



ENGENHARIAS

Análise dos tempos de parada para manutenção de uma pá carregadeira*Analysis of stop times for maintenance of a wheel loader*João Pedro Silva Gomes¹, Paulo César de Resende Andrade²

RESUMO

A aplicação de técnicas de confiabilidade permite aumentar a vida útil e o desempenho dos equipamentos, bem como associar o comportamento das falhas ao tipo de manutenção adequada. O uso de equipamentos com alta disponibilidade e confiabilidade torna-se essencial para a sustentabilidade financeira e a competitividade das empresas. O objetivo é analisar tempos de parada para manutenção de uma pá carregadeira utilizada em uma siderúrgica, por meio da análise de confiabilidade paramétrica. O método de pesquisa utilizado consistiu no estudo de caso, com a coleta dos dados em três meses de 2018. Análises gráficas e testes de aderência (Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov) foram realizados para verificar a distribuição que melhor se ajusta aos dados, por meio do software ProConf. A estimação dos parâmetros foi feita pelo método da máxima verossimilhança. O software R foi utilizado para validar o ajuste por meio do critério AIC. A distribuição Weibull foi a que melhor se ajustou. A função de risco teve um comportamento crescente, indicando que a pá carregadeira está na fase de envelhecimento devido ao desgaste do equipamento. A estratégia é adotar a manutenção preventiva.

Palavras-chave: Confiabilidade; desgaste; equipamento; risco; Weibull.

ABSTRACT

The application of reliability techniques allows to increase the useful life and the performance of the equipments, as well as to associate the behavior of the failures to the type of adequate maintenance. The use of equipment with high availability and reliability becomes essential for the financial sustainability and the competitiveness of companies. The objective is to analyze stopping times for the maintenance of a wheel loader used in a steel mill, through parametric reliability analysis. The research method used consisted of the case study, with the data collection in three months of 2018. Graphical analyzes and adhesion tests (Chi-Square and Kolmogorov-Smirnov) were performed to verify the distribution which best fits the data, through

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Teófilo Otoni/MG - Brasil. E-mail: jpgomeess@gmail.com

² Idem. E-mail: pceandrade@gmail.com



ProConf software. The parameters were estimated using the maximum likelihood method. The R software was used to validate the adjustment using the AIC criterion. The Weibull distribution was the best fit. The risk function has been increasing, indicating that the wheel loader is in the aging phase due to equipment wear. The strategy is to adopt preventive maintenance.

Keywords: Reliability; wear; equipment; risk; Weibull.

1. INTRODUÇÃO

O sucesso e a manutenção das empresas estão diretamente ligados à qualidade de seus produtos considerando o cenário atual, extremamente competitivo. O não conhecimento pleno dos equipamentos utilizados e de aspectos ligados aos processos de produção pode levar a perdas financeiras e de competitividade. (SILVA *et al.*, 2017).

Em um contexto no qual ocorrem cada vez mais rápidas mudanças significativas no mercado, a manutenção dos ativos de produção passou a desempenhar papel estratégico, antes vista como um mal necessário passou a ser considerada indispensável à produção. (SANTOS *et al.*, 2007). Desta forma, o estudo da confiabilidade e a utilização de todas as ferramentas a ela relacionadas tornaram imprescindíveis nas indústrias, sendo de suma importância para garantir produtos, equipamentos e sistemas confiáveis, com melhores desempenhos a custos competitivos. (MENDES, 2011).

Tendo em vista o atendimento das necessidades do cliente, torna-se essencial a criação de estratégias de manutenção e confiabilidade dos equipamentos a fim de evitar indisponibilidades e desperdícios gerados através de paradas por quebras, falhas ou produção de produtos defeituosos que acarretam no comprometimento dos resultados almejados pela organização. (GREGOL; ANDRADE, 2014).

A confiabilidade de um item (sistema, equipamento, produto, componente *etc.*) corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito, por um determinado período de tempo e sob condições pré-determinadas. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Segundo Leemis (1995), a confiabilidade $R(t)$ é a probabilidade de um item cumprir sem falhas uma missão com uma duração determinada.

De acordo com Lewis (1996), para realização da aplicação da confiabilidade é necessário um conhecimento do produto ou equipamento, pois é através deste conhecimento que será possível determinar os modos e as causas de falhas. A análise destas falhas é fundamental para compreensão do tipo de manutenção mais adequada ao comportamento de desempenho dos equipamentos, evitando a aplicação de atividades desnecessárias ou ineficazes que reduzem a disponibilidade, confiabilidade e geram custos operacionais. (MENDES, 2011).



O conjunto de ações para análise de máquinas, equipamentos e ferramentas é parte essencial para o bom funcionamento de qualquer indústria. Visando isto, técnicas para prevenção, conservação e/ou substituição são desenvolvidas pela área de manutenção industrial. Segundo a NBR 5462 (ABNT, 1994), o conceito de manutenção está associado ao conjunto de ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um equipamento, instalação ou maquinário de um determinado setor em funcionamento. Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), de forma mais ampla, as manutenções são ações necessárias para aumento da vida útil de equipamentos, além de proporcionarem economia financeira com reparos e substituições de equipamentos.

Um dos métodos utilizados na realização dos estudos de confiabilidade e disponibilidade de um item é o método quantitativo. (WUTTKE; SELLITTO, 2008). A modelagem dos tempos até a falha é, portanto, central em estudos de confiabilidade. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Geralmente é realizada com apoio de um software modelador, que indica a distribuição que se ajusta melhor a esses tempos. Wuttke e Sellitto (2008) afirmam que as distribuições mais utilizadas são: Exponencial, Gama, Lognormal e Weibull. Vários estudos foram desenvolvidos com comprovadas adequações em situações práticas. (BRANDÃO; ANDRADE, 2018; DUEK, 2005; GOMES *et al.*, 2018; LEAL; ANDRADE, 2018; SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017; SILVA; ANDRADE, 2018).

O presente trabalho tem por objetivo analisar os tempos de parada para manutenção de uma pá carregadeira utilizada em uma siderúrgica do Norte do Estado de Minas Gerais, em ocorrências ocorridas em três meses no ano de 2018, e traçar estratégias de manutenção para uma melhor utilização desse equipamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O procedimento de pesquisa empregado neste trabalho foi o estudo de caso. Segundo Gil (2002), o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados.

Os dados foram obtidos de uma grande companhia siderúrgica especializada em ferroligas, ligas especiais que demandam elevada tecnologia para produção, à base de ferro e níquel, com o intuito de se obter propriedades superiores às dos aços, suportando atividades extremas em geral. A indústria atua na cidade de Pirapora/MG, produzindo e comercializando também silício e suas ligas.

A pá carregadeira é um dos mais eficientes equipamentos utilizados na indústria e construção civil, auxiliando em diversas atividades, otimizando tempo e proporcionando qualidade às mesmas. Classificada nas categorias de máquinas pesadas consiste em um trator com uma pá na frente e opera com tração força motriz. A pá carregadeira sobre



rodas é utilizada para trabalhos de terraplanagem, principalmente em local seco e firme, para que a máquina possa trafegar tranquilamente. Já a pá carregadeira sobre esteiras não necessita de atenção quanto ao terreno onde ela será utilizada, pois possui maior aderência ao solo, sendo muito utilizada em tarefas como demolição, nivelamento de terrenos e escavações. O equipamento analisado possui alto desempenho com *intercooler*, capacidade de três metros cúbicos, transmissão eletro-hidráulica, sistema de suspensão de lança, entre outros aspectos, e é utilizada para carregamento de objetos, terras, minérios, entre outros.

As manutenções registradas no período analisado foram devidas a diversos motivos: má utilização do equipamento, falhas no motor, troca de conectores ou pneus, reparo no chicote, reaperto de placas *etc.* Para o presente estudo foram utilizados os tempos de parada para manutenção da pá carregadeira com ocorrências no período de abril a junho de 2018, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Tempos de parada para manutenção de uma pá carregadeira.

Tempos de parada (horas)						
30,00	19,80	43,20	64,20	58,80	55,80	145,20
58,20	40,20	90,00	115,20	4,80	45,00	25,80
28,20	90,00	40,80	64,80	30,00	48,00	118,80
52,20	30,00	54,00	66,00	70,20	52,80	

Fonte: Companhia Siderúrgica (2018).

Por meio do *software* ProConf (FRITSCH; RIBEIRO, 1998), um programa computacional desenvolvido para ajustar de distribuições de tempos de falha para dados de confiabilidade, por meio de métodos gráficos e métodos analíticos. Os histogramas de frequência das falhas e os papéis de probabilidades foram utilizados para comparar com as curvas das distribuições: Exponencial, Lognormal e Weibull e verificar qual delas apresenta melhor aderência aos dados amostrais.

Os testes utilizados para verificar a aderência destas distribuições candidatas aos dados 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). Todas as análises foram realizadas considerando um intervalo de confiança igual a 95%. 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, 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.

Para verificar a adequação da validação do desempenho dos modelos foi também utilizado o Critério de Informação de Akaike – *Akaike's Information Criterion* (AIC). Quanto menor for o



valor de AIC, melhor será o ajuste do modelo. (AKAIKE, 1973). Para tal foi utilizado o *software* R. (R CORE TEAM, 2019).

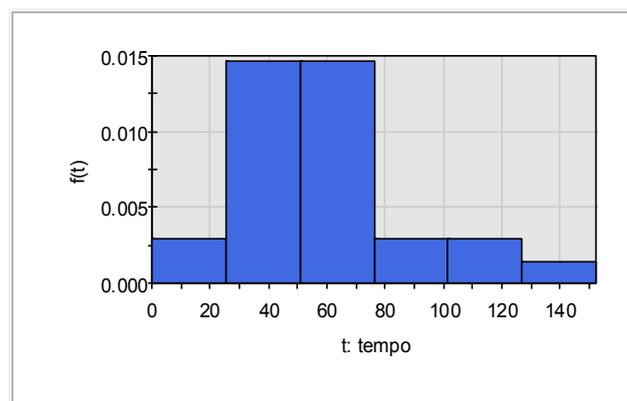
Em seguida são fornecidas as estimativas dos parâmetros da distribuição de probabilidade que melhor modela o conjunto de dados em estudo, utilizando o método de máxima verossimilhança. Além disso, são apresentadas as representações das funções de confiabilidade $R(t)$ e de risco ou taxa de falha $h(t)$.

O comportamento da taxa de falha ou função de risco de um equipamento ao longo do tempo e o tipo de manutenção associado foi analisado por meio da associação com a curva da banheira. A curva da banheira apresenta três períodos característicos de vida de componentes e equipamentos: mortalidade infantil, fase de maturidade, e mortalidade senil. (LAFRAIA, 2001; SELLITTO, 2005). Sellitto (2005) relaciona cada fase da curva a um comportamento da função de risco $h(t)$ pelo parâmetro de forma γ da distribuição de *Weibull*. Cada fase do ciclo de vida está associada com uma estratégia de manutenção mais adequada. Quando γ for menor do que 1, a função de risco é decrescente e o item se encontra na fase de mortalidade infantil, sendo a estratégia de manutenção corretiva a mais adequada. Quando γ for maior que 1, a função de risco é crescente, logo a fase de vida do item se encontra na mortalidade senil e a estratégia a ser adotada deve ser a preventiva. E quando γ for igual a 1, a função de risco é constante, indicando a fase de vida útil do item, sendo a manutenção preditiva a estratégia mais adequada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram obtidos alguns gráficos relativos ao conjunto de dados. Na Figura 1 está representado o histograma da frequência das falhas.

Figura 1 – Histograma de frequência de falhas.

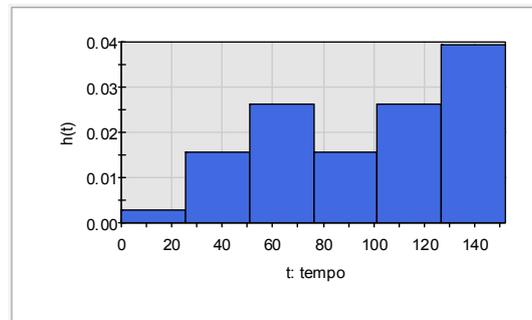


Fonte: ProConf.



O formato do histograma da Figura 1 indica a aplicação das distribuições, *Weibull* e Lognormal para modelar adequadamente o conjunto de dados estudados. Na Figura 2 está apresentado o histograma da taxa de falha.

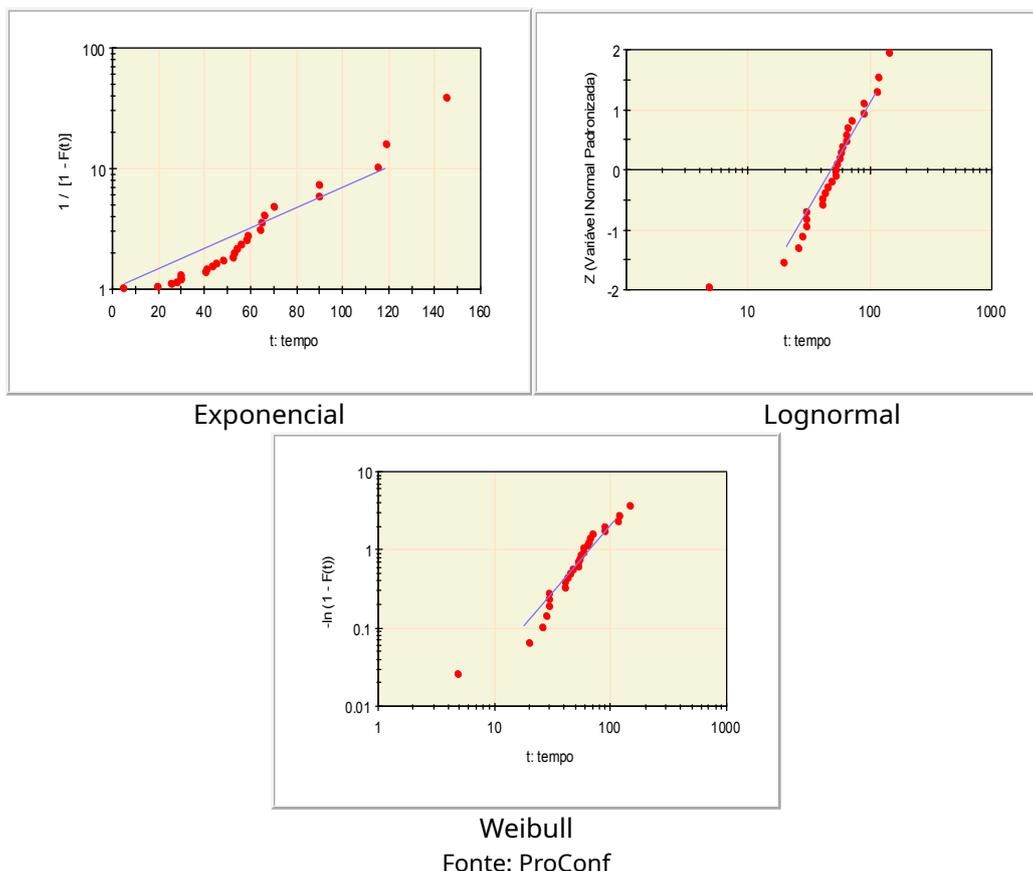
Figura 2 – Histograma da taxa de falha.



Fonte: ProConf.

O formato do histograma da Figura 2 é um indicativo da distribuição *Weibull* como mais adequada para modelar o conjunto de dados em análise. Os gráficos do papel de probabilidade permitem fazer o teste de hipóteses, onde se verifica a adequação dos dados a determinada distribuição. Na Figura 3 está apresentado o gráfico de papel de probabilidade das distribuições Exponencial, Lognormal e *Weibull*.

Figura 3 – Papel de probabilidade das distribuições Exponencial, Lognormal e *Weibull*.



Fonte: ProConf



Analisando os papéis de probabilidade, observa-se que nenhuma das distribuições apresenta uma linha de tendência, ou seja, apresentam desvios, não se ajustando perfeitamente em torno da reta. Desta forma, não é possível definir o modelo que melhor se ajusta ao conjunto amostral por meio do método gráfico.

Passa-se então à análise por meio de métodos analíticos. As significâncias dos testes de aderência Qui-Quadrado (χ^2) e de Kolmogorov-Smirnov (K-S) são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis de significância dos testes de aderência.

Distribuição	Teste χ^2	Teste K-S	Decisão
Exponencial	0,0008	0,0001	Rejeitada
Lognormal	0,1856	0,2397	Não pode ser rejeitada
Weibull	0,2436	0,2148	Não pode ser rejeitada
Lognormal	0,1856	0,2397	Não pode ser rejeitada

Fonte: Adaptado do ProConf.

O *software* informa o nível de significância para cada teste e aponta quais distribuições não podem ser rejeitadas. Conforme resultados da Tabela 2, as distribuições Lognormal e *Weibull* não podem ser rejeitadas para modelar os tempos de parada para manutenção da pá carregadeira.

A partir destas evidências, o presente estudo utilizou a distribuição *Weibull*. Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que supor dados seguindo a *Weibull* costuma ser um bom ponto de partida na análise. É uma das distribuições mais importantes na modelagem de confiabilidade, devido à sua flexibilidade e capacidade de reprodução de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos (LAFRAIA, 2001; SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017), além de poder ser usada para pequenas amostras. (DODSON, 1994; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; LEWIS, 1996).

Para validação do desempenho dos modelos foi calculado o AIC, via *software* R. De acordo com este critério, quanto menor seu valor, melhor será o ajuste do modelo. Os valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores do teste AIC.

Distribuição	AIC
Exponencial	274,4299
Lognormal	266,9975
Weibull	262,4905

Fonte: Adaptado do software R.



Dessa forma pode-se afirmar que a distribuição *Weibull* é realmente a mais apropriada para o estudo da confiabilidade da pá carregadeira em questão, por apresentar o menor valor de AIC. A *Weibull* possibilita descrever as probabilidades de falhas em sistemas constituídos por vários subsistemas, que disputam pela falha geral. (HAHN; SHAPIRO, 1994 *apud* WUTTKE; SELLITTO, 2008). E isto ocorre com a pá carregadeira analisada, pois se alguma falha ocorrer nos subsistemas de alimentação, transmissão ou suspensão, o mesmo tem a sua operação interrompida.

Com a definição do modelo ajustado é possível estimar seus parâmetros (γ e θ no caso da *Weibull*), bem como outros resultados dos ajustes realizados pelo ProConf, conforme apresentados na Tabela 4. O t_{10} e t_{50} correspondem aos valores limites de tempos, nos quais 10% e 50% das paradas ocorreram. Todas as análises foram realizadas considerando um intervalo de confiança igual a 95%.

Tabela 4 - Resultados dos ajustes.

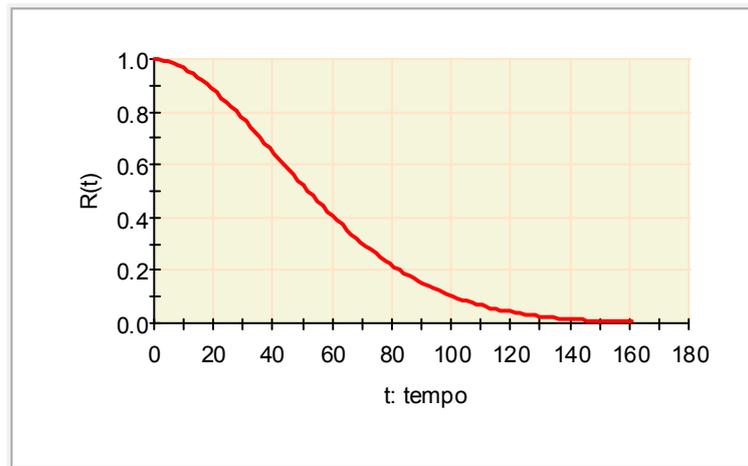
Parâmetro	Resultados
t_{10} (horas)	18,24
t_{50} (horas)	51,89
MTTF (horas)	56,56
γ	1,89
θ	64,37

Fonte: Adaptado do software ProConf.

De acordo com a Tabela 4, o tempo médio até a falha (*Mean Time To Failure* – MTTF) é de 56,56 horas. Os parâmetros de forma γ e escala θ são, respectivamente, 1,89 e 64,37. Com base nos resultados, pode-se assumir que a fase de vida da pá carregadeira corresponde ao início da mortalidade senil, já que o parâmetro γ da distribuição de *Weibull* foi maior que um. A estratégia para esta fase é a manutenção preventiva: a troca antecipa a inevitável quebra. (SELLITTO, 2005).

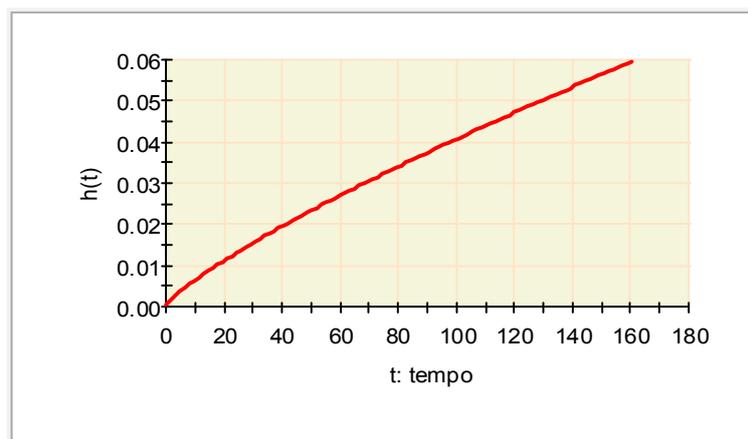
A função confiabilidade está representada na Figura 4. Constata-se que a confiabilidade sempre se dá em uma curva decrescente em função do tempo, já que as probabilidades de perfeitas condições decaem conforme há a utilização e o desgaste do equipamento.

Pode-se observar que a taxa de falha é crescente, de acordo com o histograma da Figura 2, 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 cumulativos. O aumento muito rápido da taxa de falha, normalmente fundamenta o critério de quando peças devem ser substituídas e também determina a vida útil do equipamento. (SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017).

**Figura 4 – Função Confiabilidade.**

Fonte: ProConf.

A função de risco ou taxa de falha está representada na Figura 5.

Figura 5 – Função de Risco.

Fonte: ProConf.

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 procedimentos de manutenção e operação com maior embasamento científico. A confiabilidade possui papel importante na análise do tempo de vida dos equipamentos e dos processos a eles relacionados.

O presente trabalho analisou o tempo de parada para manutenção de uma pá carregadeira. Por meio dos métodos analíticos e gráficos, verificou-se que a distribuição de *Weibull* modelou de forma consistente esses tempos. Foi possível obter as medidas de confiabilidade do tempo médio de parada, valores limites de tempo em que 10% e 50% das falhas ocorreram, bem como estimar os parâmetros da distribuição ajustada.



O valor do parâmetro de forma da distribuição *Weibull* obtido mostra que o comportamento da pá carregadeira se localiza na terceira fase da curva da banheira, indicativo de que a manutenção ideal para o equipamento em questão será a preventiva. Os resultados encontrados permitem à empresa conhecer melhor o perfil das falhas do equipamento analisado, podendo se programar para sua melhor utilização.

Por fim conclui-se que a confiabilidade é de suma importância dentro de um processo industrial, pois o resultado obtido permite que a empresa reduza custos com mão de obra, não perca tempo de produção com a substituição de equipamentos, possibilitando um melhor funcionamento da empresa de forma geral. As análises quantitativas das falhas são relevantes para a determinação de estratégias de manutenção a ser realizadas pelas empresas, a fim de garantir maior disponibilidade dos produtos.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AKAIKE, Hirotugu. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: PARZEN, E.; TANABE, K.; KITAGAWA, G. (Ed.). **Selected papers of Hirotugu Akaike**. Springer Series in Statistics (Perspectives in Statistics). New York: Springer, 1998.

BRANDÃO, Mariane Olivier; ANDRADE, Paulo César de Resende. Modelagem dos dados de falhas de um pasteurizador de garrafas de cerveja. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.10, n.2, p.172-181, 2018.

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

DUEK, Carlos. **Análise de confiabilidade na manutenção de componente mecânico de aviação**. 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luiz Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FRITSCH, Celso; RIBEIRO, José Luiz Duarte. PROCONF: um software orientado para análises de confiabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 1998, Niterói. **Anais...** Niterói: 1998.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, Milla Caroline; ANDRADE, Paulo César de Resende; COSTA, Thonson Ferreira. Análise de indicadores de desempenho da manutenção de um moinho de bolas. **Revista Thema**, Pelotas, v.15, n.3, p.1089-1103, 2018.



GREGOL, Luciano Bernochi; ANDRADE, Jairo Jose de Oliveira. Análise de falhas como subsídio para o estabelecimento de procedimentos de manutenção produtiva total (MTP): estudo de caso de uma maquina gargalo na fabricação de latas de alumínio. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 29., Curitiba, 2014. **Anais...** Curitiba: 2014.

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

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LEAL, Vítor Justus; ANDRADE, Paulo César de Resende. Modelagem dos dados de falha de um caminhão fora de estrada. **ForScience**, Formiga, v.6, n.3, e00500, jul./dez. 2018.

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

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

MENDES Angélica Alebrant. **Manutenção centrada em confiabilidade**: uma abordagem quantitativa. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.

SANTOS, Wagner Baracho dos; MOTTA, Sergio Brandão da; COLOSIMO, Enrico Antônio. Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório. **Revista Gestão e Produção**, São Carlos, v.14, n.1, p.193-202, 2007.

SANTOS, Maicon Mateus de Medeiros; SILVA, Evaldo da Conceição; FERREIRA, Gabriel de Souza; ROSAS, Renan Martinelli Gonçalves; ANDRADE, Paulo César de Resende. Modelagem do tempo de vida de um inversor de frequência. **ForScience**, Formiga, v.5, n.3, e00288, jul./dez. 2017.

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

SILVA, Ellen Maria Neves; ANDRADE, Paulo César de Resende. Análise de confiabilidade de um inspetor eletrônico de garrafas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.16, n.2, p.1-9, 2018.

SILVA, Evaldo da Conceição; FERREIRA, Gabriel de Souza; SANTOS, Maicon Mateus de Medeiros; ANDRADE, Paulo César de Resende; ROSAS, Renan Martinelli Gonçalves. Análise de Dados de Falha de um Transmissor de Fibra Óptica. **Revista Thema**, Pelotas, v.14, n.4, p.259-266, 2017.



WUTTKE, Régis André; SELLITTO, Miguel Afonso. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. **Revista Produção Online**, v.8, n.4, p.1-23, dez. 2008.

Submetido em: **25/01/2019**

Aceito em: **28/06/2020**