



ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE SOLENOIDES DAS VÁLVULAS DE SILICONIZAÇÃO DE UMA MÁQUINA LAVADORA FARMACÊUTICA

Leandro Santos Ribeiro ¹, Paulo César de Resende Andrade ¹

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Minas Gerais, Brasil, 39100-000.

Resumo: A análise de confiabilidade é uma ferramenta utilizada para descrever e observar o comportamento de falhas em equipamentos. Este estudo investigou a confiabilidade dos solenoides em válvulas de siliconização de uma máquina lavadora farmacêutica, visando identificar a melhor distribuição probabilística que modela os dados de falhas dos solenoides. A distribuição de *Weibull* se apresentou como o modelo mais adequado. A análise foi feita utilizando os softwares *ProConf* e *R*. Com base na modelagem *Weibull* foi possível estimar a probabilidade de falhas ao longo do tempo de operação e determinar o período ideal de manutenções preventivas. A maior probabilidade de falhas dos solenoides ocorre em torno de 2300 horas. Apesar de poucas falhas antes desse ponto, e com uma média de 4012 horas entre falhas, a confiabilidade é de 72%. Portanto, é recomendável realizar manutenções preventivas a cada 2300 horas.

Palavras-chave: Falhas; Indústria; Manutenção; Weibull.

1. INTRODUÇÃO

A análise de confiabilidade é realizada por meio de métodos estatísticos a fim de verificar as distribuições de probabilidades que modelam os tempos de falhas dos equipamentos. Essas distribuições descrevem o comportamento da taxa de falhas dos equipamentos permitindo planejar a manutenção da forma mais adequada. A confiabilidade é essencial para garantir a disponibilidade contínua de sistemas e equipamentos industriais [1].

Neste presente artigo, foram observadas as falhas dos solenoides da válvula de siliconização de uma máquina lavadora e analisadas as estratégias para melhorar a confiabilidade e a eficiência desse equipamento, visto que, a análise de falhas é fundamental para identificar as causas raiz dos problemas e implementar estratégias de manutenção preventiva e preditiva eficazes [2].

2. METODOLOGIA

Foram analisados os tempos de falha dos solenoides das válvulas de siliconização de uma máquina lavadora de carpules de uma indústria farmacêutica. A máquina lavadora é

utilizada para esterilização, a fim de eliminar microrganismos, essas válvulas são acionadas por meio de solenoides [3].

Em um estudo prévio, realizado dentro da empresa, foi investigado o comportamento de falhas em duas linhas de produção idênticas, por um período de três anos, sendo possível determinar o tempo até a falha, em horas, desses componentes. Os dados de tempo de parada foram coletados separadamente para cada linha, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Tempos até a falha dos solenoides das válvulas de siliconização.

	Tempo até a falha (horas)								
Linha 1	7008	5928	8376	7392	2520	2712	3912	2808	4992
Linha 2	3072	792	5016	2544	792	2376	4008	1440	7392
	4680	8544	2976	3192	696				

Fonte: Feito pelo autor

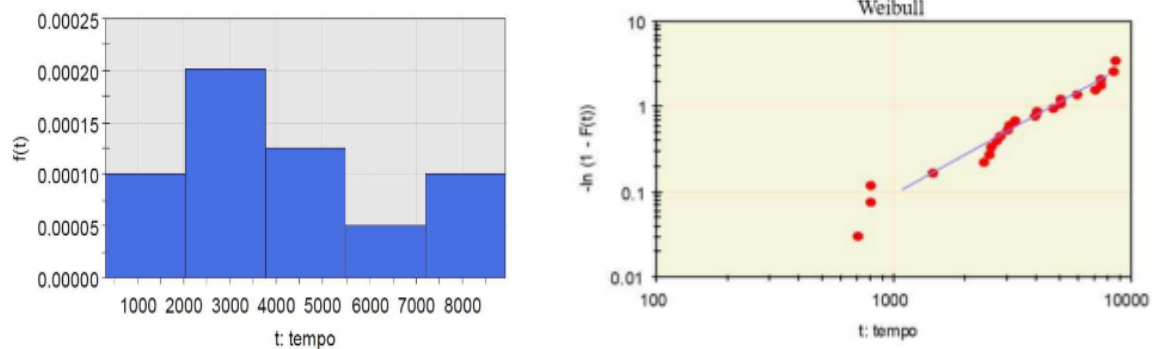
Os dados foram analisados utilizando o software *ProConf* [4] e o software R [5] e avaliados por modelagem com as distribuições de probabilidade Exponencial, Gama, Lognormal e *Weibull*. O método gráfico foi utilizado para comparar as curvas da distribuição e verificar qual modelo apresentou melhor aderência aos dados amostrais.

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. Para a caracterização da distribuição de frequência, foram aplicados os seguintes testes de aderência às distribuições de probabilidades: Qui-Quadrado (χ^2) e Kolmogorov-Smirnov (K-S). O software fornece o valor p e indica quais distribuições devem ser rejeitadas. Para validar, é necessário que o valor p seja superior a 5% em ambos os testes de aderência. Além disso, o critério de informação de Akaike avalia a qualidade de um modelo estatístico considerando sua simplicidade. Ele apresenta uma métrica para comparar e selecionar modelos, em que menores valores de AIC indicam maior qualidade e simplicidade, conforme esse critério [6]. Além disso, são apresentadas as funções de confiabilidade $R(t)$ e de risco ou taxa de falha $h(t)$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidos alguns gráficos referentes aos tempos de falha dos solenoides das válvulas de siliconização. Na Figura 1 são apresentados o histograma da frequência de ocorrência de falhas e o gráfico de papel de probabilidade da *Weibull* para os dados de falhas.

Figura 1. Histograma da frequência de falha e papel de probabilidade da *Weibull*.



Fonte: Feita pelo autor.

Verifica-se que o período com maior densidade de falhas, ou seja, de ocorrência de falhas, se dá entre 2000 e 4000 horas e que a distribuição de *Weibull* apresenta aderência entre os pontos e a reta. Os valores p dos testes de aderência de Qui-Quadrado (χ^2) e de Kolmogorov-Smirnov (K-S) são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. p-valor referente aos testes de aderência das distribuições modeladoras.

Distribuição	χ^2	K-S	Hipótese
Exponencial	0,1124	0,0001	Rejeitada
Gama	0,5337	0,2117	Aceita
Lognormal	0,589	0,1471	Aceita
Normal	0,1692	0,0277	Rejeitada
Weibull	0,3928	0,2469	Aceita

Fonte: Feito pelo autor.

Conforme apresentado na Tabela 2, pelos testes de aderência, os modelos Exponencial e Normal são rejeitados e não podem ser utilizados para modelar os dados de falhas dos solenoides das válvulas de siliconização. Já os modelos Gama, Lognormal e *Weibull* obtiveram resultados de p-valor superior a 5% e por isso são hipóteses consideráveis para a modelagem. Dentre as distribuições que podem ser aceitas, a *Weibull* pode ser considerada apropriada para modelar o conjunto de dados amostrais.

Outro ponto de análise foi o Critério de informação de Akaike (AIC) para as distribuições que foram aceitas pelos testes de aderência, como mostrado na Tabela 3. Os valores de AIC foram calculados utilizando o software R.

Tabela 3. Valores de AIC das distribuições modeladoras para dados de falha.

Distribuição	AIC
Gama	424,9121
Lognormal	426,6236
<i>Weibull</i>	423,1137

Fonte: Feito pelo autor.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, a distribuição que melhor modela os dados de falha dos solenoides das válvulas de siliconização, é a distribuição de *Weibull*, que possui o menor valor [7].

Tendo em vista as análises de papel de probabilidade, testes de aderência e valor AIC, a distribuição de tempos até a falha que melhor modela os dados deste estudo é a distribuição Weibull. Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros da distribuição de Weibull, ajustados para os tempos até a falha dos solenoides das válvulas de siliconização.

Tabela 4. Parâmetros ajustados da distribuição Weibull para os tempos de falha dos solenoides.

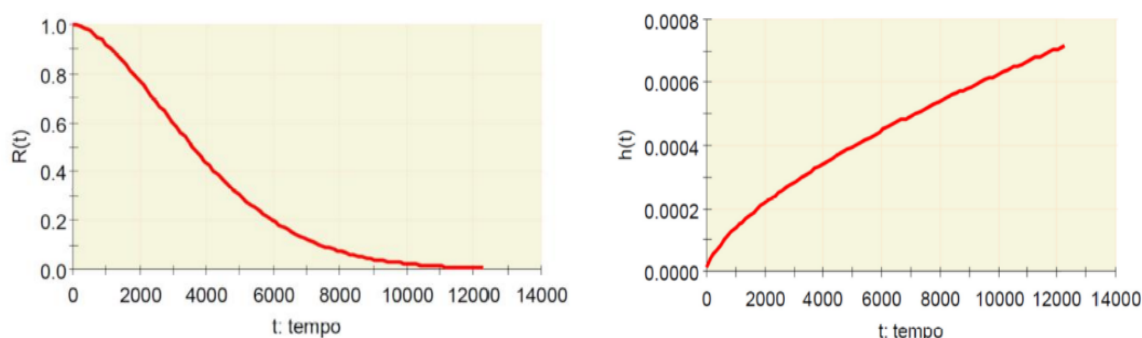
Parâmetro	Valor
γ	1,7645
θ	4553,054

Fonte: Feito pelo autor.

Como o valor do parâmetro de forma (γ) se aproxima de dois, de acordo com [8], indicando risco de falha por desgaste aumenta continuamente durante a vida do produto. Enquanto a vida característica ou parâmetro de escala (θ) indica a ocorrência de 63,2% das falhas.

Na Figura 4 é apresentada graficamente a função de confiabilidade $R(t)$ e a função de risco $h(t)$.

Figura 4. Função de confiabilidade $R(t)$ e Função de risco $h(t)$.



Fonte: Feito pelo autor.

O gráfico da função de confiabilidade apresenta uma curva decrescente, o que é um comportamento natural e esperado. Isso se deve ao fato de que as probabilidades de sucesso de operação diminuem à medida que o tempo passa, em decorrência da utilização e do desgaste gradual do componente. Já o gráfico da função de risco evidencia um comportamento crescente, indicando que a taxa de falha do componente aumenta continuamente ao longo de sua vida útil. Essa tendência corrobora com o valor do fator de forma de 1,7645, anteriormente mencionado, que também sugere um processo de falha com taxa crescente.

4. CONCLUSÃO

Após análises, observou-se que solenoides sofrem desgaste com o tempo, podendo falhar devido à fadiga. Assim, é essencial implementar manutenções preventivas nas válvulas de siliconização para inspeção ou substituição dos solenoides, evitando trocas desnecessárias e descarte prematuro de componentes. A maior probabilidade de falhas ocorre em torno de 2.300 horas, apesar de apenas 4 falhas terem ocorrido abaixo desse limite, com um tempo médio entre falhas de 4.012 horas, garantindo 72% de confiabilidade aos solenoides, justificando a implementação de manutenções preventivas a cada 2300 horas. Essas ações visam eliminar ou reduzir drasticamente as manutenções corretivas não planejadas, diminuindo o tempo de inatividade das máquinas e os custos de manutenção, aumentando, assim, a produtividade e lucratividade da empresa. Destaca-se, portanto, a importância da adoção de estratégias de Manutenção Centrada na Confiabilidade para empresas que buscam melhorar sua eficiência.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Rausand, A. Hoyland, System reliability theory: Models, statistical methods, and applications, Wiley, 2004.
- [2] D. J. Smith, Reliability, maintainability and risk: Practical methods for engineers, 10^a edition, Butterworth-Heinemann, 2021.
- [3] J. A. Silva, A. J. Fracassi, L. C. Lago, Módulo eletrônico de controle para válvulas solenóides, Quím. Nova, São Paulo, v. 25, n. 5, p. 842-843, 2002.
- [4] C. Fritsch, J. L. D. Ribeiro, PROCONF: Um software orientado para análises de confiabilidade. In. XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Niterói, 1998.
- [5] R CORE TEAM, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. Fonte: www.R-project.org/.
- [6] F. S. Fogliatto, J. L. D. Ribeiro, Confiabilidade e Manutenção Industrial, Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.
- [7] H. Akaike, Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, In B.N. PETROV & F. CSÁKI (Eds.), 2nd international symposium on information theory p. 267-281, Budapest, Hungary: Akadémia Kiadó, 1973.
- [8] MINITAB Inc, Minitab Statistical Software (Version 19.0) [Computer software], 2019, Fonte: <https://www.minitab.com>