

MODELAGEM DOS DADOS DE FALHAS DE UM PASTEURIZADOR DE GARRAFAS DE CERVEJA

Mariane Olivier Brandão(Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri) mariane_olivier@hotmail.com
Paulo César de Resende Andrade(Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri) pceandrade@gmail.com

Resumo: O mercado cada vez mais competitivo exige desafios para o aumento da produtividade das empresas, que necessitam de equipamentos com alta disponibilidade e confiabilidade. A confiabilidade de um equipamento está associada ao comportamento de suas falhas. O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise da confiabilidade de um pasteurizador de garrafas de cerveja por meio da modelagem dos tempos até a falha. O método de pesquisa utilizado consistiu no estudo de caso. Para a realização das análises, foram colhidos os tempos entre falhas, nos sistemas de informação da empresa, e avaliados por meio do *software* ProConf 2000. Métodos gráficos e analíticos foram utilizados para encontrar a distribuição que melhor modela o conjunto de dados. O fator de forma mais provável da distribuição de Weibull que modelou o tempo até a falha foi de 1,00. Com isso, foi possível afirmar que o pasteurizador está em fase de vida útil, indicando a utilização da manutenção preditiva. Ou seja, deve-se monitorar o equipamento, não permitindo o início da fase de desgaste dos seus componentes.

Palavras-chave: Confiabilidade. Equipamento. Comportamento de Falhas. Curva da Banheira.

FAILURE MODELING OF A BEER BOTTLE PASTEURIZER

Abstract: The increasingly competitive market demands challenges to increase the productivity of companies. They need equipment with high availability and reliability. The reliability of an equipment is associated with the behavior of its failures. The objective of this work was to perform a reliability analysis of a beer bottle pasteurizer through time-to-failure modeling. The research method used consisted of the case study. In order to carry out the analyzes, the failure times of the mill were collected in the company's information systems and evaluated using ProConf 2000 software. Graphical and analytical methods were used to find the distribution that best models the data set. The most likely shape factor of the Weibull distribution which modeled the time between failures was 1.00. So, it was possible to affirm that the pasteurizer is in the life phase, indicating the use of predictive maintenance. That is, the equipment must be monitored, not allowing the beginning of the wear phase of its components.

Keywords: Reliability. Equipment. Fault Behavior. Bathtub Curve.

1. INTRODUÇÃO

A competitividade é algo que cresce cada vez mais entre as indústrias, visto que, o mercado se amplia cada vez mais. O desenvolvimento tecnológico crescente, a alta competição global acirrada pela abertura de mercado e o aumento das expectativas do cliente por melhor desempenho em um período de tempo maior, têm impulsionado as indústrias a realizar grandes esforços com o intuito de fornecer produtos com melhor qualidade e mais confiáveis (DUEK, 2005).

Neste contexto, com a economia globalizada, surge uma intensa procura por equipamentos capazes de manter sua disponibilidade com mínimas probabilidades de falhas, resultando em bons investimentos a um menor custo de manutenção. Dessa maneira, o estudo da confiabilidade é de suma importância, pois garante a comercialização de produtos confiáveis, visto que durante o tempo de uso do produto, o cliente não espera falhas.

O estudo da confiabilidade surge após a Primeira Guerra Mundial, quando foi utilizado para descrever estudos comparativos feitos em aviões com um, dois ou quatro motores, adquirindo um significado tecnológico (KNIGHT, 1991). Obteve avanços impulsionados pela indústria bélica durante e após a Segunda Guerra Mundial, na qual permitiram o

amadurecimento da teoria. De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009) a partir de 1970 este conceito vem sendo aplicado nas mais diversas áreas.

Segundo os mesmos autores, a análise de confiabilidade é uma metodologia utilizada para descrever o comportamento de falhas. Em seu sentido mais amplo, a confiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas. A ABNT, por meio da norma NBR 5462, define confiabilidade como a "capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um dado intervalo de tempo" (ABNT, 1994, p. 3). Portanto, a confiabilidade é a probabilidade de um equipamento desempenhar a sua função em um tempo de uso. Ou seja, é a probabilidade de não ocorrer falhas durante o funcionamento do equipamento.

Esse indicador possui grande importância para a manutenção por indicar riscos de paradas provenientes de falhas que causam na diminuição da disponibilidade do equipamento (OLIVEIRA, 2014). Sendo assim, este indicador possui grande relevância para a manutenção. Pois esta busca, constantemente, a maior confiabilidade de um equipamento. Quanto maior a confiabilidade tem-se a confirmação de que a manutenção está sendo executada de maneira eficaz. Quando se tem alta confiabilidade, podem-se esperar menores tempos empregados nos reparos dos equipamentos e conseqüentemente maiores tempos destinados a produção, maior qualidade dos produtos. Pois equipamentos que recebem manutenção adequada garantem elevados padrões, custos operacionais baixos, já que se tem uma produção segura e ciclo de vida do equipamento elevado, devido à preservação do mesmo.

A confiabilidade é definida por meio da modelagem de dados históricos de tempos entre falhas em distribuições de probabilidades, com o apoio de um *software* modelador. A modelagem dos tempos até a falha é, portanto, central em estudos de confiabilidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Esta é feita conhecendo-se a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a estes tempos. Vários estudos foram desenvolvidos com esse enfoque (DUEK, 2005; HAVIARAS, 2005; SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2017).

Algumas distribuições podem ser utilizadas para representar a probabilidade de falha. As distribuições de probabilidade frequentemente utilizadas para descrever tempos até falha de componentes e sistemas são: Weibull, Lognormal, Gama e Exponencial (HAVIARAS, 2005).

A partir delas pode-se determinar a probabilidade de sobrevivência da unidade para qualquer tempo t - função de confiabilidade $R(t)$, o tempo médio até a falha - $MTTF$ (mean time to failure) e a função risco ou de falha $h(t)$ do equipamento (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A função de confiabilidade indica a probabilidade de um item não apresentar falhas em um intervalo de tempo de $(0, t)$. Já a função de risco, também conhecida como taxa de falha, indica a probabilidade de um item falhar no tempo $t + \Delta t$, uma vez que não tenha falhado no tempo t . O tempo médio até a falha define uma média dos tempos até ocorrer uma falha na unidade observada em questão.

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise quantitativa de confiabilidade de um pasteurizador de garrafas de cerveja, utilizado em indústrias de bebidas, utilizando os conceitos de análise de confiabilidade paramétrica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento de pesquisa empregado no presente trabalho foi o estudo de caso de um pasteurizador de garrafas de cerveja. Os pasteurizadores são utilizados para fornecer cuidadoso tratamento térmico para a cerveja, após o enchimento, assegurando que a qualidade seja mantida até a data limite da estabilidade da cerveja, indicada no rótulo (geralmente entre 4 e 6 meses).

O tamanho do sistema de pasteurização é determinado pela capacidade da linha de envasamento, e pelo diâmetro das garrafas utilizadas, assim como a duração do processo de pasteurização requerido. Os sistemas de pasteurização são equipados com todos os dispositivos de controle e monitoração necessários, permitindo assim atingir operação totalmente automática (REINOLD, 2005).

Os dados apresentados na Tabela 1, para o tempo de falha de um pasteurizador de garrafas de cervejas, foram fornecidos pela Companhia de Bebidas da América (Ambev), mais especificamente, por um dos seus centros de distribuição, localizado em Sete Lagoas, a Cervejaria Sete Lagoas (Filial Nova Minas).

Tabela 1 - Tempos de falha do pasteurizador de garrafas de cerveja em minutos.

0,033	0,033	0,100	0,167	0,233	0,341	0,355	0,367	0,669
1,033	1,136	1,138	1,167	1,233	1,233	1,333	1,433	1,463
1,567	1,833	1,867	2,133	2,467	2,500	2,511	2,667	2,700
2,900	3,108	3,300	3,933	3,933	4,033	4,100	4,133	4,367
4,467	4,600	5,000	5,200	5,200	5,467	5,600	6,066	6,067
6,833	7,000	7,238	9,000	9,366	11,261	20,674		

Fonte: Cervejaria Sete Lagoas (Filial Nova Minas).

Os dados disponibilizados foram avaliados por meio do *software* ProConf (FRITSCH; RIBEIRO, 1998), um programa computacional projetado para o ajuste de distribuições de tempos de falha para dados de confiabilidade, através do uso de métodos gráficos e métodos analíticos.

Os histogramas de frequência das falhas e os papéis de probabilidades foram utilizados como métodos gráficos para comparar as curvas das distribuições de probabilidade (Exponencial, Weibull, Lognormal e Gama) e verificar qual modelo apresenta melhor aderência aos dados amostrais.

Para a caracterização da distribuição de frequência foram aplicados testes de aderência às distribuições de probabilidades. Os testes utilizados para verificar o ajuste destas distribuições candidatas aos dados efluentes foram Qui-Quadrado (χ^2) e Kolmogorov-Smirnov (K-S). O *software* informa o nível de significância e aponta quais distribuições não podem ser rejeitadas (FRITSCH; RIBEIRO, 1998). A validação é dada se o nível de significância for maior que 5% em ambos os testes de aderência. Quando o mesmo é maior a 5% em ambos os testes, do Qui-Quadrado e do Kolmogorov-Smirnov, a distribuição não pode ser rejeitada, o que significa que poderá ser utilizada na modelagem. Caso mais do que uma distribuição não possa ser rejeitada, cabe ao pesquisador, justificar a escolha por uma delas por fundamentação teórica.

Em seguida, são fornecidas as estimativas dos parâmetros da distribuição da função distribuição de probabilidade que melhor modela o conjunto de dados em estudo, utilizando o método de máxima verossimilhança. Além disso, são apresentadas as representações das funções de confiabilidade $R(t)$ e de risco ou taxa de falha $h(t)$.

O comportamento da taxa de falha de um equipamento ao longo do tempo pode ser analisado pela curva da banheira, que apresenta três períodos característicos de vida de componentes e equipamentos: mortalidade infantil, fase de maturidade, e mortalidade senil (SELLITTO, 2005). Cada fase da curva está associada ao parâmetro de forma da distribuição de Weibull

(LAFRAIA, 2001; SELLITTO, 2005). Os parâmetros para a distribuição Weibull são λ e γ , respectivamente, fator de escala e de forma (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

De acordo com os valores do fator de forma da distribuição Weibull é possível identificar a fase do ciclo de vida do item avaliado, já que os valores deste fator definem o tipo da função de risco. Quando $\gamma < 1$ a função de risco $h(t)$ é decrescente. Portanto, o item se encontra na mortalidade infantil, período no qual as taxas de falhas são altas, porém decrescentes. As falhas existentes são denominadas de precoce, por serem provenientes de defeitos dos processos de fabricação, deficiências dos projetos ou problemas nas instalações. Quando $\gamma > 1$, $h(t)$ é crescente. Então o estágio de vida do item corresponde à mortalidade senil, onde as falhas ocorrem devido ao desgaste natural do item. E quando γ é aproximadamente igual a 1, $h(t)$ é constante. Indicando assim a fase de vida útil do item, na qual as falhas ocorrem de maneiras aleatórias e são originadas por erros de operação ou cargas aleatórias excessivas (SELLITTO, 2005). Na Figura 1, tem-se a curva da banheira com todas as fases do ciclo de vida indicadas.

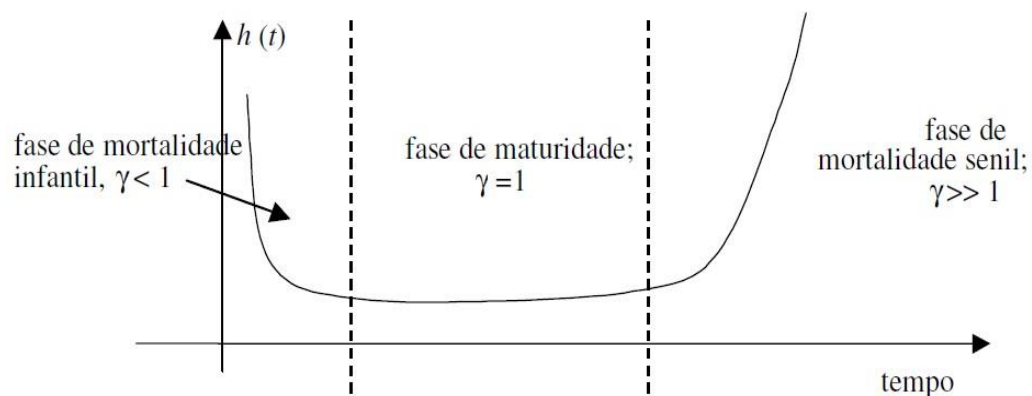


Figura 1 – Curva da banheira.

Fonte: Sellitto (2005).

A cada fase do ciclo de vida tem-se associada à melhor estratégia de manutenção a ser executada. Para a fase da mortalidade infantil a melhor estratégia de manutenção consiste na manutenção corretiva. Esta eliminará as falhas existentes e os erros de projetos ou instalações. Na fase da vida útil, a manutenção preditiva é a mais indicada. Uma vez que irá monitorar o item, não permitindo o início da fase de desgaste dos seus componentes. Aumentando, conseqüentemente, a vida útil dos seus componentes. A manutenção preventiva é indicada para a fase da mortalidade senil. Pois nesta fase, já que nesta é necessário realizar a troca dos componentes frágeis, que são aqueles que irão falhar em curto prazo (SELLITTO, 2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram obtidos alguns gráficos referentes ao conjunto de dados de tempo até a falha do pasteurizador de garrafas de cerveja. A frequência de ocorrência dessas falhas, número de falhas por tempo, está apresentada na Figura 2.

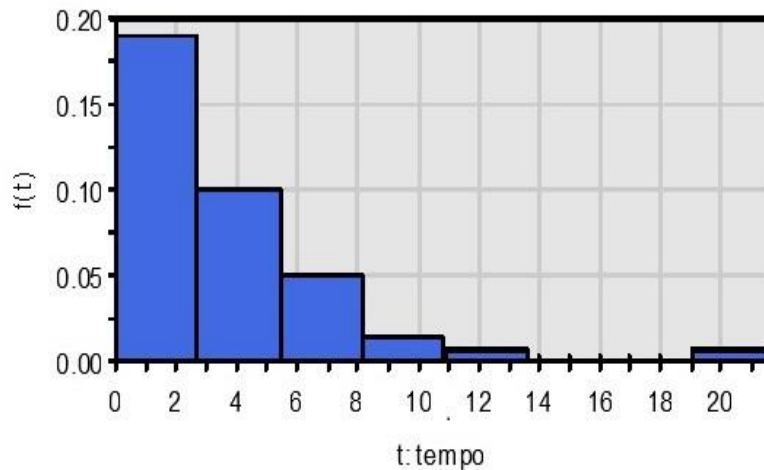


Figura 2 - Histograma dos tempos até falha.
Fonte: ProConf.

Na Figura 3 está representada a taxa de falha ou de risco para o conjunto amostral.

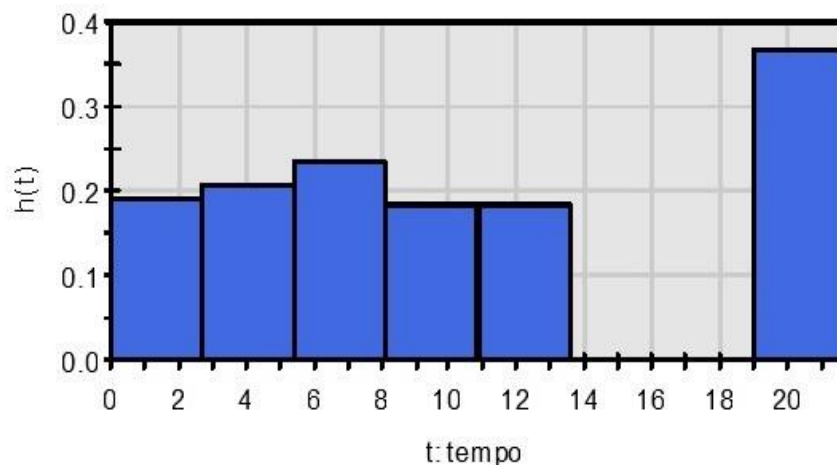


Figura 3 - Taxa de Falha.
Fonte: ProConf.

Da Figura 3, observa-se que os dados apresentam uma relação relativamente constante até o tempo de doze minutos, com posterior elevação bem caracterizada da taxa de falha.

O próximo passo foi verificar o ajuste das distribuições de tempos de falha para a amostra em estudo, comparando o histograma dos tempos até a falha com as funções de probabilidade das distribuições. Os gráficos do papel de probabilidade permitem fazer um teste de hipóteses, onde se vê a adequação dos dados a determinada distribuição. Na Figura 4 têm-se os aspectos do papel de probabilidade correspondentes, respectivamente, à distribuição exponencial, Lognormal e Weibull.

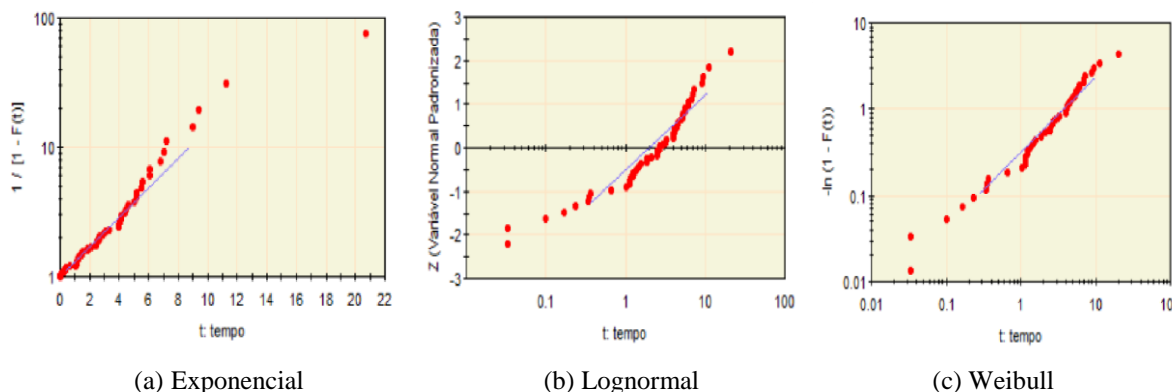


Figura 4 – Papel de probabilidade. Fonte: ProConf.

Pela análise visual dos gráficos a distribuição que melhor modelou os dados foi a Weibull, nela os pontos estão visivelmente seguindo ao redor da reta-base, sem maiores dispersões, conforme Figura 4 (c).

Na Tabela 2 estão apresentados os níveis de significância para os testes de aderência de Qui-Quadrado (χ^2) e do Kolmogorov-Smirnov ($K-S$).

Tabela 2 - Níveis de significância dos testes de aderência.

	χ^2	$K-S$	Hipótese	Modelo
Exponencial	0,7316	0,2167	Não pode ser rejeitada	
Weibull	0,6562	0,2062	Não pode ser rejeitada	
Gama	0,7636	0,2164	Não pode ser rejeitada	
Lognormal	0,1941	0,0059	Rejeitada	
Normal	0,0001	0,0001	Rejeitada	

Fonte: O próprio autor.

Observa-se a rejeição das hipóteses de que as distribuições Lognormal e Normal modelassem a amostra de dados. Para que os modelos fossem aceitos seria necessário que cada teste atingisse níveis de significância maiores que 0,05.

Apesar de três distribuições não terem sido rejeitadas, conforme resultados apresentados na Tabela 2, o presente estudo utilizará a distribuição Weibull para a modelagem do tempo de falha. A Weibull é uma das distribuições mais importantes na modelagem de confiabilidade devido à sua flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até falha com comportamentos distintos (LAFRAIA, 2001; SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2017), além de poder ser usada em pequenas amostras (DODSON, 1994; FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; LEWIS, 1996). Por esta distribuição é possível descrever as probabilidades de falhas em sistemas constituídos por vários subsistemas, que disputam pela falha geral. Ou seja, o primeiro subsistema a falhar, causa a falha do sistema como um todo (HAHN e SHAPIRO, 1994 apud WUTTKE e SELLITTO, 2008).

Com a definição do modelo a ser seguido foi possível estimar seus parâmetros, bem como outros resultados dos ajustes apresentados pelo ProConf, conforme Tabela 3. O t_{10} e t_{50} correspondem aos valores limites de tempos, nos quais 10% e 50% das falhas ocorreram. São apresentadas também as estimativas dos parâmetros da Weibull, representados por γ e θ .

Parâmetro	Resultados
t_{10} (minutos)	0,36
t_{50} (minutos)	2,44
MTTF (minutos)	3,59
γ	1,00
θ	3,59

Fonte: Adaptado do software ProConf.

De acordo com a Tabela 3, o tempo médio até a falha (MTTF) dos pasteurizadores é de 3,59 minutos. Metade dos equipamentos falha antes de 2,44 minutos. Além disso, os parâmetros de forma γ e escala θ da Weibull são, respectivamente, 1,00 e 3,59. O intervalo de confiança a 95% para o parâmetro gama é [0,75, 1,17].

Com base nos resultados, pode-se assumir que a fase de vida da amostra dos pasteurizadores de garrafas de cerveja estudados corresponde à fase de maturidade, já que o parâmetro γ da distribuição de Weibull foi igual a um. A manutenção preditiva é a mais indicada, uma vez que irá monitorar o item, não permitindo o início da fase de desgaste dos seus componentes. Aumentando, conseqüentemente, a vida útil dos seus componentes.

As funções de risco (falha) e de confiabilidade são representadas nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

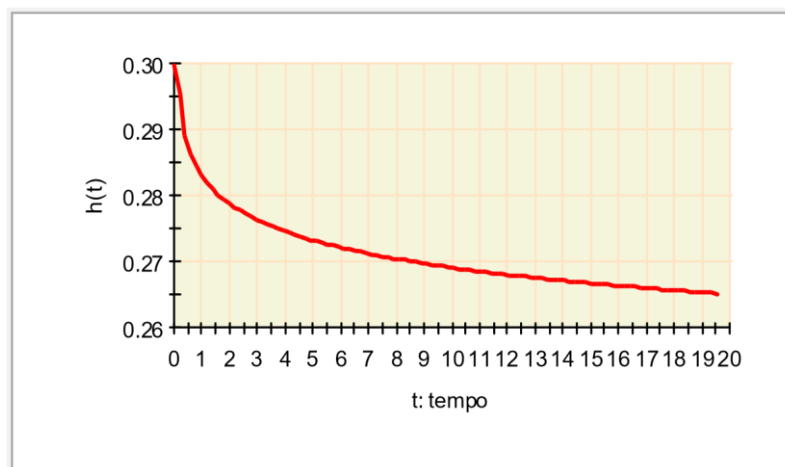
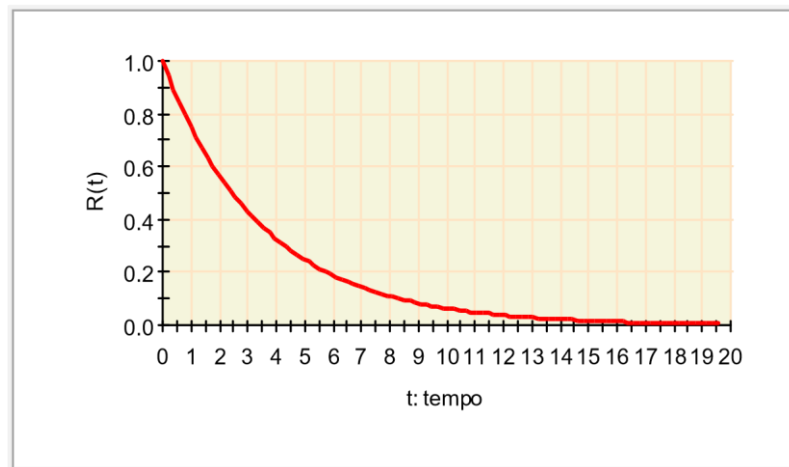


Figura 5 – Gráfico da função de risco $h(t)$.

Fonte: ProConf.

Figura 6 – Gráfico da função Confiabilidade $R(t)$.

Fonte: ProConf.

Pode-se observar que a taxa de falha é decrescente, mas com tendência a estabilização, indicando a fase da vida útil, na qual a manutenção preditiva é a mais indicada. Segundo Souza (2004), a manutenção preditiva tem como objetivo estabelecer o ponto ideal para a execução da manutenção preventiva, uma vez que os equipamentos estão sendo supervisionados e monitorados continuamente, não permitindo o início da fase de desgaste dos seus componentes. Aumentando, conseqüentemente, a vida útil dos seus componentes com conseqüente elevação na produtividade e disponibilidade, diminuição dos custos de reparos, melhoria da segurança e maior credibilidade do serviço prestado.

A função de confiabilidade $R(t)$ se comporta sempre de forma decrescente, ou seja, a confiabilidade do equipamento tende a diminuir ao longo do tempo.

4. CONCLUSÕES

Por meio de estudos quantitativos de confiabilidade é possível estabelecer parâmetros capazes de auxiliar de maneira precisa a tomada de decisão referentes a realização de investimentos, estudos de garantia e procedimentos de manutenção e operação com maior embasamento científico.

Por meio de métodos gráficos e analíticos, definiu-se a distribuição Weibull como a que melhor se ajusta aos dados estudados. 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 itens em estudo foi de 3,59 minutos e metade deles falharam antes 2,44 minutos.

Analisando os resultados conclui-se que o pasteurizador de garrafas de cerveja atingiu a fase de vida útil, portanto, o tipo de manutenção adequado para mantê-lo, consiste na manutenção preditiva.

Por fim estas análises quantitativas dos tempos até as falhas do equipamento são relevantes para a determinação de estratégias de manutenção a ser realizadas pela empresa, a fim de garantir maior disponibilidade do produto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 8402. *Gestão da qualidade e garantia da qualidade – terminologia.* 1994.

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

DUEK, C. *Análise de confiabilidade na manutenção de componente mecânico de aviação.* 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

FOGLIATO, F.S.; RIBEIRO, J.L.D. *Confiabilidade e Manutenção Industrial.* Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.

FRITSCH, C.; RIBEIRO, J. *ProConf: Um software orientado para análises de confiabilidade.* In. XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Niterói, 1998.

HAHN, G.; SHAPIRO, S. *Statistical models in engineering.* New York: John Wiley & Sons, 1994.

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

KNIGHT, C.R. *Four decades of reliability progress. Proceeding of the Annual Reliability and Maintainability Symposium.* [S.l.]: IEEE Reliability Society, 1991. P.156-159.

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

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

OLIVEIRA, M.M. *Análise de métodos estatísticos em planejamento e controle de manutenção.* Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica), Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

REINOLD, M.R. *A pasteurização da cerveja.* 2005. Disponível em <https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/downloads/artigos-t%C3%A9cnicos/61-apasteurizacao-da-cerveja/file.html>. Acesso em 21/03/2017.

SANTOS, M.M.M.; SILVA, E.C.; FERREIRA, G.S.; ROSAS, R.M.G.; ANDRADE, P.C.R. Modelagem do tempo de vida de um inversor de frequência. *ForScience: revista científica do IFMG, Formiga*, v. 5, n. 3, e00288, 2017.

SELLITTO, M.A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. *Produção*, v.15, n.1, p.044-059, 2005.

SILVA, E.C.; FERREIRA, G.S.; SANTOS, M.M.M.; ANDRADE, P.C.R.; ROSAS, R.M.G. Análise de Dados de Falha de um Transmissor de Fibra Óptica. *Revista Thema*, Pelotas, v. 14, n. 4, 2017, p. 259 a 266.

SOUZA, Fábio J. *Melhoria do pilar "manutenção planejada" da TPM através da utilização do RCM para nortear as estratégias de manutenção.* 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WUTTKE, R.A.; SELLITTO, M.A. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. *Revista Produção On Line*, Santa Catarina, v. 8, n. 4, dez. 2008.