

## 11. NOÇÕES SOBRE CONFIABILIDADE:

### 11.1 INTRODUÇÃO

A operação prolongada e eficaz dos sistemas produtivos de bens e serviços é uma exigência vital em muitos domínios. Nos serviços, como a Produção, Transporte e Distribuição de Energia, ou no serviço de transportes, as falhas súbitas causadas por fatores aleatórios devem ser entendidas e contrabalançadas se se pretende evitar os danos não só econômicos mas especialmente sociais.

Também nas Indústrias, hoje caracterizadas por unidade de grande volume de produção e de alta complexidade, dotadas de sistemas sofisticados de automação, impõe-se, com grande acuidade, a necessidade de conhecer e controlar as possibilidades de falhas, parciais ou globais, que possam comprometer, para lá de certos limites, a missão produtiva. As perdas operativas traduzem-se aqui por elevados prejuízos econômicos para a empresa e para o país.

Estas exigências impulsionaram a criação e desenvolvimento de uma nova ciência: A TEORIA DA CONFIABILIDADE. Esta disciplina tem por escopo os métodos, os critérios e as estratégias que devem ser usados nas fases de concepção, projeto, desenvolvimento, operação, manutenção e distribuição de modo a se garantir o máximo de eficiência, segurança, economia e duração.

Em especial, viza-se ao prolongamento da atividade do sistema a plena carga e de modo contínuo, sem que o sistema seja afetado por defeitos nas suas partes integrantes.

Fundamentalmente, a teoria da Confiabilidade tem como objetivos principais:

- Estabelecer as leis estatísticas da ocorrência de falhas nos dispositivos e nos sistemas.
- Estabelecer os métodos que permitem melhorar os dispositivos e sistemas mediante a introdução de estratégias capazes da alteração de índices quantitativos e qualitativos relativos às falhas.

A teoria da Confiabilidade (ou, apenas, Confiabilidade) usa como ferramentas principais:

- A Estatística Matemática
- A Teoria das Probabilidades
- O conhecimento experimental das causas das falhas e dos parâmetros que as caracterizam nos diversos tipos de componentes e sistemas.
- As regras e estratégias para melhorar o desempenho dos sistemas de várias naturezas e as técnicas para o desenvolvimentos dos sistemas.

Uma das finalidades da Confiabilidade é a elaboração de regras que permitam a concepção de sistemas muito complexos (computadores, redes elétricas, usinas químicas, sistemas de geração elétrica, aviões, naves espaciais, sistema de

controle e proteção, etc) capazes de funcionar satisfatoriamente mesmo com a ocorrência de falhas em alguns dos seus componentes mais críticos. Os princípios da Teoria da Redundância nasceram deste problema.

Um dos primeiros domínios onde, por força da necessidade foram usados computos estatísticos para a determinação da confiabilidade foi o da Produção e Distribuição de Energia Elétrica.

Mas foram, especialmente, o advento dos computadores de altíssima complexidade de circuito e com enorme número de componentes, as missões espaciais e as necessidades militares que forçaram à maturação, em termos mais elaborados, da Teoria da Confiabilidade.

Para citar alguns domínios onde a Teoria da Confiabilidade é de aplicação necessária, nomeamos os seguintes:

- Sistemas elétricos de potência, de geração, transmissão e distribuição.
- Concepção de sistemas eletrônicos analógicos e digitais.
- Redes de transporte, aéreas, marítimas e terrestres.
- Organização da Manutenção Corretiva e Preventiva dos processos e serviços.
- Cadeias de produção de peças.
- Estocagem de peças.
- Usinas nucleares.
- Missões Espaciais.
- Concepção de sistemas de controle e proteção.
- Planejamento da expansão dos Sistemas de Produção e Transporte de Energia Elétrica, etc.

## 11.2 CONCEITOS BÁSICOS DE CONFIABILIDADE

**CONFIABILIDADE** - É a probabilidade de um sistema (componente, aparelho, circuito, cadeia de máquinas, etc) cumprir sem falhas uma missão com uma duração determinada.

Por exemplo, se a confiabilidade de um computador de um Centro de Operações do Sistema (COS) for de 99,95% (para um período de 1 ano) isto significa que a probabilidade de o computador funcionar sem defeito durante um ano é de 99,95%.

**TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS (TMF ou MTBF)** - É o tempo médio de trabalho de um certo tipo de equipamento (reparável) entre 2 falhas seguidas.

**DURAÇÃO DE VIDA** - Tempo durante o qual um componente ou um sistema mantém a sua capacidade de trabalho, fora do intervalo dos reparos, acima de um limite especificado (de rendimento, de pressão, etc).

**TEMPO MÉDIO PARA A FALHA (MTFF)** - É o valor médio dos tempos de funcionamento, sem contar o tempo de manutenção.

$$\text{MTBF} = \text{MTFF} + \text{Tempo de Reparo}$$

**CONFIABILIDADE MEDIDA (OU ESTIMADA)** - É a confiabilidade de um certo equipamento medida através de ensaios empíricos (normalmente no fabricante).

**CONFIABILIDADE PREVISTA (OU CALCULADA)** - É a confiabilidade observada durante a operação real dos componentes e dos sistemas. É este valor da confiabilidade média de grande número de casos que permite a aferição das confiabilidades medida e prevista.

**EFICÁCIA DE UM COMPONENTE OU SISTEMA** - É a capacidade de desempenho da função pretendida, incluindo a frequência de falhas, o grau de dificuldades da manutenção e reparação e a adequação ao trabalho projetado.

É interessante notar que o projetista e o utilizador tem conceitos diferentes sobre o melhor modo de desempenhar a função pretendida. Assimilando o sistema a um ser vivo, poderíamos dizer que o projetista fornece a hereditariedade do sistema e o utilizador contribui com o meio ambiente. A eficácia do sistema depende da interação entre os 2 conjuntos de fatores.

**DEPENDABILIDADE** - Medida da condição de funcionamento de um item em um ou mais pontos durante a missão, incluindo os efeitos da Confiabilidade, Mantenebilidade e Capacidade de sobrevivência, dadas as condições da seção no início da missão, podendo ser expressa como probabilidade de um item:

- a) entrar ou ocupar qualquer um dos seus modos operacionais solicitados durante uma missão especificada, ou
- b) desempenhar as funções associadas com aqueles modos operacionais.

**DISPONIBILIDADE** - Medida do grau em que um item estará em estado operável e confiável no início da missão, quando a missão for exigida aleatoriamente no tempo.

**ENVELHECIMENTO ACELERADO** - Tratamento prévio de um conjunto de equipamentos ou componentes, com a finalidade de estabilizar suas características e identificar falhas iniciais.

**MANTENEABILIDADE** - Facilidade de um item em ser mantido ou recolocado no estado no qual pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante os procedimentos e meios prescritos.

### 11.3 TIPOS DE FALHAS

Entende-se por falhas a diminuição parcial ou total da eficácia, ou capacidade de desempenho, de um componente ou sistema.

De acordo com o nível de diminuição da capacidade, pode se classificar as falhas em:

- Falhas Totais
- Falhas Parciais

Por exemplo, um rolamento de esferas defeituoso pode ainda operar durante algum tempo, apesar de ruidoso e com sobreaquecimento (falha parcial) ao passo que a capacidade de desempenho de uma lâmpada fundida é nula, sem qualquer meio termo.

Conforme o modo como a falha evolui no tempo, desde o seu início, podemos considerar duas possibilidades de falhas:

- Falhas Catastróficas
- Falhas Graduais

Como falhas catastróficas, cita-se um curto-circuito numa linha de transporte de energia elétrica ou um bloco motor de explosão quebrado.

A alteração gradual da emissão catódica de um monitor de computador ou o desgaste na camisa de um cilindro de um motor diesel, constituem casos de falhas graduais (ou paramétricas).

Em alguns domínios da indústria e dos serviços podem ocorrer, quanto à duração da falha:

- Falhas Temporárias (curto-circuito linha terra ou entre fases, devido a uma causa passageira).
- Falhas Intermitentes (mau contato no borne de um relé)
- Falhas Permanentes (lâmpada fundida, bobina queimada)

As falhas de vários componentes podem, ou não, estar ligadas causalmente entre si. Se uma falha em um elemento induz falhas em outros, diz-se que a falha é do tipo DEPENDENTE.

Por exemplo, um resistor aberto no circuito anódico de uma válvula, pode levar esta à destruição. Uma folga excessiva no mancal de um motor elétrico, pode levar a um roçamento do rotor na massa estatórica e produzir a destruição do motor.

Se não houver inter-relação entre falhas, elas são do tipo INDEPENDENTE.

## 11.4 A FUNÇÃO CONFIABILIDADE

A confiabilidade constitui a probabilidade de funcionamento sem falhas durante um tempo  $t$ , cuja função designativa é:

$$P(\phi) = R(t) = e^{-\lambda t}$$

É interessante deduzir diretamente esta expressão da Confiabilidade.

Considere-se o caso de uma população inicial de  $N_0$  Componentes idênticos, todos em funcionamento (ou sob teste). Ao fim do tempo  $t$  há um número  $N_s(t)$  de sobreviventes. O número  $N_f(t)$  de elementos falhados ao fim do tempo  $t$  é:

$$N_f(t) = N_0 - N_s(t).$$

Por definição, a confiabilidade será dada pela probabilidade de sobrevivência, ou seja:

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0}$$

Admitamos uma população homogênea de componentes para os quais a taxa de falha  $\lambda$  seja constante. Taxa de falhas constante significa que, em intervalos de tempo elementares, de duração  $dt$ , o número de componentes falhados (mortalidade) é dado por:

$$dN(t) = -N(t) \lambda dt$$

Sendo:  $N(t)$  a população no instante  $t$ .

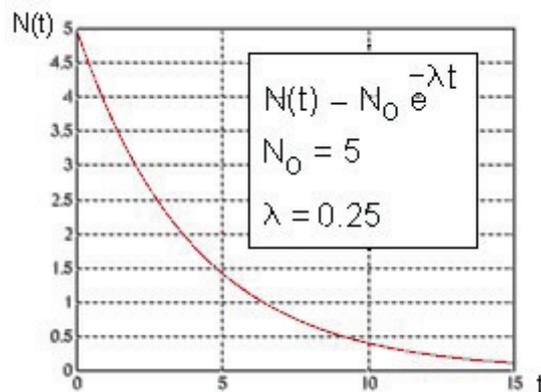
A partir desta expressão é fácil deduzir a equação que dá  $N(t)$  em função do tempo.

$$\begin{aligned} \frac{dN(t)}{N(t)} &= -\lambda dt \\ \int_{N_0}^{N(t)} \frac{1}{N(t)} dN(t) &= -\lambda dt \\ \ln [N(t)] - \ln [N_0] &= -\lambda t \\ \ln \frac{N(t)}{N_0} &= -\lambda t \\ \frac{N(t)}{N_0} &= e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

De modo que:

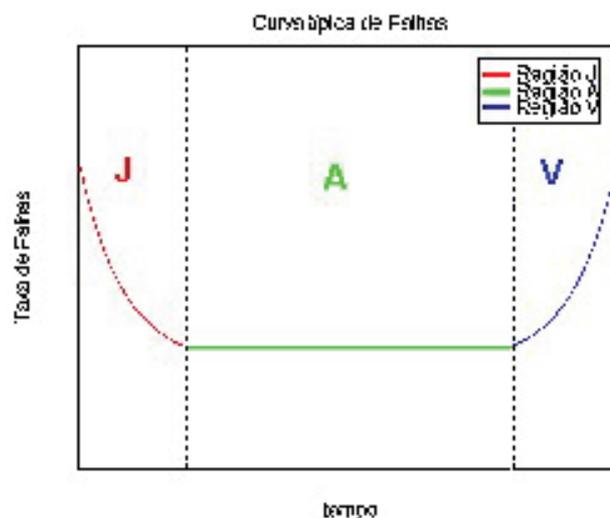
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

A curva representativa da diminuição da população útil em função do tempo está ilustrada na figura abaixo:



### 11.5 CURVA TÍPICA DE FALHAS

A curva da taxa de falhas de grande número de componentes e sistemas é caracterizada por uma curva, designada por Curva em Banheira, na qual se distinguem 3 regiões:



- **Região J**, designada como Período de Taxa de Falhas Inicial (ou período Juvenil). Corresponde ao período de partida da componente ou sistema e é caracterizado por uma taxa de falhas relativamente alta, a qual decresce com o tempo tendendo para um valor mais baixo e constante. Na população humana verifica-se uma curva deste tipo para a mortalidade dos indivíduos. A taxa de mortalidade é mais alta nos primeiros meses de vida (mortalidade infantil); essa taxa cai rapidamente e, por exemplo, é muito menor para crianças de 2 anos do que para recém-nascidos. O mesmo acontece com circuitos eletrônicos, rolamentos, lâmpadas elétricas, etc.
- **Região A**, designada como Período de Taxa de Falhas Constante (ou período adulto). Durante este período, que normalmente abrange a maior parte da vida útil do componente ou sistema, a taxa de falhas é, aproximadamente, constante. Corresponde à idade adulta nas populações humanas. Durante este período, a mortalidade, devida as causas aleatórias, verifica-se a uma taxa constante.

**Região V**, designada como Período de Falhas devidas à Deterioração (ou período Senil). É um período que se segue ao de taxa de falhas constante e durante o qual a taxa de falhas sobe rapidamente, devido a processos de deterioração (mecânica, elétrica, química, etc.). As avarias, se não forem tomadas precauções prévias (manutenção preventiva), acabam por se suceder catastroficamente em toda a população.

