

**Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma evacuadora jumbo****Maintenance strategy based on reliability functions for a jumbo evacuator**

Recebimento dos originais: 06/05/2018

Aceitação para publicação: 08/06/2018

**Niló Antonio de Souza Sampaio**

Doutor em Engenharia pela Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Associação Educacional Dom Bosco (AEDB)

Endereço: Rodovia Presidente Dutra, Km 298, s/n - Pólo Industrial, Resende - RJ- Brasil

E-mail: nilo.samp@terra.com.br

**Melissa Christine da Silva Antunes**

Aluna do curso de graduação da Faculdade de Engenharia de Resende – (FER-AEDB)

Instituição: Associação Educacional Dom Bosco (AEDB)

Endereço: Av. Cel. Prof. Antônio Esteves, 1 - Campo de Aviação, Resende – RJ - Brasil

E-mail: mel.antunes.1212@hotmail.com

**Joyce de Fátima Medeiros Oliveira**

Aluna do curso de graduação da Faculdade de Engenharia de Resende – (FER-AEDB)

Instituição: Associação Educacional Dom Bosco (AEDB)

Endereço: Av. Cel. Prof. Antônio Esteves, 1 - Campo de Aviação, Resende – RJ - Brasil

E-mail: joycedefatima18@gmail.com

**Karoline de Oliveira Barbosa Florenzano**

Aluna do curso de graduação da Faculdade de Engenharia de Resende – (FER-AEDB)

Instituição: Associação Educacional Dom Bosco (AEDB)

Endereço: Av. Cel. Prof. Antônio Esteves, 1 - Campo de Aviação, Resende – RJ - Brasil

E-mail: karoline\_florenzano@hotmail.com

**Roberto Campos Leoni**

Doutor em Ciências pela Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituição: Associação Educacional Dom Bosco (AEDB)

Endereço: Av. Cel. Prof. Antônio Esteves, 1 - Campo de Aviação, Resende – RJ - Brasil

E-mail: roberto.leoni@aedb.br

**RESUMO**

O objetivo deste artigo foi definir a estratégia de manutenção mais adequada para um equipamento de alta criticidade com base em cálculos de confiabilidade. Foram levantados registros de falhas e dos tempos para reparo do equipamento Evacuadora Jumbo. Estes tempos foram modelados pela função de probabilidade de Weibull. Os valores para tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio de reparo (MTTR) e disponibilidade (D) foram respectivamente 13,54 horas, 2,8 horas e

82,8%. O fator de forma mais provável da distribuição de Weibull que modelou o tempo até a falha foi de 1,7685. É possível afirmar que o equipamento está em fase de mortalidade senil. A estratégia de manutenção indicada é a preventiva.

**Palavras chave:** Manutenção; Confiabilidade; Disponibilidade; Weibull.

## ABSTRACT

The purpose of this article was to define the most appropriate maintenance strategy for a highly critical equipment based on reliability calculations. Fault records and repair times for the Jumbo Evacuator equipment were collected. These times were modeled by the Weibull probability function. The values for mean time between failures (MTBF), mean repair time (MTTR) and availability (D) were respectively 13.54 hours, 2.8 hours and 82.8%. The most likely form factor of the Weibull distribution that modeled the time to failure was 1.7685. It is possible to affirm that the equipment is in phase of senile mortality. The indicated maintenance strategy is preventive.

**Keywords:** Maintenance; Reliability; Availability; Weibull.

## 1 INTRODUÇÃO

Na manutenção industrial empregam-se medidas preventivas e cálculos de confiabilidade para evitar falhas em equipamentos, reduzindo perdas de produção ou riscos relacionados à segurança pública e ao meio ambiente (BELHOT; CAMPOS, 1994).

Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994).

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), com a imposição de grandes metas de produção surge a necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos, ressaltando a crescente demanda em relação ao uso de métodos estatísticos para o acompanhamento, gerenciamento e otimização da manutenção.

O objetivo deste artigo é aplicar métodos estatísticos de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) em uma Evacuadora Jumbo, um equipamento de criticidade A de uma empresa de fabricação de vidros. Os objetivos secundários são: modelar as funções confiabilidade e taxa de falha, identificar a linha do ciclo de vida na curva da banheira e calcular a disponibilidade desse equipamento.

A pesquisa foi realizada a partir de um estudo de caso em uma empresa multinacional de produção de vidros planos. Os dados foram coletados de uma Evacuadora Jumbo que frequentemente sofre intervenções para a realização de manutenção corretiva. Foi realizada a

modelagem dos tempos entre falhas e tempos até o reparo com o auxílio do software ProConf (2000).

Para definir a estratégia de manutenção da Evacuadora Jumbo, os tempos até a falha foram modelados pela distribuição de *Weibull*. A partir do fator de forma dessa distribuição, identificou-se a posição da linha de ciclo de vida (curva da banheira) do equipamento (MENGUE; SELLITO, 2013).

Este artigo apresenta a seguinte organização: a seção dois contém alguns conceitos relacionados com o cálculo da confiabilidade. A seção três apresenta um estudo de caso em um equipamento do setor fabril e reporta os principais resultados obtidos; define-se uma melhor estratégia de manutenção para o equipamento estudado e a seção 4 apresenta algumas considerações finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Kelly e Harris (1980) abordam que as organizações industriais existem em função do lucro, utilizando equipamentos e mão-de-obra para transformar materiais em produtos acabados. Sendo assim, há uma relação entre a manutenção e o rendimento, pois ocorre uma influência direta na quantidade realizada na produção e no custo da operação dos equipamentos.

Todo equipamento sofre desgaste natural pelo seu uso, mesmo que seja usado de forma correta. As atividades de manutenção evitam a degradação prematura dos equipamentos e das demais instalações das empresas. Contudo é necessário que ocorra um gerenciamento bem qualificado no departamento de manutenção, pois um programa de manutenção mal planejado pode ocasionar horas extras desnecessárias e alto estoque de peças com pouco giro.

Uma programação e controle da manutenção bem planejada, proporciona para a empresa vários benefícios, tais como: diminuição das paradas não programadas para manutenção durante a produção; aumento de disponibilidade de equipamentos; adequação da empresa às normas e certificados internacionais; diminui dos custos de manutenção; melhoria do gerenciamento da quantidade de peças e material empregados nas manutenções, entre outros (LAFRAIA, 2001).

A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Alguns conceitos associados à confiabilidade são: qualidade, disponibilidade, manutenibilidade, segurança e confiança (NBR ISO 5462; 1994).

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a qualidade pode ser definida como a totalidade de características e aspectos de um produto ou serviço que tornam possível a satisfação de necessidades implícitas e explícitas associadas ao produto ou serviço.

A disponibilidade é definida como a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante do tempo ou em um período de tempo predeterminado (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Nos casos em que o equipamento pode ser reparado a disponibilidade média é obtida em função do tempo médio para falhas e do tempo médio de reparo de um equipamento.

A manutenibilidade é definida como a capacidade de item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas e a segurança é definida pela ausência de qualquer perigo que possa causar acidentes, tanto para o sistema quanto para pessoas. O termo confiança e confiabilidade se confundem, contudo, o termo confiança é algo que representa uma visão mais ampla que a visão probabilística de confiabilidade (LAFRAIA, 2001).

Para realização da manutenção é necessário o estudo de confiabilidade. Alguns indicadores de manutenção descritos brevemente a seguir auxiliam na percepção das falhas e de seus respectivos motivos.

a) **MTTF - Mean Time To Failure** (Tempo médio para falhas). Representa o tempo médio de funcionamento, ou seja, a vida de um produto até sua falha. De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009):

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (1)$$

b) **MTBF - Mean Time Between Failures** (Tempo médio entre falhas). O MTBF é o tempo que um equipamento tem de sua última falha até ocorrer a próxima falha, ou seja, o intervalo de tempo entre duas falhas. Para acharmos o valor de MTBF, dividimos o tempo que o equipamento teve em bom funcionamento pelo número de falhas ocorridas.

c) **MTTR - Mean Time To Repair** (Tempo médio de reparo). Representa o tempo que se leva para a reparação de algo. Para o cálculo deve-se dividir o total de horas que um equipamento ficou em reparo pela quantidade de falhas ocorridas. Como no exemplo: Na produção de carrocerias de um certo veículo, uma máquina parou de funcionar 2 vezes em um mesmo dia. A primeira vez, a máquina ficou 20 minutos em reparo e a segunda ficou 30 minutos. Neste caso o MTTR será  $(20+30)/2 = 25$  minutos.

O estudo de caso apresentado na seção 3 emprega a distribuição de *Weibull* que é uma das distribuições de probabilidades mais importantes na modelagem de confiabilidade (FREITAS; COLOSIMO, 1997).

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (2)$$

Sendo  $\gamma$  e  $\theta$  parâmetros de forma e escala da distribuição *Weibull*.

As representações de confiabilidade da distribuição de *Weibull* são amplamente conhecidas na literatura e apresentadas a seguir (LAFRAIA, 2001):

a) A função de confiabilidade:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (3)$$

b) A função de risco de um equipamento:

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} \quad (4)$$

Quando  $\gamma < 1$ , a função é decrescente, e quando  $\gamma > 1$  é crescente. E para  $\gamma = 1$  a função é constante.

c) A função do tempo médio de vida útil:

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (5)$$

### 3 ESTUDO DE CASO

Uma empresa multinacional classificada como uma das maiores fabricantes mundiais de vidros e espelhos é objeto de estudo no presente trabalho. A planta analisada fabrica somente vidros planos.

A empresa adota uma cultura rígida de compromisso global com a excelência, e, por isso, precisa manter os equipamentos funcionando constantemente de forma correta e ter gastos mínimos com manutenção.

Sendo assim, a utilização de ferramentas estatísticas de Planejamento e Controle de Manutenção justifica-se para garantir a confiabilidade dos equipamentos na empresa. Contudo, a empresa não utiliza esses conceitos para o gerenciamento desse setor.

Para o presente estudo, acompanhou-se durante treze dias um equipamento de criticidade A chamado Evacuadora Jumbo. Esse equipamento é utilizado somente quando é fabricado um tipo específico de vidro chamado Jumbo, que tem como principal característica dimensões de três metros de comprimento por seis metros de altura. São vidros vendidos especialmente para utilização em construções civis, como fachadas de prédios.

A função do equipamento é retirar o vidro da linha de produção e colocá-lo em um pacote para armazenamento. Apesar de muito importante, ele tem um grande número de paradas por falha, sendo necessária a constante intervenção de uma equipe para a realização de manutenção corretiva.

Apresentam-se, na Tabela 1, os resultados encontrados a partir da análise estatística de falha no equipamento. Anotou-se o tempo, em horas, que o equipamento operou antes de cada falha nesse período de treze dias e o tempo necessário para a realização da manutenção de cada falha nesse equipamento (ver Tabela 2).

Tabela 1- Tempo entre falhas (TBF) da Evacuadora

Dados de TBF da Evacuadora Jumbo (horas)				
20	3	6	4	15
18	10	9	6	20
17	3	11	4	17
12	4	29	12	20
9	5	4	15	12
6	7	6	8	

Tabela 1- Tempo para reparo (TTR) da Evacuadora Jumbo

Dados de TTR da Evacuadora Jumbo (horas)				
1	1,25	4,45	2,7	1,75
3,2	4,25	2,75	2,45	5
2,25	1,5	1,3	1,7	1,8
2	2,3	4,75	2,8	2,5
4,7	3	3,5	4,3	4,5
4	5,5	2,4	2,6	

Os dados foram modelados com o auxílio do software ProConf 2000. O software usa o método da máxima verossimilhança, descrito analiticamente em Fogliatto e Ribeiro (2009), traça os papéis de probabilidade e, pelos testes *Kolmogorov-Smirnov* (KS) e *qui-quadrado* ( $\chi^2$ ), aponta as distribuições que não podem ser rejeitadas.

O software estima os parâmetros necessários para a determinação da distribuição adotada. Consegue-se a partir dos parâmetros estimados obter a função densidade de falha, o tempo médio de falha, função de confiabilidade, dentre outros gráficos e informações sobre o equipamento em análise.

O papel de probabilidade segundo a distribuição de *Weibull* para os tempos entre falhas do equipamento em estudo é ilustrado na Figura 1 (FILHO, 1997).

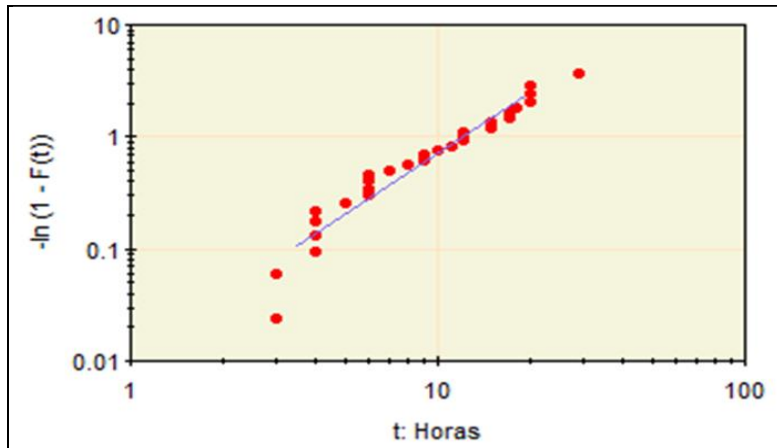


Figura 1- Papel de probabilidade segundo a distribuição de Weibull para tempos entre falhas.

Testou-se a aderência ao modelo Weibull por meio dos testes do qui-quadrado ( $\chi^2 = 5,19$  com 3 graus de liberdade e Nível de Significância = 0,1584) e Kolmogorov-Smirnov (KS = 0,1123 e Nível de Significância = 0,2317). Os resultados obtidos indicam que o modelo se ajusta bem aos dados de falha, sendo apropriado para descrever o comportamento de falhas da Evacuadora Jumbo.

Os parâmetros para sua descrição do modelo Weibull são: parâmetro de escala ( $\theta = 12,157$ ) e parâmetro de forma ( $\gamma = 1,7685$ ). O Tempo médio até a falha estimado é: MTTF = 10,7222 horas.

Substituindo os parâmetros no modelo Weibull, obtém-se facilmente a função densidade de probabilidade que representa o comportamento de falhas da Evacuadora Jumbo:

$$f(t) = \frac{1,7685}{12,157} \left( \frac{t}{12,157} \right)^{0,7685} e^{-\left( \frac{t}{12,157} \right)^{1,7685}} \quad (6)$$

A partir da equação (6), são construídos os gráficos característicos da análise do equipamento. Os gráficos de Função de Confiabilidade  $R(t)$  são ilustrados na Figura 3.

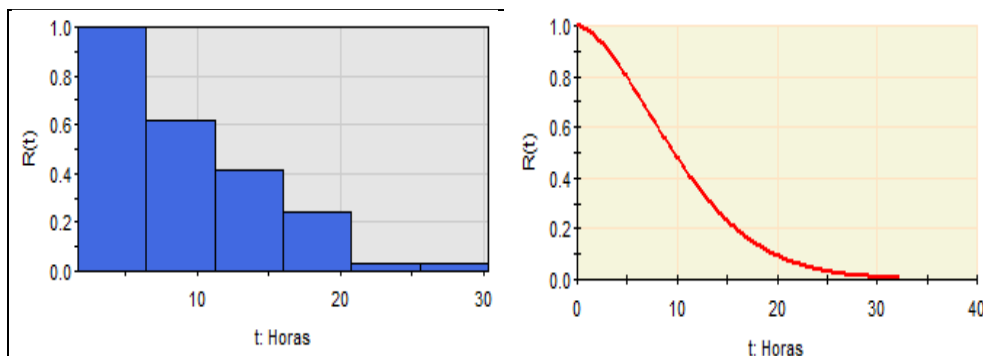


Figura 2 - Gráfico da função de confiabilidade.

Dá análise gráfica, tem-se, por exemplo, uma confiabilidade de aproximadamente 40% no tempo 11,40 horas, e de 90% no tempo 3,16 horas.

Apresentam-se os gráficos da Taxa de Falha ou Função de Risco  $f(t)$  na Figuras 5.

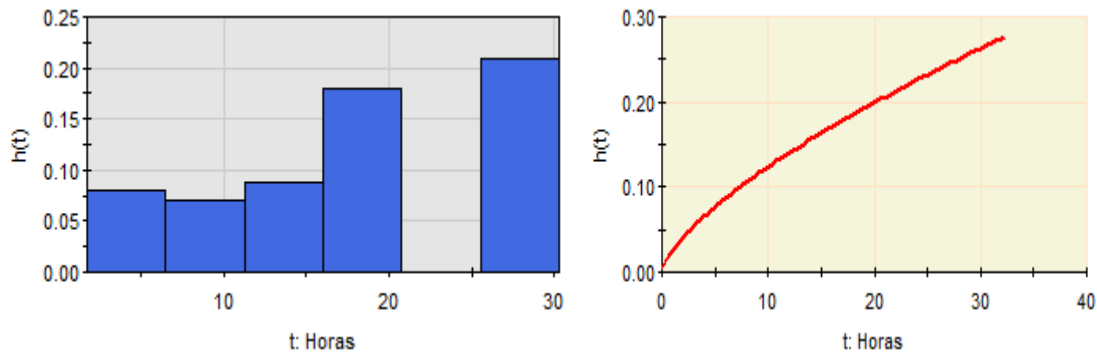


Figura 3 - Curva da taxa de falha.

A Figura 5 indica que a incidência de risco cresce com o tempo, pois é uma função de risco crescente (FRC). Isso significa que as falhas no equipamento que estamos analisando são por desgaste, por estar no final da sua vida útil, ou seja, na sua fase de envelhecimento.

Encontramos um parâmetro de forma ( $\gamma$ ) igual a 1,7685, ou seja, maior que um, chega-se a mesma conclusão. Como pode ser facilmente interpretada pela curva da banheira ilustrada na Figura 6.

Deficiências no processo de manufatura de um produto levam a falhas precoces, que se concentram no início de sua vida, na chamada fase de mortalidade infantil. As falhas que incidem na fase de vida útil do produto devem-se tipicamente a condições extremas no ambiente de operação do produto e podem ocorrer, uniformemente, em qualquer momento no tempo. Finalmente, a deterioração do produto frequentemente leva a falhas por desgaste, concentradas no final da vida útil do produto, na fase de envelhecimento (FILHO, 1997; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).



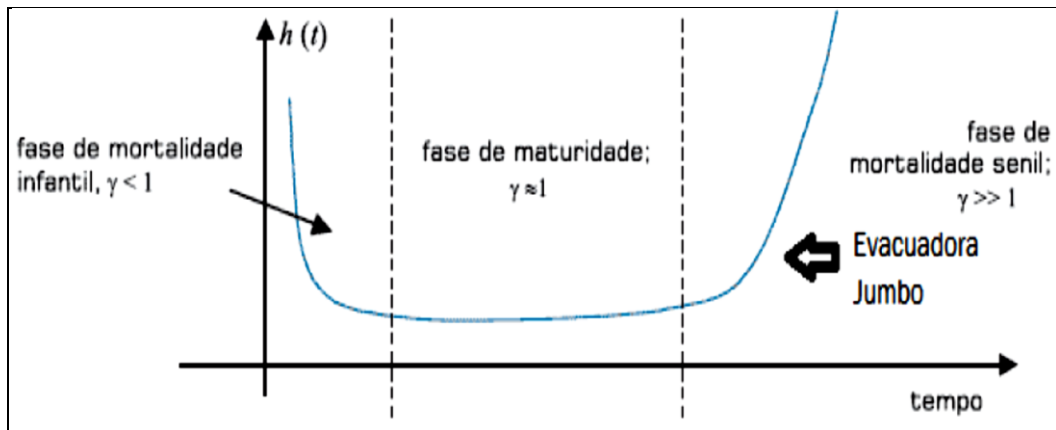


Figura 4 - Curva da banheira da Evacuadora Jumbo.

Estimou-se o MTTR (82,2 horas / 29 falhas = 2,8 horas) através dos dados extraídos do tempo para reparo (TTR) do equipamento. A partir do Tempo Médio até a Falha e do Tempo Médio para Reparo encontrado para a Evacuadora Jumbo, a cada 10,7 horas o equipamento ficará parado por 2,8 horas (em média).

A partir desses resultados, a Disponibilidade do equipamento será:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{13,54}{13,54 + 2,82} = 0,828$$

Conclui-se que a disponibilidade da Evacuadora Jumbo é de 82,8%. Esse valor está abaixo do esperado pela empresa para equipamentos de criticidade A (alta), que é 90%.

De acordo com esses dados, com os conceitos explorados e com algumas informações da empresa, pode-se concluir que a estratégia de manutenção mais compatível com o comportamento da Evacuadora Jumbo é a preventiva.

Notaram-se que as grandes ocorrências de falhas nesse equipamento se dão pela falta de programação de manutenção preventiva no mesmo. Se a empresa adotasse essas ferramentas estatísticas de análise de falhas de equipamento, ela teria a indicação de tempos ótimos para realização de manutenções.

Como sugestão para a fábrica, aponta-se a necessidade de implantar uma atualização do controle de dados e uma monitoração constante dos equipamentos através desses métodos de análises estatísticas de falhas e, também, da posição dos mesmos ao longo da curva da banheira. Com base na evolução dessa curva, é possível planejar as atividades de manutenção da máquina.

**4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente artigo apresentou uma aplicação real de métodos estatísticos para o Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) de um processo de uma empresa.

Por meio de um estudo de caso, conclui-se que o modelo de distribuição que melhor descreve o tempo entre falhas da Evacuadora Jumbo foi o modelo de Weibull.

O valor do parâmetro de forma indicou que o equipamento está na fase de mortalidade senil da curva da banheira. Através da obtenção dos dados de MTTF, MTTR e MTBF, nota-se que a porcentagem de disponibilidade é menor que a esperada para o equipamento de criticidade A.

Para aumentar a disponibilidade e reduzir perdas e custos com manutenções corretivas, é necessário que a empresa programe mais manutenções preventivas no equipamento e que mantenha um constante acompanhamento e análise de dados estatísticos desse equipamento para acompanhar e otimizar o seu desempenho.

Torna-se evidente que se deve obter um conhecimento técnico, porém simples, pelos programadores e engenheiros da área de manutenção sobre métodos estatísticos aplicados a confiabilidade de equipamentos no ambiente fabril. O emprego de tais métodos auxilia na redução de custos, uma vez que, se obtém o tempo ideal para a realização de manutenções preventivas, reduzindo as paradas por falha de equipamento.

Conclui-se que o uso de métodos estatísticos apresenta grande utilidade em ambientes fabris, podendo ser utilizado para aumentar a eficiência de células de PCM e auxiliar na redução dos gastos e na melhoria progressiva e constante da realização dos serviços de manutenção, requerendo conhecimentos simples e de fácil utilização.

**REFERÊNCIAS**

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

BELHOT, R. V.; CAMPOS, F. C. De. Gestão De Manutenção De Frotas De Veículos: Uma Revisão. *Gestão & Produção*, 1994. v. 1, n. 1991, p. 171–188.

FILHO, V. B. *Confiabilidade básica e prática*. 1. ed. São Paulo - SP: Edgard Blücher Ltda, 1997.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. *Confiabilidade e Manutenção industrial*. 1. ed. Rio de Janeiro - RJ: Elsevier Campus, 2009.

FREITAS, M. A.; COLOSIMO, E. A. *Confiabilidade: Análise de tempo de falhas e testes de vida acelerados*. 1. ed. Belo Horizonte - MG: Fundação Cristiano Ottoni, 1997.

KELLY, A.; HARRIS, M.J. *Administração da Manutenção Industrial*, São Paulo: IBP, 1980

LAFRAIA, J. R. B. *Manual de Confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. 1. ed. Rio de Janeiro - RJ: Qualitymark, 2001.

MENGUE, D. C.; SELLITO, M. A. CONFIABILIDADE PARA UMA BOMBA CENTRÍFUGA PETROLÍFERA. *Revista Produção Online*, 2013. v. 13, n. 2, p. 759–783.

PROCONF 2000. *Confiabilidade de componentes*. Software ProConf 2000. Porto Alegre: Maxxi Gestão Empresarial, 2000.