscal de venda do produto.

As datas de ocorrência da falha e início do reparo são obtidas através da data de entrada do equipamento na Assistência Técnica, ou seja, não há um registro de quando exatamente o produto sofreu a falha, não estando embutido nesse valor o tempo que o consumidor gastou para levar o equipamento para a Assistência Técnica Autorizada.

Por fim, o final do reparo é registrado com a data de saída da Assistência Técnica, aproximação menos grosseira que as outras duas, porém ainda não contempla a disponibilidade do consumidor ir buscar o equipamento reparado.

A dificuldade encontrada na determinação das datas deve-se ao fato de se realizar uma verificação da consistência dos mesmos, para verificar se as datas alimentadas no banco de dados são coerentes. Por exemplo: se a data de saída é anterior à de entrada, ou a de entrada anterior à de fabricação, etc.

- **Determinação do Período de Estudo**

Para a Determinação do Período de estudo, foi escolhido o período em que o equipamento estudado já havia se tornado um equipamento sólido, ou seja, com poucas alterações de projeto no decorrer do período e também levou-se em consideração a implantação de sistemas financeiros de controle de garantia implantado nas Assistências Técnicas Autorizadas. O período de estudo foi de 25 meses.

Figura 4-8 – Período definido para o Estudo.

- **Análise dos Dados:**

Seguindo o Fluxo da Figura 3-8, obtêm-se os resultados mostrados na Figura 4-9.

Figura 4-9 – Fluxo da análise de Dados para o Caso exemplo.

Analizando o número de falhas registrado em cada mês, conforme proposto no fluxo da Figura 4-9, pode-se avaliar uma ação sazonal da ocorrência dessas falhas. É possível se obter a informação da quantidade de falhas registradas em cada mês do ano, verificando se as falhas ocorreram, com maior frequência, num determinado

período ou estação do ano, e obtendo um mês, ou período crítico para a ocorrência das falhas, conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Análise Sazonal das falhas registradas durante os meses do ano.

LOTE	FALHAS
mês 01	55
mês 02	81
mês 03	64
mês 04	54
mês 05	49
mês 06	75
mês 07	39
mês 08	128
mês 09	31
mês 10	20
mês 11	18
mês 12	60
mês 13	67
mês 14	68
mês 15	32
mês 16	50
mês 17	54
mês 18	58
mês 19	46
mês 20	22
mês 21	0
mês 22	4
mês 23	3
mês 24	0
mês 25	0

Da Tabela 4.5 é possível se extrair um gráfico que mostra o número de falhas em cada mês, conforme mostrado na Figura 4-10.

Figura 4-10 - Relação de falhas por meses do ano

De acordo com o gráfico da Figura 4-10, pode-se perceber que não há uma relação de sazonalidade com as falhas apresentadas, elas não se repetem de acordo com os meses, nem com as estações do ano. Evidencia-se um pico no mês 8, porém no mês 20, que corresponde ao mesmo mês em outro ano, não se percebe outro pico, mostrando que foi apenas um mês que apresentou maior número de registros.

A Tabela 4.6 apresenta a porcentagem de equipamentos que apresentaram falhas durante o período estudado, além de apresentar a porcentagem de falhas durante o período de garantia, que é de 12 meses, mas, no caso, são analisados 14 meses, considerando 2 meses entre a fabricação e instalação do equipamento.

Ainda apresenta que uma média de aproximadamente 4,21% dos equipamentos produzidos retornam dentro do prazo de garantia, e, que durante todo o período de estudo, uma média de aproximadamente 3,59% dos equipamentos produzidos retornaram para ações de reparo.

Tabela 4.6 – Percentagem de equipamentos que apresentaram falhas durante o período estudado e durante o período de garantia.

LOTE	TOTAL PRODUZIDO	FALHAS	% de FALHAS NO PERÍODO ESTUDADO	FALHAS NO PERÍODO DE GARANTIA	% de FALHAS NO PERÍODO DE GARANTIA
mês 01	699	48	6.88	40	5.67
mês 02	1863	66	3.52	57	3.04
mês 03	1214	53	4.34	47	3.86
mês 04	1582	44	2.79	31	1.93
mês 05	1075	41	3.81	33	3.02
mês 06	1347	62	4.63	53	3.91
mês 07	1277	33	2.55	25	1.99
mês 08	1333	105	7.85	81	6.10
mês 09	300	25	8.24	18	6.07
mês 10	272	17	6.22	17	6.22
mês 11	364	15	4.11	15	4.11
mês 12	727	49	6.80	48	6.62
mês 13	1236	55	4.47	54	4.36
mês 14	1260	56	4.44	27	2.12
mês 15	854	27	3.12		
mês 16	1262	42	3.30		
mês 17	894	45	5.02		
mês 18	1495	48	3.22		
mês 19	1460	38	2.63		
mês 20	1534	18	1.19		
mês 21	0	0			
mês 22	680	3	0.48		
mês 23	1100	3	0.24		
mês 24	216	0	0.00		
mês 25	0	0			
Média			3.59		4.21

A Figura 4-11 representa graficamente o número de equipamentos que falharam, dentre os produzidos mensalmente, a fim de analisar a existência de algum lote de produção crítico.

Figura 4-11 - Relação entre falhas e Lotes de Produção

De acordo com a Figura 4-11, pode-se observar que também não há uma relação constante entre o número de equipamentos que apresentam falhas e o número de equipamentos produzidos num mês, mantendo uma proporção entre as falhas e a produção.

Uma análise importante a ser feita para o estudo de confiabilidade de um produto ou equipamento é a determinação do tempo até a falha de um equipamento.

O tempo para a falha (TTF), *Time to Failure*, é o período que o equipamento esteve em condições normais de uso, até apresentar a falha registrada nos dados de Assistência Técnica, sendo um dado importante para se obter uma estimativa do período de funcionamento dos equipamentos. Neste caso, é calculado pela diferença entre a data de entrada na Assistência Técnica e a Data de fabricação do equipamento.

O tempo de reparo (TTR), *Time to Repair*, de um equipamento é o período necessário para que seja realizado o reparo do equipamento na Assistência Técnica, que evidencia a eficiência da Assistência Técnica Autorizada e dos métodos de reparo utilizados pelas mesmas. É calculado pela diferença entre a data de saída e a data de entrada registrada nos dados.

Calculando o tempo até a falha, observa-se que este tempo oscila entre 24 dias e 1000 dias. Porém, ao analisar estes dados, percebe-se que há muita incoerência

no preenchimento do Banco de Dados e que não é possível extrair uma média para este indicador.

O tempo para reparo avalia a eficiência da assistência técnica autorizada, e, em 70% dos registros, este tempo varia de 0 a 5 dias, período de reparo considerado pequeno. Este fato mostra a eficiência do trabalho das assistências ou a ineficácia do banco de dados, que permite inserções de datas não reais, e dados inconsistentes, como números de série sem o formato apropriado, datas inexistentes, componentes diferentes dos existentes, entre outros, comprometendo a confiança dos mesmos.

A partir desses dados, nota-se que o Tempo até a Falha (TTF) oscila bastante, sendo importante ressaltar que o TTF não possui relação direta com o tempo médio entre falhas (MTTF), pois para o cálculo do mesmo, é necessário considerar os equipamentos que não falharam e ainda estão em funcionamento, tornando esse cálculo bem mais elaborado.

Para a realização da análise de Confiabilidade, um refinamento de dados se faz necessário. Portanto, os dados sobre a realização de reparos em equipamentos produzidos antes do primeiro mês do estudo foram desprezados, e, dados cujos números de série não são compatíveis com a codificação, ou não foram registrados, também foram desprezados nessa análise.

Fazendo-se uma análise mais detalhada do Banco de Dados, percebe-se um descuido de algumas Assistências Técnicas Autorizadas no preenchimento do registro das ocorrências, possuindo datas incorretas, números de série incorretos e ainda, não possuindo registros completos, o que dificulta sobremaneira o estudo, tal como indicado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Consistência dos Dados

Total de Dados obtidos	1958
Equipamentos sem número de série compatível	394
Registros com Datas inconsistentes	157
Equipamentos produzidos antes do mês 01	309
Total de Dados Utilizados	1098

Os dados utilizados para o estudo representam, praticamente, a metade (56%) dos dados registrados. Os equipamentos produzidos antes do primeiro mês de estudo, e, que foram reparados dentro do período considerado para o estudo foram desprezados dos cálculos realizados.

Os registros inconsistentes representam 28% dos dados obtidos, e não se sabe quando esses equipamentos foram produzidos, porém é conhecido que eles apresentaram falhas durante o período em estudo.

Para cada lote de produção, representado pelo número de equipamentos produzidos em um mês específico, seguindo o fluxo proposto na Figura 4-9, foi feito um levantamento mês a mês relacionando os equipamentos produzidos com as falhas dos mesmos ao longo dos meses seguintes ao mês de produção, por exemplo: dos equipamentos produzidos no mês 03, quantos falharam no mês 03, 04 e 05, e, assim por diante, conforme ilustrado na Tabela 4.8, tomando como exemplo a produção do mês 02.

Tabela 4.8 - Exemplo de Relação entre lote de Produção e Falhas

Mês de Produção	Mês de falha	Quantidade de eqtos que falharam
mês 02	mês 02	3
	mês 03	5
	mês 04	13
	mês 05	10
	mês 06	6
	mês 07	2
	mês 08	4
	mês 09	2
	mês 10	8
	mês 11	2
	mês 12	6
	mês 13	6
	mês 14	3
	mês 15	1
	mês 16	1
	mês 17	2
	mês 18	1
	mês 19	1
	mês 20	2
	mês 21	0
	mês 22	0
	mês 23	0
	mês 24	0
	mês 25	1

A Tabela 4.8 foi replicada para os 25 meses contemplados por este estudo, sendo o preenchimento das mesmas executado manualmente.

Estabelecendo uma relação mensal entre os equipamentos que apresentaram falhas e a data em que os mesmos foram produzidos, obtêm-se o gráfico apresentado na Figura 4-12, onde os meses em que as falhas foram apresentadas, estão

representados no eixo das abscissas e a quantidade mensal da falha no eixo das ordenadas. Esta figura mostra, de forma ilustrativa, a análise executada para os equipamentos produzidos nos meses 02, 03, 04 e 05.

Figura 4-12 - Relação entre meses de Produção e de falha dos equipamentos

O gráfico da Figura 4-12, indica que as falhas ocorrem antes dos 3 meses de uso e que alguns equipamentos que pertencem ao mesmo lote possuem diferentes níveis de falhas em meses diferentes, ou seja, não há uma evidência da ocorrência de um problema sistemático com um determinado lote de produção, o que poderia mascarar o estudo.

No gráfico pode-se perceber a discrepância de datas que ocorre, em alguns casos, no banco de dados, um equipamento produzido no mês 03, apresentou falha no mês 02.

Com a utilização da análise mensal de falhas e do número de equipamentos produzidos mensalmente pela empresa fabricante, monta-se uma tabela como a mostrada na

Tabela 4.9, que será utilizada no software específico para o cálculo da confiabilidade.

Tabela 4.9 – Relação entre mês de produção e falhas durante o período de garantia.

		mês 01	mês 02	mês 03	mês 04	mês 05	mês 06
mês 01	699		1	3	6	6	7
mês 02	1863		3	5	13	10	6
mês 03	1214			1	6	11	8
mês 04	1582				0	2	5
mês 05	1075					0	2
mês 06	1347						0

Tabela 4.9 apresenta, na vertical, o número de equipamentos produzidos em cada mês, e nos degraus do triângulo o número de equipamentos que falharam em cada mês, relacionando-os com o mês de produção do mesmo. Por exemplo, dos 699 equipamentos produzidos no mês 01, 1 falhou no mês 02, 3, no mês 03, 6 no mês 04 e assim por diante. A Tabela completa (25 meses) é utilizada pelo software Weibull ++ (2000) para executar, a partir dos dados de garantia, a análise de confiabilidade do equipamento. Nesta mesma tabela, pode-se verificar, nas diagonais, o número de equipamentos que falharam num período mensal: A soma da diagonal mais baixa (primeira com fundo branco) representa o número de equipamentos que falharam com um mês de utilização, a diagonal acima representa 2 meses de utilização e assim por diante, resultando no gráfico indicado na Figura 4-13.

Figura 4-13 – Gráfico que apresenta o número de ocorrência de falhas em função dos meses de utilização do equipamento.

A Figura 4-13 mostra que aparentemente há de 1 a 2 meses para o tempo de prateleira*, em função de apresentar um número reduzido de falhas para estes meses. De 3 a 7 meses o número de equipamentos que apresentam falhas é maior que de 8 a 10 meses de utilização. Após este período os dados de falha diminuem. Esses dados são consistentes com o comportamento apresentado pelos equipamentos da empresa, de acordo com a pesquisa de satisfação de clientes, que evidencia que o maior número de falhas ocorre no início do período de utilização dos equipamentos.

Verifica-se que os equipamentos possuem registros de falhas até, aproximadamente, 20 meses, porém como a Assistência Técnica só recebe os registros dos dados de garantia do produto, prazo de 15 meses, somando os 12 meses de garantia com o “tempo de prateleira” de aproximadamente 3 meses, nada se pode afirmar sobre a origem dos dados associados aos últimos meses da análise.

De posse destes dados, estima-se a confiabilidade da Central Telefônica, tal como apresentado na Figura 4-14. Ressalta-se que do lote produzido em um mês, aqueles equipamentos que não apresentaram falhas durante a garantia são considerados dados censurados, ou seja, a informação sobre a sua operacionalidade é considerada na definição dos parâmetros da distribuição de confiabilidade. Esse estudo é realizado para os 25 meses de produção, e considerando um período de garantia de 1 ano. A análise contempla dados de até 8 meses após a última produção considerada.

Considera-se que a Confiabilidade é modelada por uma distribuição exponencial. Utilizando essa distribuição e realizada a estimativa do parâmetro pelo método da Máxima Verossimilhança (MLE), que é considerado o mais robusto e apropriado, obtém-se a curva de confiabilidade, com os limites de confiança estimados em 90%, indicada na Figura 4-14.

***Nota:** Entende-se por “Tempo de Prateleira” o tempo em que o equipamento, depois de produzido fica em estoques aguardando para ser vendido e colocado em funcionamento.

Figura 4-14 – Confiabilidade da Central Telefônica obtida a partir dos dados de Assistência Técnica.

O gráfico, indicado na Figura 4-14, mostra a curva de Confiabilidade da central telefônica estudada e o valor da taxa de falha, constante na distribuição exponencial.

A partir da taxa de falha (λ) pode-se obter o MTTF conforme equação

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (4.1)$$

onde:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

portanto:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t} = \frac{1}{\lambda} \quad (4.2)$$

O tempo médio entre falhas, estimado em meses, no caso, para $\lambda = 0,0026$ falhas/ mês é:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = 384,61 \text{ meses}$$

Na Tabela 4.10 indica-se esta estimativa em horas de operação.

Tabela 4.10 – Estimativa do MTTF em horas calendárias.

MTTF	32	Anos
	385	Meses
	11.538	Dias
	276.919	Horas

A determinação das datas utilizadas para o estudo de confiabilidade é feita baseando-se em um tempo calendário, contando o tempo de utilização do equipamento como a diferença entre as datas calendárias registradas no banco de dados, ou seja, diferença entre duas datas, dadas em dias.

Essa diferença não contempla o período diário de utilização da central, tendo em vista que a central estudada não funciona 24 horas por dia, sendo necessária uma correção diminuindo o tempo médio entre falhas calculado pela análise.

Nesta análise se contempla o tempo médio entre falhas e se transforma o tempo calendário em horas, multiplicando os resultados por 30 dias no mês e 24 horas num dia. Para uma aproximação condizente com a realidade, pois é uma central de poucos troncos e ideal para utilização em escritórios e clínicas, funcionando portanto em horário comercial, 8 horas por dia. Para essa consideração o número de horas de vida útil, é reduzido, conforme valores constantes da Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – MTTF estimado para a Central Telefônica.

Assumindo:	Horário Comercial 8 horas por dia	
MTTF	11	Anos
	128	Meses
	3.846	Dias
	92.306	Horas

O MTTF do sub-sistema elétrico de uma geladeira, composto por cabo elétrico, capacitor, chicote e fiação interna, interruptor principal, lâmpada indicadora – LED, painel de controle, protetor térmico do compressor, rede elétrica, relé, termostato e bulbo do termostato, é igual a aproximadamente 9 anos, segundo Guimarães (2002). Comparando os 11 anos de tempo entre falhas para a central,

percebe-se que esses dados são bastantes próximos. O que reflete um resultado melhor já que o sistema da central é mais complexo, mesmo tratando de sistemas pouco semelhantes, isso mostra ser aceitável análise realizada.

O Tempo de garantia estimado da central é de 1 ano, e, a confiabilidade para esse período é calculada a seguir, utilizando-se da equação, $R(t) = e^{-\lambda t}$, para $t = 12$ meses:

$$R(12) = 0,9693$$

Ou seja, a Confiabilidade do equipamento, para um ano de garantia é de 96,93%, então, utilizando os intervalos de confiança obtidos para 90%, verifica-se que de 2,9% a 3,2% dos equipamentos produzidos, retornam no período de 1 ano para assistência técnica, o que não está muito distante do valor médio apresentado na Tabela 4.6, de 4,21%.

A Tabela 4.12 mostra um quadro comparativo do custo de garantia por produto produzido em períodos diferentes, considerando-se o custo médio de R\$ 20,00 por central reparada, e calculando o número de centrais reparadas a partir da confiabilidade obtida, em função da variação do período de garantia.

Para a realização dos cálculos, são necessárias as seguintes etapas:

1 – Calcula-se a probabilidade de falha para o período (exemplo 12 meses):

$$F(12 \text{ meses}) = 1 - P(12 \text{ meses}) \quad (4.5)$$

2 – Estima-se, dos equipamentos produzidos, quantos retornarão no período estudado, pela seguinte relação:

$$N. \text{ de Equipamentos} = F(12 \text{ meses}) * \text{Lote de Produção} \quad (4.6)$$

3 – Calcula-se o valor que será gasto com a garantia dos lotes produzidos:

$$\text{Valor mensal} = N. \text{ de Equipamentos} * \text{Custo de Garantia} \quad (4.7)$$

4 – Para obter o valor por unidade produzida:

$$\text{Custo Unitário} = \frac{\sum \text{Valor Mensal}}{\sum \text{Lotes de Produção}} \quad (4.8)$$

Realizando-se os cálculos acima, obtêm-se os dados da Tabela 4.12, que apresenta o custo médio de garantia por unidade produzida:

Tabela 4.12 – Custos de Garantia

Produção		Custos de Garantia			
		1 ano	2 anos	5 anos	8 anos
mês 01	699	R\$ 429,65	R\$ 846,01	R\$ 2.019,58	R\$ 3.089,51
mês 02	1863	R\$ 1.144,44	R\$ 2.253,49	R\$ 5.379,48	R\$ 8.229,41
mês 03	1214	R\$ 745,76	R\$ 1.468,46	R\$ 3.505,45	R\$ 5.362,57
mês 04	1582	R\$ 971,98	R\$ 1.913,90	R\$ 4.568,82	R\$ 6.989,28
mês 05	1075	R\$ 660,60	R\$ 1.300,78	R\$ 3.105,18	R\$ 4.750,23
mês 06	1347	R\$ 827,47	R\$ 1.629,36	R\$ 3.889,56	R\$ 5.950,16
mês 07	1277	R\$ 784,47	R\$ 1.544,67	R\$ 3.687,40	R\$ 5.640,90
mês 08	1333	R\$ 818,87	R\$ 1.612,42	R\$ 3.849,13	R\$ 5.888,31
mês 09	300	R\$ 184,07	R\$ 362,46	R\$ 865,24	R\$ 1.323,63
mês 10	272	R\$ 166,87	R\$ 328,58	R\$ 784,38	R\$ 1.199,93
mês 11	364	R\$ 223,64	R\$ 440,37	R\$ 1.051,23	R\$ 1.608,15
mês 12	727	R\$ 446,42	R\$ 879,04	R\$ 2.098,42	R\$ 3.210,12
mês 13	1236	R\$ 759,52	R\$ 1.495,55	R\$ 3.570,15	R\$ 5.461,53
mês 14	1260	R\$ 774,14	R\$ 1.524,35	R\$ 3.638,88	R\$ 5.566,68
mês 15	854	R\$ 524,70	R\$ 1.033,17	R\$ 2.466,35	R\$ 3.772,97
mês 16	1262	R\$ 775,43	R\$ 1.526,89	R\$ 3.644,94	R\$ 5.575,96
mês 17	894	R\$ 549,21	R\$ 1.081,44	R\$ 2.581,58	R\$ 3.949,25
mês 18	1495	R\$ 918,65	R\$ 1.808,89	R\$ 4.318,14	R\$ 6.605,79
mês 19	1460	R\$ 897,15	R\$ 1.766,55	R\$ 4.217,06	R\$ 6.451,16
mês 20	1534	R\$ 942,31	R\$ 1.855,47	R\$ 4.429,33	R\$ 6.775,89
mês 21	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
mês 22	680	R\$ 418,04	R\$ 823,15	R\$ 1.965,00	R\$ 3.006,01
mês 23	1100	R\$ 676,09	R\$ 1.331,26	R\$ 3.177,96	R\$ 4.861,57
mês 24	216	R\$ 132,89	R\$ 261,68	R\$ 624,67	R\$ 955,61
mês 25	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
CUSTO MÉDIO DE		R\$ 0,61	R\$ 1,21	R\$ 2,89	R\$ 4,42

De acordo com a Tabela 4.12, percebe-se um aumento relativo de custos de garantia de acordo com o tempo fornecido para este fim, mas, com a posse destes dados, o departamento comercial, juntamente com o departamento de marketing pode avaliar a extensão do período de garantia dos produtos.

- **Análise de Componentes**

Fazendo-se um levantamento dos componentes trocados, registrados no banco de dados, consegue-se ter uma estatística das falhas dos componentes e dos componentes mais críticos para estudo mais aprofundado, além do conflito com os dados do FMEA. Essa comparação pode ser realizada verificando-se o efeito alegado pelo cliente e comparando com o componente trocado.

Este levantamento foi feito sem a existência de uma padronização dos nomes dos componentes trocados, ou seja, o componente que é trocado é um campo livre para que os técnicos preencham de maneiras aleatórias, então, para escrever um mesmo componente, há diversas maneiras e, assim, torna-se muito difícil levantar a

quantidade de falhas de cada um. Um componente crítico, encontrado tanto no FMEA quanto nos dados de garantia, é a Matriz de comutação, que foi escrita de 40 maneiras diferentes.

Figura 4-15 – Diagrama de Pareto para as Falhas dos Componentes

Neste gráfico da Figura 4-15, percebe-se que a matriz de Comutação, é o componente que mais apresentou falha. Não se sabe, porém se a falha é sempre encontrada na própria Matriz ou nos componentes periféricos da mesma.

O item denominado “outros” representa todos os outros componentes trocados.

A curva ABC não pode ser traçada nesta dissertação, pois não foram obtidos dados de custo de componentes nem valor de hora técnica. Por isso, o componente considerado crítico da central telefônica é somente a Matriz de Comutação.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS

Os métodos aqui descritos para a Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos, representam uma pequena parcela de um programa de confiabilidade.

Para uma análise de confiabilidade, é importante se conhecer o produto ou equipamento estudado, pois a partir deste conhecimento serão elucidados os modos de falha e as causas das mesmas.

O método proposto analisa os modos de falha de diversas maneiras, mostrando-se bem completo, além disso, ele possui a vantagem de ser adaptável aos dados possíveis de serem obtidos através de diferentes bancos de dados, por meio de aproximações como foi feito no caso exemplo, a desvantagem do método é que deve-se verificar durante toda a análise a consistência dos dados e desprezar ou corrigir dados incompletos para que os mesmos não “mascarem” a realidade.

A análise dos dados de assistência técnica é importante para se obter as estatísticas do quadro real do equipamento que demonstram a confiabilidade a partir de registros de falhas em um período determinado. Esses registros são fundamentais para a análise, já que, a partir deles foram levantados todos os parâmetros necessários para o estudo de confiabilidade realizado.

Foi feito também um levantamento dos componentes para se averiguar os que mais apresentam falhas e se fazer um estudo mais aprofundado do componente crítico encontrado.

O trabalho resultou numa sistemática para análise de confiabilidade baseada em dados de garantia, e mostrou que esses dados não são obtidos com a finalidade deste estudo, e, por isso não se apresentam da maneira ideal, resultando na elaboração de diversos sistemas paralelos com a finalidade de refinar esses dados.

Recomenda-se o desenvolvimento de um software de assistência técnica voltado para o cálculo de confiabilidade a partir de análise de dados de garantia, já que esta análise pode resultar em muitos benefícios para a empresa fabricante de equipamentos eletrônicos, como melhorias no projeto, melhorias no processo, melhorias na qualidade do serviço da assistência técnica prestada, diminuição de falhas, aumento do prazo de garantia do produto, diminuição dos custos de garantia, entre outros.

Também é ideal que haja uma conscientização da importância da veracidade desses dados e de sua utilização para que o trabalho de todos tenha um melhor resultado.

Outro fator importante, é lembrar que quanto mais dados, mais refinada fica a análise dos dados, e, portanto deve-se fazer um trabalho progressivo, acompanhando e atualizando sempre os dados na análise de confiabilidade.

Por fim, no caso exemplo, percebe-se que apenas uma análise dos dados não é suficiente para a conclusão da análise de confiabilidade e que deve, sempre, haver um olhar crítico atrás desses dados, para obtenção de resultados mais seguros.

Sugere-se que a Assistência Técnica registre a nota fiscal do produto, dando uma consistência melhor de quando ele entrou em utilização pois muitas vezes o equipamento produzido possui um “tempo de prateleira” e este pode “mascarar” os dados obtidos pelo estudo. Outro benefício de se registrar a data da Nota Fiscal é verificar se o produto se encontra dentro do período de garantia.

O método mostra-se muito flexível e adaptável à diferentes banco de dados, desde que seja realizada uma análise crítica dos dados obtidos.

Recomenda-se a utilização de um banco de dados com todas as informações necessárias para esta análise e um programa de credenciamento de assistências técnicas vinculado à correta utilização do banco de dados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL, **Agencia Nacional de Telecomunicação**, disponível em www.anatel.gov.br, acesso em 12 de nov de 2005.

BĂJENESCU, T.I., BĂZU, M.I., **Reliability of Electronic Components – A Practical Guide to Electronic Systems Manufacturing**, Springer, New York, 1999.

CASTRO, H.F., **Otimização da Confiabilidade e Disponibilidade em Sistemas Redundantes**, Dissertação de Mestrado, Unicamp, São Paulo, Brasil, 2003.

CHUKOVA, S., ARNOLD, R., WANG, D.Q., **Warranty Analysis: An approach to modeling imperfect repairs**, International Journal of Production Economics, Victoria University of Wellington, Wellington, New Zealand, 2003.

GUIMARÃES, U.V., **Modelagem para Análise da Confiabilidade de Produtos em Garantia**, Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rio Grande do Sul, Brasil, 2002.

HART, C.W., **Garantias Extraordinárias: Como criar um diferencial no mercado por meio de garantias**, Pioneira S/A, São Paulo, Brasil, 1996.

HENNEY, K. et al., **Reliability Factors for Ground Electronic Equipment**, McGrawHill, New York, EUA, 1956.

JENSEN, F., **Electronic Component Reliability – Fundamentals, Modelling, Evaluation and Assurance**, John Wiley & Sons, England, 1995.

KAMINSKI, P.C., **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade**, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, São Paulo, Brasil, 2000.

KARATSU, H., IKEDA, T., **Mastering the Tools of Learning through Diagrams and Illustrations**, PHP Institute, Tokyo, 1985

KHAN, F., **Equipment Reliability a life-cycle approach**, Engineering Management Journal, American Society of Engineering Management, EUA, 2001.

LAFRAIA, J.R.B., **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, Qualitymark**, Brasil, 2001.

LEITCH, R., **Reliability Analysis for Engineers**, Oxford Press, New York, EUA, 1995.

LEWIS, E.E., **Introduction to Reliability Engineering**, John Wiley&Sons, Inc, 1996.

LOBO, E.P., **Estudo de Mercado de Centrais Telefônicas**, disponível em www.beltronica.com, Acesso em 12 de nov. de 2005.

LUTZ, N.A.,PADMANABHAN, V., **Warranties, extended warranties, and product quality**, International Journal of Industrial Organization, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virgínia, EUA, 1998.

MARTINS, P.G., **Administração da Produção**, Saraiva, São Paulo, Brasil, 2001.

MARTINS, R., **A Fundamentação da Telefonia através da História**, Parte 1: Da Invenção ao Início do Século XX, pesquisa realizada para a Fundação Telefônica, São Paulo, 2002.

MASSARANI, M., MATTOS, F.C., **Engenharia de Valor**, Apostila do Curso, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2004.

MELLO, C.H.P. et al., **ISO:9001:2000 - Sistema de Gestão da Qualidade para Operações de Produção e Serviços**, Ed. Atlas S/A, São Paulo, Brasil, 2002.

MURAD, C.A., **Extensão da Garantia de Veículos: Aplicação para motor de Transmissão**, Dissertação (Mestrado Profissionalizante), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2005.

NELSON, W., **Accelerated testing**, John Wiley & Sons, New York, EUA, 1990.

NELSON, W., **How to Analyze Reliability Data?**, Wisconsin: ASQC QualityPress, Milwaukee, EUA, 1982.

O'CONNOR, P.D.T., **Practical Reliability Engineering**, 4 ed., John Wiley & Sons, New York, EUA, 2002.

OHRING, M., **Reliability and Failure of Electronic Materials and Devices**, Arcade Mic Press, New Jersey, 1998.

RELIASOFT, **Engenharia da Confiabilidade - Análise de Dados de Vida**, Apostila do Curso, São Paulo, Brasil, 2005a.

RELIASOFT, **Engenharia da Confiabilidade - Análise dos Efeitos e Criticidade dos Modos de Falha**, Apostila do Curso, São Paulo, Brasil, 2005b.

RELIASOFT, **Estimador de Máxima Verossimilhança**, Reliability Hotwire, Brasil: Disponível em: <http://www.reliasoft.com.br/hotwire/edicao2/conceito2.htm>. Acesso em: 15 de março, 2006a.

RELIASOFT, **Quantitative Accelerated Life Testing**, Apostila do Curso, São Paulo, Brasil, 2006b.

ROSSATO, I.F., **Uma Metodologia para a Análise de Solução de Problemas**, Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil, 1996.

RYABININ, I., **Reliability of Engineering Systems - Principles and Analysis**, Mir Publishers, Moscow, 1976.

SAE HandBook, SAE J 1739, **Potential Failure Mode and Effects Analysis in design (Design FMEA) and potential failure mode and effects analysis in Manufacturing and assembly process (process FMEA)** – reference Manual, Society of Automotive Engineer, EUA, 1997.

SISDELLI, A., **Aplicação da Teoria da Confiabilidade à Vida útil das sapatas Ferroviárias**, VENTRE, ABNT, São Paulo, Brasil, 1991.

SOUZA, G.F.M., **Análise de Confiabilidade Aplicada ao Projeto de Sistemas Mecânicos**, Apostila do curso, Escola Politécnica, São Paulo, Brasil, 2003.

US MIL-HDBK – 217E, **Reliability Prediction of Electronic Equipment**, United States Department of Defence, EUA, 1987.

US MIL-HDBK - 338, **Electronic Reliability Design Handbook**, Available from the National Technical Information Service, Springfield, Virgínia, 1998.

US MIL-STD - 1629A, **Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**, Department of Defense, Washington DC, EUA, 1977.

VOLLERTT Jr, J.R., **Confiabilidade e Falhas em Campo: Um estudo de caso para melhoria da confiabilidade de um produto e do reparo, através de um procedimento sistemático de coleta de dados**, Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil, 1996.

WEIBULL + +, Version 6, ReliaSoft Corporation, Tucson, 2000.

ANEXO I – TABELAS DE FMEA PARA CENTRAL TELEFÔNICA

1.1.1	Componente: Sensor 3,6 V Sistema: Circuito de Proteção de Subtensão						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Detectar tensão abaixo de 3,6V</i>	Falha no Sensor	Programação Errada	Quando o Sensor não estiver habilitado: 1. Não Identificar queda de Tensão. 2. Falhar o Circuito de Proteção de Subtensão da Central 3. Pode produzir defeitos aleatórios e travar a Central. Quando o CI estiver habilitado: 1. Identificar queda de Tensão, mesmo que não ocorra. 2. Falhar a Proteção de Subtensão. 3. Pode travar a Central.	5	6	6	180
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Deterioração das Trilhas					

1.1.2	<p align="center">Componente: Sensor 4,5 V Sistema: Circuito de Proteção de Subtensão</p>						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
<i>Detectar tensão abaixo de 4,5 V</i>	Falha no Sensor	Programação Errada	<p>Quando o Sensor não estiver habilitado:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Não Identificar queda de Tensão. 2. Falhar o Circuito de Proteção de Subtensão da Central 3. Pode produzir defeitos aleatórios e travar a Central. <p>Quando o CI estiver habilitado:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar queda de Tensão, mesmo que não ocorra. 2. Falhar a Proteção de Subtensão. 3. Pode travar a Central. 	5	6	6	180
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Deterioração das Trilhas					

1.2.1	Componente: Solda Sistema: Microcontrolador						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Garantir que o Microcontrolador esteja fixado corretamente na Placa</i>	Solda em Curto	Processo de Montagem	1. Erro no fluxo de dados do microcontrolador. 2. Altera as funções do microcontrolador. 3. Afetar o Controle e funcionamento da Central, podendo travar a central ou algumas de suas funções.	7	8	2	112
		Erro de Projeto					
		Ação da Umidade					
		Ação da Temperatura					
	Solda Aberta	Processo de Montagem	1. Erro no fluxo de dados do microcontrolador. 2. Altera as funções do microcontrolador. 3. Afetar o Controle e funcionamento da Central, causando problemas intermitentes.	5	8	2	80
		Erro de Projeto					
		Ação da Umidade					
		Ação da Temperatura					
	Solda Deteriorada (Oxidação do Terminal)	Processo de Montagem	1. Erro no fluxo de dados do microcontrolador. 2. Altera as funções do microcontrolador. 3. Afetar o Controle e funcionamento da Central, causando problemas intermitentes diminuindo a vida útil da central.	5	8	2	80
		Ação da Temperatura					
		Ação de Umidade					

1.2.2	Componente: Trilha Sistema: Microcontrolador						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Transmitir Dados através da Placa</i>	Trilha em Curto	Processo de Montagem	1. Não transmite dados para o Microcontrolador 2. Altera as funções do microcontrolador. 3. Afetar o Controle e funcionamento parcial ou total da Central.	5	6	2	60
		Erro de Projeto					
		Ação da Umidade					
	Trilha Aberta	Processo de Montagem	1. Não transmite dados para o Microcontrolador 2. Altera as funções do microcontrolador. 3. Afetar o Controle e funcionamento da Central.	5	6	2	60
		Erro de Projeto					
		Ação da Umidade					
	Trilha Deteriorada	Processo de Montagem	1. Não transmite dados para o Microcontrolador 2. Altera as funções do microcontrolador Z80. 3. Afetar o Controle e funcionamento da Central, gera falhas intermitentes.	5	6	2	60
		Ação da Temperatura					
		Ação de Umidade					
		Problema de Fabricação					

1.2.3.1.1.1	Componente: Bloco Saída de WTD Sistema: WTD						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Comandar o Reinicio do programa.</i>	Jumper aberto	Processo de Montagem	1.Circuito danificado. 2. Verificação da Rotina do Software. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Altera as funções do microcontrolador . 6. A central funciona normalmente, sem proteção da rotina de software.	3	6	7	126
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Bloco Saída de Watchdog em curto	Processo de Montagem	1.Circuito danificado. 2. Verificação da Rotina do Software. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Altera as funções do microcontrolador. 6. Afetar o Controle total da Central, reiniciando o sistema o tempo todo, até travá-lo.	7	6	7	294
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Comandar o Reinicio do programa.</i>	Bloco Saída de Watchdog aberto	Processo de Montagem	1.Circuito danificado. 2. Verificação da Rotina do Software. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Altera as funções do microcontrolador. 6. A central funciona normalmente, sem proteção da rotina de software.	3	6	5	90
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Bloco Saída de Watchdog fora da especificação	Processo de Montagem	1.Circuito danificado. 2. Verificação da Rotina do Software. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Altera as funções do microcontrolador. 6. Afetar o Controle total da Central, reiniciando o sistema aleatoriamente e intermitentemente.	7	6	5	210
		Erro de Codificação do Fornecedor					

1.2.3.1.2.1.1	Componente: Sensor de 4 V Sistema: Proteção de Subtensão da RAM						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Detectar tensão abaixo de 4 V</i>	Falha no Circuito Integrado	Programação Errada	Quando o CI não estiver habilitado: 1. Não Identificar queda de Tensão. 2. Falhar o Circuito de Proteção de Subtensão da RAM. 3. Gravar dados empíricos na memória RAM. 4. Não Altera a Lógica de Programação. 5. O Chip Select não sofre nenhuma alteração. 6. As funções do microcontrolador continuam mantidas. 7. Pode produzir defeitos aleatórios e travar a Central. Quando o CI estiver habilitado: 1. Identificar queda de Tensão sempre 2. Falhar a Proteção de Subtensão. 3. Não grava dados na memória RAM. 4. Não Altera a Lógica de Programação. 5. O Chip Select não habilita enable. 6. As funções do microcontrolador continuam mantidas. 7. Pode travar a Central.	5	6	3	90
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Deterioração das Trilhas					

1.2.3.1.2.2.	Componente: Bloco Bateria Sistema: RAM						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Carregar a Bateria para que possa ser utilizada sem energia.</i>	Permitir passagem de corrente muito alta.	Problema de Fornecedor	1. Sobrecarga na bateria. 2. A Memória RAM é apagada por falta de alimentação.	7	6	3	126
		Processo de Montagem	4. A lógica continua funcionando normalmente. 5. O Chip Select funciona normalmente.				
		Ação dha Umidade	6. Não alterar as funções do microcontrolador. 7. Pode haver uma sobrecarga na bateria, que provocará o estouro da mesma, travando a central.				
	Não Permitir passagem de corrente no circuito de Carga.	Problema de Fornecedor	1. Não carrega a bateria. 2. A Memória RAM é apagada por falta de alimentação.	5	6	3	90
		Processo de Montagem	4. A lógica continua funcionando normalmente. 5. O Chip Select funciona normalmente.				
		Ação da Umidade	6. Não alterar as funções do microcontrolador. 7. Apagar a programação da Central, o usuário deve programar o setup novamente				

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Carregar a Bateria para que possa ser utilizada sem energia.</i>	Permitir passagem de corrente aleatória no circuito.	Problema de Fornecedor	1. Fornece energia insuficiente em caso de falta de fornecimento . 2. A Memória RAM pode apagada por falta de alimentação. 4. A lógica continua funcionando normalmente. 5. O Chip Select funciona normalmente. 6. Não alterar as funções do microcontrolador. 7. Pode apagar a programação da Central, o usuário deve programar o setup novamente e ele pode ser apagado novamente.	6	6	6	216
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Ação da Temperatura					

1.2.3.1.3.	Componente: EPROM Sistema: Lógica						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Memória programada em fábrica com as programações e operações que a central oferece.</i>	Falha no Circuito Integrado	Programação Errada	1. Erro de Tratamento dos dados da EPROM 3. Alteração na Lógica da Programação dos dados gerais. 4. O Chip Select não fornece sinais de Programação Corretos. 5. Altera as funções do microcontrolador. 6. Afetar o Controle total da Central.	7	7	3	147
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste das Trilhas					
	Circuito Integrado em curto	Programação Errada	1. Não há Tratamento dos dados da EPROM 3. Alteração na Lógica da Programação dos dados gerais. 4. Queima o Chip Select que não fornece sinais de Programação. 5. Queima o microcontrolador. 6. Queima a Central.	7	7	3	147
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste das Trilhas					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Memória programada em fábrica com as programações e operações que a central oferece.</i>	Circuito Integrado Queimado	Programação Errada	1. Erro de Tratamento dos dados da EPROM 3. Alteração na Lógica da Programação dos dados gerais. 4. O Chip Select não fornece sinais de Programação Corretos. 5. Altera as funções do microcontrolador. 6. Afetar o Controle total da Central, travando-a.	7	7	3	147
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste das Trilhas					

1.2.3.1.4.1.1.	Componente: Rele Sistema: Bloco de Atendimento						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
	Falha no Circuito de Acionamento (quaisquer componentes em curto ou abertos)	Processo de Montagem	1. O Relé não é ativado. 2. Não afeta o Bloco de Atendimento. 3. O Bloco de leitura não é afetado. 4. Não altera a lógica. 5. O Chip Select funciona normalmente. 6. Não altera as funções do microcontrolador. 7. Há defeito no tronco da Central: Não gera ligação (Não há TOM na linha), há sinal de Ring e mesmo depois de tirar o telefone do Gancho, o sinal não pára de soar.	7	7	2	98
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

1.2.3.1.4.1.2.	Componente: Sensor de Ring Sistema: Bloco de Atendimento						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Transmite o dado da presença da Tensão de Ring</i>	Sensor não Detecta Ring	Processo de Montagem	1. Falha o Sensor 2. O Bloco de Atendimento não enxerga Sinal Entrante. 3. O Bloco de Leitura não manda a informação de que há sinal de Ring . 4. Não altera a lógica. 5. O Chip Select funciona normalmente. 6. Não altera as funções do microcontrolador. 7. O funcionamento da central fica debilitado, não permitindo a detecção de ligações naquele ramal, realiza ligações normalmente.	4	6	2	48
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

1.2.3.1.4.2.	Componente: Sensor de Ocupação de Ramal Sistema: Bloco de Leitura						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Indicar a Ocupação de ramal.</i>	Sensor não funciona	Processo de Montagem	1. Não será enviada a tensão de indicação de ocupação de ramal. 2. O Bloco de leitura não lerá dados de Ocupação e Ramal. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. O funcionamento da Central fica comprometido, deixando o ramal mudo, mas tocando, normalmente, quando alguém liga.	5	7	3	105
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

1.2.3.1.4.3.	Componente: Placas Acessórias Sistema: Bloco de Leitura						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
<i>Realizar funções extras</i>	Placa não funciona	Programação Errada	1. Extingue a Função Extra. 2. Não transfere os dados relativos à função. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Não afeta o funcionamento da central, mas não executa a função.	3	7	3	63
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste das Trilhas					

1.2.3.1.5.1.	Componente: Sensores Sistema: Bloco de Escrita						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Transmite o dado da presença da Tensão de entrada</i>	Sensor não Detecta entrada	Processo de Montagem	1. Falha o Sensor 2. O Bloco de Escrita não manda a informação. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. O funcionamento da central fica debilitado, não permitindo a detecção de algumas entradas.	4	7	3	84
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

1.2.3.1.5.2.	Componente: Controle de Bina para Ramal Sistema: Bloco de Escrita						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Envia Identificação (BINA) para Ramal</i>	Falha na saída de dados do Circuito Integrado	Falha na Lógica do Programa	1. Dados Incorretos de Identificação de chamada. 2. O Bloco de Escrita funcionará normalmente. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Não altera o funcionamento da Central, mas haverá falha na identificação para os ramais, exceto para as Tis. Pode travar a Seleção de música.	2	7	2	28
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste das Trilhas					
		Dados Errados					
	Circuito Integrado queimado	Falha na Lógica do Programa	1. CI não passa dados para a Central. 2. O Bloco de Escrita funcionará normalmente. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Pode travar a central e até queimá-la.	7	7	2	98
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste das Trilhas					
		Dados Errados					

1.2.3.1.5.3.	Componente: Seleção de Música Sistema: Bloco de Escrita						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
Oferece a opção do Usuário, para escolher música interna ou externa.	Falha na saída de dados do Circuito Integrado	Falha na Lógica do Programa	Se for selecionado Música Interna: 1. Dados Incorretos de Seleção de Música. 2. O Bloco de Escrita funcionará normalmente. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Não altera o funcionamento da Central, mas fica sem música, ou com música o tempo todo. Se for selecionado Música Externa: 1. Dados Incorretos de Seleção de Música. 2. O Bloco de Escrita funcionará normalmente. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Não altera o funcionamento da Central, funciona normalmente com música externa	2	5	2	50
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste das Trilhas					
		Dados Errados					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Oferece a opção do Usuário, para escolher música interna ou externa.</i>	Circuito Integrado queimado	Falha na Lógica do Programa	1. CI não passa dados para a Central. 2. O Bloco de Escrita funcionará normalmente. 3. Não altera a lógica. 4. O Chip Select funciona normalmente. 5. Não altera as funções do microcontrolador. 6. Pode travar a central e até queimá-la.	7	5	2	70
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste das Trilhas					
		Dados Errados					

1.3.1.1.	Componente: Entrada de Linhas Externas Sistema: Matriz de Comutação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Fluxo de Áudio pelo Tronco para Ligações Externas</i>	Trilha em Curto	Processo de Montagem	1. Não transmite áudio pelo tronco. 2. Não altera as funções da Matriz de Comutação. 3. Não afeta a Comutação 4. Não afeta o funcionamento da Central, mas não funciona o tronco, não tem áudio, toca, mas não é possível atender.	5	9	5	225
		Erro de Projeto					
		Ação da Umidade					
	Trilha Aberta	Processo de Montagem	1. Não transmite áudio pelo tronco. 2. Não altera as funções da Matriz de Comutação. 3. Não afeta a Comutação 4. Não afeta o funcionamento da Central, mas não funciona o tronco, não tem áudio, toca, mas não é possível atender.	5	9	5	225
		Erro de Projeto					
		Ação da Umidade					
	Trilha Deteriorada	Processo de Montagem	1. Não transmite áudio pelo tronco. 2. . Não altera as funções da Matriz de Comutação. 3. Não afeta a Comutação 4. Não afeta o funcionamento da Central, mas não funciona o tronco, o áudio fica intermitente, some e volta.	5	9	5	225
		Ação de Umidade					

1.3.1.2.	Componente: Seleção de Ramais e Vias Sistema: Matriz de Comutação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Selecionar o Ramal desejado para a Ligação</i>	Processamento Incorreto (Seleção Incorreta de Ramais)	Defeito Interno	1. Não Seleciona corretamente o Ramal desejado. 2. Não afeta as funções da Matriz de Comutação. 3. Comuta corretamente as Linhas e Ramais. 4. Não altera as funções da Central, mas os Ramais são selecionados errados e não se consegue fazer ligações internas corretamente.	5	9	2	90
		Processo de Montagem					
		Ação da Temperatura					
		Ação da Umidade					
	Baixa Isolação entre os Ramais	Defeito Interno	1. Não isola completamente o Ramal utilizado. 2. Não afeta as funções da Matriz de Comutação. 3. Comuta corretamente as Linhas e Ramais. 4. Não altera as funções da Central, mas causa linha cruzada entre Ramais e radiofonia (ruído).	5	9	3	135
		Processo de Montagem					
		Ação da Temperatura					
		Ação da Umidade					

1.3.1.3.	Componente: Entrada do Sinal da Operadora Sistema: Matriz de Comutação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Detectar o Tom de Sinal da Linha</i>	Entrada em curto	Processo de Montagem	1. Não detecta o Tom de sinal de Linha 2. Não afeta as funções da Matriz de Comutação. 3. Comuta corretamente as Linhas e Ramais. 4. Altera as funções da Central, mas não some o Tom de linha, mesmo quando a ligação é atendida.	4	9	4	144
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Entrada aberta	Processo de Montagem	1. Não detecta o Tom de sinal de Linha 2. Não afeta as funções da Matriz de Comutação. 3. Comuta corretamente as Linhas e Ramais. 4. Altera as funções da Central, mas quando tira o fone, a linha fica muda até apertar o zero, além de não apresentar sinal de linha, chamada, nem ocupado em ligações internas e externas.	5	9	4	180
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

1.3.1.4.	Componente: Vias Internas para Comutação entre Ramais Sistema: Matriz de Comutação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Prover Ligações entre Ramais Internos</i>	Falta de Enlace do Ramal	Programação Errada	1. Não provê corretamente as Ligações entre Ramais Internos. 2. Não afeta as funções da Matriz de Comutação. 3. Comuta corretamente as Linhas e Ramais. 4. Não altera as funções da Central, mas não consegue “puxar” o Ramal deixando-o sem áudio.	4	9	4	144
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Deterioração das Trilhas					
	Baixa Isolação entre Ramais	Programação Errada	1. Não provê corretamente as Ligações entre Ramais Internos. 2. Não afeta as funções da Matriz de Comutação. 3. Comuta corretamente as Linhas e Ramais. 4. Não altera as funções da Central, mas provoca radiofonia (Ruído) e cruzamento.	4	9	4	144
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Deterioração das Trilhas					

1.3.1.5.	Componente: Buffer do Chip Select Sistema: Matriz de Comutação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Receber o Sinal do Chip Select, conformá-lo, invertê-lo e distribuí-lo.</i>	Buffer do Chip Select em Curto	Processo de Montagem	1. Não funciona o Buffer do Chip Select. 2. A Matriz de Comutação não funciona. 3. Não comuta corretamente as Linhas e Ramais. 4. Altera as funções da Central, toca, mas não atende, não tem áudio e não funcionam ligações internas.	5	9	5	225
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Buffer do Chip Select aberto	Processo de Montagem	1. Não funciona o Buffer do Chip Select. 2. A Matriz de Comutação não funciona. 3. Não comuta corretamente as Linhas e Ramais. 4. Altera as funções da Central, toca, mas não atende, não tem áudio e não funcionam ligações internas.	5	9	5	225
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

1.3.2.	Componente: Conformador e Atenuador de Sinal Sistema: Comutação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Conformar e Atenuar o Sinal</i>	Atenuador e conformador em curto	Processo de Montagem	1. Não Conformar nem Atenuar o sinal 2. Comuta corretamente entre as Linhas e Ramais. 3. A Central funciona corretamente, mas não reproduz sinal de linha, chamada ou ocupação.	4	9	4	144
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Atenuador e conformador aberto	Processo de Montagem	1. Não Conformar nem Atenuar o sinal 2. Comuta corretamente entre as Linhas e Ramais. 3. A Central funciona corretamente, mas não reproduz sinal de linha, chamada ou ocupação.	4	9	4	144
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Atenuador e conformador com valores diferentes do especificado	Processo de Montagem	1. Não Conformar nem Atenuar o sinal 2. Comuta corretamente entre as Linhas e Ramais. 3. A Central funciona corretamente, mas reproduz sinal de linha, chamada ou ocupação distorcidos.	3	9	4	108
		Erro de Codificação do Fornecedor					
		Deterioração das Trilhas					

1.3.3.1.	Componente: Matriz de Música Sistema: Circuito de Música						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Gerar Música Interna para Espera de Chamada</i>	Circuito aberto	Programação Errada	1. Não gera música. 2. Não Prover Música para a Espera. 3. Não há música na comutação entre os Ramais, que ocorre normalmente. 4. A Central funciona corretamente, sem prover música na comutação de ramais.	2	6	2	24
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste					
	Circuito em curto	Programação Errada	1. Gera Música; 2. Provê música para a Espera. 3. Há música na Comutação entre os ramais, que ocorre normalmente. 4. A central funciona corretamente, mas a música não pára de tocar, mesmo depois de atendido o ramal	4	6	2	48
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste					
	Circuito com valores diferentes do especificado	Programação Errada	1. Gera Música com distorções; 2. Provê música com distorções para a Espera. 3. Há música na Comutação entre os ramais, que ocorre normalmente. 4. A central funciona corretamente, mas a música fica distorcida	3	6	2	36
		Processo de Montagem					
		Ação da Umidade					
		Desgaste					

1.3.3.2.	Componente: Proteção de Áudio da Matriz Sistema: Circuito de Música						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Proteger o equipamento na entrada de música Externa</i>	<i>Circuito de Proteção em Curto</i>	Processo de Montagem	1. Não passa a música externa. 2. Não Prover Música Externa para a Espera. 3. Não há música na comutação entre os Ramais, que ocorre normalmente. 4. A Central funciona corretamente	2	6	4	48
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Circuito de Proteção Aberto	Processo de Montagem	1. Passa a música externa. 2. Prove Música Externa para a Espera. 3. Há música na comutação entre os Ramais, que ocorre normalmente. 4. A Central funciona corretamente, mas sem proteção contra transiente na entrada de música externa, podendo queimar a matriz de música.	4	6	4	96
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Circuito de Proteção fora da especificação	Seleção de componentes fora da Especificação	1. Passa a música externa distorcida. 2. Prove Música Externa distorcida para a Espera. 3. Há música na comutação entre os Ramais, que ocorre normalmente. 4. A Central funciona corretamente, mas sem proteção contra transiente na entrada de música externa, podendo queimar a matriz de música.	4	6	4	96
		Erro de Codificação do Fornecedor					

1.3.4.	Componente: Bloco Interface Linha Sistema: Comutação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
	Componentes em Curto	Processo de Montagem	1. Não passa corrente na Entrada do Tronco.	5	9	2	90
		Deterioração das Trilhas	2. Linha fica Muda.				
		Ação da Umidade	3. Comuta corretamente entre Linhas e Ramais.				
	Componentes Abertos	Processo de Montagem	4. Altera o Funcionamento da Central, deixando-a sem áudio no tronco, toca, mas quando atende não escuta nada.	5	9	2	90
		Deterioração das Trilhas	1. Não passa corrente na Entrada do Tronco. 2. Linha fica muda. 3. Comuta corretamente entre Linhas e Ramais. 4. Altera o Funcionamento da Central, deixando-a sem áudio no tronco, toca, mas quando atende não escuta nada.				

1.4.1.	Componente: Circuito de Ring Sistema: Bloco Sistema de Alimentação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
	Circuito Aberto	Falha no Processo de Montagem	1. Circuito de Ring aberto; 2. Bloco de alimentação com falha na geração de tensão de ring; 3. Central operando com falha no bloco de alimentação de ring, falha operacional da central que não toca (Ringa)	7	7	3	147
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Circuito em Curto	Falha no Processo de Montagem	1. Circuito de ring opera sem limitação de corrente; 2. Bloco de alimentação com falha na proteção do circuito de ring; 3. Central operando com falha no bloco de alimentação, possível sobrecorrente nos circuitos acionados pela tensão de ring, podendo queimar a placa Ramal.	5	7	3	105
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Limitar magnitude de corrente no circuito alimentado por Vring</i>	Circuito fora de especificação	Seleção Errada de Componente	Se for especificação diferente de Impedância: 1. Alteração no valor da corrente limite (aumentando ou diminuindo a sua magnitude em função da redução ou aumento da resistência); 2. Circuito de ring operando com alteração da corrente limite em relação ao valor nominal; 3. Bloco de alimentação com falha de proteção no circuito de ring; 4. Central operando com falha no bloco de alimentação de ring, com possível sobre ou sub-corrente nos sistemas acionados pela tensão de ring, no primeiro caso, pode queimar a placa, no segundo, não “ringa”. Se for especificação diferente de Potência: 5. Central operando com falha no bloco de alimentação de ring, pode abrir esse bloco, se a potência for menor que a especificada	5	7	2	70
		Ação da Umidade e/ou Temperatura					

1.4.2.	Componente: Fonte de 5 V Sistema: Bloco Sistema de Alimentação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Converter a tensão de 24V em 5V</i>	Conversor em Curto na entrada	Falha no Processo de Montagem	1.Não há transformação de tensão; 2.Fonte de 5V com falha na conversão, não gerando tensão de 5V e possivelmente alimentando o circuito com tensão de 24V; 3.Bloco de alimentação com falha na fonte de 5V, não havendo alimentação desta tensão, porém possivelmente alimentando um valor de 24V, queima a fonte; 4.Central não opera, mas não sofre danos, pois a fonte queima antes	5	7	2	70
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Conversor em Curto na saída	Falha no Processo de Montagem	1.Não há transformação de tensão; 2.Fonte de 5V com falha na conversão, não gerando tensão de 5V e possivelmente alimentando o circuito com tensão de 24V; 3.Bloco de alimentação com falha na fonte de 5V, não havendo alimentação desta tensão, porém possivelmente alimentando um valor de 24V. 4.Central não opera, nem inicia, mas não sofre danos.	5	7	2	70
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Converter a tensão de 24V em 5V</i>	Conversor em Curto na entrada e na saída	Falha no Processo de Montagem	1.Não há transformação de tensão; 2.Fonte de 5V com falha na conversão, não gerando tensão de 5V e possivelmente alimentando o circuito com tensão de 24V; 3.Bloco de alimentação com falha na fonte de 5V, não havendo alimentação desta tensão, porém possivelmente alimentando um valor de 24V, queimando a fonte. 4.Central queima.	7	7	2	98
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Conversor Aberto	Falha no Processo de Montagem	1. Não há transformação de tensão; 2. Fonte de 5V com falha na conversão, não gerando tensão de 5V; 3. Bloco de alimentação com falha na fonte de 5V, não havendo alimentação desta tensão; 4. Trava a Central, pois faltam dados para os CIs	7	7	2	98
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					

1.4.3.1.	Componente: Fiação e Conector Sistema: Sistema Fonte						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Conexão elétrica entre fonte externa e central telefônica</i>	Fiação e/ou conector aberta	Ação mecânica, rompendo fiação ou conector	1. Não há alimentação de tensão externa; 2. Fonte não alimenta a central com tensão de 24V e 50V; 3. Bloco de alimentação de tensão inoperante; 4. Central inoperante, apenas atendendo ramais para falta de energia elétrica (programação associada à falta de tensão externa).	7	7	2	98
		Falha na montagem do conector					
		Rompimento de contatos da fiação com conector e rompimento da fiação por oxidação (devido a umidade)					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Conexão elétrica entre fonte externa e central telefônica</i>	Fiação e/ou conector em curto	Falha na isolação da fiação/conector por ação mecânica ou ambiental (temperatura, umidade)	1. Não há alimentação de tensão externa; 2.Fonte não alimenta a central com tensão de 24V e 50V; 3.Bloco de alimentação de tensão inoperante; 4.Central inoperante, apenas atendendo ramais para falta de energia elétrica (programação associada à falta de tensão externa).	7	7	2	98
	Fiação e/ou conector com mau contato	Ação mecânica ou ambiental (temperatura, umidade)	1. Não há alimentação de tensão externa; 2.Fonte não alimenta a central com tensão de 24V e 50V; 3.Bloco de alimentação de tensão inoperante; 4.Central inoperante, apenas atendendo ramais para falta de energia elétrica (programação associada à falta de tensão externa) não há Ring também.	7	7	2	98

1.4.3.2.1	Componente: Chave 110/ 220 V Sistema: Entrada						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Selecionar a tensão da rede na entrada do trafo</i>	Travada	Ação ambiental (temperatura/umidade) gera oxidação	1. Não permite chaveamento para ajuste de tensão na entrada em consonância com a tensão de alimentação da rede; 2. Não há possibilidade de ajuste na estrada; 3. Sistema fonte não pode ser ajustado para operar com diferentes tensões de rede; 4. Bloco do sistema de alimentação ajustado para uma única tensão de rede; 5. Central ajustada para operar com uma única tensão de rede.	2	5	2	20

1.4.3.3.	<p align="center">Componente: Proteção A/C Sistema: Sistema Fonte</p>						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
	Proteção desativada	Ação mecânica, rompendo fiação ou conector	1.Não há alimentação de tensão externa; 2.Fonte não alimenta a central com tensão de 24V e 50V; 3.Bloco de alimentação de tensão inoperante; 4.Central inoperante, apenas atendendo ramais para falta de energia elétrica (programação associada à falta de tensão externa).	7	7	2	98
		Falha na montagem do conector					
		Rompimento de contatos da fiação com conector e rompimento da fiação por oxidação (devido a umidade)					

1.4.3.4.	Componente: Trafo Sistema: Sistema Fonte						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
<i>Reduzir a magnitude da tensão de entrada (110V ou 220V) para a tensão de 50V</i>	Curto circuito	Falha na isolação por ação mecânica ou ambiental (temperatura, umidade)	1. Magnitude da tensão de saída superior ao valor nominal, possibilidade de queima de componentes do transformador; 2. Sistema fonte com tensões de saída elevada, gerando tensões acima de 50V (na entrada do circuito de ring) e dos 24V(nas entradas das fontes de 5V e de 12V); 3. Bloco de alimentação afetado por sobretensão na entrada das fontes, alimentando circuitos da central com tensão superior à nominal; 4. Central telefônica pode estar submetida à sobretensão, eventual falha de componentes podem afetar a sua operacionalidade, reatuando a proteção, a central falha.	5	7	3	105
		Falha na montagem					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Reduzir a magnitude da tensão de entrada (110V ou 220V) para a tensão de 50V</i>	Aberto	Rompimento no enrolamento por ação mecânica ou ambiental (temperatura, umidade)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não há tensão na saída do transformador; 2. Sistema fonte não fornece tensão de alimentação para o circuito de ring e fontes 12 V e 24V; 3. Bloco de alimentação sem tensão de ring e 5V e 12V; 4. Central telefônica operando sem alimentação, ramais para falta de energia operando normalmente 	5	7	2	70
		Falha na montagem					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Reduzir a magnitude da tensão de entrada (110V ou 220V) para a tensão de 50V</i>	Alteração nos parâmetros operacionais	Ação ambiental (temperatura, umidade)	<p>Tensão de saída superior ao valor nominal:</p> <p>1.Transformador gerando tensão de saída superior ao valor nominal;</p> <p>2.Sistema fonte gerando tensão superior ao valor nominal, atuando sobretensão no circuito de ring e fonte de 5V e 12V;</p> <p>3.Bloco de alimentação com possibilidade de gerar sobretensão de ring e fonte de 5V e 12V;</p> <p>4.Circuitos da central podem operar com sobretensão, havendo possibilidade de falha dos mesmo ou atuação das proteções que travam a central, funcionando apenas os ramais para falta de energia.</p> <p>Tensão de saída inferior ao valor nominal</p> <p>1.Transformador gerando tensão de saída inferior ao valor nominal;</p> <p>2.Sistema fonte gerando tensão inferior ao valor nominal, circuito de ring alimentados com subtensão;</p> <p>3.Bloco de alimentação gera subtensão;</p> <p>Circuitos da central operando com tensão abaixo da nominal, possíveis problemas na operação, ring intermitente ou ausência de ring.</p>	5	7	3	105

1.4.4.	Componente: Fonte de 12 V Sistema: Bloco do Sistema de Alimentação						
Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Atua quando sobe a tensão do Ramal para 24V</i>	Proteção de entrada VRU aberto	Falha no Processo de Montagem	1.Há alimentação de tensão da fonte de 12V; 2.Bloco de alimentação de tensão operando normalmente; 3.Central operando normalmente, sem o circuito de proteção de sobretensão de 24V	3	7	4	84
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Proteção de entrada VRU em curto	Falha no Processo de Montagem	1. Não há alimentação de tensão da fonte de 12 V. 2.Bloco de alimentação de tensão de 12V inoperante; 3.Central inoperante.	7	7	3	147
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Proteção de entrada VRU fora de especificação	Seleção Errada de Componente	1.Oscila a alimentação de tensão de 12V oscilando; 2.Bloco de Alimentação de tensão d 12V oscilando; 3.Central com funcionamento intermitente; 4.Central intermitente, apenas atendendo ramais para falta de energia elétrica (programação associada à falta de tensão externa).	7	7	3	147
		Ação da Umidade e/ou Temperatura					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
<i>Filtrar a entrada do Regulador</i>	Capacitor (C56 e C58) em Curto	Falha no Processo de Montagem	1. Não há alimentação de tensão da fonte de 12 V. 2.Bloco de alimentação de tensão de 12V inoperante; 3.Central inoperante.	7	7	2	98
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Capacitor (C56 e C58) Aberto	Falha no Processo de Montagem	1.Há alimentação de tensão da fonte de 12V; 2.Bloco de alimentação de tensão operando normalmente; 3.Central operando normalmente com um pouco de ruído, sem o circuito de proteção de sobretensão de 24V	3	7	3	63
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Capacitor (C56 e C58) com Mudança no Valor de Capacitância	Seleção Errada de Componente	1.Há alimentação de tensão da fonte de 12V; 2.Bloco de alimentação de tensão operando normalmente; 3.Central operando normalmente com um pouco de ruído, e sem proteção	3	7	3	63
		Ação da Umidade e/ou Temperatura					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
	1 resistor aberto	Falha no Processo de Montagem	1.Há alimentação de tensão da fonte de 12V; 2.Bloco de alimentação de tensão operando normalmente; 3.Central operando normalmente, mas na utilização de 4 TIs o regulador desativa devido a sobrecarga de tensão requerida.	3	7	2	42
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	2 resistores abertos	Falha no Processo de Montagem	1. Não há alimentação de tensão da fonte de 12 V. 2.Bloco de alimentação de tensão de 12V inoperante; 3.Central inoperante.	7	7	3	147
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Resistor em curto	Seleção Errada de Componente	1.Há alimentação de tensão da fonte de 12V; 2.Bloco de alimentação de tensão operando normalmente; 3.Central operando normalmente, mas na utilização de 4 TIs o regulador desativa devido a sobrecarga de tensão requerida.	3	7	2	42
		Ação da Umidade e/ou Temperatura					

Função	Modo de Falha Potencial	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR
Proteção de Saída	Proteção de saída aberta	Falha no Processo de Montagem	1.Há alimentação de tensão da fonte de 12V; 2.Bloco de alimentação de tensão operando normalmente; 3.Central operando normalmente com um pouco de ruído, sem o circuito de proteção de sobretensão.	3	7	3	63
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	Proteção de Saída em curto	Falha no Processo de Montagem	1. Não há alimentação de tensão da fonte de 12 V. 2.Bloco de alimentação de tensão de 12V inoperante; 3.Central inoperante.	7	7	3	147
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
<i>Bloco CI e resistores</i>	CI em curto	Falha no Processo de Montagem	1. É jogado VRM sobre a tensão da fonte de 12 V. 2.Bloco de alimentação de tensão de transmite VRM; 3.Central inoperante com queima da matriz.	7	7	3	147
		Deterioração das Trilhas					
		Ação da Umidade					
	CI aberto	Falha no Processo de Montagem	1.Há alimentação de tensão da fonte de 12V; 2.Bloco de alimentação de tensão operando normalmente; 3.Central operando normalmente, mas na utilização de 4 TIs o regulador desativa devido a sobrecarga de tensão requerida.	3	7	2	42