

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

PREFÁCIO

Dado o elevado padrão da tecnologia atual, medidas que asseguram a confiabilidade são indispensáveis. Devido à problemática da confiabilidade ainda ser pouco considerada no plano de formação do engenheiro/matemático, e a literatura especializada exigir na maioria dos casos elevados requisitos de matemática cujo manuseio demanda excessivas horas de trabalho, é que esse software está em desenvolvimento, visando criar uma ferramenta bastante rápida de cálculo de confiabilidade.

Sem preocupar-se com a complexidade do assunto, o usuário calculará confiabilidade de forma simples, rápida e eficiente, considerando o modelo probabilístico de Weibull, onde a taxa de falha é variável e pode assim ajustar-se aos períodos de juventude e as diferentes formas de envelhecimento do produto/serviço em análise.

O usuário necessitará apenas dos dados de entrada. O cálculo realizado pelo software poderá ser aplicado em equipamentos, componentes e/ou serviços cujas falhas obedeçam uma distribuição de Poisson.

1 - DEFINIÇÃO

De produtos técnicos, espera-se que exerçam sua função não somente por ocasião do fornecimento: pelo contrário, a funcionalidade deve estar assegurada além de um período pré-determinado. Por exemplo, terminais de entrada e saída interligadas à rede de processamento de dados somente podem falhar em casos raros, enlaces por microondas podem ser inoperantes no máximo durante uma hora por ano, e satélites nunca devem falhar antes de terem cumprido a sua missão. A esse aspecto temporal da qualidade denomina-se confiabilidade.

1.1 - Confiabilidade

Por confiabilidade, entende-se a capacidade de uma unidade de observação (por exemplo: componente, módulo, equipamento) satisfazer as exigências necessárias para a finalidade de uso, nos limites pré-estabelecidos, os quais foram especificados para manter suas propriedades por um período determinado.

Diz-se ainda, que confiabilidade é a característica de um dispositivo expressa pela probabilidade que esse dispositivo tem de cumprir uma função requerida em condições de utilização e por um período de tempo determinado.

1.2 - Qualidade e confiabilidade

Essas noções são indissociáveis. Chamaremos de qualidade à conformidade de um produto a sua especificação na saída da fábrica e de confiabilidade a sua aptidão de lá permanecer conforme esperado durante toda a sua vida.

Duas reflexões importantes:

- não há boa confiabilidade sem qualidade inicial,

- a confiabilidade é uma extensão da qualidade no tempo.

Obs.: Resultados de confiabilidade não podem ser formulados com determinação, devido a probabilidade ser sempre de natureza teórica. Características para avaliação da confiabilidade são portanto, características de probabilidade. Os resultados referem-se sempre a um conjunto de unidades observadas, comparáveis, e devem, devido a isto, possuir características de valor médio em relação a uma única unidade observada.

1.3 - Taxa de Falhas

A taxa de falhas é um estimador de λ . Com efeito, ela representa uma proporção de dispositivos que sobreviveram num instante t .

Sua forma geral é: número de falhas / duração de uso

Geralmente a unidade dessa equação será panes por hora.

Cada modelo de falha degrada um órgão mecânico de modo específico. Porém, frequentemente vários modos se encaixam segundo o esquema seguinte:

INICIAÇÃO 1 ==> PROPAGAÇÃO 2 ==> RUPTURA 3

a) Na iniciação encontra-se geralmente um defeito na saúde da máquina, um defeito de concepção, de fabricação e/ou uma causa extrínseca (choque, sobrecarga repentina).

b) A propagação geralmente ocorre por modos de falha em funcionamento, tais como a fadiga, o desgaste, etc.

c) A perda de bom funcionamento intervém geralmente de forma acelerada, consecutiva à propagação no tempo, ou repentinamente.

2 - HISTÓRICO DE EQUIPAMENTOS

O histórico é um arquivo relativo a cada máquina, cuja importância no processo justifique o seu acompanhamento, e que descreve cronologicamente todas as intervenções corretivas (visando o estudo da) sofridas pela máquina desde a sua partida.

Deduz-se do histórico de uma máquina suas leis de confiabilidade (Weibull), a evolução de suas taxas de falha, sua MTBF (tempo médio entre falhas) os períodos de intervenção correspondentes aos patamares de confiabilidade predeterminados, etc.

Ela implica a colocação em memória dos TBF (tempos de bom funcionamento = intervalos entre falhas), ou seja, a tomada das datas das falhas.

Para a utilização do estudo de confiabilidade no desenvolvimento de novos produtos, ou definição da garantia de um produto, os tempos de bom funcionamento (TBF) são obtidos através de testes em bancadas, que simulem o produto em serviço.

Obs.: É importante no manuseio dos tempos de bom funcionamento, eliminar falhas que ocorreram em condições diferentes ao uso normal, para não obter informações que distorçam os resultados esperados, tais como: falha por uso indevido, condições de uso diferente das recomendadas, etc, a menos que o objetivo seja obter a confiabilidade através de falhas por uso indevido.

Portanto, é importante um tratamento adequado aos dados obtidos.

3 - DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

O modelo probabilístico de Weibull é um dos mais importantes modelos de distribuição de falhas, por ser bastante flexível, pois permite ajustar corretamente todos os tipos de resultados experimentais e operacionais.

Contrariamente a outros modelos, a lei de Weibull cobre os casos onde a taxa de falha é variável e pode assim ajustar-se aos períodos de juventude e às diferentes formas de envelhecimento.

Seu uso implica resultados de testes em amostras ou a tomada de resultados em funcionamento (TBF = intervalo entre duas datas de falhas).

O cálculo dos parâmetros da distribuição de Weibull utiliza algumas funções matemáticas que podemos considerar relativamente simples, tornando-se porém um processo que exigiria muito tempo de trabalho quando efetuado manualmente, algo que o processamento de dados realiza de forma rápida e precisa, sendo esse o objetivo do software.

4 - ÁREAS DE UTILIZAÇÃO DO ESTUDO DE CONFIABILIDADE

Através do banco de dados que informa o tempo de falhas, obtidos por observações de uso de um equipamento ou componente, ou através de testes em amostras, pode-se calcular por esse software a confiabilidade para cada tempo específico, ou vice-versa. Esses valores de confiabilidade podem ser aplicados às seguintes áreas:

a) Engenharia de produto

Prognósticos de confiabilidade para equipamentos e sistemas devem ser elaborados na fase de desenvolvimento, visto que proporcionam importantes indicações para a análise de pontos fracos.

b) Definição da garantia de produto

Com a obtenção dos valores de duração de vida através de testes em amostras, estabelece-se o tempo para garantia. Esse tempo é normalmente definido considerando-se o ganho comercial (aumento de vendas a ser obtido com essa garantia) e o custo dos produtos que não atingirem esse tempo estabelecido. É portanto, uma análise técnico-econômico.

De maneira geral, o tempo para garantia é o obtido para o valor de confiabilidade igual a 0,9 (90%), ou seja, o tempo em que 90% dos produtos escolhidos aleatoriamente para a amostra sobrevivem.

c) Engenharia de manutenção

Com o histórico de equipamentos, é possível ao engenheiro de manutenção definir componentes ou equipamentos que apresentem pontos fracos e comprometam a disponibilidade de um parque industrial, tomando assim, ações de engenharia de manutenção para solucionar os problemas.

d) Manutenção preventiva

Também através do histórico de equipamentos, onde a intervenção preventiva de manutenção se mostrou lucrativa, e onde a manutenção preventiva sistemática, preventiva periódica (através de inspeções periódicas) e a manutenção preditiva não sejam técnica ou economicamente viáveis, a saída é a análise estatística de dados, ou seja, o estudo da confiabilidade, onde define-se o tempo de intervenção preventiva correspondente a confiabilidade estipulada, em função de riscos ou de custos que não se deseja incorrer.

e) Qualificação de fornecedores

Um fornecedor pode ser considerado tecnicamente qualificado, se o componente ofertado atingir uma confiabilidade pré-estabelecida pelo cliente, através dos testes das amostras recolhidas aleatoriamente.

f) Engenharia e análise do valor/gerenciamento baseado no valor

A engenharia e análise do valor visam a redução de custos pela eliminação de funções que não agregam valor a um produto.

Pois bem, da mesma forma que o cálculo de confiabilidade determina os pontos fracos de um equipamento, pode também determinar os pontos excessivamente fortes e que não precisariam ser.

Exemplo: um veículo projetado para rodar 200.000 Km, apresenta um componente de confiabilidade 0,9 (90%) nas condições do projeto, com duração de 400.000 Km. Portanto, vale a pena reduzir a confiabilidade desse componente, desde que o custo compense, e sempre compensa.

Obs.: A manutenção preventiva é o principal ponto de estudo deste trabalho.

5 - FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA

O que se espera de um Produto ou Serviço? Que haja:

- Qualidade no fornecimento (que funcione)
- Qualidade além de um período pré-determinado ==> Confiabilidade

Confiabilidade de um dispositivo é a probabilidade que esse dispositivo tem de cumprir uma função requerida em condições de utilização e por um período de tempo determinado.

A Confiabilidade é a extensão da Qualidade no tempo. Qualidade e Confiabilidade são noções indissociáveis. Chamaremos de qualidade a conformidade de um produto à sua especificação na saída da fábrica ($t = 0$) e de confiabilidade a sua aptidão de lá permanecer conforme esperado durante toda a sua vida.

- Não há boa confiabilidade sem qualidade inicial
- A confiabilidade é uma extensão da qualidade no tempo.

Probabilidade é a razão:

$$P = \frac{\text{número de casos favoráveis}}{\text{número de casos possíveis}} < 1$$

associada a uma data t.

Síntese ==> $R(t) = P(\text{cumprir uma missão}) = P(\text{de bom funcionamento})$

Símbolo R ==> do inglês Reliability

Cumprir uma função requerida é o mesmo que cumprir uma missão ou executar um serviço esperado. A definição da função requerida implica a existência de um patamar abaixo do qual a função não será mais satisfeita.

Condições de uso:

Definição das condições de uso, ou seja, o meio ambiente e suas variações, as restrições a nível mecânico, químico, físico, etc. É evidente que o mesmo equipamento colocado dentro de dois contextos diferentes não terá a mesma confiabilidade.

Período de tempo:

Definição da duração da missão em unidades de uso. Fixa-se um mínimo $R(T_m) = 0,9$ para uma duração de missão $T_m = 8.000$ horas por exemplo; a cada instante T_i da missão associa-se uma confiabilidade $R(t_i)$.

Parâmetro disponível para o cálculo da confiabilidade:

- Falha ou Evento observado, sendo:

Falha: alteração ou cessação da capacidade de um bem realizar uma função requisitada.

Em geral as falhas de equipamentos e componentes tem as seguintes características de comportamento:

- o seu número, num intervalo de tempo, é proporcional à duração desse intervalo
- o seu número é independente da situação do intervalo de tempo
- o seu número é independente da quantidade de falhas que antecederam o intervalo de tempo considerado.

É a chamada Distribuição de Poisson, em termos de falhas.

Ex. número de passes feitos em 5 min de um jogo de futebol.

Modelo Probabilístico para Confiabilidade

Sendo Confiabilidade a probabilidade de vida e não de falha, sua estimativa se baseia numa Distribuição de Poisson, com falha zero, e o modelo probabilístico de Weibull, bastante

flexível, é o que permite ajustar corretamente todos os tipos de resultados experimentais e operacionais. O método de cálculo analítico baseia-se nesse modelo probabilístico.

Estimadores de Confiabilidade

Os equipamentos e componentes mecânicos ou eletrônicos, bem como processos e serviços que tem probabilidade de erros humanos, sempre seguem a Lei de Weibull, portanto:

$$R = e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}$$

onde R = probabilidade de sobrevivência ou cumprir uma missão

e = função matemática exponencial

t = variável de tempo, ciclos ou de performance

b, T os parâmetros da distribuição de Weibull

b = parâmetro de forma (forma da curva de falhas)

T = parâmetro de referência ou vida útil característica (tempo correspondente a uma probabilidade de sobrevivência de 36,8%).

$$\text{para } t = T \implies R = e^{-1} = 36,8\%$$

b = dispositivo de diagnóstico

b < 1 \implies taxa de falhas decrescente

b = 1 \implies taxa de falhas constante

b > 1 \implies taxa de falhas crescente

1,5 < b < 2,5 \implies fenômeno de fadiga

3,0 < b < 4,0 \implies fenômeno de desgaste

Tendo-se os dados de falhas, podemos calcular T e b, em dois métodos práticos:

a) Método Gráfico

- plotagem em folha de log

- é um algoritmo

Obs.: no presente trabalho foi utilizado apenas para base de comparação

b) Método Analítico

- expressões matemáticas relativamente simples, porém como o processo é "iterativo", demanda muitas horas de cálculo. Assim, para obtenção dos resultados foi desenvolvido um programa de computador que demonstra algumas vantagens sobre o método gráfico:

- maior precisão dos resultados

- obtenção dos parâmetros com maior rapidez

- dados de entrada são apenas os tempos de falhas

- imediatas simulações e alterações do estudo.

6- CÁLCULO DA CONFIABILIDADE

- Atribui a variável **nQtdFalhas** a quantidade de dados de falhas do lote em análise
- Para prosseguir é necessário verificar se **nQtdFalhas** é maior que 1 (um)
- Atribui a variável **nMax** o maior valor de falha lançado dentro do lote em análise
- Quando se executa o comando para leitura dos dados de falhas, cada registro lido irá alimentar as seguintes variáveis: **nFalha** e **nSequencia**
- Prepara a leitura de todos os lançamentos do lote
- Verifica se existe algum registro maior que 0 (zero), caso todos sejam iguais ou inferiores a 0 (zero) apresenta a mensagem “*Situação pouco provável em se tratando de falhas, porém, nesta circunstância, pode-se afirmar que até este valor a confiabilidade é de 100% e acima é zero. Trata-se de uma confiabilidade puntual.*” Nesse caso, termina-se o processamento nesse ponto.
- Caso seja constatado que exista algum valor maior que 0 (zero), continua o processamento.
- Em seguida é necessário criar as seguintes variáveis:
 - **A** = 4
 - **N** = **nQtdFalhas**
 - **E** = 2.718281828
 - **I** = 0
 - **YP** = 1
 - **NVezes** = 0
 - **B** = 0
 - **S** = 0
 - Cria-se um loop com a seguinte condição: Enquanto o valor absoluto de **(YP – A)** > 0,00001
 - **NVezes** = **nVezes** + 1
 - Se **nVezes** > 3500 , encerra processamento do loop
 - **YP** = **A**
 - **B** = 0
 - Executa-se a leitura dos dados de falhas, criando um loop até finalizar a leitura de todos os registros do lote, aplicando a seguinte fórmula a cada novo registro lido:
 - **B** = **B** + (**nFalha** / **nMax**) elevado a **A**.
 - Executa-se novamente a leitura dos dados de falhas, criando um loop até finalizar a leitura de todos os registros do lote, realizando a seguinte fórmula a cada novo registro lido:
 - **S** = **S** + Log(**nFalha**) * (**N** * (**nFalha** / **nMax**) elevado a **A** - **B**)
 - **A** = (**N** * **B**) / **S**
 - Fim do loop
 - Se **nVezes** > 3500, então apresenta a seguinte frase: “*O conjunto de pontos coloca em evidência duas populações distintas, correspondendo a dois modos de falhas sucessivos e diferentes. Trabalhe melhor os dados de entrada, tentando separar as populações.*” Encerrando o processamento nesse ponto.
 - Se **nVezes** <= 3500 então:

- Executa-se novamente a leitura dos dados de falhas, criando um loop até finalizar a leitura de todos os registros do lote, realizando as seguintes funções:
 - **R** = Arredondamento de um valor de 10 dígitos com 3 casas decimais para seguinte fórmula:
 - $1 / (E \text{ elevado a } (N/B * (nFalha / Max) \text{ elevado a } A)) * 100 + 0.0005$
 - Grava o valor de **R** no registro lido
- Fim do cálculo

6.1 - Simulações

Com os parâmetros obtidos no Cálculo da Confiabilidade (etapa anterior), é possível fazer simulações, entrando por exemplo com um valor de confiabilidade **R** desejável e obter o tempo de falha correspondente. Também é possível entrar com um tempo de falha fictício e obter a confiabilidade **R** correspondente.

a) Informar um tempo de falha fictício e obter **R** (confiabilidade)

Entrada: **TempoFalha** (decimal)

Retorna: **Rsimulacao** (decimal)

- **TempoFalha** = Valor digitado (tem que ser um decimal válido)
- Atribui a variável **n1** = $(N / B * (TempoFalha / nMax) \text{ elevado a } A)$
- Atribui a variável **n2** = **E** elevado a **n1**
- Se **n2** = 0
 - Então **Rsimulacao** = 0
- Se **n2** diferente de zero
 - **Rsimulacao** = arredondamento em 3 casas decimais o valor resultado de $(1 / n2 * 100 + 0.0005)$
- Retorna **Rsimulacao** (confiabilidade)

b) Informar um índice de confiabilidade desejado (**R**) e obter o tempo de falha correspondente

Entrada: **Rsimulacao** (decimal)

Retorna: **TempoFalha** (decimal)

- **Rsimulacao** = Valor digitado (tem que ser um decimal válido , entre 0 e 100)
- **TempoFalha** = arredondamento em 3 casas decimais o valor resultado de $(nMax * (\text{Log}(100 / Rsimulacao) * B / N) \text{ elevado a } (1/A)) + 0,0005$
- Retorna **TempoFalha** (intervalo de tempo para a Confiabilidade **R** informada)

7 - CONCLUSÃO

O estudo de confiabilidade aplicada à manutenção preventiva contínua, e está sendo desenvolvido um software contendo o programa de cálculo de confiabilidade afim de proporcionar um melhor aproveitamento e disponibilidade do uso dos equipamentos dos clientes.