

**ENGENHARIAS****Análise de indicadores de desempenho da manutenção de um moinho de bolas*****Analysis of performance indicators of maintenance of a ball mill***

Milla Caroline Gomes¹; Paulo César de Resende Andrade¹; Thonson Ferreira Costa¹

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. Isso torna fundamental a implantação do gerenciamento estratégico da manutenção. Os objetivos desse trabalho consistem em analisar a manutenção executada em um moinho de bolas de uma metalúrgica, por meio de indicadores de manutenção: MTBF, MTTR, Disponibilidade, Confiabilidade e Mantenabilidade; identificar, na curva da banheira, o ciclo de vida do moinho, e verificar se a estratégia de manutenção utilizada é a mais indicada. O método de pesquisa utilizado consistiu no estudo de caso. Para a realização das análises, foram colhidos os tempos entre falhas e para reparo do moinho, nos sistemas de informação da empresa, e avaliados por meio do *software* ProConf 2000. Os resultados mostraram que a implantação da manutenção preditiva não aumentou a disponibilidade operacional. Na curva da banheira tem-se que o ciclo de vida do moinho consiste no envelhecimento, indicando a utilização da manutenção preventiva.

Palavras-chave: *tempos entre falhas; reparo; disponibilidade; ciclo de vida; curva da banheira.*

ABSTRACT

The increasingly competitive market demands challenges to increase the productivity of companies. They need equipment with high availability and reliability. This makes the deployment of strategic maintenance management critical. The objectives of this work are to analyze the maintenance performed in a ball mill of a metallurgical plant, through maintenance indicators: MTBF, MTTR, Availability, Reliability and Maintainability; to identify the life cycle of the mill in the bathtub curve and to check if the maintenance strategy used is the one appropriate. The research method used consisted of the case study. In order to carry out the analyzes, the failure and repair times of the mill were collected in the company's information systems and evaluated using ProConf 2000 software. The results showed that the implementation of the predictive maintenance did not increase operational availability. In the curve of the bathtub, the mill life cycle consists of senile mortality, indicating the use of preventive maintenance.

Keywords: *times between failures; repair; availability; life cycle; bathtub curve.*

¹ UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina/MG – Brasil.

1. INTRODUÇÃO

O mercado vem exigindo cada vez mais das organizações que precisam se manter competitivas. Para isso devem adotar o gerenciamento estratégico com o objetivo de atender as expectativas dos seus clientes. As empresas estão implantando melhorias em seus processos para produzirem com qualidade e baixo custo.

Segundo Laugeni e Martins (2002), a manutenção nos equipamentos da produção é fundamental para as empresas atingirem a excelência na produção, a partir da redução das manutenções corretivas, dando ênfase às manutenções preventivas e preditivas.

Neste sentido, com a implantação do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é possível obter melhor desempenho no sistema produtivo. Quando se tem o controle da manutenção é provável minimizar a indisponibilidade dos equipamentos aumentando a confiabilidade destes, a partir da eliminação de falhas inesperadas que podem comprometer a imagem da empresa, principalmente, se envolverem a segurança dos seus colaboradores e a do meio ambiente (COSTA, 2013).

Para se ter o acompanhamento da qualidade dos serviços de manutenção é necessário utilizar a análise de indicadores, que permitem comparar os objetivos estratégicos da organização com a sua real situação. Cada empresa tem um conjunto de indicadores específicos que irão melhor demonstrar a situação da sua manutenção (ZEN, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) em 2015 a disponibilidade dos equipamentos das empresas caiu significativamente. Além disso, as paradas para manutenção tiveram um ligeiro aumento, devido principalmente ao aumento da idade média dos equipamentos (ABRAMAN, 2015). A partir da análise desses dados, percebe-se que é necessário um maior investimento no gerenciamento da manutenção, que possui um papel fundamental na produtividade de uma empresa.

Devido à grande importância da gestão da manutenção, este trabalho avaliou a manutenção realizada em uma unidade de moagem de uma empresa metalúrgica. Para isso, foi necessário definir alguns indicadores a serem calculados, uma vez que a empresa estudada não utiliza desse método para analisar a qualidade dos serviços da sua manutenção. Para tal, foram escolhidos: *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), Disponibilidade (DISP), Confiabilidade e Manutenabilidade.

O presente trabalho tem como objetivos avaliar o tipo de manutenção aplicada no moinho de bolas, de acordo com a fase do ciclo de vida que o mesmo se encontra e verificar se, a partir da implantação da manutenção preditiva, os valores dos indicadores escolhidos melhoraram.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indicadores de Manutenção

Os indicadores de manutenção são essenciais usados para gerenciar a qualidade da manutenção. Além disso, possibilitam a comparação entre os dados da organização com a concorrência, buscando a superação de resultados, por meio de programas de melhoria contínua, e consequente aumento da competitividade (OLIVEIRA, 2014).

As organizações definem os indicadores a serem utilizados no controle da manutenção, com base em dados que acrescentem valor à empresa. Zen (2011) aconselha utilizar a quantidade de indicadores realmente necessária para facilitar a análise dos mesmos, além de recomendar indicadores essenciais para a estrutura da organização da manutenção. Alguns dos indicadores sugeridos são: *Mean Time Between Failure* (MTBF) / tempo médio entre falhas; *Mean Time To Repair* (MTTR) / tempo médio para reparo; Disponibilidade (DISP); Confiabilidade; Manutenibilidade.

Pimentel et al. (2012, p. 2) definem MTBF como "o intervalo entre o fim de uma falha funcional e o início de outra". O objetivo do PCM é aumentar o MTBF cada vez mais e como consequência, diminuir a quantidade de manutenções corretivas necessárias (OLIVEIRA, 2014).

Segundo Vianna (2002) o MTTR é a razão das horas de indisponibilidade do equipamento, devido à manutenção, pela quantidade de intervenções corretivas. Para o PCM, o resultado do MTTR é melhor, quanto menor for o mesmo, pois indica o tempo gasto pela equipe de manutenção para colocar o equipamento em condições de operar novamente, mostrando o tempo que a produção ficou parada (OLIVEIRA, 2014).

A disponibilidade é definida como a "capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados" (ABNT, 1994, p. 2).

E a 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, 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). Quanto maior a confiabilidade tem-se a confirmação de que a manutenção está sendo executada de maneira eficaz.

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 e RIBEIRO, 2009). Vários estudos foram desenvolvidos com esse enfoque (DUEK, 2005; HAVIARAS, 2005; SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2017).

A ABNT, por meio da NBR 5462 define manutenibilidade como a "capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos" (ABNT, 1994, p. 3).

Deste modo, a manutenibilidade consiste na probabilidade do reparo de um equipamento ocorrer dentro do tempo estipulado. O PCM tem como objetivo obter maiores valores da manutenibilidade. A manutenibilidade é representada pelo tempo de reparo e está totalmente associada à execução da manutenção. Quando a manutenibilidade é melhorada tem-se redução nos tempos de realização dos reparos e redução de erros na execução da manutenção.

Assim como a confiabilidade, a manutenibilidade é definida a partir da modelagem de dados históricos dos tempos de reparos em distribuições de probabilidades obtendo as seguintes medidas: função manutenibilidade $M(t)$, função de risco $h(t)$ e o MTTR (DIEDRICH e SELBITTO, 2014).

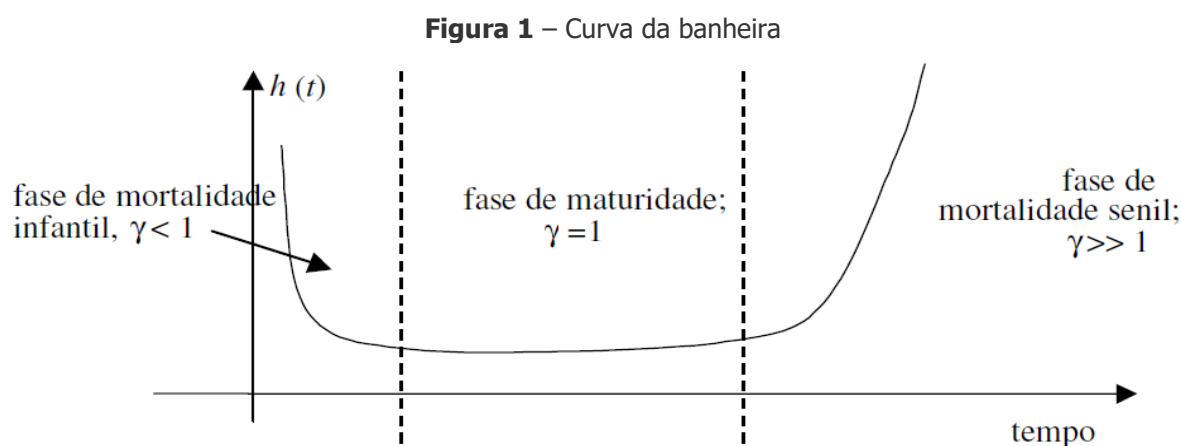
2.2 Distribuições de Probabilidades e Curva da Banheira

As distribuições de probabilidades mais utilizadas para a modelagem dos tempos de falhas são: Exponencial, Weibull, Lognormal e Gama.

De acordo com Sellitto (2005) a distribuição Lognormal é indicada para modelar tempos até reparos em unidades reparáveis. Esta é uma distribuição que possui uma forma mais variada em comparação com a distribuição normal, portanto, possui melhor ajuste da população.

A distribuição Weibull é bastante utilizada por se tratar de uma distribuição bastante flexível. Apresentando capacidade de modelar vários tipos de dados de tempos de falhas. Os parâmetros para a distribuição Weibull são γ e θ , respectivamente, fator de escala e de forma (FOGLIATTO e 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.



Fonte: SELBITTO, 2005, pg. 47.

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. Na fase da vida útil, a manutenção preditiva é a mais indicada. A manutenção preventiva é indicada para a fase da mortalidade senil (SELLITTO, 2005).

3. METODOLOGIA

O método que será utilizado no presente trabalho é o estudo de caso. Segundo Gil (2002), a utilização desta metodologia possibilita o estudo de um objeto de maneira que se possa conhecê-lo detalhadamente, por meio de dados colhidos em observações, entrevistas, relatórios entre outras fontes, desde que confiáveis.

Neste trabalho será analisada a manutenção realizada em um equipamento de uma unidade de moagem de uma empresa metalúrgica, situada no Norte de Minas Gerais. A pesquisa consistiu em realizar uma descrição da maneira como a empresa executa sua manutenção, bem como colher dados para fazer análises de alguns indicadores de manutenção, de modo a avaliar o desempenho da mesma. Para isso, foram utilizados os seguintes passos:

- i. Escolha do equipamento: foi selecionado um moinho de bolas que se caracteriza por ser um equipamento único e responsável pela produção da principal matéria-prima necessária para a produção de um metal utilizado na fabricação dos seus produtos finais, para a indústria automobilística;
- ii. Caracterização da atividade de manutenção: descrição do setor de manutenção da empresa e do planejamento e controle da manutenção executada na empresa;
- iii. Escolha dos indicadores de desempenho: a escolha foi realizada com base em pesquisas bibliográficas, que evidenciaram os principais indicadores que devem ser analisados em uma empresa. Estes indicadores são: MTBF, MTTR, disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade.
- iv. Recolhimento dos dados: foram colhidos os tempos entre falhas ou *Time Between Failures* (TBF) e tempos de reparos ou *Time to Repair* (TTR), provenientes de manutenções corretivas, por meio do *software TOTVS*. Este é o software utilizado pela empresa no Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) e dos Diários de Bordo do Moinho do período compreendido entre 2012 a 2015.
- v. Análise dos dados coletados: por meio do software ProConf 2000 (FRITSCH e RIBEIRO, 1998), os dados foram avaliados por modelagem com as distribuições de probabilidade (Exponencial, Weibull, Lognormal e Gama). O método gráfico foi utilizado para comparar as curvas da distribuição e verificar qual modelo apresenta melhor aderência aos dados amostrais. Para a caracterização da distribuição foram aplicados testes de aderência às distribuições. 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. 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, do Qui-Quadrado e do Kolmogorov-Smirnov, a distribuição não pode ser rejeitada, o que significa que poderá ser utilizada na modelagem. 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 e nos modos de falhas do moinho de bolas. Assim, obtiveram-se os valores do MTBF e do MTTR fornecidos para o cálculo da disponibilidade do moinho a cada ano desde 2012 a 2015. No final, foi realizada uma análise comparativa dos dados, com o

objetivo de evidenciar os melhores valores dos indicadores a partir de 2014, quando a empresa adotou a manutenção preditiva para o moinho de bolas. Além disso, são apresentadas as representações das funções de confiabilidade $R(t)$ e de risco ou taxa de falha $h(t)$.

- vi. Identificação do ciclo de vida do moinho de bolas: de acordo com a classificação da função de risco, foi possível identificar o estágio do ciclo de vida do moinho. Para assim, verificar se o tipo de manutenção executada está de acordo com o recomendado para cada estágio do ciclo de vida.
- vii. Análise dos resultados: Verificação sobre a adequação da atual estratégia de manutenção preditiva utilizada no moinho de bolas em relação ao indicado para o ciclo de vida deste equipamento. Além disso, a influência deste tipo de manutenção na disponibilidade do moinho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Atividade De Manutenção Da Empresa

A empresa, objeto do estudo, é uma metalúrgica situada no Norte de Minas Gerais. O sistema de gerenciamento da manutenção e dos equipamentos da produção dessa empresa é o centralizado, no qual o setor de manutenção está subordinado à direção da fábrica.

A Programação da Manutenção é uma área vinculada à gerência da manutenção. Atualmente, esta é constituída por um gestor, técnicos e inspetores. Utiliza-se o *software TOTVS* para o gerenciamento da manutenção.

A partir de 2014 foi implantada a manutenção preditiva em alguns equipamentos da empresa. Esta estratégia teve como objetivo de diminuir a quantidade de falhas inesperadas, e ser, uma ferramenta responsável em programar quando será executada a manutenção preventiva.

Nos planos de manutenção mecânica preventiva, para o moinho de bolas, são executados serviços como: verificação do sistema de lubrificação, no qual analisa a lubrificação dos rolamentos, mancais, coroa e pinhão, das bombas do sistema e o nível de graxa; revisão do munhão, onde se avalia ranhuras/desgastes, vedação dos mancais, nível de desgaste do metal patente, revisão do casquilo; verifica-se o desgaste dos dentes da coroa e pinhão; verifica-se o redutor de engrenagens; trocam-se óleos. Os serviços desses planos de manutenção preventiva são executados pelos técnicos mecânicos e seus auxiliares.

Os planos de manutenção preditiva são executados pelos inspetores. Estes são responsáveis por acompanhar o funcionamento dos equipamentos. Alguns dos serviços do plano de manutenção para os moinhos de bolas são: análise de vibração realizada por meio de aparelho portátil; verificação do motor, onde se mede a corrente, temperatura dos mancais e do motor; análise do óleo lubrificante, medindo a sua viscosidade, teor de água, máximo índice de acidez, percentual de partícula por parte, nesse caso o inspetor colhe uma amostra do óleo e a envia para um laboratório fazer a análise indicando as características descritas.

A empresa está implantando o cálculo e a análise dos indicadores MTBF e do MTTR nos serviços de manutenção do moinho de bolas. Somente em um setor da empresa foi implantado, no setor da manutenção do moinho de bolas está seguindo as etapas para a implantação

4.2 Análise dos Resultados

O TBF e o TTR coletados para cada no período de 2012 a 2015 estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Para o estudo em questão foi utilizado o software ProConf 2000 (FRITSCH e RIBEIRO, 1998), que ajusta os tempos entre falhas e de reparos por meio de métodos analíticos e gráficos, testando os ajustes dos dados aos modelos paramétricos: Exponencial, Weibull, Lognormal e Gama.

Tabela 1 – Histórico dos Tempos entre Falhas (TBF)

Ano	Tempos entre falhas para cada ano (horas)										
2012	48,0	142,7	207,0	253,7	158,5	142,0	302,0	272,0	63,0	24,4	
	62,5	109,7	45,2	62,0	46,5	526,5	185,6	173,5	135,4	29,4	
	175,2	10,0	58,0	44,3	62,3	330,0	286,3	217,8	45,3	109,3	
	206,0	376,1	111,0	44,6	24,7	463,0	285,3				
2013	121,5	43,5	20,0	133,0	119,0	107,1	164,0	28,6	224,5	42,3	
	89,6	431,6	42,6	103,0	28,7	88,5	15,0	114,6	28,0	43,7	
	343,3	30,2	577,4	131,1	16,1	43,3	134,4	94,4	75,5	29,0	
	29,6	44,5	13,7	12,8	216,0	29,5	88,4	14,1	136,8	90,0	
	28,8										
2014	52,9	75,1	55,6	84,8	22,8	188,7	232,3	310,0	166,0	23,0	
	340,8	22,0	522,3	237,7	35,7	59,3	23,5	120,0	45,0	10,0	
	44,9	96,0	213,3	69,7							
2015	174,7	69,9	23,5	454,5	221,0	216,5	151,3	112,2	95,7	49,5	
	571,8	431,0	9,3	419,3							

Fonte: Empresa.

Tabela 2 - Histórico dos Tempos para Reparo (TTR)

Ano	Tempos de reparos para cada ano (horas)											
2012	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7
	1,5	1,7	1,5	1,7	1,5	1,7	1,5	1,7	2,7	2,7	2,7	2,8
	3,0	3,4	3,7	4,0	4,5	5,8	6,0	6,0	6,0	6,4	6,8	7,6
	1,9											
2013	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	1,7	1,7	2,0	2,0	2,0	2,3	2,3	2,3	2,5	2,7	2,7	2,7
	2,7	2,8	3,0	3,0	3,4	3,7	4,0	4,5	5,8	6,0	6,0	6,0
	6,4	6,8	7,6	7,9	8,5							
2014	0,2	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,8	1,9	2,0	2,0	2,0
	2,3	2,3	2,3	3,0	3,0	3,1	4,0	5,3	5,7	6,0	7,0	7,7
2015	1,0	1,0	1,3	1,3	2,4	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,5	4,5
	7,8	8,7										

Fonte: Empresa.

4.2.1 Análise do Tempo entre Falhas

Os tempos entre falhas (TBF), de cada ano, foram testados para as distribuições: Exponencial, Weibull, Lognormal e Gama, através do PROCONF 2000. Na Tabela 3, têm-se os resultados dos testes

de aderência, para o teste da Qui-Quadrado (χ^2) e de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para o período de 2012 a 2015.

Tabela 3 - Nível de Significância do ajuste das distribuições ao TBF

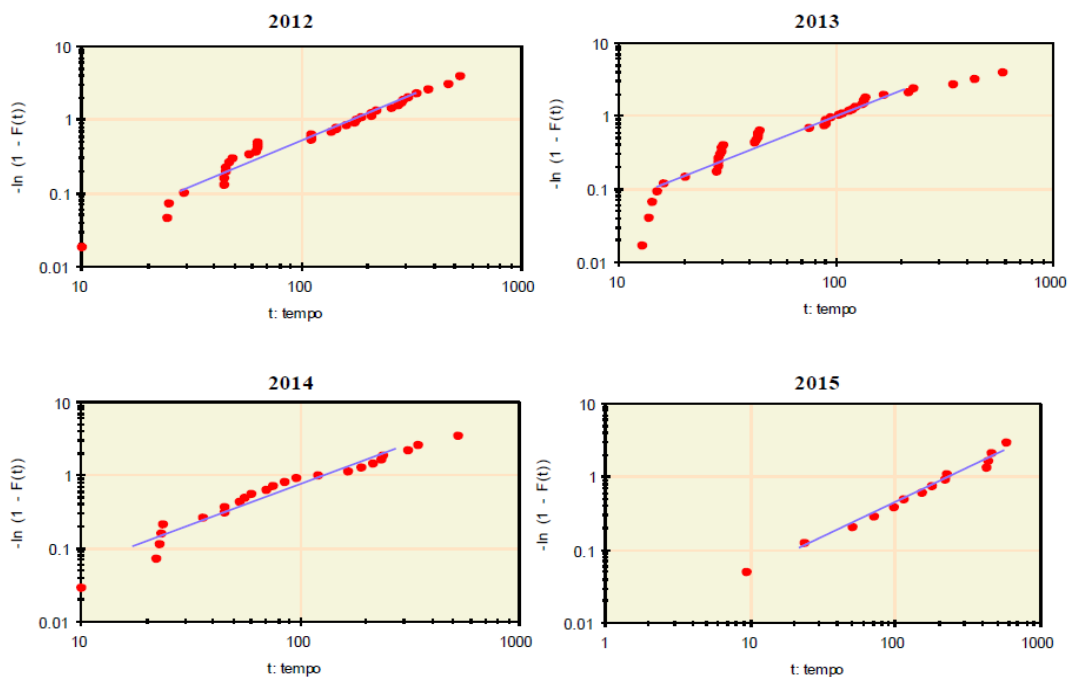
Ano	Distribuição	Teste χ^2	Teste K-S	Decisão
2012	Exponencial	0,7328	0,0777	Não Rejeitada
	Weibull	0,5941	0,0532	Não Rejeitada
	Gama	0,0544	0,0386	Rejeitada
	Lognormal	0,2637	0,1398	Não Rejeitada
2013	Exponencial	0,2214	0,0645	Não Rejeitada
	Weibull	0,1349	0,0604	Não Rejeitada
	Gama	0,0630	0,0079	Rejeitada
	Lognormal	0,2121	0,0779	Não Rejeitada
2014	Exponencial	0,8331	0,2487	Não Rejeitada
	Weibull	0,6338	0,2577	Não Rejeitada
	Gama	0,5867	0,2383	Não Rejeitada
	Lognormal	0,5975	0,3003	Não Rejeitada
2015	Exponencial	0,8547	0,2643	Não Rejeitada
	Weibull	0,5953	0,2602	Não Rejeitada
	Gama	0,6518	0,3274	Não Rejeitada
	Lognormal	0,0032	0,3066	Não Rejeitada

Fonte: Adaptado do ProConf 2000.

O software informa o nível de significância para cada teste e aponta quais distribuições não podem ser rejeitadas. Apesar das duas distribuições não terem sido rejeitadas, conforme resultados apresentados na Tabela 3, o presente estudo utilizará a distribuição Weibull para a modelagem do TBF. 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. 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 SELITTO, 2008). E isto ocorre com o moinho de bolas analisado, pois se alguma falha ocorrer nos subsistemas de alimentação, lubrificação ou descarga, o mesmo tem a sua operação interrompida.

Os gráficos do papel de probabilidade permitem fazer o teste de hipóteses, onde se verifica a adequação dos dados a determinada distribuição. Pela análise gráfica fornecida por meio do ProConf 2000, verifica-se que esta descreve bem as amostras de dados analisadas para cada ano. Na Figura 2 é apresentado o papel de probabilidade da Weibull correspondente a cada ano.

Figura 2 - Papel de probabilidade Weibull para o TBF de 2012 a 2015



Fonte: ProConf 2000.

Avalia-se que os dados se ajustam a distribuição Weibull, por os pontos estarem alternando em torno da linha do mesmo. Os resultados dos ajustes realizados pelo ProConf 2000, das amostras de cada ano, estão apresentados na Tabela 4. O t_{10} e t_{50} correspondem aos valores limites de tempos, nos quais 10% e 50% das falhas ocorreram. Todas as análises foram realizadas considerando um intervalo de confiança igual a 95%.

Tabela 4 - Resultados dos ajustes realizados pelo ProConf para os TBF

Ano	t_{10} (h)	t_{50} (h)	MTBF (h)	γ
2012	23,31	124,21	157,56	1,26
2013	10,79	70,63	101,66	1,04
2014	13,71	88,74	127,13	1,07
2015	23,63	150,41	214,03	1,13

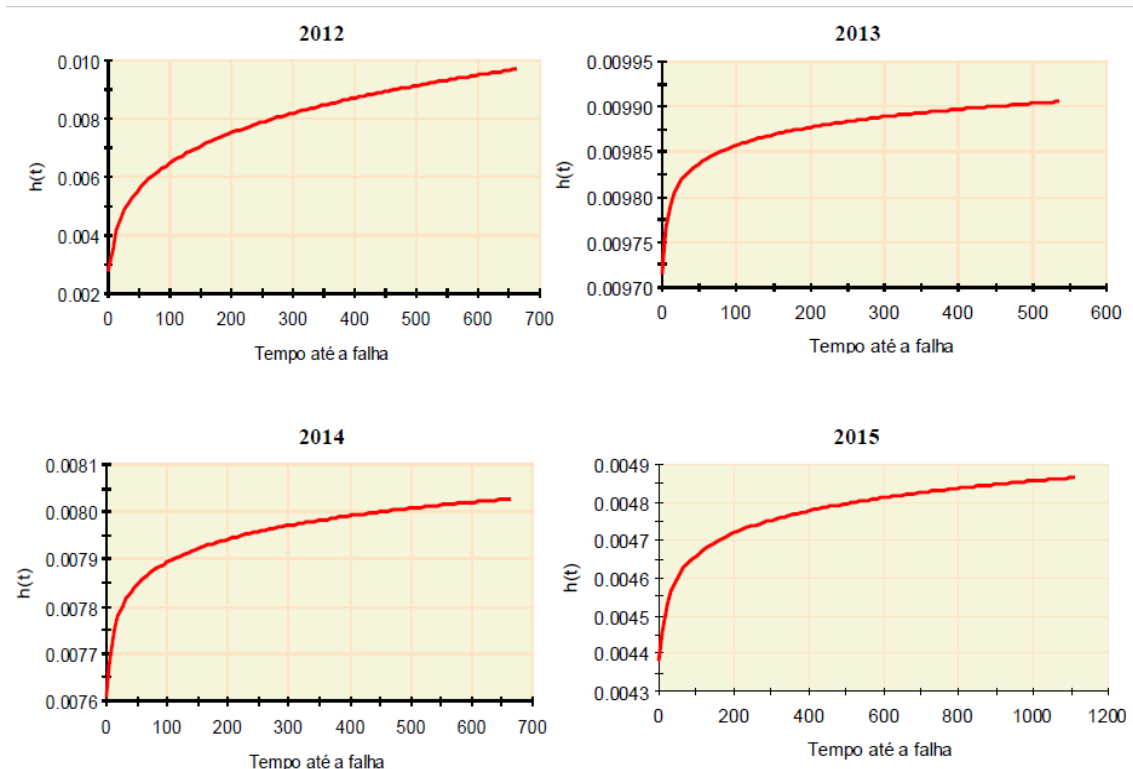
Fonte: Adaptado do ProConf 2000.

De acordo com os valores da Tabela 4, pode-se assumir que a fase de vida do moinho estudado, corresponde ao início da mortalidade senil, já que o γ de todas as amostras foram maiores que 1.

De acordo com Sellitto (2005), a melhor estratégia de manutenção a ser utilizada para o moinho, já que se encontra na fase da mortalidade senil, é a manutenção preventiva. No período de 2012 a 2013 este tipo de manutenção era a empregada no moinho, porém a partir de 2014, a empresa passou a utilizar a manutenção preditiva. Como se pode perceber, na Tabela 4, os valores do MTBF aumentaram no período da aplicação da manutenção preditiva, mesmo não sendo esta a melhor estratégia de manutenção. Demonstrando assim, que houve diminuição na incidência de falhas do moinho.

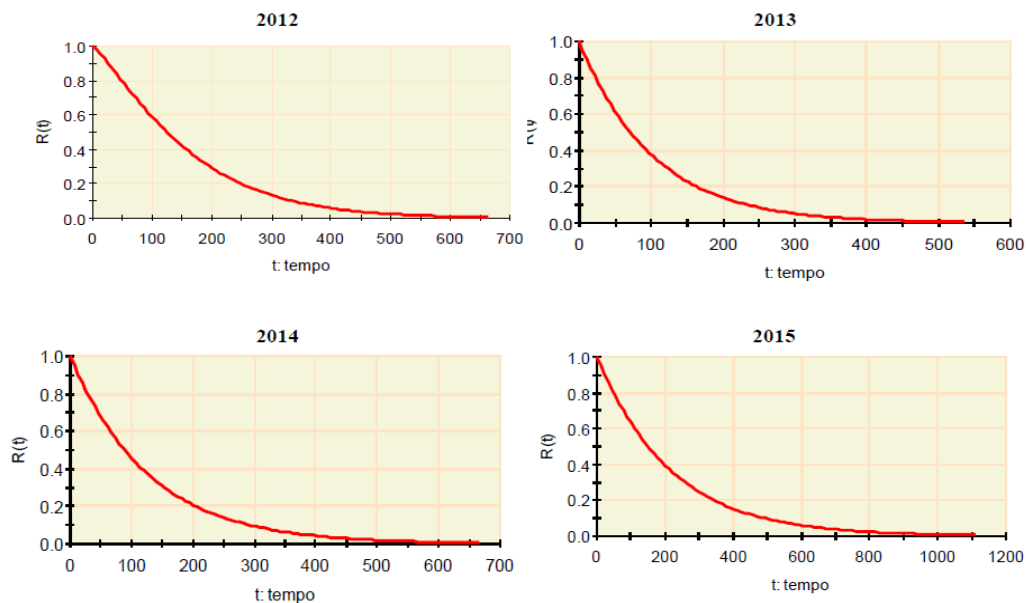
As funções de risco e a confiabilidade de cada ano são mostradas nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Figura 3 - Função de Risco para cada ano desde 2012 a 2015



Fonte: ProConf 2000.

Figura 4 - Função Confiabilidade para cada ano desde 2012 a 2015



Fonte: ProConf 2000.

4.2.2 Análise do Tempo até Reparo

De modo análogo, foram testadas distribuições para os tempos até reparo (TTR). Na Tabela 5 são apresentados os resultados dos testes de aderência.

Tabela 5 - Nível de Significância do ajuste das distribuições ao TTR

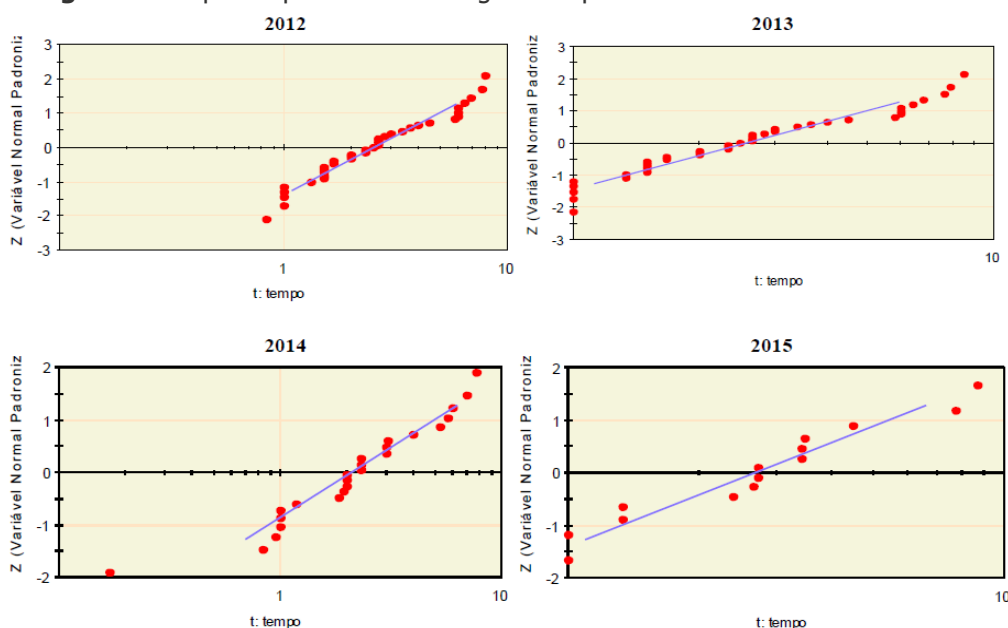
Ano	Distribuição	Teste χ^2	Teste K-S	Decisão
2012	Exponencial	0,1566	0,0001	Rejeitada
	Weibull	0,2678	0,0718	Não Rejeitada
	Gama	0,2765	0,0956	Não Rejeitada
	Lognormal	0,2874	0,1851	Não Rejeitada
2013	Exponencial	0,0919	0,0001	Rejeitada
	Weibull	0,1538	0,0309	Rejeitada
	Gama	0,1354	0,0531	Não Rejeitada
	Lognormal	0,1042	0,1481	Não Rejeitada
2014	Exponencial	0,0476	0,0006	Rejeitada
	Weibull	0,0885	0,2222	Não Rejeitada
	Gama	0,1032	0,2201	Não Rejeitada
	Lognormal	0,0958	0,2464	Não Rejeitada
2015	Exponencial	0,3680	0,0111	Rejeitada
	Weibull	0,0842	0,1972	Não Rejeitada
	Gama	0,0938	0,2337	Não Rejeitada
	Lognormal	0,1020	0,2587	Não Rejeitada

Fonte: Adaptado do ProConf 2000.

A distribuição Lognormal será utilizada para a modelagem do TTR, já que conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), esta distribuição é indicada para a modelagem dos tempos de reparos. Na Figura 5 é apresentado o papel de probabilidade para a distribuição Lognormal, mostrando que sua escolha se ajusta aos dados.

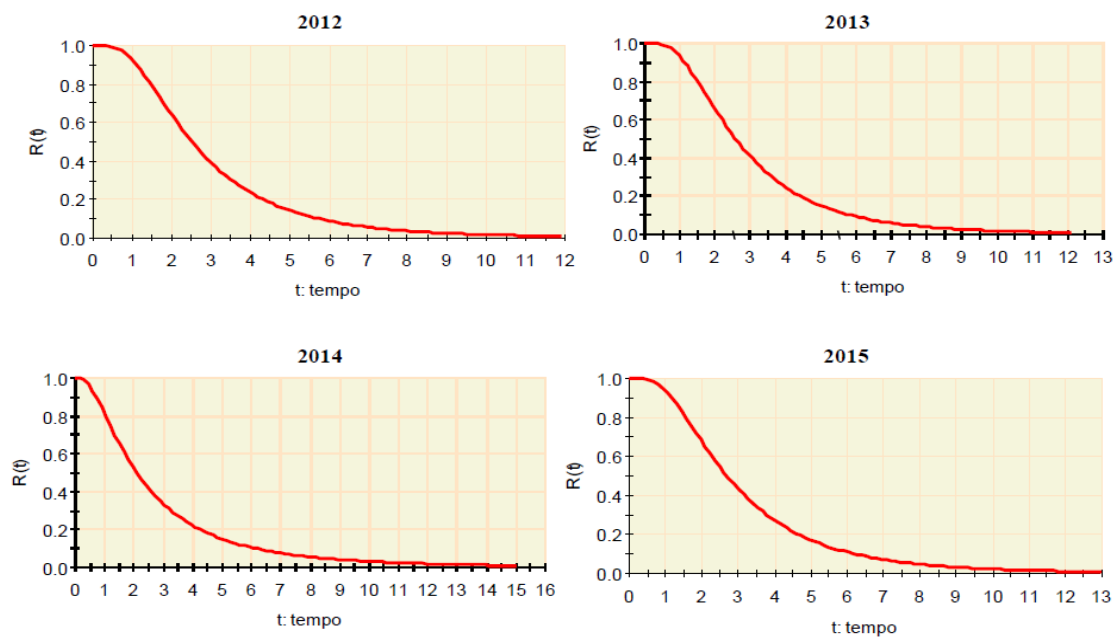
Na Figura 6 é apresentada a função Manutenibilidade, para cada ano analisado no período de 2012 a 2015.

Figura 5 - Papel de probabilidade Lognormal para o TBF de 2012 a 2015



Fonte: ProConf 2000.

Figura 6 - Função Mantenabilidade para cada ano desde 2012 a 2015



Fonte: ProConf 2000

Os resultados dos ajustes realizados pelo ProConf 2000 são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados dos ajustes realizados pelo ProConf para os TBF

Ano	t_{10} (h)	t_{50} (h)	MTTR (h)
2012	1,11	2,53	3,10
2013	1,14	2,58	3,16
2014	0,72	2,11	2,99
2015	1,17	2,69	3,33

Fonte: Adaptado do ProConf 2000.

É possível perceber que os valores do MTTR tiveram uma pequena redução logo após a implantação da manutenção preditiva, do ano de 2013 para 2014. Porém de 2014 para 2015 nota-se que houve um aumento. Portanto a implantação da manutenção preditiva não influenciou no tempo de reparo do moinho estudado.

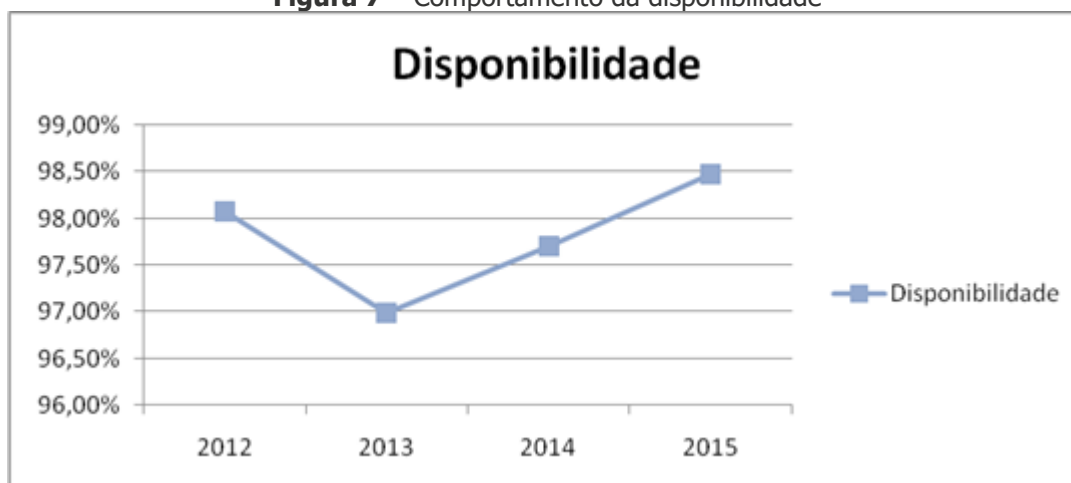
A disponibilidade foi calculada para cada ano e é apresentada na Tabela 7. Na Figura 7 tem-se um gráfico que a demonstra o comportamento dos valores da disponibilidade.

Tabela 7 - Disponibilidade Inerente de cada ano analisado

Ano	Disponibilidade
2012	98,07%
2013	96,99%
2014	97,70%
2015	98,47%

Fonte: Autores.

Figura 7 – Comportamento da disponibilidade



Fonte: Autores.

De acordo com os valores da Disponibilidade, apresentados na Tabela 7, conclui-se que a disponibilidade do moinho de bolas não obteve aumento significativo após a adoção da manutenção preditiva. Também é possível afirmar que a disponibilidade do moinho sempre foi alta nos períodos analisados.

5. CONCLUSÕES

- A fase do ciclo de vida que o moinho se encontra corresponde à mortalidade senil, já que o γ de todas as amostras foram maiores que 1. Portanto, o tipo de manutenção adequado para mantê-lo, consiste na manutenção preventiva.
- O tempo médio entre falhas (MTBF) aumentou a partir de 2014, quando a estratégia de manutenção do moinho foi modificada para manutenção preditiva, mesmo essa não sendo o tipo de manutenção adequada;
- O tempo médio para reparo (MTTR) diminui no ano de aplicação da manutenção preditiva, porém este tempo aumentou em 2015 aumentou;
- A disponibilidade do moinho sempre foi alta, independente da estratégia de manutenção empregada, variando aproximadamente, de 97% a 98%;
- O uso da análise estatística dos dados confirmou que a escolha da manutenção preditiva não foi a melhor alternativa para o ciclo de vida em que o equipamento se encontrava.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMAN. **Associação Brasileira de Manutenção**: gasto com manutenção muda o foco. 2015. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/noticias/gasto-com-manutencao-muda-o-foco>>. Acesso em: 22 mar 2018.

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

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção**: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional. Juiz de Fora: UFJF, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção), Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.

DIEDRICH, Antônio; SELLITO, Miguel Antônio. Manutenção Centrada em Confiabilidade: estudo de caso na indústria de bebidas. **Produção em foco**, Santa Catarina, v. 04, n. 01, p. 133-155, maio 2014.

DUEK, Carlos. **Análise de confiabilidade na manutenção de componente mecânico de aviação**. Santa Maria: UFSM, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de 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. XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Niterói, 1998.

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

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

HAVIARAS, Gilberto Jorge. **Metodologia para análise de confiabilidade de pneus radiais em frota de caminhões de longa distância**. São Paulo: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

LAUGENI, Fernando Piero; MARTINS, Petronio Garcia. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2002.

OLIVEIRA, Monique Miranda. **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.

PIMENTEL, Hugo de Souza; LIMA, Aleksandro Guedes; NOGUEIRA NETO, Severino Cesariano. **Emprego dos indicadores de manutenção classe mundial nas indústrias da Paraíba**. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012, Palmas.

SANTOS, Maicon Mateus de Medeiros; SILVA, Evaldo da Conceição; FERREIRA, Gabriel de Souza; ROSAS, Renan Martinielli Gonçalves; ANDRADE, Paulo César de Resende. Modelagem do tempo de vida de um inversor de frequência. **ForScience**: Revista Científica do IFMG, 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, Evaldo da Conceição; FERREIRA, Gabriel de Souza; SANTOS, Maicon Mateus de Medeiros; ANDRADE, Paulo César de Resende; ROSAS, Renan Martinielli Gonçalves. Análise de Dados de Falha de um Transmissor de Fibra Óptica. **Revista Thema**, Pelotas, v. 14, n. 4, p. 259 a 266, 2017.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM**: Planejamento e Controle da Manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WUTTKE, Régis André; SELLITTO, Miguel Afonso. 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.

ZEN, Milton Augusto Galvão. **Indicadores de manutenção**. 2011. Disponível em: < <http://www.mantenimentomundial.com/sites/mm/notas/indicadoresBR.pdf> >. Acesso em: 23 de mar 2018.

Recebido: 26/03/18

Aceito: 06/06/18