

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

HALTEVIR PRYZBEUKA DO VALE

**AUMENTO DA CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE
BOMBEAMENTO DO CORTE LONGITUDINAL EM UMA MÁQUINA
DE PAPEL IMPRIMIR E ESCREVER**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Curitiba
2015

HALTEVIR PRYZBEUKA DO VALE

**AUMENTO DA CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE
BOMBEAMENTO DO CORTE LONGITUDINAL EM UMA MÁQUINA
DE PAPEL IMPRIMIR E ESCREVER**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano

Curitiba
2015

RESUMO

VALE, Haltevir Pryzbeuka do. **AUMENTO DA CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DO CORTE LONGITUDINAL EM UMA MÁQUINA DE PAPEL IMPRIMIR E ESCREVER.** Monografia do Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

A gestão da confiabilidade dos equipamentos nas plantas de fabricação de papel tem impulsionado as organizações a atingirem melhores resultados operacionais. A confiança dos dados levantados, pela equipe de manutenção em uma máquina de papel imprimir e escrever, contribuindo para a implementação da análise de vida dos componentes de uma bomba centrífuga, proporcionando sustentabilidade na aplicação de melhorias no processo produtivo, para a redução de quebras falhas. Este artigo apresenta a validação da substituição do bombeamento em um sistema de corte longitudinal na máquina de papel, objetivando o aumento da confiabilidade do sistema, embasado em técnicas quantitativas. Com a análise de vida da bomba multi-diafragmas implantada, fundamentada na metodologia Weibull, os resultados apresentados visam evidenciar a assertividade na redução de quebras falhas no processo de corte longitudinal.

Palavras-chave: Bomba multi-diafragma. Confiabilidade. Quebras falhas

ABSTRACT

VALE, Haltevir Pryzbeuka do. **RELIABILITY INCREASING THE SYSTEM CUT PUMPING IN A MACHINE PITCH PAPER PRINT AND WRITING.** Monograph of Specialization in Reliability Engineering of Academic Department of Electrical Engineering at Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

The management of equipment reliability in paper manufacturing plants has driven organizations achieve better operating results. The reliability of the data collected by maintenance team in a paper machine printing and writing, contributing to the implementation of the analysis component life of a centrifugal pump, providing sustainability in the implementation of improvements in the production process, to reduce faults breaks . This article presents the pumping replacement of validation in a edge trim of the paper machine system, aimed at improving the system reliability, based on quantitative techniques. With the analysis the life multi-diaphragm pump implanted, based on the Weibull methodology, the results presented demonstrate the aim to assertivity in reducing faults breaks in the edge trim process.

Key Words: Multi-diaphragms pump. Reliability. Faults breaks

LISTA DE SIGLAS, acrônimos e Abreviaturas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensionamento de bocal.....	3
Tabela 2 - Dimensionamento de pressão.....	4
Tabela 3 - Vazão água necessária na bomba.....	4
Tabela 4 – Weibull bombeamento antigo.....	6
Tabela 5 – Weibull bombeamento novo.....	7

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação localização física corte longitudinal em uma Mesa Plana....	2
Figura 2 - Jato Laminar.....	2
Figura 3 - Jato Turbulento.....	2
Grafico 1 – Confiabilidade versus tempo.....	7
Grafico 2 – Função densidade de falhas.....	7
Figura 3 – Demonstração do calculo de confiabilidade entre as bombas.....	8

SUMÁRIO

1.Introdução.....	1
2.Apresentação do corte longitudinal.....	1
2.1. Problemática do bombeamento.....	3
2.2. Qualidade do jato.....	3
3. Descrição da melhoria e justificativa de implantação.....	4
4. Avaliação da efetividade do novo sistema de bombeamento.....	5
5. Considerações finais.....	9
REFERÊNCIAS.....	10

1. Introdução

O sistema de corte longitudinal de uma antiga máquina papelreira objeto deste estudo, tornou-se obsoleto com relação as tecnologias aplicadas na produção atual de papel, que fazia parte de uma realidade em que o produto papel, apresentava características de resistência mecânica inferiores e de exigências menores de velocidade de produção. A bomba centrífuga, equipamento do sistema de corte longitudinal, apresentou deficiências significativas, causando falhas no processo de corte da máquina de papel, muitas vezes imperceptíveis, causando rupturas de folha, e, conseqüentemente, a perda de produção.

Atualmente a polpa de celulose da madeira de eucalipto é largamente aplicada na escrever, proporcionando características fabricação de papel branco para imprimir e mecânicas específicas na produção de papel. Além do uso desta matéria prima, o aumento da "tecnologia dos acessórios da seção de formação das máquinas de papel (como nas caixas *foils*, nas caixas de sucção, nos rolos), e a melhoria dos produtos químicos específicos para conferir resistência mecânica ao papel" (ANDRIONI, 2006), dificultaram o processo de corte longitudinal na saída da mesa plana da antiga máquina de papel utilizada pela empresa, ao longo do tempo.

Assim o presente trabalho, apresenta uma análise de engenharia de confiabilidade, aplicada aos dados de falha registrados no processo de bombeamento centrifugo original comparando-a com uma análise similar feita no mesmo processo após a instalação de um novo sistema de bombeamento.

Esta análise de dados de vida ou LDA do inglês *Life Data Analysis*, foi conduzida por meio de uma ferramenta computacional denominada Weibull++¹, que proporciona um entorno computacional capaz de calcular os indicadores de confiabilidade para base de comparação e decisão de substituição de equipamentos ou sistemas.

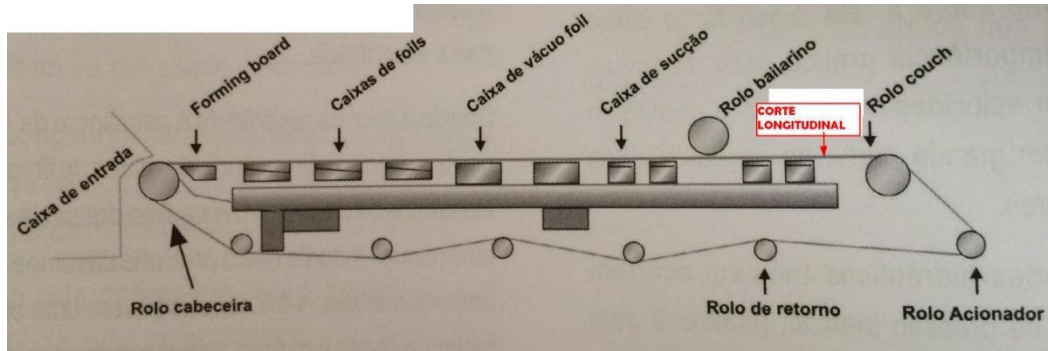
2. Apresentação do corte longitudinal

Na operação de uma máquina de papel, inúmeros conjuntos de equipamentos geram variáveis que influenciam diretamente no desempenho da produção de papel. O presente trabalho se dedica, em especial, a um destes conjuntos denominado corte longitudinal, também "conhecido como sistema Pichasso" (EQUIMAPEL, 2014). O corte longitudinal é

¹ Weibull++⁹ é uma marca da Reliasoft Corporation

instalado na mesa plana, antes do rolo de sucção, com o "objetivo de determinar a largura ideal da folha de papel" (STRUCK, 2014), de acordo com a Figura (1).

Figura 1 - Representação localização física corte longitudinal em uma Mesa Plana



Fonte – Adaptado de Andrioni (2006)

Um jato de água laminar é fundamental para um corte de qualidade da folha. Este jato deve ser fino, isento de ar e com pressão suficiente, para realizar o efeito de corte na folha, onde a mesma se encontra com uma resistência superficial alta Figura (2).

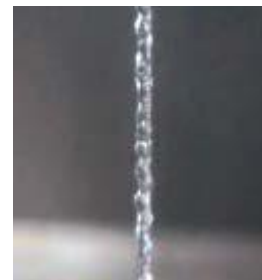
Ao contrário, um jato turbulento, como demonstra Figura (3), que possui ar intrínseco, com variação dimensional no diâmetro, contribui para redução da qualidade do corte da folha e surgimento de rupturas na mesma.

Figura 2 - Jato Laminar



Fonte – Struck (2014)

Figura 3 - Jato Turbulento



Fonte – Struck (2014)

O sistema original é composto pela unidade de bombeamento centrífugo Modelo de multiestágios, pressão de saída de 13 Kgf/cm², vazão 4,5 m³/min, motor 5CV, rotação 3500rpm, com bico ponta de rubi com diâmetro de 0,015” a 0,020” (0,38 a 0,51mm), que apresentava jato turbulento na produção, com o aumento da velocidade da máquina de papel.

2.1. Problemática do bombeamento

O Sistema de corte longitudinal original, da máquina em estudo, não acompanhou as melhorias no cenário de produção, como as tecnologias dos equipamentos de formação no processo de fabricação do papel, a evolução na genética das fibras de celulose e o aumento da velocidade da máquina de papel em busca de produções superiores.

A baixa pressão e a presença de ar na linha de água, propiciavam rupturas de folha ao longo da máquina de papel, prejudicando a produção e a estabilidade do processo de fabricação.

A bomba centrífuga era responsável pela produção das falhas constantes, ocasionando as rupturas de folha, motivadas pela: variação no jato de Pichasso, descontinuidade do fluxo do jato e variação de pressão de água no sistema.

Por se tratar de uma bomba centrífuga de rotor fechado, a sucção apresenta "cavitação devido a menor pressão absoluta, provocada pelo movimento do rotor, alcançando regiões de pressão superior à de vapor, onde se processa a implosão das cavidades (bolhas)" (TAKAMI, 2011).

2.2. Qualidade do jato

A implementação adequada do corte longitudinal está associada ao "dimensionamento da velocidade da máquina do papel correlacionado com a gramatura" (PERUSSOLO, 2004), que será fabricada conforme Tabela (1). A máquina estudada possui uma variabilidade de produção nas gramaturas de 45g/m² a 120g/m² com uma velocidade máxima de 800m/min na área de formação da folha. Na Tabela (2) verifica-se a pressão necessária para a nova bomba. Com o cruzamento de dados, o diâmetro de jato é 0,5mm e a pressão de 25Kgf/cm².

Tabela 1 - Dimensionamento de bocal

VPM em m/min	Área de gramagem em g/m ²					
	< 50	50 – 80	80 – 120	120 – 170	> 170	
< 500	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	Com velocidades da máquina inferiores a 500 m/min são aplicados bocais de feixe único.
500 – 750	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	
750 – 1000	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	Com velocidades mais elevadas, podem ser aplicados bocais de dois feixes.
1000 – 1250	0.4	0.4	0.4	0.5		
1250 – 1500	0.4	0.4	0.5			
1500 – 1750	0.4	0.4	0.5			Mas isto é determinado empiricamente.
> 1750	0.3	0.4				
Diâmetros dos bocais em mm (valores aproximativos)						

Fonte – Perussolo (2004)

Tabela 2 - Dimensionamento de pressão

Pressão da água em bar (valores aproximativos)					
10	15	20	25	30	35

Fonte: Perussolo (2004)

Conforme Kershaw (2007), a especificação da vazão necessária para a bomba manter a pressão de corte é definida na Tabela (3), obtendo-se o resultado de 0,79 l/min.

Tabela 3. Vazão água necessária na bomba

Pressão em bar	Diâmetro do jacto do bocal em mm							Velocidade do jacto em m/min
	Ø 0.30	Ø 0.40	Ø 0.50	Ø 0.60	Ø 0.70	Ø 0.80	Ø 0.90	
	Consumo de água em l/min							
10	0.18	0.32	0.5	0.72	0.98	1.29	1.63	2559
15	0.22	0.39	0.62	0.89	1.21	1.58	1.99	3134
20	0.26	0.45	0.71	1.02	1.39	1.82	2.3	3619
25	0.29	0.51	0.79	1.14	1.56	2.03	2.57	4046
30	0.31	0.56	0.87	1.25	1.71	2.23	2.82	4432
35	0.34	0.6	0.94	1.35	1.84	2.41	3.05	4787
40	0.36	0.64	1	1.45	1.97	2.57	3.26	5118

Fonte: Kershaw (2007)

3. Descrição da melhoria e justificativa de implantação

Considerando que a bomba instalada no sistema de corte longitudinal estava implementada desde o início operacional da planta de papel, no ano de 1982, e mesmo que as manutenções preventivas tinham sido executadas mantendo o equipamento no status de “tão boas quão nova” (SPANÓ, 2007). As manutenções periódicas na bomba, mesmo sob condições operacionais adequadas, não estavam garantindo a função do sistema, que continuava a falhar, pois o sistema não estava sendo analisado na totalidade.

As falhas que ocorriam no sistema, não obedeciam um dado temporal e eram influenciadas pelas gramaturas de produção do papel e as “revisões mecânicas somente contribuíam com o aumento de falhas caracterizadas pela mortalidade infantil” (SIQUEIRA, 2009).

Baseado em sua frequência de falhas o corte longitudinal foi determinado como um sistema crítico, por este motivo foi submetido a ferramenta FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis), considerando sua “significância para a segurança, disponibilidade e economia do processo” (SIQUEIRA, 2009). Esta ação definiu a função principal, a qual é de realizar o corte longitudinal do papel com pressão de 25 bar em uma vazão de 0,51 L/min.

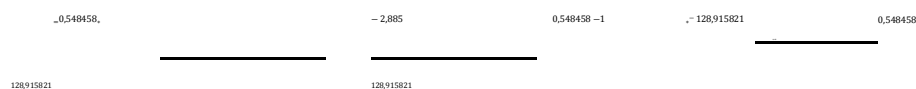
A partir destas considerações optou-se por substituir a bomba antiga. Na bomba implementada, a técnica de bombeamento foi alterada para multi-diafragmas hidráulicos, com deslocamento positivo proporcionando um fluxo linear, sem pulsações do líquido, com ausência de sistema de gaxeta ou selo mecânico e “respeitando a acuracidade entre fluxo e velocidade linear em +- 3% conforme norma API675” (LEITE, 2011). O modelo implementado é G10 com cabeçote aço inox válvulas em aço inox, motor 8 polos, 3CV, 800rpm, pressão 3 a 69 bar, 0,5 a 36 l/min, auto escorvante.

4. Avaliação da efetividade do novo sistema de bombeamento

Os dados de campo foram obtidos através de registros de falhas na operação da máquina de papel, ocorridas com os componentes da bomba, durante 5 anos. Esta coleta de informações proporcionou os tempos de falhas da máquina originados pela ruptura da folha de papel.

Estes tempos de falhas são considerados uma variável aleatória que como tal, pode ser regida por uma função estatística e a tarefa seguinte seria então ajustar estes dados a uma distribuição estatística conhecida que, uma vez descoberta, podemos obter as medidas ou métricas principais a saber: função densidade de falhas ($f(t)$ – fdf), função densidade acumulada de falhas ($F(t)$ – dcf), a função de sobrevivência do sistema conhecida como função de confiabilidade ($R(t)$ do inglês “*reliability*”), a função de não sobrevivência ou função de não confiabilidade ($F(t)$) e a função taxa de falha ou de risco do sistema ($\lambda(t)$ toda esta análise do sistema, pode ser designada como Análise de Dados de Vida que compreende os "conceitos estatísticos fundamentais para se analisar e calcular as medidas da Engenharia da Confiabilidade" (SPANÓ, 2011).

Assim de posse dos dados de falha do sistema de bombeamento antigo e estabelecendo o processo de ajuste estatístico por meio do método da máxima verossimilhança, no software Weibull ++ ,chegou-se a uma distribuição Weibull com três parâmetros cuja função densidade de falhas é dada por:



β (beta) – parâmetro de forma (ou inclinação) – 0,548458 adimensional;

η (eta) – parâmetro de escala (vida característica) - 128,915821 horas;

γ (gama) – parâmetro de localização (vida mínima) - 2,885 horas;

A tabela (4) demonstra os parâmetros obtidos pelo software:

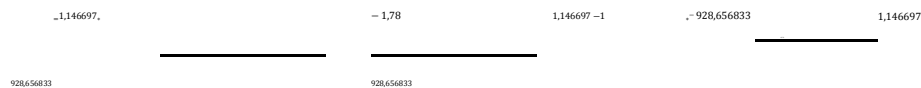
Tabela 4 – Weibull bombeamento antigo

Parâmetros	
Distribuição:	Weibull-3P
Análises:	MLE
Método do IC:	FM
Ranqueando:	MED
Beta	0,548458
Eta (h)	128,915821
Gama (h)	2,885
Valor da LK	-918,468791
F \ S	153 \ 0

Fonte: Autoria Própria por Weibull++9 Reliasoft (2014)

A distribuição Weibull é um dos modelos mais utilizados na análise da confiabilidade dos sistemas devido suas características de plasticidade dadas pelos seus parâmetros, beta, eta e gama. No caso do sistema de bombeamento antigo um beta inferior a 1(um) indica uma taxa de falha decrescente própria dos sistemas que falham prematuramente. Isto é corroborado pelo parâmetro eta que, entre outras interpretações, significa que 63,2% das falhas ocorreram no tempo de 128, 92 horas ou seja muito no início do ciclo de vida do equipamento. O parâmetro de localização gama de 2,885 horas que, dentre outras interpretações, indica que este foi o período em que o sistema teve sua confiabilidade igual a 100% ao longo do ciclo de vida identificado. Gama representa um deslocamento no eixo “x”, isto é, translada o início da distribuição para um valor diferente de zero. O parâmetro gama não produziu informações conclusivas sobre o desempenho do sistema.

Com os dados de falhas do novo sistema de bombeamento instalado chegou-se a uma função densidade de falhas dada por:



β (beta) – parâmetro de forma (ou inclinação) – 1,146697 adimensional;

η (eta) – parâmetro de escala (vida característica) - 928,656833 horas;

γ (gama) – parâmetro de localização (vida mínima) - 1,78 horas;

Analisando o modelo obtido com a análise de dados de falha do sistema de bombeamento novo observou-se um $\beta > 1$ indicando taxa de falha crescente ou seja indicando a tendência de aumento do número de falhas com o envelhecimento do sistema. Com uma vida característica de 928,66 horas, 7,2 vezes maior que a do sistema antigo. Da mesma maneira como no sistema anterior o parâmetro gama não produziu informações conclusivas.

Tabela 5 – Weibull bombeamento novo

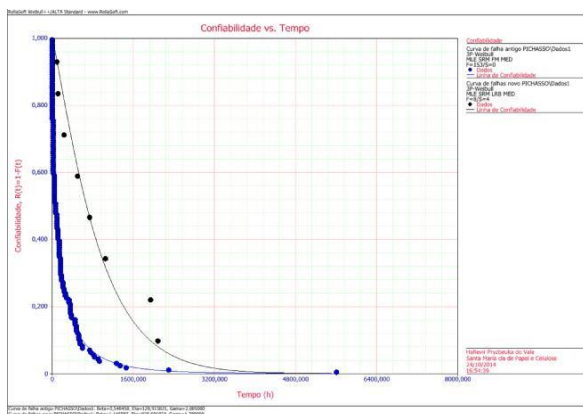
Parâmetros	
Distribuição:	Weibull-3P
Análises:	MLE
Método do IC:	LRB
Ranqueando:	MED
Beta	1,146597
Eta (h)	928,656833
Gama (h)	1,78
Valor da LK	-62,290128
F \ S	8 \ 4

Fonte: Autoria Própria por Weibull++9 Reliasoft (2014)

Sendo assim a Análise de Dados de Vida, permite a visualização do modelo de um comportamento probabilístico ao longo do tempo. A coleta de dados foi embasada nas falhas encontradas no período. O gráfico (1) demonstra a curva da função densidade de probabilidade da bomba nova, sobreposta ao equipamento antigo, evidenciando que o sistema antigo possuía uma maior densidade de falhas no início de seu período de operação.

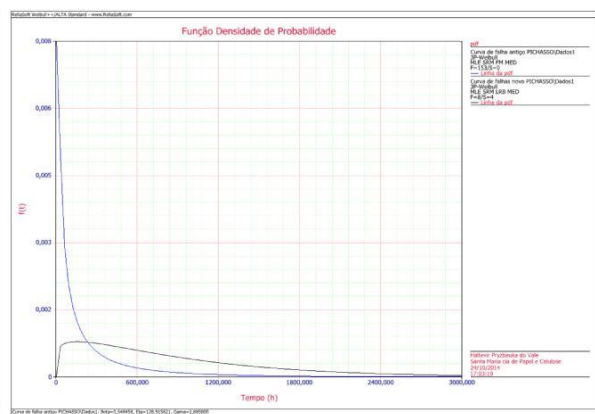
No gráfico (2) verifica-se que a bomba nova implementada reduziu as falhas iniciais indicada por uma confiabilidade visivelmente maior até as 3200 horas de operação.

Gráfico 1 – Confiabilidade versus tempo



Fonte: Weibull++9 Reliasoft (2014)

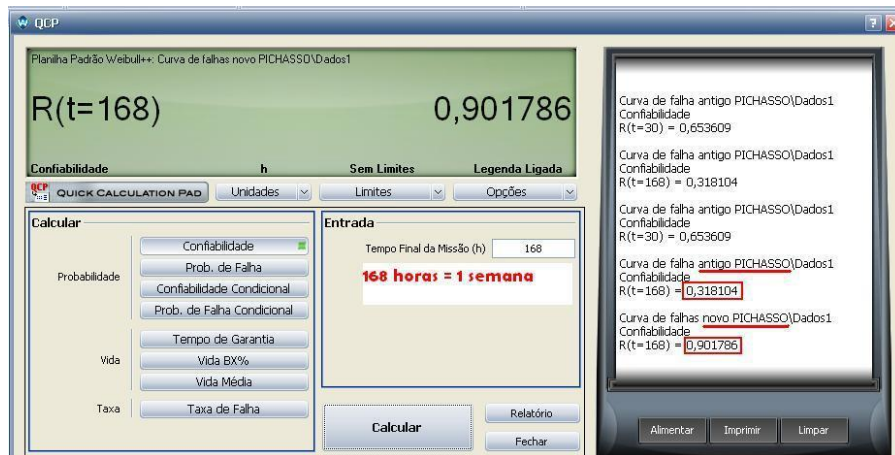
Gráfico 2 – Função densidade de falhas



Fonte: Weibull++9 Reliasoft (2014)

Realizando-se o cálculo da confiabilidade para uma semana de operação ou 168 horas para ambos os sistemas pode-se observar, um aumento da confiabilidade no sistema de bombeamento do corte novo, conforme cálculo na ferramenta QCP do software Weibull++9 Figura (3), para 90,1786% enquanto que no sistema anterior, havia uma confiabilidade de 31,8104% para o mesmo tempo, comprovando assim a assertividade da melhoria do bombeamento implementado.

Figura 3 – Demonstração do calculo de confiabilidade entre as bombas



Fonte: adaptado Weibull++9 Reliasoft (2014)

5. Considerações finais

O bombeamento do sistema de corte longitudinal, apresentava falhas inerentes ao projeto do sistema, amplificado pelo aumento de velocidade da máquina de papel durante os anos que a máquina necessitou aumentar a produção como também pelos requerimentos da nova matéria prima. O sistema antigo apresentou um MTBF (*“Mean Time Between Failures”* –

Tempo Médio entre falhas) de 223,30 horas enquanto que o MTBF do novo sistema foi de 919,64 horas indicando a melhoria da confiabilidade do sistema

A aplicação da melhoria no projeto, resultou a empresa de fabricação de papel a eliminação de quebras falha diárias. É importante que este estudo continue sendo monitorado pela empresa, com a intenção de identificar melhorias compatíveis a nova condição de operação. Com a redução de potência e o número de revoluções por minuto aplicado a nova bomba, a equipe de manutenção poderá aplicar, em um segundo momento, a análise do crescimento da confiabilidade pela metodologia de Crow-AMSSA, para buscar uma nova condição de deterioração, bem como, definir a nova periodicidade de manutenção do equipamento.

REFERÊNCIAS

ANDRIONI, J. Luís, Livro **Fabricação de Papel - Formação da Folha**, Vol II, SENAI, 2006, p. 41

EQUIMAPEL, Descrição equipamento **Pichasso**. Disponível em: <www.equimapel.com.br/produto/view/pichasso-automatico-pichasso-automatico-corte-transversal#.VLPYFCvF_T8> Acesso em 10 nov 2014.

KERSHAW, Chris and STRUCK, Hans J, **Edge trim installations in the forming section**, Heimbach UK Ltd and PMS Gmbh, Offenburg, 2007, pp 02-05

LEITE, Arthur, Tetralon, Representante bombas Hydra-cell, **Apresentação Papel e Celulose**, 2011, p. 18

PERUSSOLO, Luiz Tadeu, Apostila **Como Ajustar um Bico de Corte na Seção de Formação**, Santa Maria Companhia de Papel e Celulose, Guarapuava, Paraná, Brasil, 2004, p. 02-09.

RELIASOFT, Synthesis Launcher, Software módulo **Weibull++9**, Edição Padrão, Tipo licença Educacional, validade 03/2015

SIQUEIRA, Iony Patriota, **Manutenção Centrada na Confiabilidade**, Manual de Implementação, 1ª Reimpressão, Ed. Qualitymark, 2009, p. 13-15, 93.

SPANÓ, Claudio, Reliasoft, **Procedimento de Especificação da Confiabilidade**, 2011, pp 11-12.

SPANÓ, Claudio, Reliasoft, **Procedimento para Especificar a Confiabilidade de Equipamentos**, 2007, p. 14.

STRUCK, Hans J., **Trim nozzles for modern Papers Machines**, Papiermaschinen-Systemtechnik GmbH, Represented By CBTI in Brazil, article, Campinas, Brazil, 2014, p. 01-09.

TAKAMI, Renato, Apostila de **bombas**, 2011 pp. 03-04. Disponível em:<www.dequi.eel.usp.br/~tagliaferro/Apostila_de_Bombas.pdf>, Acesso em: 5 nov 2014.