Tempos de falhas de um fluido isolante entre eletrodos utilizando-se como distribuições de amostragem os modelos Weibull Invertido e Normal

[1,2]**De Souza, Daniel I,** [2]**Rocha, R.,** [2]**Azevedo, P. G.**
[1]Departamento de Engenharia Civil, Uni. Federal Fluminense, Brasil
[2]Departamento de Engenharia de Produção, Uni. Estadual do Norte Fluminense, Brasil
daniel.desouza@hotmail.com

Resumo

Em um trabalho anterior por De Souza(1) utilizamos um modelo Weibull de dois parâmetros para determinarmos se o modelo acelerado proposto por Eyring seria capaz ou não de traduzir os resultados para os parâmetros de forma e de escala de uma distribuição de amostragem Weibull, obtidos sob duas condições aceleradas de uso, para os resultados esperados para esses dois parâmetros em uma condição normal de uso. Nós também determinamos que os tempos de falhas de um fluido isolante entre eletrodos obtidos em três voltagens diferentes não possui uma distribuição exponencial, como esperado pela teoria. O produto analisado era um novo tipo de fluido isolante, sendo o fator de aceleração a tensão de voltagem aplicada ao fluido em duas voltagens diferentes (30KV e 40KV). A voltagem normal de operação é de 25 KV (quilovolts). Nesse caso, foi possível se testar o fluido isolante na condição de uso. Como alguns dos tempos de falhas são muito pequenos (menos do que dois segundos), assumimos que o parâmetro de localização ou vida mínima seria igual à zero. Nesse trabalho utilizaremos duas novas distribuições de amostragem, os modelos Weibull Invertido e Normal, para verificarmos agora se a “Lei de Distribuição de Maxwell” será ou não capaz de traduzir os resultados para os parâmetros de forma e de escala dos modelos de amostragem Weibull Invertido e Normal, resultados esses obtidos sob duas condições aceleradas de uso, para os resultados esperados para esses dois parâmetros em uma condição normal de uso (25KV) quando o único fator de aceleração será a tensão de voltagem. Os dados de tempos de falhas do fluido isolante entre eletrodos foram apresentados por Nelson(2) e foram os mesmos utilizados no trabalho anterior por De Souza(1). Para estimarmos os parâmetros de forma e de escala desses dois modelos de amostragem iremos utilizar o método de estimação do “Maximum Likelihood” em uma condição de truncagem por falhas. Um exemplo irá ilustrar a aplicação dessa metodologia.

1. Introdução

A lei de “Distribuição de Maxwell” expressa a distribuição das energias cinéticas das moléculas. De acordo com Feller(3), essa lei é representada pela equação seguinte:

$$M_{te} = M_{tot} \times e^{-E/KT} \times e^{-E/KV} \quad (1)$$

Aqui, M_{te} representa o número de moléculas em uma temperatura particular absoluta T em graus Kelvin (Kelvin = 273,16 somada à temperatura em graus Centígrados), o qual transfere uma energia cinética maior do que E entre o número total de moléculas presente, M_{tot}; E é a energia de ativação da reação; K representa a constante do gás (1,986 calorias por mole); V é a tensão de voltagem. A equação (1) expressa a possibilidade de uma molécula possuir uma energia maior do que E. O fator de aceleração $AF_{2/1}$ relativo a duas tensões diferentes de voltagem V_2 e V_1 será dado pela relação entre o número de moléculas possuindo uma energia de ativação E nessas duas voltagens distintas, ou seja:

$$AF_{2/1} = \frac{M_{TE(2)}}{M_{TE(1)}} = \frac{e^{-E/KT_2} \times e^{-E/KV_2}}{e^{-E/KT_1} \times e^{-E/KV_1}}$$

$$AF_{2/1} = exp\left[\frac{E}{K}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] exp\left[\frac{E}{K}\left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right)\right] \tag{2}$$

Dado que as temperaturas existentes nas duas condições aceleradas de teste são as mesmas e que a única tensão de aceleração diferente é a voltagem, a equação (2) se transformará em:

$$AF_{2/1} = exp\left[\frac{E}{K}\left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right)\right] \tag{3}$$

Aplicando-se logaritmos naturais em ambos os lados da equação (3) e após alguma manipulação algébrica, obteremos:

$$ln\left(AF_{2/1}\right) = \frac{E}{K}\left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right) \tag{4}$$

Através da equação (4) poderemos estimar o termo E/K testando em duas tensões de voltagem diferentes e calculando o fator de aceleração em relação às distribuições de amostragem. Logo, teremos:

$$\frac{E}{K} = \frac{ln\left(AF_{2/1}\right)}{\left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right)} \tag{5}$$

O fator de aceleração $AF_{2/1}$ será dado pela relação θ_1/θ_2, com θ_i representando um parâmetro de escala ou um percentil correspondente a um nível de tensão V_i. Logo que o termo E/K for determinado, o fator de aceleração $AF_{2/n}$ a ser aplicado em uma condição de tensão de voltagem normal poderá ser obtido da equação (3) através da substituição da tensão de voltagem V_1 pela tensão de voltagem em uma condição normal de uso V_n. Logo:

$$AF_{2/n} = exp\left[\frac{E}{K}\left(\frac{1}{V_n} - \frac{1}{V_2}\right)\right] \tag{6}$$

De Souza[1] mostrou que sob uma condição de aceleração linear, se um modelo Weibull de dois parâmetros representar a distribuição de vida de uma população em um determinado nível de tensão, então um modelo Weibull de dois parâmetros deverá também representar a distribuição de vida dessa população em qualquer outro nível de tensão existente. A mesma lógica se aplica aos modelos de dois parâmetros Weibull Invertido e Normal. Nesse trabalho estaremos assumindo uma condição de aceleração linear.

Em geral, o parâmetro de escala poderá ser estimado com o emprego de dois níveis de tensão distintos (temperatura ou ciclos ou milhas, etc.), e a razão entre eles irá fornecer o valor desejado para o fator de aceleração AF_θ. Desse modo, obteremos:

$$AF_\theta = \frac{\theta_n}{\theta_a} \tag{7}$$

Novamente, baseado no trabalho por De Souza[1], para o modelo Weibull de dois parâmetros a função cumulativa em uma condição normal de teste $F_n(t_n)$ relativa a um determinado tempo de teste $t = t_n$, será dada por:

$$F_n(t_n) = F_a\left(\frac{t_n}{AF}\right) = 1 - exp\left[-\left(\frac{t_n}{\theta_a\, AF}\right)^{\beta_a}\right] \tag{8}$$

A equação (8) nos informa que, sob uma condição de aceleração linear assumida, se um modelo Weibull de dois parâmetros representar a distribuição de vida de uma população em um determinado nível de tensão, então um modelo Weibull de dois parâmetros deverá também representar a distribuição de vida dessa população em qualquer outro nível de tensão existente. A mesma lógica se aplica aos modelos de dois parâmetros Weibull Invertido e Normal. No caso do modelo Weibull Invertido o parâmetro de forma permanece o mesmo ao passo que o parâmetro de escala acelerado será multiplicado pelo fator de aceleração. Um mesmo parâmetro de forma é uma consequência matemática necessária para se ter as duas outras condições admitidas, ou seja; assumir-se uma aceleração linear e um modelo de amostra Weibull Invertido de dois parâmetros. Se níveis distintos de tensão produzirem amostras com parâmetros de forma muito diferentes entre si, então ou o modelo de amostragem Weibull Invertido de dois parâmetros seria o modelo errado para representar os dados existentes ou não teríamos na realidade uma condição de aceleração linear.

2. Estimador de maximum likelihood para os modelos Weibull Invertido e Normal em uma condição de truncagem do Tipo II (falhas)

2.1 Para o modelo Weibull Invertido

A função semelhança para os parâmetros de forma e escala para o modelo de amostragem Weibull Invertido em uma condição de truncagem do Tipo II (truncagem por falhas) será dada por:

$$L(\beta ;\theta)= k!\left[\prod_{i=1}^{r} f(t_i)\right]\left[1-F(t_r)\right]^{n-r} = k!\left[\prod_{i=1}^{r} f(t_i)\right]\left[R(t_r)\right]^{n-r} \; ; t>0 \qquad (9)$$

Com $f(t_i) = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{\theta}{t_i}\right)^{\beta+1} exp\left[-\left(\frac{\theta}{t_i}\right)^{\beta}\right]$ e ainda $R(t_r) = exp\left[-\left(\frac{\theta}{t_r}\right)^{\beta}\right]$, teremos:

$$L(\beta;\theta) = k!\ \beta^r\,\theta^{\beta r}\left[\prod_{i=1}^{r}\frac{1}{(t_i)}\right]^{\beta+1} e^{-\sum_{i=1}^{r}(\theta/t_i)^{\beta}}\left[e^{-(\theta/t_r)^{\beta}}\right]^{n-r} \qquad (10)$$

A função log-semelhança será dada por:

$$L = ln(k!)+r\,ln(\beta)+r\beta\ ln(\theta)-(\beta+1)\sum_{i=1}^{r}ln(t_i)-\sum_{i=1}^{r}\left(\frac{\theta}{t_i}\right)^{\beta}-(n-r)\left(\frac{\theta}{t_r}\right)^{\beta} \qquad (11)$$

Para encontrarmos os valores de θ e β que maximizem a função log-semelhança, obteremos as derivadas em função de θ e de β fazendo essas equações iguais a zero. Logo, teremos:

$$\frac{dL}{d\theta} = \frac{r\beta}{\theta} - \beta\theta^{\beta-1}\sum_{i=1}^{r}\left(\frac{1}{t_i}\right)^{\beta} - (n-r)\beta\theta^{\beta-1}\left(\frac{1}{t_r}\right)^{\beta} = 0 \qquad (12)$$

$$\frac{dL}{d\beta} = \frac{r}{\beta} + r\,ln(\theta)-\sum_{i=1}^{r}ln(t_i)-\sum_{i=1}^{r}\left(\frac{\theta}{t_i}\right)^{\beta} ln\left(\frac{\theta}{t_i}\right)-(n-r)\left(\frac{\theta}{t_r}\right)^{\beta} ln\left(\frac{\theta}{t_r}\right) = 0 \qquad (13)$$

Da equação (12) obteremos:

$$\theta = \left(r \Big/ \sum_{i=1}^{r}\left(\frac{1}{t_i}\right)^{\beta} + (n-r)\left(\frac{1}{t_r}\right)^{\beta}\right)^{1/\beta} \qquad (14)$$

Podemos notar que quando o parâmetro de forma do modelo Weibull Invertido for igual à um (β = 1), a equação (14) se reduzirá ao estimador de maximum likelihood para a distribuição Exponencial Invertida. Substituindo-se a equação (14) para o parâmetro de escala θ na equação (13) e aplicando-se alguma álgebra, a equação (13) se simplificará em:

$$\frac{r}{\beta} - \sum_{i=1}^{r} ln(t_i) + \frac{r \times \left[\sum_{i=1}^{r} \left(\frac{1}{t_i} \right)^{\beta} ln(t_i) + (n-r) \left(\frac{1}{t_r} \right)^{\beta} ln(t_r) \right]}{\sum_{i=1}^{r} \left(\frac{1}{t_i} \right)^{\beta} + (n-r) \left(\frac{1}{t_r} \right)^{\beta}} = 0 \qquad (15)$$

A equação (15) necessitará ser resolvida interativamente.

2.2 Para o modelo Normal

Utilizando-se agora a equação (9), com $f(x_r)$ dado por

$$f(x_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} exp\left[\frac{(x_r - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \text{ e com}$$

$$F(x_r) = \int_{-\infty}^{x_r} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] d\tau \,;\, \tau \geq 0,$$

obteremos:

$$L(\mu;\sigma) = k! \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right)^r \left(\frac{1}{\sigma} \right)^r \times exp\left[-\left(\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{r} (x_i - \mu)^2 \right) \right] \times$$

$$\times \left[1 - \int_{-\infty}^{x_r} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] d\tau \right]^{n-r}$$

A função log-semelhança será dada por:

$$L = ln[L(\mu\,;\sigma)] = \ln(\mathrm{k}) + r\,ln\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\right) + r\,ln\left(\frac{1}{\sigma}\right) - \frac{1}{2\sigma^2}\sum_{i=1}^{r}\left(x_i - \mu\right)^2 + (n-r)\times$$

$$\times\ ln\left(1 - \int_{-\infty}^{x_r} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\,exp\left[-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]d\tau\right)$$

Para encontrarmos os valores de μ e σ que maximizem a função log-semelhança obteremos as derivadas de μ e σ fazendo a seguir as equações resultantes iguais à zero. Desse modo, obteremos:

$$\frac{dL}{d\mu} = \frac{1}{\sigma^2}\sum_{i=1}^{r}\left(x_i - \mu\right) - \frac{\dfrac{(n-r)}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times \dfrac{\left(x_r - \mu\right)}{\sigma^2}\,exp\left[-\dfrac{\left(x_r - \mu\right)^2}{2\sigma^2}\right]}{1 - \displaystyle\int_{-\infty}^{x_r} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\,exp\left[-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]d\tau} = 0 \qquad (16)$$

$$\frac{dL}{d\sigma} = -\frac{r}{\sigma} + \frac{1}{\sigma^3}\sum_{i=1}^{r}\left(x_i - \mu\right)^2 -$$

$$- \frac{\dfrac{(n-r)}{\sigma^2\sqrt{2\pi}} \times exp\left[-\dfrac{\left(x_r - \mu\right)^2}{2\sigma^2}\right]\left[\dfrac{\left(x_r - \mu\right)^2}{\sigma^2} - 1\right]}{1 - \displaystyle\int_{-\infty}^{x_r} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\,exp\left[-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]d\tau} = 0 \qquad (17)$$

Dividindo-se a equação (16) pela equação (17), obteremos:

$$\frac{d\sigma}{d\mu} = \frac{\dfrac{1}{\sigma}\displaystyle\sum_{i=1}^{r}\left(x_i - \mu\right)}{-r + \dfrac{1}{\sigma^2}\displaystyle\sum_{i=1}^{r}\left(x_i - \mu\right)^2} = \frac{\left(x_r - \mu\right)}{\sigma \times \left[\dfrac{\left(x_r - \mu\right)^2}{\sigma^2} - 1\right]}$$, ou ainda:

$$\frac{\frac{1}{\sigma}\sum_{i=1}^{r}(x_i-\mu)}{-r+\frac{1}{\sigma^2}\sum_{i=1}^{r}(x_i-\mu)^2}-\frac{(x_r-\mu)}{\sigma\times\left[\frac{(x_r-\mu)^2}{\sigma^2}-1\right]}=0 \qquad (18)$$

A equação (18) necessitará ser resolvida interativamente.

3. Exemplo

Os dados utilizados nesse trabalho foram fornecidos por Nelson[(2)]. A Tabela (1) seguinte apresenta dados relacionados com tempos de falhas de um fluido isolante entre eletrodos obtidos em três voltagens (40KV, 30KV e 25 KV). A voltagem de operação normal é de 25KV. O propósito do teste de vida é o de determinar se a “Lei de Distribuição de Maxwell” será capaz de traduzir resultados relativos aos parâmetros de forma e escala de modelos de amostragem Weibull Invertido e Normal, obtidos sob duas condições aceleradas de uso, para valores esperados de se obter em uma condição normal de uso para esses dois parâmetros, quando o único fator de aceleração é a tensão de voltagem. O teste foi truncado quando realizado com voltagens de 30KV e 25KV. O tamanho de amostra para cada voltagem foi de 12 itens.

Tabela 1. Tempo de falhas (segundos) de um fluido isolante (KV = Quilovolts)

Voltagens	40KV	30KV	25KV
Tempo/segundos	1,5	50	2500
Tempo/segundos	1,5	134	4056
Tempo/segundos	2	187	12553
Tempo/segundos	3	882	40290
Tempo/segundos	12	1448	*
Tempo/segundos	25	1468	*
Tempo/segundos	46	2290	*
Tempo/segundos	56	2932	*
Tempo/segundos	68	4138	*
Tempo/segundos	109	15750	*
Tempo/segundos	323	*	*
Tempo/segundos	417	*	*

Utilizando-se o método de estimação do maximum likelihood para os parâmetros de escala e de forma dos modelos de amostragem Weibull Invertido e Normal em uma situação de truncagem do Tipo II (truncagem por falhas), obtivemos os seguintes valores para esses parâmetros:

Tabela 2. Estimadores para os parâmetros de forma β e de escala θ

Voltagens	Weibull Invertida Forma β	Weibull Invertida Escala θ	Normal Forma β	Normal Escala θ
40KV (12 Itens)	0,560	21,926	4,984	23,576
30KV (10 Itens)	0,619	408,025	90,176	422,027
25KV (4 itens)	1,315	4436,107	968,060	4458,101

3.1 Para o modelo Weibull Invertido

Como os valores para os parâmetros de forma para as três voltagens estão relativamente próximos (0,560 para 40KV com a análise de doze tempos de falhas; 0,619 para 30KV com a observação de dez tempos de falhas e 1,315 para 25KV com a inspeção de apenas quatro tempos de falhas), podemos assumir uma condição de aceleração linear. Utilizando-se agora os resultados para o parâmetros de forma do modelo de amostragem Weibull Invertido obtidos com voltagens aceleradas de 40KV e 30KV, iremos estimar o valor desse parâmetro em uma condição de uso normal de voltagem (25KV). Então iremos comparar esse resultado estimado para o parâmetro de escala com o obtido em uma condição normal de uso. Como recordamos, queremos verificar se a "Lei de Distribuição de Maxwell" será ou não capaz de traduzir os resultados para os parâmetros de forma e de escala dos modelos de amostragem Weibull Invertido e Normal, resultados esses obtidos sob duas condições aceleradas de uso, para os resultados esperados para esses dois parâmetros em uma condição normal de uso (25KV) quando o único fator de aceleração será a tensão de voltagem. Desse modo, utilizando-se as equações (1) até a (7), obteremos o fator de aceleração para o parâmetro de escala $AF\theta_{2/1}$. Empregando-se a equação (7), teremos:

$$AF\theta_{2/1} = \theta_1/\theta_2 = 408{,}025/21{,}926 = 18{,}609$$

Usando-se a equação (5), poderemos estimar o termo *E/K*. Logo:

$$\frac{E}{K} = \frac{ln(AF_{2/1})}{\left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right)} = \frac{ln(18{,}609)}{[(1/30)-(1/40)]} = 350{,}837$$

Aplicando agora a equação (6), o fator de aceleração para o parâmetro de escala a ser utilizado em uma condição de voltagem normal de tensão $AF\theta_{2/n}$ será dado por:

$$AF\theta_{2/n} = exp\left[\frac{E}{K}\left(\frac{1}{V_n} - \frac{1}{V_2}\right)\right] = exp\left[350{,}837\left(\frac{1}{25} - \frac{1}{40}\right)\right] = 192{,}974$$

Desse modo, o parâmetro de escala em uma tensão de voltagem normal de operação é estimado ser de:

$$\theta_n = AF\theta_{2/n} \times \theta_2 = 192{,}974 \times 21{,}926 = 4231{,}148 \text{ segundos}$$

A diferença percentual entre o valor calculado de θ (4436,107 segundos) obtido com a inspeção de apenas quatro tempos de falhas e o valor estimado de θ (4231,148 segundos) será de:

$$\%\,Diferença(\theta\ calculado/\theta\ estimado) = 4436{,}107/4231{,}148 = 4{,}84\%$$

Logo, podemos ver que a "Lei de Distribuição de Maxwell" foi capaz de traduzir com certo grau de precisão, os resultados para os parâmetros de forma e de escala dos modelos de amostragem Weibull Invertido e Normal, resultados esses obtidos sob duas condições aceleradas de uso, para os resultados esperados para esses dois parâmetros em uma condição normal de uso.

3.2 Para o modelo Normal

Empregando-se novamente as equações (1) até a (7), obteremos o fator de aceleração para o parâmetro de escala $AF\theta_{2/1}$. Utilizando-se a equação (7) iremos obter:

$$AF\theta_{2/1} = \theta_1/\theta_2 = 422{,}027/23{,}576 = 17{,}901$$

Uma vez mais se usando a equação (5), poderemos estimar o termo *E/K*. Logo:

$$\frac{E}{K} = \frac{ln(AF_{2/1})}{\left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right)} = \frac{ln(17{,}901)}{[(1/30)-(1/40)]} = 346{,}183$$

Através do uso da equação (6), o fator de aceleração para o parâmetro de escala a ser utilizado em uma condição de voltagem normal de tensão $AF\theta_{2/n}$ será dado por:

$$AF\theta_{2/n} = exp\left[\frac{E}{K}\left(\frac{1}{V_n} - \frac{1}{V_2}\right)\right] = exp\left[346{,}183\left(\frac{1}{25} - \frac{1}{40}\right)\right] = 179{,}919$$

Finalmente, o parâmetro de escala em uma tensão de voltagem normal de operação é estimado ser de:

$$\theta_n = AF\theta_{2/n} \times \theta_2 = 179{,}919 \times 23{,}576 = 4241{,}770 \text{ segundos}$$

A diferença percentual entre o valor calculado de θ (4458,101 segundos) obtido com a inspeção de apenas quatro tempos de falhas e o valor estimado de θ (4241,770 segundos) será de:

$$\%\,Differença(\theta\ calculado/\theta\ estimado) = 4458{,}101/4241{,}770 = 5{,}10\%$$

Novamente podemos ver que a “Lei de Distribuição de Maxwell” foi capaz de traduzir com certo grau de precisão, os resultados para os parâmetros de forma e de escala dos modelos de amostragem Weibull Invertido e Normal, resultados esses obtidos sob duas condições aceleradas de uso, para os resultados esperados para esses dois parâmetros em uma condição normal de uso.

4. Conclusões

O propósito desse trabalho foi o de verificarmos se a “Lei de Distribuição de Maxwell” seria ou não capaz de traduzir os resultados para os parâmetros de forma e de escala dos modelos de amostragem Weibull Invertido e Normal, resultados esses obtidos sob duas condições aceleradas de uso, para os resultados esperados para esses dois parâmetros em uma condição normal de uso. O produto analisado era um novo tipo de fluido isolante, sendo o fator de aceleração a tensão de voltagem aplicada ao fluido em duas voltagens diferentes (30KV e 40KV). A voltagem normal de operação é de 25 KV (quilovolts). Nesse caso, foi possível se testar o fluido isolante na condição de uso. Para estimarmos os parâmetros de forma e de escala desses dois modelos de amostragem utilizamos o método de estimação do “Maximum Likelihood” em uma condição de truncagem por falhas. Como os valores para os parâmetros de forma para as três voltagens estão relativamente próximos (0,560 para 40KV com a análise de doze tempos de falhas; 0,619 para 30KV com a observação de dez tempos de falhas e 1,315 para 25KV com a inspeção de apenas quatro tempos de falhas), foi possível assumirmos uma condição de aceleração linear. Utilizando-se os resultados para os parâmetros de escala do modelo de amostragem Weibull Invertido obtidos com voltagens aceleradas de 40KV e 30KV, estimamos o valor desse parâmetro em uma condição de uso normal de voltagem (25KV). Então comparamos esse resultado estimado para o parâmetro de escala com o obtido em uma condição de tensão de voltagem normal de uso.

Para o modelo Weibull Invertido, a diferença percentual entre o valor calculado de θ (4436,107 segundos) obtido com a inspeção de apenas quatro tempos de falhas e o valor estimado de θ (4231,148 segundos) foi de apenas 4,84%. No caso do modelo Normal, a diferença percentual entre o valor calculado de θ (4458,101 segundos) obtido com a inspeção de apenas quatro tempos de falhas e o valor estimado de θ (4241,770 segundos) foi de 5,10%. Desse modo, podemos assumir que a “Lei de Distribuição de Maxwell” (quando o fator de aceleração é apenas a tensão de voltagem), será capaz traduzir, com certo grau de precisão, os resultados para os parâmetros de forma e de escala dos modelos de amostragem Weibull Invertido e Normal, resultados esses obtidos sob duas condições aceleradas de uso, para os resultados esperados para esses dois parâmetros em uma condição normal de uso.

Referências

1. D. I. De Souza, D. F. Rocha and A. N. Haddad, ‘Applying Eyring’s accelerated life testing model to “times to breakdown” of insulating fluid’, In Proceedings of the 22nd International Congress Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management - COMADEM 2009, San Sebastian, pp. 149-155, June 9-11, 2009.

2. W. B. Nelson, 'Applied Life Data Analysis', John Willey & Sons, pp.124, 1982.
3. R. L. Feller, 'Accelerated Aging-Photochemical and Thermal Aspects', The J. Paul Getty Trust, pp.144-145, 1994.