

# Determinação da estratégia de manutenção em ERBs através da análise do histórico de falhas

Tiago Beltrão Lacerda (UFPE) [tiago.beltrao.lacerda@gmail.com](mailto:tiago.beltrao.lacerda@gmail.com)

**Resumo:** *O objetivo do artigo foi realizar a análise de desempenho de sistemas para um conjunto de ERBs (estações rádio-base) GSM de uma operadora de telefonia celular no estado de Pernambuco. O método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso exploratório do histórico de falhas de 231 setores de ERBs GSM. Determinamos a distribuição de probabilidade mais representativa para o histórico de falhas de cada um dos setores das ERBs de forma a obter um histograma da posição na curva da banheira de cada um dos setores e, com isto, auxiliar na implementação da melhor estratégia de manutenção a ser adotada.*

**Palavras-Chave:** Estratégia de manutenção, ERBs, histórico de falhas.

## 1. Introdução

As empresas de telecomunicações disputam um mercado cada vez mais acirrado onde o cliente, com a portabilidade, tem total liberdade para trocar de prestadora de serviço sempre que desejar. Falhas podem acarretar perda de clientes além de danos à imagem institucional das empresas, principalmente se incluírem aspectos de segurança pessoal e patrimonial e de meio ambiente. Nesse novo contexto, tem crescido a importância estratégica da função manutenção.

O objetivo deste artigo foi aplicar o método da análise de desempenho de sistemas ao histórico de falhas de um grupo de ERBs GSM presentes no estado de Pernambuco e determinar, para cada setor de cada site, qual a situação em que se encontram na curva da banheira (*de-bugging*, vida útil ou *wear-out*). Com a visão macro resultante da análise das falhas recentes da planta do estado, sugerimos uma estratégia de manutenção a ser adotada. O método do trabalho foi: (i) revisão bibliográfica dos conceitos de confiabilidade e manutenibilidade; (ii) delimitar o sistema a ser estudado; (iii) levantamento histórico de intervalos entre falhas; (iv) determinar a distribuição de probabilidade mais representativa para o intervalo entre falhas e identificar o ponto no ciclo de vida em que se encontra cada setor de cada ERB estudada; (v) Utilizar os resultados obtidos para propor uma política de manutenção para as EBRs presentes no estado.

## 2. Confiabilidade na gestão da manutenção: definições

O conceito de confiabilidade é empregado em vários campos de conhecimento, inclusive a gestão da manutenção. Confiabilidade é a probabilidade de um sistema exercer sem falhas a função para a qual foi projetado, por um determinado período de tempo e sob um conjunto de condições pré-estabelecidas. Falha é definida como o evento ou o estado de inoperância de um sistema ou subsistema de produção que não executa a função para a qual foi especificado. Assim, pode-se também definir confiabilidade como a probabilidade do evento falha de um sistema produtivo não ocorrer antes do tempo  $t$  (RAUSAND e

HOYLAND, 2004). Função pode ser definida como as ações desempenhadas e as características apresentadas por um componente, subsistema ou sistema produtivo (RAUSAND e OIEN, 1996).

A confiabilidade é descrita com o emprego de funções. Quatro funções apóiam a análise da confiabilidade: função confiabilidade  $R(t)$ , função probabilidade de falha  $F(t)$ , função densidade de probabilidade de falha  $f(t)$  e função taxa de falha  $h(t)$ . Dado um conjunto de condições operacionais, a função confiabilidade  $R(t)$  de um componente ou sistema é a probabilidade que o sistema não venha a falhar até o tempo  $t$ . A função probabilidade de falha  $F(t)$  é o complemento de  $R(t)$ . A função densidade de probabilidade  $f(t)$  é a probabilidade que a falha venha a ocorrer no tempo entre  $t$  e  $[t+\Delta t]$ . A função taxa de falha  $h(t)$  é a probabilidade condicional de que, dado que o item não falhou até  $t$ , falhará em  $[t+\Delta t]$  (LAFRAIA, 2001).

Seja uma variável aleatória  $T$ , o tempo decorrido até o sistema falhar. A função de confiabilidade  $R(t)$  é expressa por (1). Uma vez que um sistema não falha para  $T \leq t$ , ele necessariamente irá falhar para  $T > t$ . Tem-se então (2). Da definição de função de distribuição acumulada, tem-se (3). A função taxa de falhas pode ser obtida por (4). Finalmente, a confiabilidade pode ser expressa por (5) (ERTAS e JONES, 1996).

$$R(t) = P[T > t] \quad (1)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (3)$$

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(t) dt} \quad (5)$$

### 3. Curva da banheira

A análise do comportamento da taxa de falha de um equipamento ao longo do tempo pode ser representada por uma curva que possui a forma de uma banheira, a curva da banheira (figura 1). A curva representa as fases da vida características de um sistema: mortalidade infantil, maturidade e mortalidade senil. As fases estão associadas ao fator de forma  $\gamma$ , que é um dos parâmetros de uma eventual distribuição de Weibull que descreva a confiabilidade do item, como será apresentado mais adiante (SELLITTO, 2005).

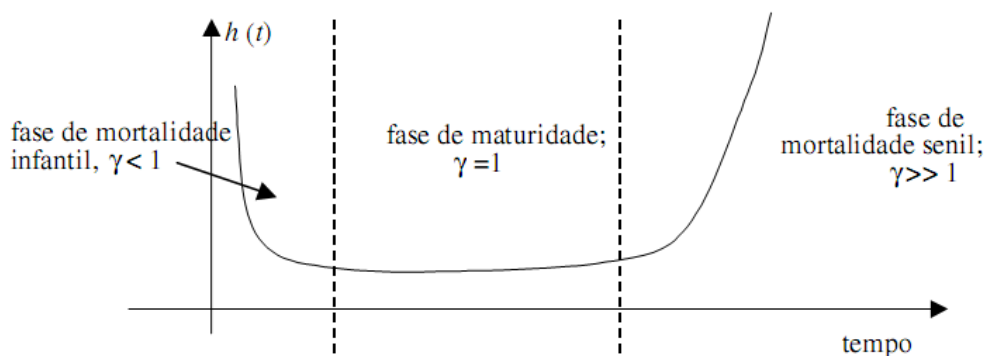


Figura 1 - Curva da Banheira e ciclo de vida de equipamentos. Fonte: Sellitto, 2005.

No período de mortalidade infantil, a taxa de falhas é alta, porém decrescente. As falhas preliminarmente são causadas por defeitos de projeto, erros de fabricação, mão-de-obra desqualificada, estocagem inadequada, instalação imprópria entre outras. A taxa de falhas diminui com o tempo, conforme os reparos de defeitos eliminam componentes frágeis ou à medida que são detectados e reparados erros de projeto ou de instalação. Sellitto (2005) aponta que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a corretiva, ou seja, cabe à manutenção não apenas reparar o equipamento, mas corrigi-lo, para que a falha não se repita.

Entre  $t_1$  e  $t_2$  é a fase de maturidade ou período de vida útil. O valor médio da taxa de falha é constante. Nesta fase, as falhas ocorrem por causas aleatórias, externas ao sistema, tais como acidentes, liberações excessivas de energia, operação inadequada, e são de difícil controle. Falhas aleatórias podem assumir diversas naturezas, tais como: sobrecargas aleatórias, problemas externos de alimentação elétrica, vibração, impactos mecânicos, bruscas variações de temperatura, erros humanos de operação entre outros. Falhas aleatórias podem ser reduzidas projetando equipamentos mais robustos do que exige o meio em que opera ou padronizando a operação. Sellitto(2005) aponta que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a preditiva, ou seja, monitoramento para detectar o início da fase de desgaste.

Após  $t_2$ , há crescimento da taxa de falhas, a mortalidade senil, que representa o início do período final de vida do item. Essa fase é caracterizada pelo desgaste do componente, entre outros. Para produzir produtos com vida útil mais prolongada, deve-se atentar para o projeto, utilizando materiais e componentes mais duráveis, um plano de inspeção e manutenção que detecte que iniciou a mortalidade senil e previna, por substituição preventiva de itens, e supressão dos agentes nocivos presentes no meio. Sellitto(2005) aponta que, neste período, a melhor estratégia de manutenção é a preventiva, ou seja, já que o equipamento irá falhar, cabe à manutenção aproveitar a melhor oportunidade para substituir ou reformar o item.

Sellitto(2005) destaca que o término da vida útil, sob o ponto de vista de confiabilidade, que ocorre quando o item ingressa no período de mortalidade senil, não deve ser confundido com sua obsolescência do ponto de vista mercadológico ou produtivo. Nesta, o item é substituído por haver desaparecido o valor atribuído à função que desempenha. Naquela, a substituição ocorre por queda na confiabilidade do item em produzir o valor que dele se espera. Sistemas eletrônicos geralmente apresentam mortalidade infantil e depois apenas falhas aleatórias, estacionando na parte baixa da curva. Tal região é dita sem memória de falha (*failure memoryless*), pois a incidência de uma falha no tempo  $t$  não tem correlação com o tempo até a próxima falha.

#### 4. Distribuições de probabilidade úteis em manutenção

Para estudos de confiabilidade em manutenção, é necessário determinar uma distribuição de probabilidade que se ajuste aos dados de tempo de vida do sistema. As de interesse para a manutenção são: normal, lognormal, Weibull, exponencial e gamma. A distribuição normal pode descrever tempos até falhas originadas de causas que se somam; a lognormal, quando a falha se origina de causas que se multiplicam; a Weibull, quando várias causas competem e a primeira que ocorre causa a falha (sistemas em série); a exponencial, quando a falha ocorre por motivos aleatórios; e a gamma, quando a última causa que ocorre dispara a falha (sistemas em paralelo) (RAUSAND e HOYLAND, 2004; HAHN e SHAPIRO, 1967).

Para a normal, a função distribuição de probabilidade é dada por (6), em termos da média e do desvio padrão, na qual  $\mu$  representa a medida central,  $\sigma$  indica o desvio-padrão e  $t$  representa o tempo até a falha.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0,5(t-\mu/\sigma)^2}, -\infty < t < \infty \quad (6)$$

Uma distribuição normal com  $\ln t$  como variável independente reduz-se a uma distribuição lognormal. A sua densidade de probabilidade é dada por (7), na qual  $t$  representa o tempo até a falha, com média do logaritmo dos dados  $\mu$  e o desvio padrão do logaritmo dos dados  $\sigma$ .

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-0,5((\ln t - \mu)/\sigma)^2}, t > 0 \quad (7)$$

A distribuição Weibull pode ser utilizada em pequenas amostras e tem flexibilidade, devido ao fator de forma  $\beta$ . A distribuição oferece informação para classificar tipos de falhas e suportar estratégias de manutenção (DODSON e NOLAN, 2002). Outra característica é a capacidade de modelar sistemas que operam em série. A distribuição de probabilidade é dada por (8) na qual  $\theta$  representa parâmetro de escala,  $\gamma$  representa parâmetro de forma e  $t$  representa o tempo até a falha.

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} e^{-(t/\theta)^\gamma}, 0 \leq t \leq \infty \quad (8)$$

A distribuição exponencial descreve sistemas com taxas de falhas constantes. Substituindo a taxa de falha  $\lambda(t)$  pela constante  $\lambda$ , a função de distribuição de probabilidade é dada por (9), na qual  $\lambda$  representa a taxa de falha e  $t$  indica o tempo até a falha. A distribuição exponencial geralmente é aplicada em sistemas complexos não redundantes ou sistemas complexos com taxas de falhas independentes. Também pode ser aplicada em sistemas com dados de falhas mostrando causas muito heterogêneas, sistemas de vários componentes ou ainda sistemas de vários componentes com substituições antes de falhas devido à manutenção preventiva.

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (9)$$

## 5. Manutenibilidade e disponibilidade

A Confiabilidade tenta reduzir a frequência ou severidade de falhas em sistemas. A manutenibilidade concentra-se em diminuir o tempo da duração de falhas em um sistema e restabelecer o funcionamento no menor tempo possível. A Norma Brasileira Registrada NBR 5462 (1994), que trata da terminologia para a confiabilidade, define manutenibilidade como: “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 procedimentos e meios descritos”. A manutenibilidade também é considerada uma característica de projeto e instalação de um item, que é expresso

pela probabilidade de que o tempo de manutenção não ultrapassará um determinado valor, quando o item é operado e mantido por pessoas e procedimentos prescritos.

A manutenibilidade tem por finalidade indicar em que tempo médio a equipe de manutenção terá sucesso no reparo. É um indicativo de performance, porém não é isolado. Seja  $T$  o tempo necessário para reparar um sistema a partir do instante da falha.  $T$  é uma variável aleatória. A função de densidade de probabilidade de reparo  $m(t)$  pode ser definida por (11), na qual  $m(t)$  é a probabilidade que o reparo precise de um tempo entre  $t$  e  $[t + \Delta t]$ . A função distribuição para reparo  $M(t)$  é dada por (12). O tempo médio para reparo (MTTR) é dado por (13). TBF indica o tempo entre falhas. MTBF(Mean Time Between Failure) é representado matematicamente por (14).

$$m(t). \Delta t = P[t \leq T \leq t + \Delta t] \quad (11)$$

$$M(t) = \int_0^t m(t). dt \quad (12)$$

$$MTTR = \int_0^{\infty} t. m(t). dt \quad (13)$$

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^N TBF_i}{N} \quad (14)$$

Segundo a NBR-5462 (1994), a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua disponibilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. A disponibilidade  $A(t)$  representa a probabilidade de que um determinado sistema ou equipamento, quando usado em determinadas condições, esteja em condição operacional em um instante de tempo  $t$ . Na prática, disponibilidade é expressa pelo percentual de tempo em que o sistema encontra-se operante, para componentes que operem continuamente. Dado que se tenham o MTBF e o MTTR, é possível calcular a disponibilidade de um equipamento por (16). A disponibilidade indica a probabilidade de que o equipamento esteja disponível para a produção.

$$Av(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (16)$$

## 6. A pesquisa

A pesquisa foi realizada em uma operadora de telefonia móvel que detêm 676 ERBs(estações rádio-base) GSM (Global System for Mobile Communications) no estado de Pernambuco(dados de jul/2011). As ERBs GSM são distribuídas geograficamente e cobrem, individualmente, um raio aproximado de 2 km (depende da geografia do terreno). Elas são responsáveis pela comunicação entre o móvel do usuário e a central telefônica da empresa. A ERB é formada basicamente por: 1- equipamento de suporte, que fornece alimentação DC, baterias (caso falte energia), e temperatura adequada aos equipamentos. 2 – Equipamento GSM, 3- Sistema irradiante, composto basicamente de 3 antenas, 4 – sistema de microondas, para comunicação ponto-a-ponto com a central.

O objetivo da pesquisa foi, através da análise do histórico de falhas das ERBs, determinar, para cada setor, a distribuição de probabilidade mais aderente aos dados de falha do respectivo setor. Dados que os equipamentos são essencialmente eletrônicos, esperamos que boa parte dos dados de falha sigam distribuições exponenciais. Caso seja verdade, mostraremos que não há sentido em realizar a manutenção preventiva das ERBs e que a empresa deveria fortalecer a política de manutenção corretiva e realizar a manutenção

preventiva apenas como manutenção oportunística (por exemplo: quando for aceitar novos equipamentos/ampliações na ERB).

O método da pesquisa foi: levantamento de dados históricos de tempos até a falha de 231 setores de ERBs do estado de Pernambuco no período de 30/dez/2010 a 03/jul/2011 e que falharam ao menos seis vezes no período; modelagem pelo software Excel da Microsoft e através de planilhas específicas criadas para tal; obtenção da distribuição de probabilidade com maior aderência aos dados de falha para cada um dos setores. Foram testadas quatro distribuições: normal, lognormal, exponencial e Weibull; e discussão dos resultados.

A planilha em Excel utilizou a linearização dos dados de falha e posterior cálculo do fator de correlação  $r$ -múltiplo para cada uma das distribuições de probabilidade consideradas e assinalou a distribuição com maior  $r$ -múltiplo, para cada setor. Em seguida foi feito um histograma das distribuições de probabilidade e o número de setores que tiveram seu histórico de falhas correlacionadas a elas. Como a hipótese a testada foi de que a maioria dos setores teria falhas aleatórias e, portanto, seguiria uma distribuição exponencial, fizemos um gráfico de Pareto do fator de correlação  $r$ -múltiplo de cada um dos setores para a distribuição exponencial.

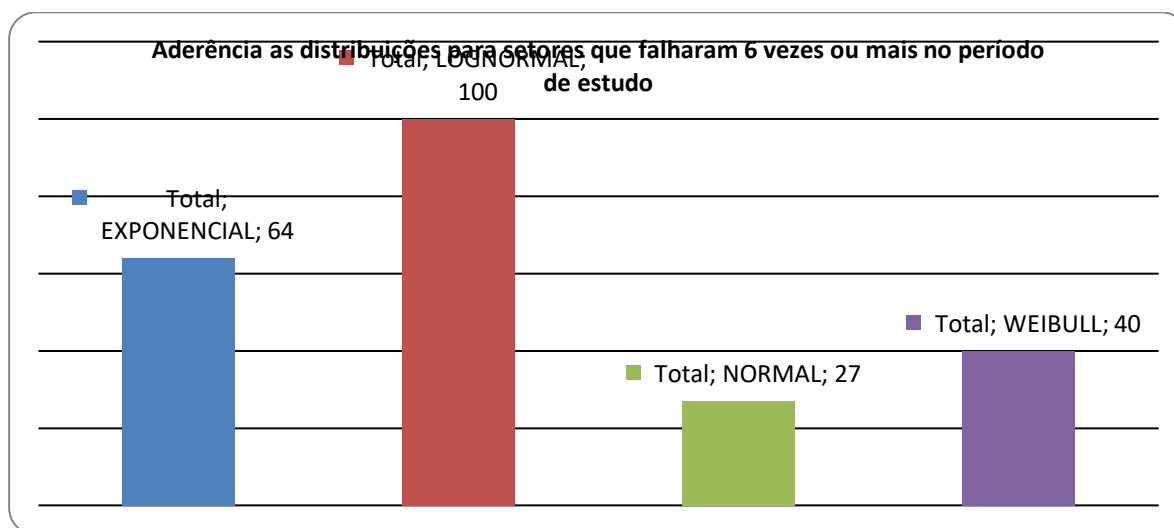


Figura 2 - Histograma da aderência dos dados de falha dos setores que falharam 6 vezes ou mais no período estudado.

Verificamos que 43% das falhas seguiram uma distribuição lognormal e 11% a normal, indicando que a maior fração dos setores estudados é composta por equipamentos que se encontram na fase de *wear-out*. 27% das falhas estudadas seguiram distribuições exponenciais, indicando que são de origem aleatória.

Verificamos que 80% dos 231 setores estudados tiveram um  $r$ -múltiplo  $\geq 0,94$  para a distribuição exponencial. Embora 43% dos dados foram mais bem representados pela distribuição lognormal, esse fato não deve ser descartado e deve motivar um estudo mais aprofundado.

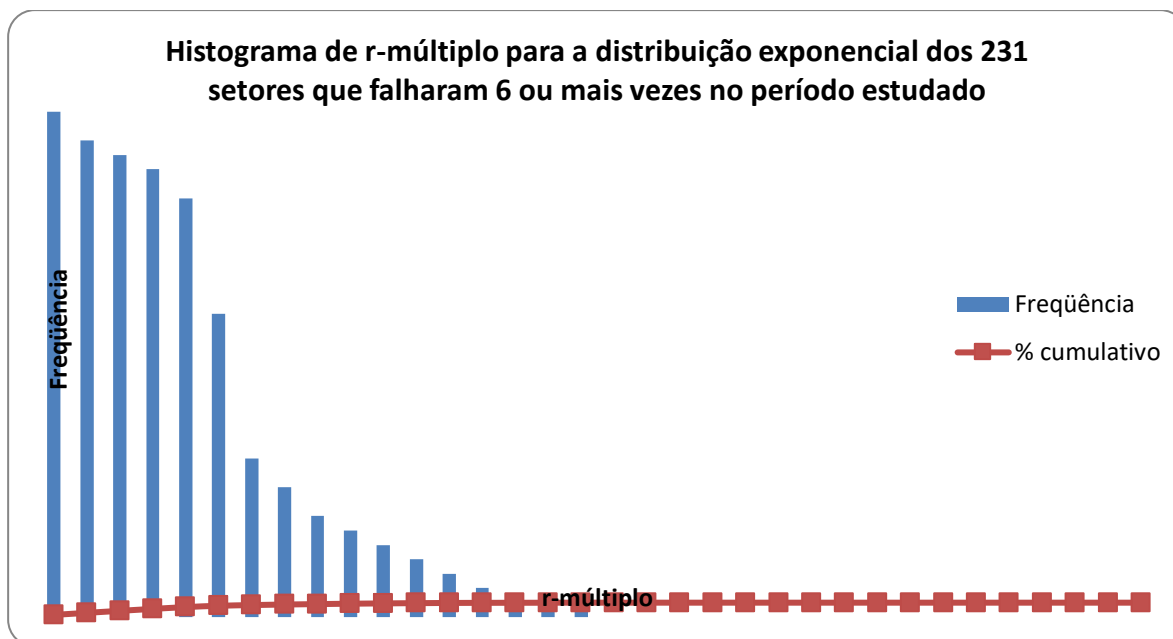


Figura 3 - Histograma de r-múltiplo para a distribuição exponencial dos 231 setores que falharam 6 ou mais vezes no período estudado.

## 7. Considerações finais

O objetivo do artigo foi estudar o histórico de falhas de um conjunto de ERBs GSM do estado de Pernambuco de uma operadora de telefonia celular da região. Com isto obtemos um panorama das falhas apresentadas nos últimos 6 meses, de forma a orientar a estratégia de manutenção a ser adotada.

Foram levantados, com o apoio do sistema de informações da empresa, dados de falha de 231 setores GSM que falharam 6 vezes ou mais no período de estudo. Foi importante para o estudo que as informações coletadas fossem confiáveis. Chegamos à conclusão de que 54% das falhas seguiram as distribuições lognormal e normal, indicando que estes setores estão na fase de *wear-out* da curva da banheira e que a manutenção preventiva, para estes casos, é a mais indicada. Também verificamos que 27% dos setores tiveram falhas segundo a distribuição exponencial, fato relevante, pois indica que os setores estão no período de vida útil da curva da banheira e que as falhas são aleatórias, e que, portanto, realizar manutenções preventivas neles não melhora a disponibilidade deles.

Estas informações serão úteis para um melhor direcionamento dos recursos da manutenção nas ERBs. Através do monitoramento contínuo dos históricos de falhas dos setores das ERBs, podemos direcionar os esforços da manutenção preventiva onde realmente são necessários. Ao invés de aplicar a política de realizar manutenção preventiva em todos os setores da rede como é feito hoje.

## 8. Referências

- DODSON, B.; NOLAN, D. *Reliability engineering handbook*. N. York: Marcel Dekker, 2002.
- ERTAS, A; JONES, J. *The engineering design process*. N. York: John Wiley & Sons, 1996.
- HAHN, G.; SHAPIRO, S. *Statistical models in engineering*. N. York: John Wiley & Sons, 1967.

LAFRAIA, J. *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

RAUSAND, M.; OIEN, K. *The basic concepts of failure analysis*. Reliability engineering and safety systems, v.60, n.2, p121-132, 1998.

RAUSAND, M.; HOLYLAND, A. *System reliability theory: models, statistical methods and applications*. N. York: Wiley, 2004.

SELLITTO, M. *Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos*. Produção, v.15, n.1, p.44-59, 2005.

WUTTKE, R.A.; SELLITTO, M.A. *Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico*. Revista Produção Online. Vol.8 n.4 Dez.2008. Disponível em <http://producaoonline.org.br/index.php/rpo/article/viewFile/134/218>