

- Confiabilidade: Função Exponencial Negativa – Determinação Prática da Taxa de Falha -

Berquó, Jolan Eduardo – Eng. Eletrônico (ITA).
Certificador de Produto Aeroespacial (DCTA/IFI)
Representante Governamental da Garantia da Qualidade – RGQ (DCTA/IFI)
jberquo@dcabr.org.br

MSC 15– 17 AGO 2012

Sabemos que a função Confiabilidade exponencial negativa é voltada para equipamentos elétricos, eletrônicos e para equipamentos complexos como uma aeronave, que, com grande aproximação, pode ser considerada uma caixa preta (eletroeletrônica) com asas, superfícies de comando e motor (e este também cheio de acessórios eletrônicos).

Como sabemos, tal função é dada por:

$$R = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

onde λ é uma constante denominada “Taxa de Falha”, e t é o tempo médio da missão. O inverso de λ é a constante denominada “Tempo Médio entre Falhas” (*Mean Time Between Failures*), popularmente conhecida pela sigla inglesa MTBF. Este parâmetro é utilizado na manutenção, para equipamentos reparáveis, supondo que o equipamento reparado fique como novo, condição aproximadamente verdadeira desde que se tenha uma manutenção de alta qualidade.

Quando se trata de equipamentos não reparáveis, o parâmetro utilizado é o “Tempo Médio para Falhar” (*Mean Time to Failure*), conhecido pela sigla inglesa **MTTF**. É usado, por exemplo, para lâmpadas.

Não se pode perder de vista que só se pode falar de taxa de falhas constante depois que o item já tiver seu projeto maduro, consolidado, ou seja, já tiver uma configuração finalizada e devidamente submetida a ensaios¹, como ocorre em sua fase operacional.

¹ Há controvérsias sobre o uso do termo “ensaio” ou “teste”. Preferimos usar o termo “ensaio”, quando se trata de verificar o comportamento de um item para obter informações sobre parâmetros da Confiabilidade. Reservaremos o termo “teste”, quando quisermos verificar a funcionalidade do item.

Existem metodologias teóricas para estimar λ^2 , a partir de dados coletados em ensaios de laboratório e de campo.

Vamos apresentar aqui, como sempre rapidamente, algumas maneiras de se estimar esse parâmetro, a partir de dados práticos. Mas devemos estar atentos para o fato de que a metodologia apresentada só é válida se soubermos que o comportamento do item se enquadra na distribuição exponencial.

Uma metodologia que nos permite estimar λ são os chamados “ensaios de vida” (*Life Testing*).

Nos ensaios de vida, uma amostra de itens do mesmo tipo é submetida a ensaios, num ambiente similar àquele em que deverá operar, e os instantes em que ocorrem falhas são registrados.

Em geral, são utilizados dois tipos de ensaios:

- (a) **com substituição do item que falha;** e
- (b) **sem substituição do item que falha.**

Quando n itens são submetidos a ensaios de vida, com ou sem substituição do item falhado, é, às vezes, necessário interromper o ensaio, num certo momento, devido ao longo tempo de vida do item, e realizar a análise de confiabilidade baseada nos dados obtidos até aquele momento.

Ensaios que são interrompidos antes de ocorrer a falha de todos os itens da amostra são denominados “ensaios censurados” ou “ensaios truncados”. Não vamos entrar aqui nos detalhes da nomenclatura utilizada para ensaios censurados, como ensaios censurados à direita, à esquerda, etc. O leitor pode se aprofundar nesses detalhes, consultando principalmente as Referências 2, 4 e 6.

² V. Ref. 6.

Um fator importante a considerar é que os ensaios precisam ocorrer nas condições normais e extremas do ambiente em que os itens estarão em sua fase operacional.

Há dois tipos de ensaios com interrupção ou truncados:

- **Tipo I:** Ensaios com tempo estabelecido, seja lá qual for o número de falhas ocorrido; e
- **Tipo II:** Ensaios com número de falhas estabelecido, seja lá qual for o tempo de ensaio decorrido.

Para cada tipo de ensaio, há duas possibilidades: com substituição ou sem substituição do item falhado. Portanto, são possíveis quatro tipos de ensaios de vida.

Qualquer que seja o tipo de ensaio, é possível demonstrar, pelo chamado Método da Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood Method*), que a taxa de falha e o MTTF são bem estimados pelas expressões:

$$\bar{\lambda} = \frac{\Delta n}{T} \cong \lambda \quad (2)$$

$$\overline{\text{MTTF}} = 1/\lambda = \frac{T}{\Delta n} \cong \text{MTTF} \quad (3)$$

Onde Δn é o número de falhas ocorridas no ensaio e T é o tempo acumulado em horas das unidades que não falham e das unidades que falham. A barra utilizada acima dos parâmetros indica que se trata de uma estimativa.

Com qualquer número de amostras no ensaio, o Método da Máxima Verossimilhança é um bom estimador. Isto é importante porque nem sempre podemos trabalhar com muitas amostras num ensaio.

O valor de Δn é evidente, bastando contar o número de falhas no ensaio. O problema é determinar T . É o que vamos fazer a seguir.

Ensaio Tipo I com Substituição das Unidades Falhadas – Seja n o número de unidades submetidas ao ensaio e Δt o intervalo de tempo estabelecido para o ensaio. As unidades que falham são substituídas por

outras iguais. Observe que n é constante, durante todo o ensaio.

O tempo T acumulado pelas unidades que falham e que não falham é dado por:

$$T = n\Delta t \quad (4)$$

Demonstre isso, usando um exemplo numérico. Por exemplo, considere um ensaio com um tempo de ensaio Δt e n unidades. Suponha que haja três falhas, nos instantes t_1 , t_2 e t_3 , respectivamente, com $t_1 < t_2 < t_3 < \Delta t$.

Observe que o número total de unidades submetidas a ensaio é $n + \Delta n$.

Ensaio Tipo I sem Substituição das Unidades Falhadas – Neste caso, se submetermos n unidades ao ensaio, num intervalo de tempo Δt , e Δn unidades falham, nesse intervalo, o tempo total de horas acumuladas pelas unidades sobreviventes e falhadas é dada pela expressão:

$$T = \sum_{i=1}^{\Delta n} T_i + (n - \Delta n) \Delta t \quad (5)$$

onde $\sum_{i=1}^{\Delta n} T_i$ é o tempo acumulado pelas unidades falhadas, e $(n - \Delta n) \Delta t$ é o tempo acumulado pelas unidades que não falharam.

Note que o número total de unidades usadas no teste é n , dado que nenhuma unidade falhada foi substituída.

Ensaio Tipo II com Substituição das Unidades Falhadas – Neste caso, n unidades são submetidas ao ensaio e é estabelecido um certo número de falhas q . As unidades falhadas são substituídas por outras iguais, exceto a q -ésima unidade falhada.

Suponha que quando falhar a q -ésima unidade tenha transcorrido o tempo T_q . Então, o tempo T acumulado pelas unidades sobreviventes e falhadas é dado por:

$$T = nT_q \quad (6)$$

O número total das unidades sob ensaio é dado por:

$$n + q - 1 \quad (7)$$

Ensaio Tipo II sem substituição das Unidades Falhadas – Neste tipo de ensaio, as unidades falhadas não são substituídas por outras novas, e é fixado o tempo de ensaio Δt .

Quando ocorre a q -ésima falha prevista, o ensaio é interrompido em algum instante Δt . O tempo T acumulado pelas unidades pelas unidades sobreviventes e falhadas é dado por:

$$T = \sum_{i=1}^{i=q} T_i + (n-q)T_q \quad (8)$$

Onde $\sum_{i=1}^{i=q} T_i$ é o tempo acumulado pelas unidades falhadas e $(n-q)T_q$ é o tempo acumulado pelas unidades que não falharam.

Note que o número total de unidades usadas no teste é n , dado que nenhuma unidade falhada foi substituída.

Para encerrar, propomos o seguinte exercício, utilizando os quatro tipos de ensaios, na sequência apresentada.

Dez resistores são submetidos a ensaio, que termina em 900 horas. Oito resistores falham antes de completar as 900 horas. Determine T , a taxa de falha $\bar{\lambda}$ e o **MTTF**, considerando as seguintes situações:

- (a) os componentes falhados são substituídos;
- (b) os componentes falhados não são substituídos.
- (c) Repita (a) e (b), assumindo que o ensaio é encerrado quando sete resistores falham.

Os tempos de falha das unidades, em horas, são: 190, 295, 406, 421, 540, 670, 695 e 726.

Resp.

- (a) $\bar{\lambda} = 8,9 \times 10^{-4} h^{-1}$ e $\overline{MTTF} = 1.123,6h$;
- (b) $\bar{\lambda} = 1,4 \times 10^{-3} h^{-1}$ e $\overline{MTTF} = 717,9h$;
- (c) $\bar{\lambda} = 1,0 \times 10^{-3} h^{-1}$ e $\overline{MTTF} = 1.000h$; e
- (d) $\bar{\lambda} = 1,3 \times 10^{-3} h^{-1}$ e $\overline{MTTF} = 757,4h$.

Note que, embora tenhamos os mesmos dados de ensaio, o tipo de ensaio e o efeito da substituição das unidades falhadas podem influenciar razoavelmente na estimativa dos parâmetros.

Qual deles você utilizaria, ao apreciar o comportamento de um equipamento eletrônico

que operará ou já esteja operando numa frota de aviões? Justifique.

Referências:

- (1) O'CONNOR, P.D.T. Practical Reliability Engineering. John Wiley & Sons, Ltd, New York, 2002.
- (2) FREITAS, M.A., COLOSSIMO E.A., Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados. Ed. Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte, 1997.
- (3) MODARRES, M. What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis. Cincinnati – Ohio (EUA): Marcel Dekker Inc., 1993.
- (4) NELSON, WAYNE, Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans and Data Analysis. Ed. Wiley, New York 1990.
- (5) DoD, MIL-HDBK-217E -Reliability Prediction of Electronic Equipment, 27 October 1986.
- (6) BAIN, L. J. Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Methods. Marcel Dekker, New York, 1982.