

**MODELAGEM DO TEMPO DE VIDA DE UM INVERSOR DE FREQUÊNCIA<sup>1</sup>****Maicon Mateus de Medeiros Santos<sup>2</sup>****Evaldo da Conceição Silva<sup>3</sup>****Gabriel de Souza Ferreira<sup>4</sup>****Renan Martinielli Gonçalves Rosa<sup>5</sup>****Paulo César de Rezende Andrade<sup>6</sup>****RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo modelar o tempo de vida em horas de inversores de frequência, utilizando os conceitos de análise de confiabilidade paramétrica. O procedimento de pesquisa empregado foi o estudo de caso. Foram coletados dados históricos de tempo até a falha em dezesseis equipamentos. Além do método gráfico, utilizaram-se os testes de aderência Qui-quadrado e *Kolmogorov-Smirnov* para verificar a distribuição que melhor modelasse a amostra de dados. A análise foi feita utilizando o *software* ProConf, e a distribuição *Weibull* foi escolhida para modelar o tempo até a falha dos dados em estudo. Os parâmetros da distribuição foram determinados pelo método da máxima verossimilhança, sendo que as funções de confiabilidade e de risco foram apresentadas. O tempo médio até a falha dos inversores foi de cerca de 102 horas. Metade dos equipamentos falhou antes de 82 horas. Os parâmetros de forma e escala da distribuição *Weibull* foram, respectivamente, 1.40 e 113.11. Como o parâmetro gama foi maior que um, a fase de vida dos inversores de frequência estudados corresponde ao início da mortalidade senil. O risco crescente e a confiabilidade decrescente indicam um desgaste dos inversores.

**Palavras-chave:** Tempo de vida. Confiabilidade. Inversor de frequência.

**1 INTRODUÇÃO**

<sup>1</sup>**Como citar este artigo:** SANTOS, M. M de M. et al. Modelagem do tempo de vida de um inversor de frequência. **ForScience:** revista científica do IFMG, Formiga, v. 5, n. 3, e00288, 2017.

<sup>2</sup> Graduando em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). E-mail: maiconmateus007@hotmail.com. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3707487552657086>.

<sup>3</sup> Graduando em Ciência e Tecnologia pela (UFVJM). E-mail: evaldo.c.silva@hotmail.com. Currículos Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8993692824248767>.

<sup>4</sup> Graduando em Ciência e Tecnologia pela (UFVJM). E-mail: gabriel50e20@hotmail.com

<sup>5</sup> Graduando em Ciência e Tecnologia pela (UFVJM). E-mail: renan2rmg@gmail.com. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5304521455661144>.

<sup>6</sup> Doutor em Estatística e Experimentação Agropecuária pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: paulo.andrade@ict.ufvjm.edu.br. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0894646446086485>.

Diante de um cenário contemporâneo e modernizado, tem-se tornado cada vez mais notável a percepção de que a prevenção das falhas em qualquer equipamento ou produto ofertado é mais do que apenas uma medida que acarreta gastos não desejados. Tal prevenção tornou-se um indispensável ideal estratégico que, por muitas vezes, é o que garante a permanência e o contínuo sucesso de uma empresa ou organização no mercado comercial globalizado.

A competitividade crescente em manufatura tem exigido melhorias e redução de custos em processos produtivos (SIQUEIRA, 2009). A indisponibilidade de equipamentos críticos pode interferir no desempenho fabril (FAGUNDES *et al.*, 2011), o que pode ser medido e controlado por indicadores adequados (PACHECO *et al.*, 2013). Slack *et al.* (2010) afirmam que nem todas as falhas são igualmente danosas: a importância destas é determinada por seu efeito no desempenho global do sistema de produção. Se algumas falhas podem não ter efeito, outras podem gerar desperdício de matéria-prima em processo, afetar a qualidade dos produtos ou atrasar prazos de entrega, provocando o aumento de custos, a insatisfação dos clientes e danos à imagem da empresa (CERVEIRA; SELITTO, 2015).

Com o advento da economia globalizada, observou-se um aumento na demanda por produtos e sistemas de melhores desempenhos e custos competitivos. Conseqüentemente, surgiu a necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos, o que resultou numa ênfase crescente em confiabilidade. A análise de confiabilidade é uma metodologia utilizada para descrever o comportamento dessas falhas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Lafraia (2001) define confiabilidade como sendo a “confiança” de que um componente, equipamento ou sistema desempenhe a sua função básica, durante um período de tempo preestabelecido, sob condições padronizadas de operação.

Leemis (1995) complementa, acrescentando que a função de confiabilidade  $R(t)$  é representada em termos de uma probabilidade, pois ela nada mais é que a probabilidade de um sistema (componente, aparelho ou cadeia de máquinas, por exemplo) cumprir uma missão preestabelecida, com uma duração determinada, sem falhas. A taxa de risco ou taxa de falha  $h(t)$  é considerada como sendo a quantidade de risco relacionada a uma unidade do tempo  $t$ , conseqüentemente sendo dada em termos de falha por unidade de tempo. Por fim, o MTTF (*mean time to failure*) é o tempo médio até a falha, que define uma média de todos os tempos mensurados até ocorrer uma falha na unidade observada em questão.

Para representar a probabilidade de falha, algumas distribuições podem ser utilizadas, pois “a distribuição de probabilidade relaciona os valores da característica com a sua probabilidade de ocorrência na população sob investigação” (PIAZZA, 2000, p. 54). As distribuições de probabilidade que frequentemente são mais utilizadas para descrever os tempos até a falha de componentes e sistemas são: *Weibull*, Lognormal, Gama e Exponencial (HAVIARAS, 2005).

A análise de confiabilidade possibilita, por meio de estimativa, caracterizar os comportamentos da confiabilidade, da probabilidade de falha e da taxa de falha em relação ao tempo de um componente, equipamento ou sistema. O comportamento de determinado produto com relação à falha é melhor compreendido pelo estudo de tempo desta e exame do comportamento de sua taxa de falha (COLOSSIMO; FREITAS, 1997). O tempo até a falha é aquele transcorrido desde o momento em que a unidade é colocada em operação até que ocorra sua primeira falha. A modelagem dos tempos até a falha é, portanto, central em estudos de confiabilidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

O presente trabalho tem por objetivo modelar o tempo de vida em horas de um equipamento eletrônico, inversor de frequência, utilizando os conceitos de análise de confiabilidade paramétrica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Funções de Confiabilidade

As funções mais utilizadas para análise da confiabilidade são: função densidade de falhas  $f(t)$ , função acumulada de falhas  $F(t)$ , função confiabilidade  $R(t)$  e função de risco  $h(t)$ . As expressões que se seguem são apresentadas em Fogliatto e Ribeiro (2009).

A função densidade de falhas  $f(t)$  representa a variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo. Já  $F(t)$ , a função acumulada de falhas, calcula a probabilidade de falha entre um período  $t_1$  e  $t_2$ . A função confiabilidade  $R(t)$  representa a probabilidade de que um item não falhe em um dado período, e a função de risco  $h(t)$  descreve a probabilidade condicional de falha no intervalo de  $[t; t+\Delta t]$ , dado que não houve falha em  $t$ .

## 2.2 Distribuições de Probabilidade

Para estudos de confiabilidade, é necessário determinar uma distribuição de probabilidade que se ajuste aos dados de sobrevivência do sistema até o tempo desejado. Algumas distribuições podem ser utilizadas para representar a probabilidade de falha (HAVIARAS, 2005). As principais distribuições de interesse são: lognormal, exponencial, gama e *Weibull* (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Os autores também citam a distribuição normal como relevante na estatística inferencial, mas com pouca aplicabilidade em análises de confiabilidade.

A distribuição de *Weibull* é uma das mais importantes distribuições em modelos de confiabilidade devido à flexibilidade e à capacidade de representação de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos, além de poder ser usada em pequenas amostras (DODSON, 1994; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; LAFRAIA, 2001; LEWIS, 1996).

A distribuição de *Weibull* modela uma ampla variedade de situações em que unidades apresentam funções de risco distintas (LAFRAIA, 2001). A Tabela 1 descreve o comportamento da função de risco  $h(t)$  segundo o parâmetro de forma  $\gamma$ .

Tabela 1 - Comportamentos da função taxa de falhas

$\gamma$	Comportamento da função $h(t)$
$< 1$	Taxa de falha decrescente
$= 1$	Taxa de falha constante – distribuição exponencial
$> 1$	Taxa de falha crescente

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001).

## 2.3 Taxas de Falhas e Estratégias de Manutenção

O comportamento da taxa de falha de um equipamento ao longo do tempo pode ser analisado pela curva da banheira, que representa genericamente a função de risco  $h(t)$  ao longo do ciclo de vida. A curva da banheira, representada na Figura 1, apresenta três períodos característicos de vida de componentes e equipamentos: mortalidade infantil, fase de maturidade e mortalidade senil (LAFRAIA, 2001; SELLITTO, 2005).

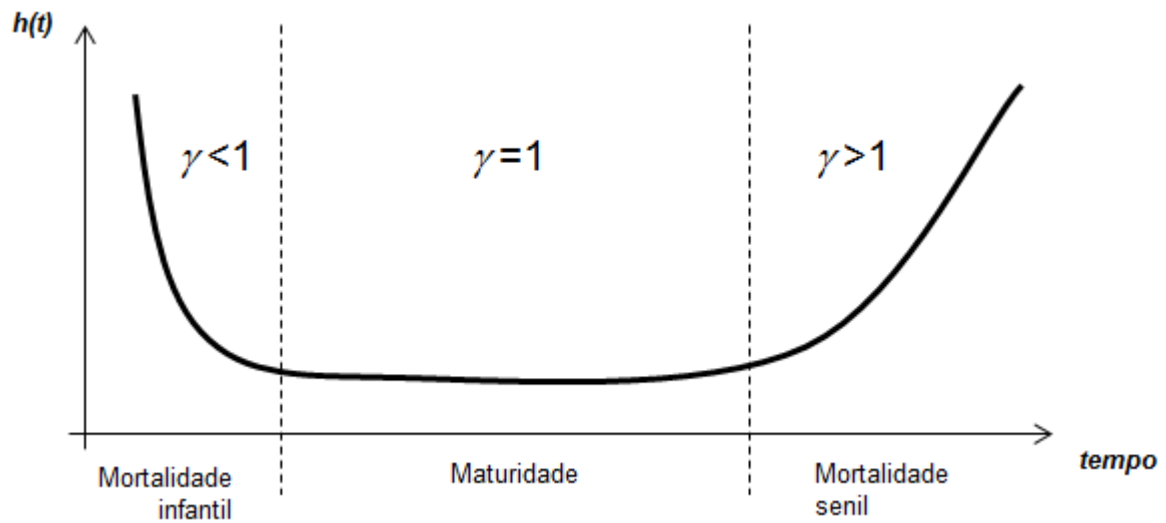


Figura 1 - Curva da banheira e o ciclo de vida dos equipamentos

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001) e Sellitto (2005).

Sellitto (2005) relaciona cada fase da curva a um comportamento da função de risco  $h(t)$ , pelo fator de forma  $\gamma$  da distribuição de Weibull, que descreve a função confiabilidade do equipamento. O autor também associa a cada fase da curva uma estratégia de manutenção mais adequada.

No período inicial, chamado de mortalidade infantil, a taxa de falhas é alta, porém decrescente. As falhas são prematuras, normalmente originadas por deficiências no processo de fabricação, instalação incorreta, ou materiais fora de especificação (LAFRAIA, 2001). A estratégia para esta fase é a manutenção corretiva, que identifica e corrige deficiências de projeto ou de instalação do equipamento (SELLITTO, 2005).

No período seguinte, denominado fase de maturidade, por Sellitto (2005), a taxa de falhas é sensivelmente menor e oscila ao redor de uma média constante. As falhas são casuais e decorrentes de fatores menos controláveis, tais como: mau uso do equipamento, ultrapassagem de resistência ou fenômenos naturais imprevisíveis. A estratégia para esta fase é a manutenção preditiva. Esse tipo de manutenção é realizado conforme a necessidade, com base no resultado de inspeções contínuas ou periódicas. Quando o grau de degradação atinge o limite estabelecido, uma intervenção de manutenção é executada antes da falha (SELLITTO, 2005).

O último período da curva é chamado de desgaste, por Lafraia (2001), e de mortalidade senil, por Sellitto (2005). Segundo os autores, é o fim da vida útil do equipamento. No período, a taxa de falhas é crescente. Elas são causadas por envelhecimento, degradação mecânica, elétrica ou química, fadiga, corrosão, ou vida de projeto muito curta. A estratégia para esta fase é a manutenção preventiva: a troca antecipa a inevitável quebra (SELLITTO, 2005).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O procedimento de pesquisa empregado no presente trabalho foi o estudo de caso de um equipamento eletroeletrônico. Os dados da amostra são de uma empresa multinacional americana de serviços e de tecnologia que se destaca por ser a maior empresa digital industrial do mundo, dedicada a transformar a indústria com máquinas e soluções conectadas a *softwares* que garantem previsibilidade e respostas imediatas.

Um inversor de frequência é um dispositivo eletrônico que tem como sua principal função a variação da rotação de um motor trifásico, por meio de mudança da frequência que ele proporciona em seus contatos de saída. Assim, pode-se alternar facilmente a velocidade com a qual o motor vai trabalhar. A amostra de dados analisada foi retirada do Inversor de Frequência Modelo LV7000 *Low Voltage Drive / Drive System / GE Power Conversion*. Este equipamento é utilizado para aperfeiçoar a eficiência do processo de um motor, gastando menos energia e não interferindo na qualidade do processo. Essas unidades são compactas e de fácil utilização, e, em comparação com outros inversores, podem economizar até 50% do consumo de energia (GEPOPOWER CONVERSION, 2017). Foi analisada uma amostra de dezesseis inversores, e os tempos até as falhas (em horas) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempos até a falha da amostra

<b>Tempos até a falha (horas)</b>							
15	17	26	34	44	54	64	77
80	112	141	160	172	172	240	240

Fonte: O autor.

Dada a importância do inversor de frequência, decidiu-se estudar sua confiabilidade. Para isso, foram escolhidos modelos de distribuição de probabilidade com aderência aos dados de tempo até a falha. Utilizou-se o *software* ProConf (FRITSCH; RIBEIRO, 1998).

O Proconf é um aplicativo que faz uso de métodos analíticos e gráficos para ajustar amostras de tempos de falha e de reparo a distribuições de probabilidade. O *software* testa o ajuste dos dados aos seguintes modelos paramétricos: exponencial, gama, normal, lognormal e *Weibull*.

O método gráfico foi utilizado para comparar as curvas de cada distribuição e verificar qual modelo é assumido pela curva real encontrada, ou seja, qual apresenta melhor aderência aos dados amostrais. Para a caracterização da distribuição de frequência, foram aplicados testes de aderência às distribuições Lognormal e *Weibull*. Os testes utilizados para verificar o ajuste destas distribuições candidatas aos dados foram *qui-quadrado* ( $\chi^2$ ) e *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) (FRITSCH; RIBEIRO, 1998), amplamente difundidos na literatura. Para cada teste, o *software* informa o nível de significância e aponta quais distribuições não podem ser rejeitadas. A validação é dada se o nível de significância for maior que 5% em ambos os testes de aderência.

Os parâmetros da distribuição de probabilidade que melhor modela o conjunto de dados em estudo são calculados por máxima verossimilhança. Além disso, foram apresentadas as representações das funções de confiabilidade e de risco ou taxa de falha. Cabe ao pesquisador, caso mais que uma distribuição não possa ser rejeitada, justificar a escolha por uma delas por fundamentação teórica.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Inicialmente, foram obtidos alguns gráficos convenientes indicativos ao conjunto de dados. Na Figura 2, está representada a taxa de falha para o conjunto amostral.

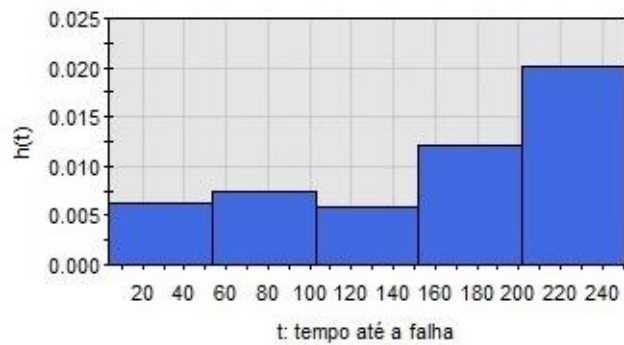


Figura 2 - Taxa de falha.  
Fonte: ProConf.

Na Figura 2, nota-se que os dados apresentam uma relação inicialmente crescente, demonstrando uma ascensão da taxa de crescimento após aproximadamente 150 horas. Pode ser observado, ainda, que o gráfico em questão não ratifica, de forma clara, a curva da banheira (característica altamente representativa da distribuição *Weibull*), aspecto este que se deve ao fato de o conjunto de dados em questão ser constituído de uma amostra que é composta por dezesseis valores.

Na Figura 3, estão apresentados os gráficos da função densidade de probabilidade das distribuições *Weibull* e Lognormal, respectivamente, duas candidatas a modelar a amostra.

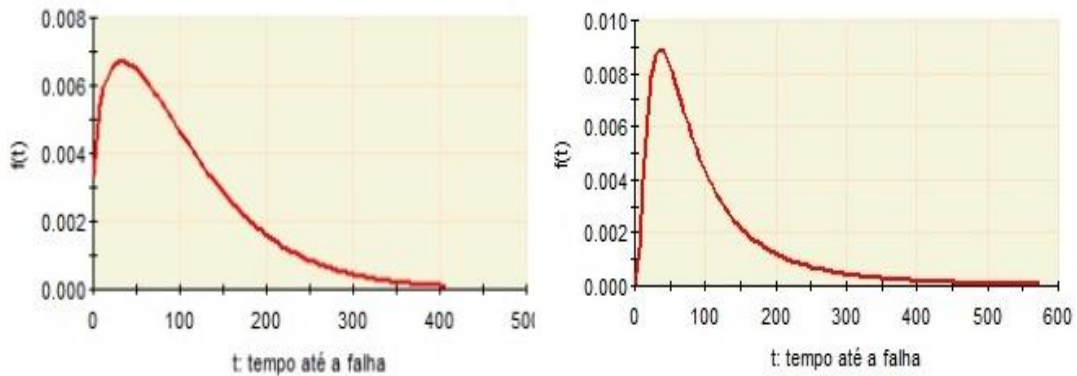


Figura 3 - Funções densidade de falhas das distribuições *Weibull* e Lognormal, respectivamente.

Fonte: ProConf.

Após proceder às análises baseadas nos gráficos das Figuras 2 e 3, observa-se que as distribuições *Weibull* e Lognormal poderiam modelar adequadamente o conjunto de dados estudados.



Os gráficos do papel de probabilidade permitem fazer o teste de hipóteses, onde se vê a adequação dos dados a determinada distribuição. Para isso, analisa-se o valor  $p$  correspondente para testar se os dados derivam da distribuição escolhida. Os tempos até a falha são testados para as distribuições Lognormal e *Weibull*, por meio do *software* ProConf. Se o valor  $p$  for inferior ou, no máximo, igual ao nível de significância escolhido, que, neste caso, foi 0.05, então rejeita-se a hipótese nula de que os dados seguem tal distribuição.

Na Figura 4, têm-se os aspectos do papel de probabilidade apropriado às distribuições Lognormal e *Weibull*, respectivamente, obtidas por meio do ProConf.

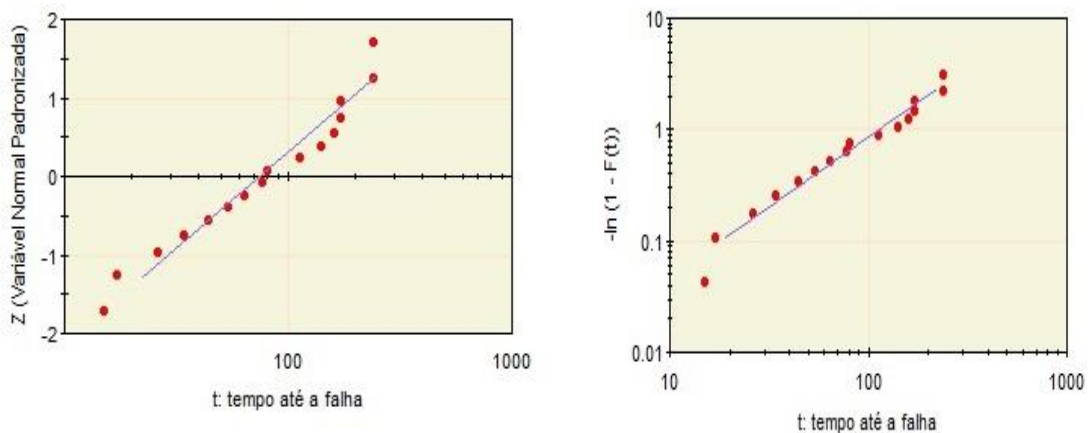


Figura 4 - Papel de Probabilidade correspondente às distribuições Lognormal e *Weibull*, respectivamente. Fonte: ProConf.

Pela análise visual dos gráficos expostos na Figura 4, verifica-se que a *Weibull* se ajustou melhor à reta, sendo a principal candidata para modelar esse conjunto de dados.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados dos testes de aderência.

Tabela 3 - Nível de significância do ajuste

Distribuição	$\chi^2$	K-S	Decisão
Lognormal	0,2764	0,2462	Não Rejeitada
Weibull	0,5134	0,3053	Não Rejeitada

Fonte: Adaptado do *software* ProConf.

O *software* ProConf informa o nível de significância para cada teste realizado e aponta quais são as distribuições que não podem ser descartadas, ou seja, as que devem ser consideradas. Apesar de as duas distribuições não terem sido rejeitadas, conforme os

resultados apresentados na Tabela 3, o presente estudo utilizará a distribuição *Weibull* para a modelagem do tempo até a falha.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), para amostras pequenas de tempos até a falha, que é o caso, supor dados seguindo a distribuição *Weibull* costuma ser um bom ponto de partida na análise. A distribuição *Weibull* é uma das mais relevantes no que diz respeito à modelagem de confiabilidade, devido à sua flexibilidade e capacidade de reprodução de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos.

Os resultados dos ajustes apresentados pelo ProConf aparecem na Tabela 4. O  $t_{10}$  e  $t_{50}$  correspondem aos valores limites dos tempos, nos quais 10% e 50% das falhas ocorreram. São apresentadas também as estimativas dos parâmetros da *Weibull*, representados por  $\gamma$  e  $\theta$ .

Tabela 4 - Resultados dos ajustes

Parâmetro	Resultados
$t_{10}$ (horas)	18,836
$t_{50}$ (horas)	82,5919
MTTF (horas)	102,1166
$\gamma$	1,3965
$\theta$	113,1145

Fonte: Adaptado do *software* ProConf.

De acordo com a Tabela 4, o tempo médio até a falha dos componentes inversores de frequência foi de cerca de 102 horas, e metade dos equipamentos falhou antes de 82 horas. Além disso, os parâmetros de forma e escala da *Weibull* foram, respectivamente, 1,3965 e 113,1145.

Já o comportamento da taxa de falha de um equipamento ao longo do tempo pode ser analisado pela curva da banheira. Com base nos valores, pode-se assumir seguramente que a fase de vida da amostra dos inversores de frequência estudados correspondeu ao início da mortalidade senil, já que o parâmetro  $\gamma$  da distribuição de *Weibull* foi maior que um.

As funções de risco  $h(t)$  e de confiabilidade  $R(t)$  são representadas nas Figuras 5 e 6, respectivamente.



Figura 5 - Função Taxa de Falha  
Fonte: ProConf.



Figura 6 - Função de Confiabilidade  
Fonte: ProConf.

Pode-se observar que a taxa de falha é crescente, cuja origem decorre do próprio desgaste natural do equipamento por funcionar durante um determinado tempo em sua vida útil. Nesta fase, as falhas tendem a ter defeitos acumulativos; já o aumento muito rápido da taxa de falha, normalmente, motiva o critério de quando as peças devem ser exatamente substituídas e também determina a vida útil do produto ou sistema.

Nota-se ainda que a confiabilidade sempre se dá em uma curva decrescente, com o tempo, sendo que as probabilidades iniciais decaem conforme a utilização e posterior desgaste do equipamento.

## 5 CONCLUSÃO

Apesar de apresentarem resultados relativamente semelhantes, a distribuição *Weibull* se revelou mais fiel ao conjunto de dados retirados da amostra dos inversores de frequência.

Foi possível obter as medidas de confiabilidade do tempo médio até a falha, valores limites de tempo (sendo que, nestes, 10% e 50% das falhas ocorreram), bem como estimar os parâmetros da distribuição ajustada. A expectativa de tempo até a falha dos inversores de frequência foi de cerca de 102 horas, e metade dos equipamentos falhou antes de 82 horas.

Para analisar a fase de vida dos inversores estudados, há evidência do início da mortalidade senil, mostrando risco crescente e confiabilidade decrescente, indicando um desgaste do equipamento.

Notou-se que a análise de estudo de caso com discussão foi eficiente, uma vez que a Confiabilidade é uma técnica em desenvolvimento e ainda pouco explorada no que diz respeito à indústria brasileira. Então, é plausível concluir que ela é de suma importância em qualquer processo industrial, pois uma tomada de decisão baseada em tentativa e erro pode gerar problemas catastróficos para uma empresa, como perda de tempo de produção na pausa para substituição de equipamentos, consumo excessivo de matéria-prima e até mesmo gastos adicionais com mão de obra.

## MODELING THE LIFETIME OF A FREQUENCY INVERTER

### ABSTRACT

The present work aims to model the life time in hours of frequency inverters, using the concepts of parametric reliability analysis. The research procedure used was the case study. Historical data were collected from time to failure on sixteen devices. In addition to the graphical method, the Qui-Square and Kolmogorov-Smirnov adhesion tests were used to verify the distribution that best models the data sample. The analysis was done using ProConf software. The Weibull distribution was chosen to model the time to failure of the data under study. The parameters of the distribution were determined by the maximum likelihood method. The reliability functions and risk functions were presented. The average time to failure of the inverters was about 102 hours. Half of the equipment failed before 82 hours. The Weibull form and scale parameters are, 1.40 and 113.11, respectively. As gamma parameter was greater than one, the life stage of the frequency inverters studied corresponds to the onset of senile mortality. Increased risk and decreasing reliability indicate wear of inverters.

**Keywords:** Lifetime. Reliability. Frequency Inverter.

**REFERÊNCIAS**

COLOSIMO, E. A.; FREITAS, M. A. **Confiabilidade**: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados. Belo Horizonte: QFCO, 1997.

CERVEIRA, D. S.; SELLITTO, M. A. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um Forno Elétrico a Indução. **Produção Online**, v. 15, n. 2, p. 405-432, 2015.

DODSON, B. **Weibull Analysis**. Milwaukee: ASQ, 1994.

FAGUNDES, A. *et al.* Estudo de caso: análise quantitativa de confiabilidade e disponibilidade de um torno CNC, baseado na metodologia RCM (Reliability Centred Maintenance), aplicado à área de manutenção industrial. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31., 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABEPRO, 2011.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FRITSCH, C.; RIBEIRO, J. L. D. PROCONF: um software orientado para análises de confiabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 1998, Niterói. **Anais...** Niterói, 1998.

GEPOPOWER CONVERSION. Disponível em: <<http://www.gepowerconversion.com/product-solutions/low-voltage-drives/lv7000-low-voltage-drive>> Acesso em: 12 jan. 2017.

HAVIARAS, G. J. **Metodologia para análise de confiabilidade de pneus radiais em frota de caminhões de longa distância**. 2009. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

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

LEEMIS, L. M. **Reliability**: probabilistic models and statistical methods. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

LEWIS, E. **Introduction to reliability engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1996.

PACHECO, D. *et al.* Modelo de gerenciamento da capacidade produtiva: integrando teoria das restrições e o índice de rendimento operacional global (IROG). **Produção Online**, v. 12, n. 3, p. 806-826, 2013.

PIAZZA, G. **Introdução à engenharia da confiabilidade**. Caxias do Sul: EDUCS, 2000.

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

SIQUEIRA, I. **Manutenção centrada na confiabilidade**: manual de implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2010.

**Recebido em: 16/08/2017**

**Aprovado em: 15/09/2017**

**Publicado em: 27/11/2017**