

A IMPORTÂNCIA DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE E OS CONCEITOS BÁSICOS DE DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

MARCELO J. SIMONETTI¹; ANDERSON L. SOUZA²; LUIZ F. S. SILVEIRA³; JOÃO P. S. ARRUDA⁴;

¹ Professor, M.Sc *Marcelo José Simonetti*, Faculdade de Tecnologia de Tatuí, - SP. E-mail: mjsimonetti@yahoo.com.br

² Professor, Dr. Anderson Luis de Souza, Faculdade de Tecnologia de Tatuí, - SP. E-mail: anderson.als@gmail.com

³ Graduando, Luiz Fernando de Souza Silveira, Faculdade de Tecnologia de Tatuí, - SP. E-mail: nandocorintiano@gmail.com.

⁴ Graduando, João Paulo Soares de Arruda, Faculdade de Tecnologia de Tatuí, - SP. E-mail: jparrd@yahoo.com.br

RESUMO

Diante de um mercado altamente competitivo, onde os clientes estão se tornando cada vez mais exigentes, e os produtos, por sua vez, cada vez mais complexos, as empresas vêm sentido a necessidade de modernização das suas linhas de produção; entretanto mostra-se necessário que tal modernização venha acompanhada de procedimentos que, baseados em informações quantitativas, sejam capazes de otimizar a utilização e a manutenção desses novos meios produtivos.

Nesse sentido, impulsionada pelo surgimento de softwares, especialmente desenvolvidos para facilitar a resolução de cálculos e para gerar relatórios instantâneos, a engenharia de confiabilidade vem ganhando cada vez mais destaque, uma vez que tem como principal objetivo estabelecer, através de modelos estatísticos, o tempo no qual um sistema estará disponível, informação fundamental tanto para a proposição do tempo de garantia de um determinado produto quanto para a gestão da manutenção de um ambiente fabril.

Sendo assim, esse trabalho tem como objetivos: apresentar os conceitos básicos da engenharia de confiabilidade; destacar como sua utilização pode contribuir significativamente no processo de tomada de decisão associado à gestão da manutenção industrial.

PALAVRAS-CHAVE: engenharia da confiabilidade, distribuição weibull.

1- INTRODUÇÃO

1.1- A gestão da manutenção como Instrumento de Competitividade

As frequentes mudanças ocorridas na economia têm levado as empresas a procurarem diferenciadores em seus processos produtivos. Não basta somente produzir a um menor custo, deve-se agregar ao produto qualidade, preço e prazo de entrega (Slack 2008). Neste sentido, as empresas devem projetar produtos que tenham o máximo de valor agregado com custos reduzidos, a fim de aumentar a produtividade. Segundo Teixeira (2004), a produtividade de um produto pode ser descrita pelo quociente entre qualidade e custos. Uma vez que os padrões de qualidade são ditados pelos clientes, que a cada dia tornam-se mais exigentes, para uma empresa tornar-se produtiva, ela deve minimizar seus custos de produção. Portanto, para se desenvolver e para se tornar mais eficiente, mostra-se necessário que um grande esforço seja empenhado à gestão da manutenção.

Desta forma, de acordo com Teixeira (2004), a manutenção tem evoluído significativamente, deixando em segundo plano o papel de conservar (consertar ou reparar) priorizando o foco em manter

(prevenir, corrigir). Segundo esse mesmo autor, na busca de uma maior produtividade, a gestão da produção trilhou os seguintes passos evolutivos:

- I - Manutenção de crises: Reparar quando falhar;
- II - Manutenção Preventiva: Reparar antes que falhe;
- III - Manutenção Preditiva: monitorar e reparar somente na eminência de falha;

A seguir, serão abordados esses aspectos.

2- DESENVOLVIMENTO

2.1- Confiabilidade: Conceitos Teóricos

Sob o enfoque da manutenção preventiva mostra-se indispensável a utilização de ferramentas quantitativas capazes de mensurar o risco de falha de um dado componente. Freitas e Colosimo (1997) definem confiabilidade como sendo “a probabilidade de um item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo predeterminado”. Uma vez que a confiabilidade e o tempo de falha de um dado componente são eventos complementares, fica evidente a relação entre o estudo de confiabilidade e o sucesso da manutenção preventiva.

Matematicamente, a confiabilidade é descrita segundo a Equação 1:

$$C(t) = 1 - \int_0^t f(x) dt \quad (1)$$

onde:

C (t) é a confiabilidade; f (t) é a função da densidade de probabilidade (f. d. p.) e t é o período de vida útil;

Dentre as funções de densidade de probabilidade existentes, a distribuição Weibull é a mais utilizada em estudos de confiabilidade, análise de sobrevivência e em outras áreas devido a sua versatilidade. Uma distribuição é definida matematicamente por sua equação de função de densidade de probabilidade (f. d. p.) existem outras formas de parametrizar a distribuição weibull, mas a expressão mais geral da f. d. p. da distribuição weibull de 3 parâmetros, é dada pela expressão proposta por Colossimo & Giolo (2006).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (2)$$

Onde: $t > 0$; $\beta > 0$ e $\eta > 0$

t é a variável que define o período de vida útil podendo ser expresso em distância percorrida (km), em número de ciclos (n) ou em tempo de funcionamento (h);

β é o parâmetro de forma;

η é o parâmetro de escala;

γ é o parâmetro de posição;

Nos estudos de engenharia de confiabilidade, o parâmetro γ caracteriza a vida inicial do item sendo, na maioria das aplicações, desprezado, $\gamma=0$ (HALLINAN,1993). Nesses casos, onde assume-se

$\gamma=0$ a Equação 2 pode ser simplificada e Distribuição Weibull fica representada na sua forma biparamétrica (Equação 3).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

Substituindo-se a Equação 3 na Equação 1 temos a Equação 4:

$$C(t) = 1 - \int_0^t \left(\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \right) dt \quad (4)$$

Calculando-se a integral proposta na Equação 4 temos a seguinte função para o cálculo da confiabilidade:

$$C(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (5)$$

Outra medida importante na Engenharia da confiabilidade está associada à taxa de falhas (L(T)). De uma maneira geral, a taxa de falhas pode ser descrita como a razão entre o número de falhas num determinado tempo de vida e o número de componentes sujeitos à falha. Matematicamente, levando-se em conta a distribuição Weibull biparamétrica, a taxa de falhas é descrita segundo a Equação (6).

$$L(T) = \frac{f(T)}{C(T)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (6)$$

2.2 Relações entre os parâmetros da distribuição Weibull e o planejamento da Manutenção

No que segue, são apresentados os parâmetros característicos da distribuição Weibull a fim de se caracterizar seus efeitos no comportamento da função de densidade de probabilidade, das curvas de confiabilidade e de taxa de falhas e, conseqüentemente, nas estratégias da gestão da manutenção.

2.2.1 O parâmetro de forma (β)

O parâmetro β é um número puro, isto é, adimensional e como o próprio nome sugere, tal parâmetro interfere no formato da função de densidade de probabilidade como veremos a seguir:

Quando $\beta < 1$ a função densidade de probabilidade (f. d. p.) de falhas apresenta frequências elevadas na parte inicial da vida, tais falhas são comumente denominadas de falhas prematuras e, de maneira geral, estão associadas a defeitos originados no projeto, na produção ou na operação. Nestes casos, do ponto de vista da gestão da de manutenção, não há como se antever tais defeitos e para itens nesta condição mostra-se mais indicado optar-se pela manutenção corretiva ou preventiva.

Para ilustração, na Figura 1 são apresentadas a FDP, a curva de confiabilidade e a curva da taxa de falhas para um componente fictício cuja probabilidade de falha segue uma distribuição Weibull biparamétrica com $\beta=0,8$ e $\eta=30$.

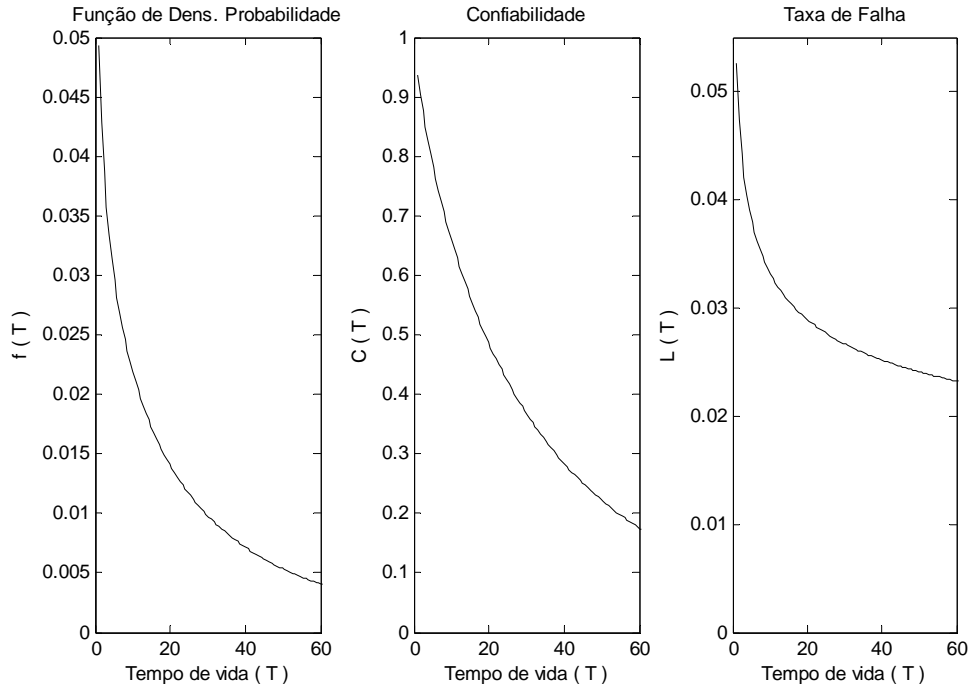


Figura 1: Distribuição da probabilidade de falhas, confiabilidade e taxa de falhas baseadas na distribuição Weibull biparamétrica ($\beta=0,8$ e $\eta=30$).

Analisando-se a Figura 1, podemos verificar o formato assumido pela distribuição Weibull. Verifica-se que a frequência de falhas é elevada na vida inicial do componente fazendo que a confiabilidade do mesmo decresça de forma acelerada neste mesmo período. O comportamento da taxa de falhas é uma combinação da probabilidade de falha e da confiabilidade (Equação 6) e evidencia que a ocorrência de falhas é mais elevada na vida inicial do componente, diminuindo drasticamente com o tempo de vida e, a partir de um dado momento, aproxima-se de um valor constante. Em outras palavras, o comportamento da taxa de falhas evidencia que em boa parte dos componentes avaliados, apresentaram falhas prematuras, defeitos, e os componentes que não falharam, até um determinado tempo de vida, tendem a funcionar segundo as suas características de projeto.

Quando $\beta=1$, a função densidade de probabilidade equivale à função distribuição exponencial. Nesse caso, a taxa de falhas é constante e as falhas ocorrem de forma aleatória. Esse comportamento está associado, sobretudo, às características de projeto do componente avaliado e também denominado vida útil. Nesse caso, a manutenção corretiva e a manutenção preventiva são as mais indicadas (Figura 2).

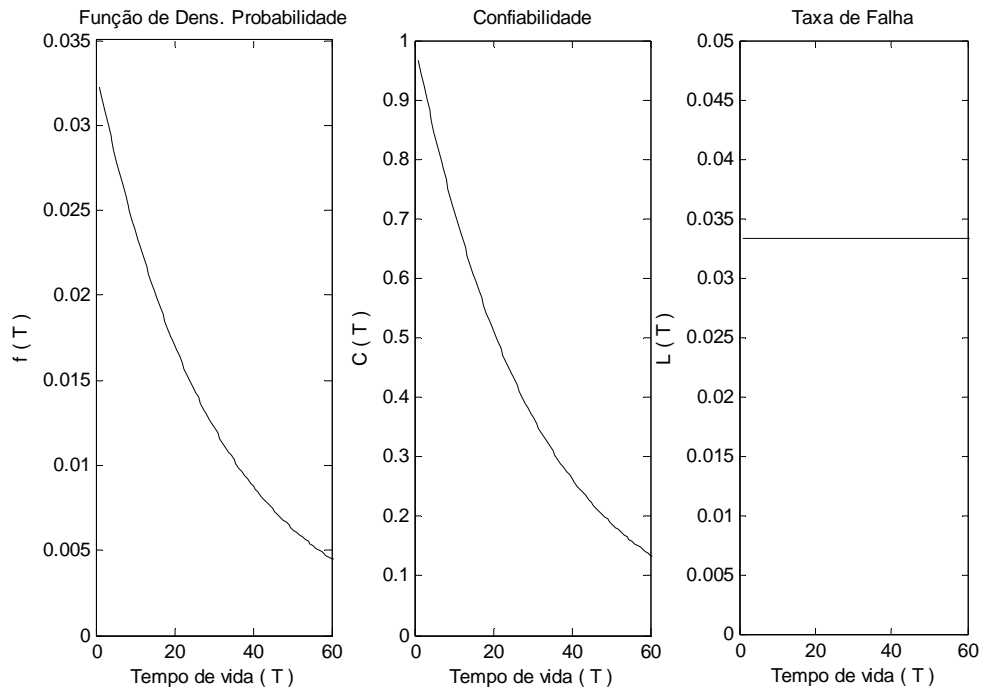


Figura 2: Distribuição da probabilidade de falhas, confiabilidade e taxa de falhas baseadas na distribuição Weibull biparamétrica ($\beta=1$ e $\eta=30$).

Quando $\beta > 1$ existem modos de falhas predominantes e, nesses casos, após efetuar-se estudos sobre os tempos médios entre falha (MTBF) e se analisar o efeito e o modo da falha (FMEA), é possível a manutenção preventiva dos itens que estão sendo analisados. Na Figura 3, são apresentados a densidade de probabilidade, a confiança e a taxa de falhas considerando-se uma distribuição Weibull biparamétrica ($\beta=4$ e $\eta=30$). Analisando-se essa a densidade de probabilidade, percebe-se que grande parte da densidade de falhas concentra-se ao redor de um determinado tempo de vida. Nesse caso, $T=30$, e é justamente esse comportamento que caracteriza as falhas predominantes. De maneira geral, ele está ligado ao desgaste natural de um determinado componente. Nesse sentido, a manutenção preditiva tem como preceito básico o reparo na eminência da falha. Assim, as curvas de confiabilidade e da taxa de falha trazem informações importantes que devem subsidiar a tomada de decisão sobre “o momento de se reparar”.

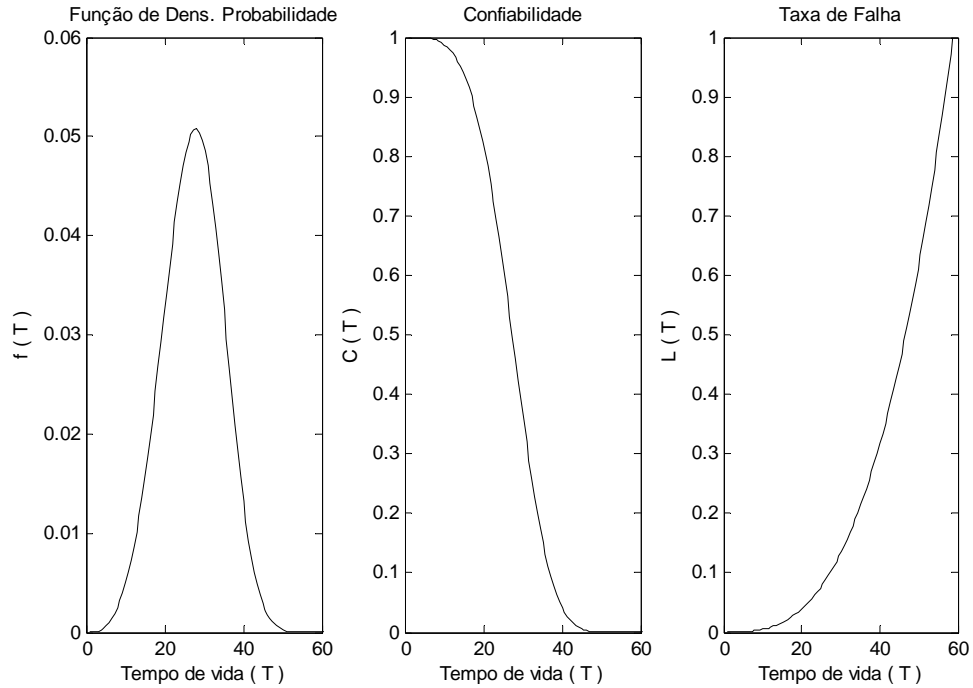


Figura 3: Distribuição da probabilidade de falhas, confiabilidade e taxa de falhas baseadas na distribuição Weibull biparamétrica ($\beta=4$ e $\eta=30$).

2.2.2 Parâmetro de Escala (η)

O parâmetro de escala (η) está associado à vida característica de um determinado componente. Ele descreve e representa uma distância, tempo ou ciclos transcorridos desde o início da atividade até o momento da falha. Nesse sentido, caso não apresente defeitos, falhas prematuras, as falhas predominantes de um determinado componente, que, como abordado anteriormente, estão associadas ao desgaste do mesmo, tendem a ocorrer nas proximidades de sua vida característica; ou seja, nos casos em que ocorrem falhas predominantes, as mesmas tendem a concentra-se nas proximidades do parâmetro de escala.

De maneira geral, podemos afirmar que:

- Se η é aumentado, enquanto β é mantido constante, a distribuição, ou seja, a "curva" começa a se estender, esticar para direita e sua altura diminui, ao manter sua forma e posição.
- Se η é diminuído, enquanto β é mantido constante, a distribuição começa a se estreitar para dentro, para esquerda (isto é para sua origem ou para 0 ou γ), e aumenta a sua altura.

Os comportamentos descritos acima, podem ser visualizados na Figura 4, onde são apresentados a densidade de probabilidade, a confiança e a taxa de falhas considerando-se uma distribuição Weibull biparamétrica mantendo-se fixo o parâmetro de forma ($\beta=4$) e o parâmetro de escala η assumiu os valores 10, 20 e 30.

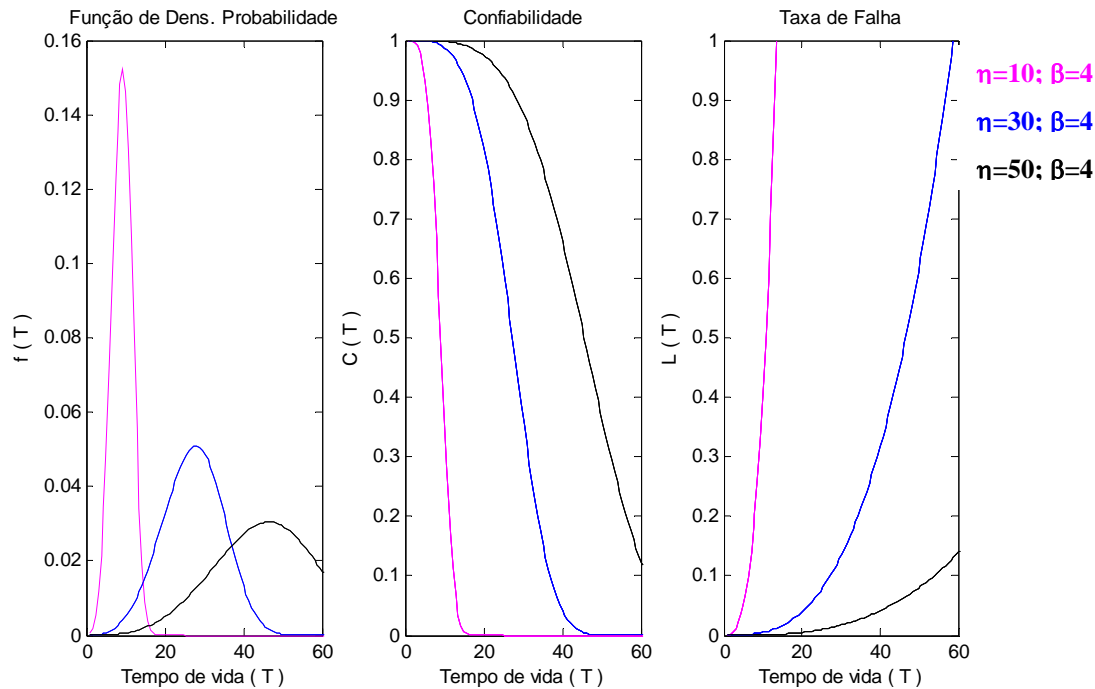


Figura 4: Distribuição da probabilidade de falhas, confiabilidade e taxa de falhas baseadas na distribuição Weibull biparamétrica ($\beta= 4$ e $\eta = 10, 20$ e 30).

3 – CONCLUSÕES

Com o passar dos anos, as empresas estão cada dia mais utilizando as abordagens realizadas pela engenharia da confiabilidade para melhorarem seus desempenhos no ambiente manufatureiro, na performance de seus produtos, na otimização de seus recursos, na redução dos custos por paradas inesperadas, na garantia da disponibilidade de um recurso; para melhorarem, assim, a qualidade frente aos concorrentes.

A engenharia da confiabilidade, a partir dos registros dos tempos de vida e de outros resultados, esta intimamente baseada no ajuste de diferentes modelos estatísticos, resultando, por sua vez, em informações que servem como subsídios para tomada de decisão. Nesse sentido, a compreensão e a utilização dos conceitos descritos neste trabalho mostram-se indispensáveis e são condição básica de conhecimento a todos profissionais que desejem atuar na gestão da engenharia da confiabilidade, na manutenção e nas áreas relacionadas.

4 - AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por iluminarmos na elaboração desse artigo; à Faculdade de Tecnologia de Tatuí, pelo apoio prestado; à Empresa Reliasoft por apoiar e por disponibilizar os diversos softwares para estudos e para pesquisas em conjunto com os alunos.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 5. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2007.

COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. **Análise de Sobrevivência Aplicada**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2006.

DEMING, W. E. **A Nova Economia para a Indústria, o Governo e a Educação**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1997.

_____. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

FIRMINO, P. R. A. **Redes Bayesianas para a parametrização da confiabilidade em sistemas complexos**. 2004. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

GAITHER, N.; FRAZIER G. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2002.

JURAN, J. M. **Juran na Liderança pela Qualidade**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1995.

MACHADO, F. **Qualidade é fundamental**. São Paulo: Auto Data, 2004.

MOTA, A. **TQC – Total Quality Control**. Brasília: Editora Vozes, 1997.

PALLEROSI, C. A. Coleção Engenharia da Confiabilidade - A Quarta Dimensão da Qualidade. Disponível em: <www.reliasoft.com.br>. Acesso em: 10 out 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**, 3. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

TAKASHINA, N. T.; FLORES, M. C. **Indicadores da qualidade e do desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.