

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO - DIRPPG  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE**

**ANDERSON INSLEY FERIANI**

**DEFINIÇÃO DE TEMPO ÓTIMO DE  
MANUTENÇÃO (*OVERHAUL*) DE AMARRADEIRAS DE FARDOS  
DE CELULOSE SECA – INDÚSTRIA DE CELULOSE**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2016**

**ANDERSON INSLEY FERIANI**

**DEFINIÇÃO DE TEMPO ÓTIMO DE  
MANUTENÇÃO (OVERHAUL) DE AMARRADEIRAS DE FARDOS  
DE CELULOSE SECA – INDÚSTRIA DE CELULOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano.

**CURITIBA**

**2016**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **DEFINIÇÃO DE TEMPO ÓTIMO DE MANUTENÇÃO (*OVERHAUL*) DE AMARRADEIRAS DE FARDOS DE CELULOSE SECA – INDÚSTRIA DE CELULOSE**

por

**ANDERSON INSLEY FERIANI**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado quinze de dezembro de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano  
Prof. Orientador

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
UTFPR

---

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
UTFPR

Às minhas filhas Danielle e Millena, pela paciência, compreensão pelos dias ausentes para que eu pudesse realizar este curso de Pós Graduação e em especial à minha esposa Carolina, pelo incentivo constante nos momentos de dificuldade, sempre mostrando a importância do curso na minha carreira, bem como a todos os professores desta Nação pela dedicação incondicional à nobre arte de ensinar e educar.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela minha vida, à minha família, aos professores Inácio, Mariano, Rigoni e Marcelo, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, aos consultores Miguel, Cláudio, Mazzei e Monteiro da Reliasoft e a os colegas de turma pela ótima convivência.

Se você só sabe, não sabe se faz, mas se você faz, sabe que sabe.

(SILVA, Edson Pereira da, 2011 em sala de aula)

## RESUMO

FERIANI, Anderson Insley. **Definição de tempo ótimo de manutenção (*overhaul*) em amarradeiras de fardos de celulose seca – Indústria de Celulose**. 2016. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho tem por objetivo demonstrar a definição de tempo ótimo de manutenção (*overhaul*) em amarradeiras de fardos de celulose seca, localizada na linha de embalagens da máquina de secagem, dentro de uma indústria de grande porte, de produção de celulose. Tem como premissa apresentar ao corpo gerencial da empresa a situação atual e, através de ferramentas de Engenharia de Confiabilidade e simulações, mostrar o melhor momento de manutenção das amarradeiras levando em consideração a disponibilidade, o custo de manutenção e produção. Inicia-se demonstrando através de simulação pelo modelo Crow-AMSSA, com base em dados reais da instalação, sobre a tendência do tempo médio entre falhas. Continua, com demonstração através da metodologia de Crescimento da Confiabilidade (RGA), que a continuidade do modelo de manutenção atual com as trocas pontuais em componentes do sistema das amarradeiras não será suficiente para se manter um nível de confiabilidade desejado, sendo necessária uma grande manutenção no momento adequado, e calculado pelas ferramentas de Confiabilidade, devolvendo a condição de tão bom quanto novo (AGAN) aos ativos estudados. Por se tratar de uma proposta, este trabalho dará ao corpo gerencial mais uma opção de análise e tomada de decisão quanto aos investimentos e economias de manutenção de seus ativos baseada em conceitos de Confiabilidade.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. *Overhaul*. RGA. AGAN. Crow-AMSAA.

## ABSTRACT

FERIANI, Anderson Insley. **Definição de tempo ótimo de manutenção (*overhaul*) em amarradeiras de fardos de celulose seca – Indústria de Celulose**. 2016. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) - Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2016.

This study aims to demonstrate a definition of maintenance great time (*overhaul*) in tie's machine dry pulp bales, located in the line of the drying machine packaging within a large industry, pulp production. Is premised present to the management team of the company and the current situation through Reliability Engineering tools and simulations show the best time of maintaining tie's machine taking into account the availability, cost of maintenance and production. It begins by showing simulation by Crow-AMSSA model based on actual data installation on the trend of the average time between failures. Continues with demonstration through the Reliability Growth methodology (RGA), the continuity of the current maintenance model with specific changes in the tie's machine system components will not be enough to maintain a desired level of reliability, requiring a large maintenance at the right time, and calculated the reliability tools, restoring the condition as good as new (AGAN) to the studied assets. Because it is a proposal, this work will give the management team more option analysis and decision-making as to investments and maintenance savings of its assets based on reliability concepts.

**Keywords:** Reliability. *Overhaul*. RGA. AGAN. CROW-AMSSA.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais partes da Amarradeira.....	18
Figura 2 – Foto da amarradeira na área de testes (reserva) .....	19
Figura 3 – Preventiva na Unidade de Tratamento de ar .....	20
Figura 4 – Preventiva nas Válvulas Direcionais e Limpador de trilhos.....	21
Figura 5 – Preventiva na Estrutura da Amarradeira .....	22
Figura 6 – Preventiva no Dispositivo de Alimentação e Polia da Amarradeira .....	23
Figura 7 – Preventiva do Dispositivo de Alimentação e Polia da Amarradeira.....	24
Figura 8 - Foto do dispositivo de alimentação e polia .....	25
Figura 9 - Foto do mecanismo de controle de tensão do arame.....	25
Figura 10 – Preventiva no Sistema de Trilhos da Amarradeira .....	26
Figura 11 – Preventiva no Sistema de Trilhos da Amarradeira .....	27
Figura 12 - Preventiva no Mecanismo de Torção da Amarradeira .....	28
Figura 13 - Preventiva no Mecanismo de Torção da Amarradeira .....	29
Figura 14 - Foto do mecanismo de torção.....	30
Figura 15 - Foto dos componentes do mecanismo de torção e corte.....	30
Figura 16 - Planilha de Torque de aperto das juntas aparafusadas .....	31
Figura 17 - Lista de todos os componentes de desgaste para <i>overhaul</i> . .....	32
Figura 18 - Gráfico do MTBF crescente no tempo .....	34
Figura 19 - Gráfico do MTBF decrescente no tempo .....	35
Figura 20 - Gráfico do MTBF constante no tempo .....	36
Figura 21 - Exemplo de algoritmo de criticidade .....	39
Figura 22 – Relatório de desvios e ocorrências .....	42
Figura 23 - Gráfico de Operação do Sistema em Função do Tempo .....	45
Figura 24 - Gráfico do MTBF em Função do Tempo, para Tempo até Falha.....	46
Figura 25 - Planilha de cálculos RGA – Beta > 1 = degradação .....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de Equipamentos (TAG's) das amarradeiras .....	17
Tabela 2 - Exemplo de questionário de criticidade .....	38
Tabela 3 – Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA001A (dias) .....	43
Tabela 4 – Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA001B (dias) .....	43
Tabela 5 – Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA002 (dias) .....	43
Tabela 6 – Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA006 (dias) .....	44
Tabela 7 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA003 (dias) .....	44
Tabela 8 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA004 (dias) .....	44
Tabela 9 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA007 (dias) .....	45
Tabela 10 - Custos das Amarradeiras em Reais .....	48
Tabela 11 - Melhores datas para <i>Overhaul</i> das Amarradeiras .....	49
Tabela 12 - Revisão da Classificação de Criticidade- Hierarquia das Amarradeiras.	50

## **LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS**

### **LISTA DE SIGLAS**

AMA	Amarradeira
MNT	Manutenção
OPR	Operação
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

### **LISTA DE ACRÔNIMOS**

AMSAA	US Army Material Systems Analysis Activity
IPL	Do Inglês, Lei da Potência
LI	Local de Instalação
MTBF	Do Inglês, Tempo Médio entre Falhas
MTTR	Do Inglês, Tempo Médio para Reparo
OREDA	Offshore Reliability Data
QCP	Calculadora Específica para Cálculos de Confiabilidade
RBD	Do Inglês, Diagrama de Blocos de Confiabilidade
RGA	Do Inglês, Análise de Crescimento da Confiabilidade
TAG	Do Inglês, etiqueta de identificação (do componente ou equipamento)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OPORTUNIDADE, JUSTIFICATIVA E OBJETIVO.....	13
1.2 LINHA DE EMBALAGEM – FUNÇÃO DAS AMARRADEIRAS.....	14
1.3 METODOLOGIA UTILIZADA.....	15
1.4 RESULTADOS ESPERADOS.....	15
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
<b>2 DETALHAMENTO DOS SISTEMAS ESTUDADOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 EXPLICAÇÕES PRELIMINARES.....	17
2.2 DETALHAMENTO DAS AMARRADEIRAS.....	18
2.3 DETALHAMENTO DOS COMPONENTES DAS AMARRADEIRAS.....	31
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>33</b>
3.1 ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE.....	33
3.2 CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE.....	37
3.3 INDICADORES.....	39
<b>4 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE</b> .....	<b>40</b>
4.1 ANÁLISE PELA TENDÊNCIA: APLICAÇÃO DE TÉCNICA DE RGA.....	40
4.1.1 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS.....	41
4.1.2 APRESENTAÇÃO DOS CÁLCULOS DE RGA E TENDÊNCIAS.....	45
4.2 DEFINIÇÃO DO MELHOR MOMENTO PARA <i>OVERHAUL</i> .....	47
4.3 REVISÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE.....	49
4.4 INDICADORES.....	51
<b>5 ANÁLISE DE RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES</b> .....	<b>52</b>
5.1 COMENTÁRIOS SOBRE A ANÁLISE E ITENS ABORDADOS.....	52
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>
<b>ANEXO A</b> - Localização de cada amarradeira na linha de embalagem de fardos de celulose.....	<b>55</b>
<b>ANEXO B</b> - Hierarquia de TAG's ou LI's dos ativos na linha de embalagem, relacionados as amarradeiras.....	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Realizar tarefas de manutenção em equipamentos de tecnologia de ponta empregados em linhas de fabricação “enxuta” é um grande desafio para a manutenção para manter a disponibilidade e confiabilidade no decorrer dos anos e principalmente com o desgaste natural dos componentes que compõem os ativos.

É natural, com o desgaste dos componentes, que os ativos apresentem redução em sua disponibilidade e exijam aperfeiçoamento da estratégia de manutenção. Caso contrário, se terá redução de produção e maior custo de manutenção.

Será apresentado a seguir um estudo de confiabilidade baseado na metodologia de Crescimento da Confiabilidade.

### 1.1 OPORTUNIDADE, JUSTIFICATIVA E OBJETIVO.

Este trabalho aborda um conjunto de 7 amarradeiras de fardos de celulose que fazem parte de uma linha de embalagem de celulose seca de uma máquina de secagem que produz aproximadamente 1.000 toneladas de celulose seca por dia em regime de 24 horas.

Estas amarradeiras estão instaladas desde outubro de 2005 e tem um plano de manutenção sistemático específico, executado pelo time de manutenção da máquina em uma amarradeira por semana. Elas trabalham com estratégia de rodízio, uma vez que existem 3 amarradeiras em linha com a produção e 4 amarradeiras de reserva. Em 2015 observou-se, baseada em sentimento e experiência, a redução da disponibilidade das amarradeiras, com o aumento do MTBF. Mediante a necessidade de manutenção das metas de produção, foi solicitado pelo corpo gerencial, a avaliação para identificar qual melhor tratativa para devolver a disponibilidade das amarradeiras na linha de produção. Análises de estratégia de sobressalentes, revisão das manutenções preventivas sistemáticas, rotinas operacionais e até mesmo a aquisição de novas amarradeiras foram levadas em consideração. Com isso surgiu a oportunidade de utilização de metodologias de

confiabilidade, entre elas o RGA (do inglês, Análise do Crescimento da Confiabilidade), para determinar o tempo ótimo de *overhaul* das amarradeiras.

## 1.2 LINHA DE EMBALAGEM – FUNÇÃO DAS AMARRADEIRAS

Em uma máquina de fabricação de celulose seca, após a celulose atingir 90% de teor seco, as folhas de celulose são cortadas e empilhadas em fardos com peso aproximado de 280 kg. A formação dos fardos é o início da linha de embalagem. Dentro da linha de embalagem, considerada a área de acabamento de uma máquina secadora de celulose, existem vários equipamentos, responsáveis por cada etapa da embalagem do fardo de celulose seca. A sequência inicia-se pela prensagem do fardo, executada por uma prensa hidráulica de 1.500 toneladas de força. Em seguida o fardo é encapado por uma folha maior de celulose seca. Na sequência temos a primeira amarração, executada pela primeira amarradeira de modelo BME-1006, que utiliza arames de aço de 2,18mm de diâmetro. Na próxima etapa, pós um giro de 90 graus, é executada uma segunda amarração do fardo com arame de aço de 2,18mm de diâmetro, realizada pela segunda amarradeira da linha, também modelo BME-1006, e por fim a impressão da identificação de cada fardo. Os fardos são então empilhados em duas pilhas de 4 fardos. Uma terceira amarradeira, modelo BBE-2124, faz a amarração com arame de 3,00mm e diâmetro, dos 8 fardos que ficam prontos para transporte e são retirados da linha por uma empilhadeira. Temos, portanto 2 amarradeiras BME-1006 em linha de produção e 2 amarradeiras BME-1006 de reserva, prontas para substituição na linha a qualquer momento. Nos fardos empilhados temos uma amarradeira BBE-2124 em linha de produção e 2 amarradeiras BBE-2124 de reserva, prontas para substituição na linha de produção a qualquer momento. Todas as 7 amarradeiras tem a mesma função em diferentes pontos da linha de embalagem da máquina. Apesar de terem uma função específica, as amarradeiras são sistemas complexos com inúmeros componentes de desgaste. Por estes motivos serão analisadas igualmente na metodologia.

O Anexo A mostra a localização de cada amarradeira na linha de embalagem.

O Anexo B mostra a hierarquia de TAG's ou LI's dos ativos na linha de embalagem, relacionados às amarradeiras.

### 1.3 METODOLOGIA UTILIZADA

Para a elaboração deste trabalho, o principal ponto foi comprovar por meio de metodologia de confiabilidade a decisão gerencial inicial para *overhaul* das amarradeiras no corrente ano de 2016, baseada no sentimento do time de operação e manutenção. Geralmente a tomada de decisão baseada na experiência é muito conservadora e em sua maioria leva a custos altos de manutenção em curto espaço de tempo, onde, por meio de programação baseada em cálculos, seria possível diluir os custos ao longo dos anos sem comprometer o desempenho. Nota-se uma redução do MTBF (do inglês, tempo médio entre falhas) das amarradeiras no decorrer do tempo, mas, sem informações calculadas e principalmente baseadas nos dados e fatos, o atingimento da melhor gestão dos ativos se torna ineficaz.

Desta forma e face à redução do MTBF (do inglês, tempo médio entre falhas), com o decorrer do tempo, foi calculado o tempo ótimo de se realizar o *overhaul* dos ativos, agora com todo o levantamento de dados e com base no modelo de crescimento de confiabilidade de CROW-AMSAA.

### 1.4 RESULTADOS ESPERADOS

Com esse trabalho o resultado esperado é sensibilizar os gestores da empresa sobre o atual MTBF das amarradeiras, a variação da confiabilidade e disponibilidade, com base nos cálculos de RGA (do inglês, Análise do Crescimento da Confiabilidade), propondo o melhor momento de realizar uma grande manutenção (*overhaul*) em cada uma das amarradeiras. Como avaliação complementar objetivando maior segurança até o momento de cada *overhaul*, serão exploradas as oportunidades de revisão da classificação da criticidade, criação de indicadores e melhorias nas preventivas sistemáticas existentes responsáveis pelo atual desempenho dos ativos estudados.

Vale ressaltar que todas as amarradeiras são consideradas neste estudo como sistemas, pela complexidade e quantidade de componentes de desgaste. São críticas, baseada na classificação de criticidade atual.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado de forma a trazer no capítulo 2 um detalhamento do sistema estudado para melhor entendimento do conteúdo abordado.

No capítulo 3 uma breve explanação sobre a metodologia utilizada, denominada RGA (do inglês, Análise do Crescimento da Confiabilidade), complementada pelo estudo de Classificação de Criticidade e também pelos Indicadores de Manutenção.

O capítulo 4 apresenta a aplicação da metodologia na prática, com base nas premissas apresentadas no capítulo 3.

O capítulo 5 traz a análise dos resultados e relatórios gerados pelos softwares utilizados trazendo a proposta de programação das manutenções, bem como revisão da criticidade e novos indicadores para apoiar as próximas manutenções.

O capítulo 6 conclui o trabalho.

## 2 DETALHAMENTO DOS SISTEMAS ESTUDADOS

Conforme descrito no capítulo 1, o Anexo A explicita a localização das amarradeiras dentro da linha de embalagem, objeto do estudo.

Em detalhamento do anexo A, limita-se o estudo as 7 amarradeiras da linha de embalagem, com TAG's da tabela 1 abaixo.

**Tabela 1 - Lista de Equipamentos (TAG's) das amarradeiras**

<b>LI</b>	<b>Descrição</b>	<b>Modelo</b>
L1CS70-513AMA001A	AMARRADEIRA 1A FARDOS SECADORA	BME-1006
L1CS70-513AMA001B	AMARRADEIRA 1B FARDOS SECADORA	BME-1006
L1CS70-513AMA002	AMARRADEIRA 2 FARDOS RESERVA) SECADORA	BME-1006
L1CS70-513AMA003	AMARRADEIRA 3 FARDOS UNITIZADORA SECA	BBE-2124
L1CS70-513AMA004	AMARRADEIRA 4 FARDOS UNITIZ RESERVA SECA	BBE-2124
L1CS70-513AMA006	AMARRADEIRA 6 FARDOS SECADORA RESERVA)	BME-1006
L1CS70-513AMA007	AMARRADEIRA 7 FARDOS UNITIZ SECA RESERVA	BBE-2124

**Fonte: Autoria própria**

## 2.1 EXPLICAÇÕES PRELIMINARES

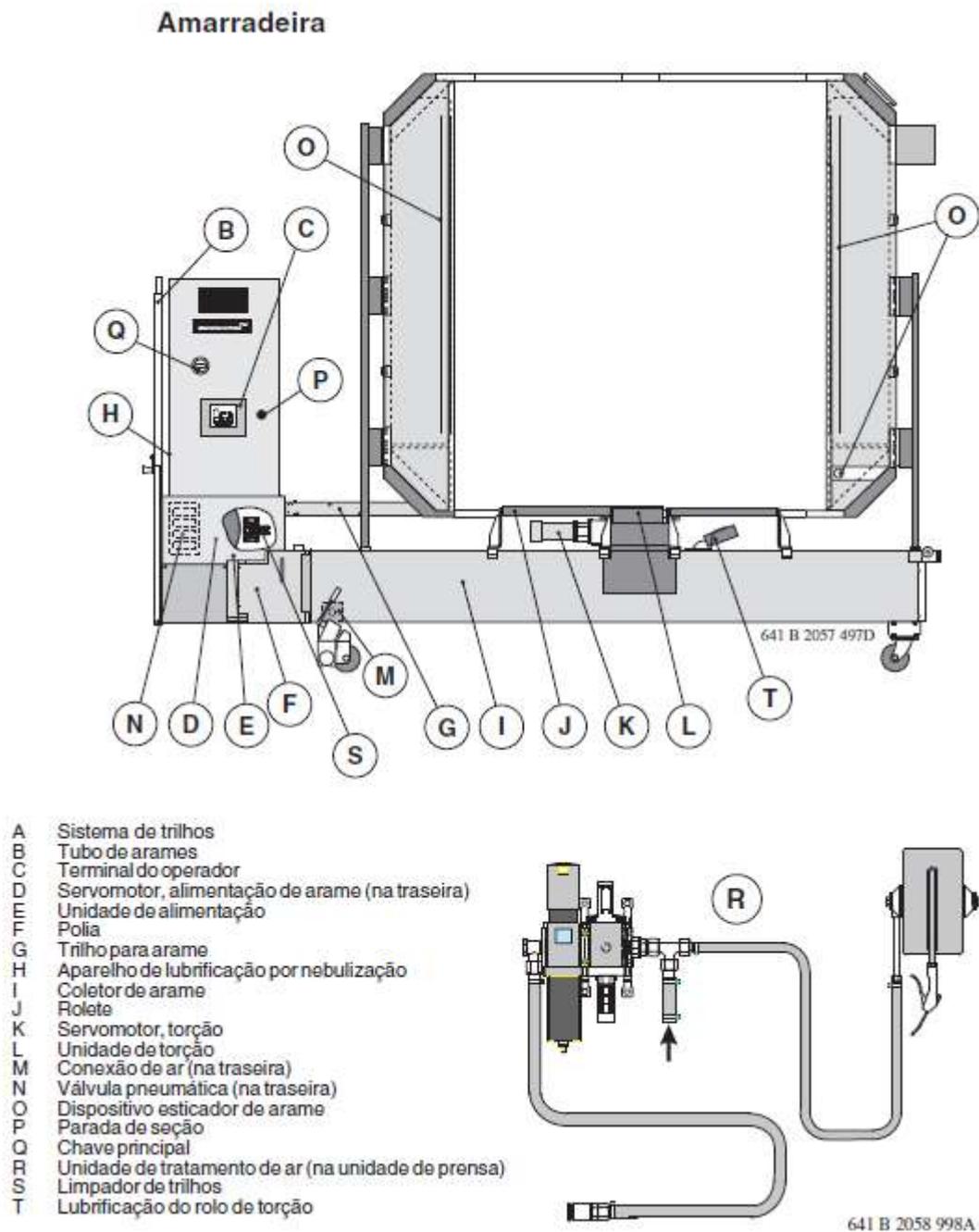
É importante ressaltar os motivos e a forma do detalhamento apresentado.

Cada amarradeira é considerada um sistema, por ter inúmeros componentes elétricos, mecânicos, eletrônicos, pneumáticos e de controle e automação interagindo entre si para um bom funcionamento.

Com o decorrer da análise nos capítulos posteriores será comentado sobre a opção de utilização de determinados dados ao invés de outros dados também disponíveis e que foram levantados. Neste momento o que se espera entender é que a aplicação do resultado se dá a uma determinada parte da máquina, onde as amarradeiras estão instaladas e não na máquina como um todo. Existem casos em que a abordagem e os resultados podem ter um outro ponto de vista e expectativas, diferentes do ponto de vista apresentado neste trabalho. Tudo é baseado na análise de melhor custo benefício e na realidade de cada conjunto de ativo estudado.

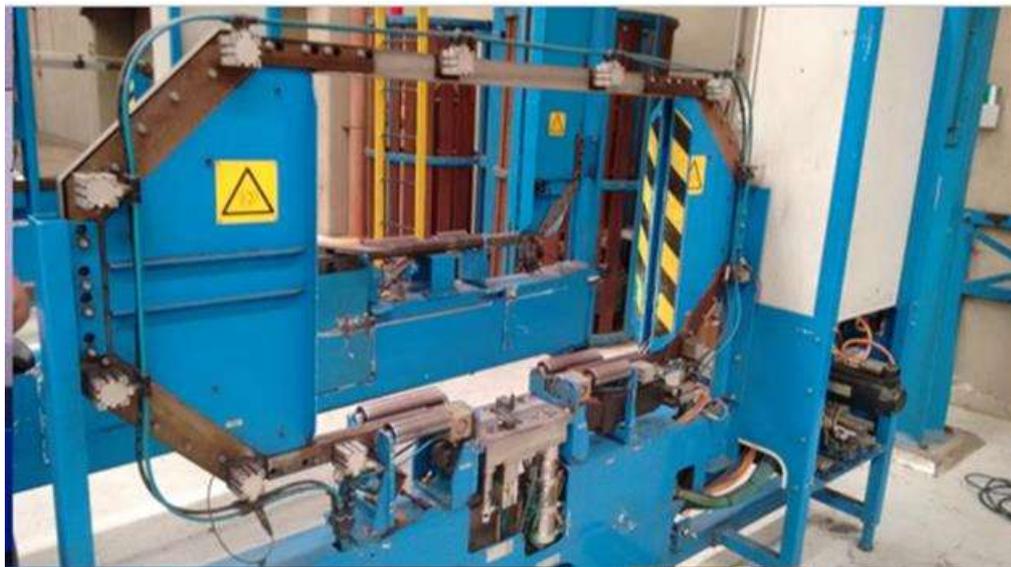
## 2.2 DETALHAMENTO DAS AMARRADEIRAS

Na figura 1, as principais partes de uma amarradeira.



**Figura 1 – Principais partes da Amarradeira**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer - Empresa**

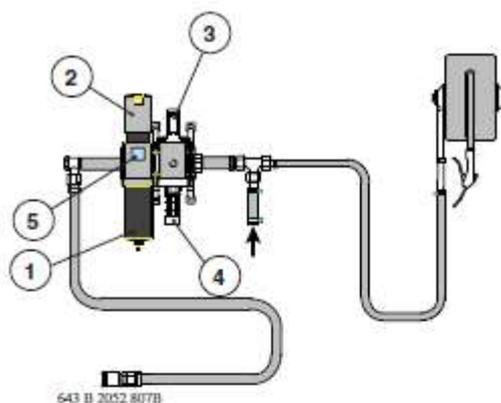
Na figura 2, foto da amarradeira em campo durante execução de preventiva sistemática.



**Figura 2 – Foto da amarradeira na área de testes (reserva)**  
**Fonte: Empresa**

A figura 3 mostra o detalhamento da manutenção preventiva sistemática executada na unidade de tratamento de ar.

Unidade de tratamento de ar

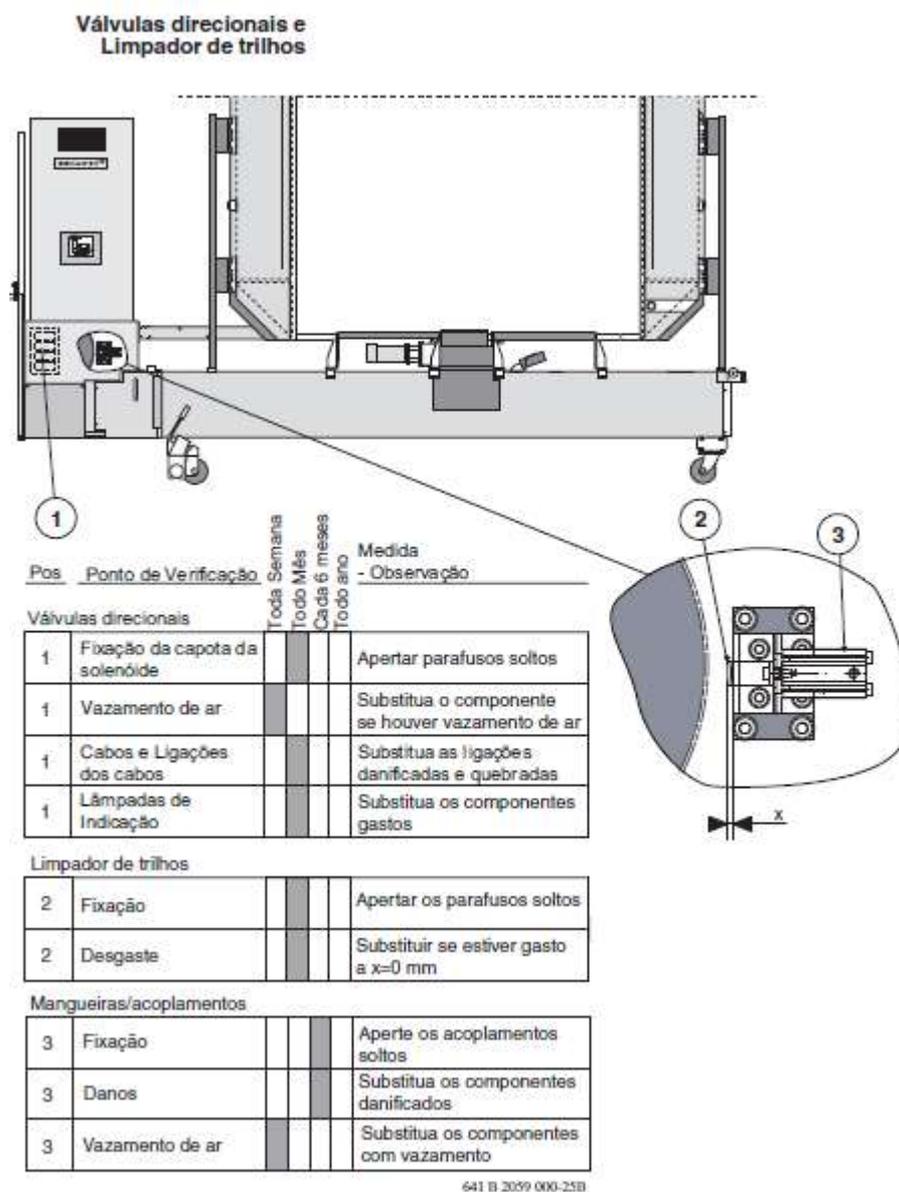


Pos	Ponto de Verificação	Toda Semana	Todo Mês	Cada 6 meses	Todo ano	Medida - Observação
<b>Filtro</b>						
1	Evacuação do condensado					Verifique pelo condensado. Se descoberto, preste atenção à causa deste
1	Nível de fluido					Se houver condensado, verifique a qualidade do ar e preste atenção a isto
<b>Regulador de pressão</b>						
2	Pressão					Verifique se a pressão está em 6 bar
2	Vazamento de ar					Substitua os componentes com vazamento
<b>Válvula de fechamento</b>						
3	Vazamento de ar					Substitua a válvula se houver vazamento
<b>Abafador de som</b>						
4	Barulho					Substitua o silenciador se estiver sujo, quebrado ou danificado
<b>Regulador de pressão</b>						
5	Função					Verifique se ele está funcionando e indicando 6 bar
5	Vazamento de ar					Substitua componente com vazamento

643 B 2015 384-25C

**Figura 3 – Preventiva na Unidade de Tratamento de ar**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer - Empresa**

A figura 4 mostra o detalhamento da manutenção preventiva sistemática executada nas válvulas direcionais e limpador de trilhos.



**Figura 4 – Preventiva nas Válvulas Direcionais e Limpador de trilhos**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa**

A figura 5 mostra o detalhamento da manutenção preventiva sistemática executada na estrutura da amarradeira.

**Estrutura**

Pos. Ponto de Verificação

Medida - Observação

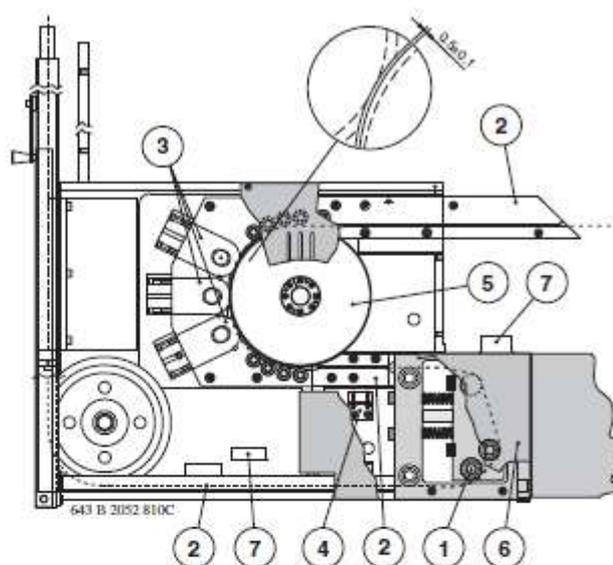
Pos.	Ponto de Verificação	Toda Semana	Todo Mês	Cada 6 meses	Todo ano	Medida - Observação
<b>Mangueiras/Acoplamentos</b>						
1	Fixação					Apertar acoplamentos soltos
1	Danos					Substituir componentes danificados
1	Vazamento de ar					Substituir equipamentos com vazamentos
<b>Cabos elétricos</b>						
2	Fixação					Espanamento dos cabos soltos
2	Danos Mecânicos					Substituição dos cabos danificados
<b>Rolos transportador</b>						
3	Fixação					Substitua os rolos danificados
3	Ajuste do rolamento					Quando o ajuste do rolamento não for satisfatório, substitua o rolamento/rolo
<b>Ajuste da roda</b>						
4	Condição geral					Substitua a roda/rolamento danificado

641 B 2058 999-25A

**Figura 5 – Preventiva na Estrutura da Amarradeira**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa**

As figuras 6 e 7 mostram o detalhamento da manutenção preventiva sistemática executada no dispositivo de alimentação e polia da amarradeira.

Dispositivo de alimentação e polia



Pos	Ponto de Verificação	Medida	Observação
		Toda Semana Todo Mês Cada 6 meses Todo ano	
Limpeza (Dispositivo de alimentação)			
-	Limpeza com ar comprimido	Todo turno	(Veja também a seção "Sopro limpo")
-	Desmontagem e limpeza		Substitua as partes gastas
Polia			
1	Desgaste		Substitua de vido ao desgaste desigual
1	Ajuste do rolamento		Substitua quando houver folga ou desgaste
1	Fixação		Aperte os parafusos soltos
Guiamento de fio			
2	Fixação		Aperte os parafusos soltos
2	Desgaste		Substitua se gasto 0.5 -1 mm

643 B 2015 424-25A

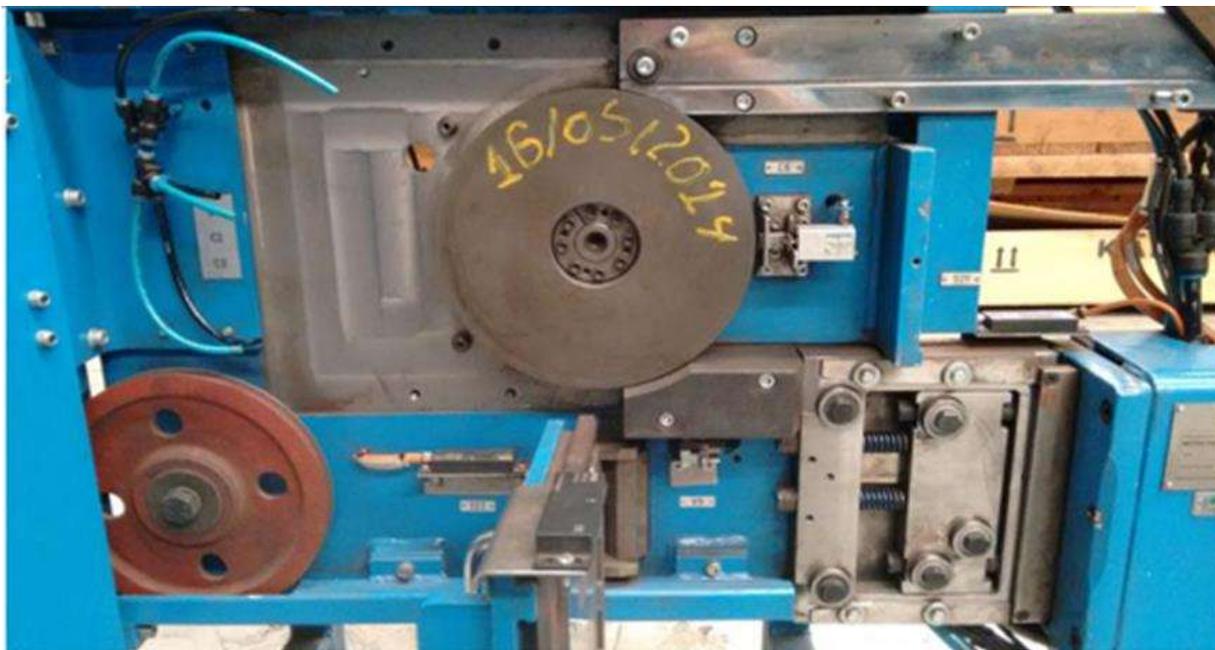
Figura 6 – Preventiva no Dispositivo de Alimentação e Polia da Amarradeira  
Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa

Pos.	Ponto de Verificação	Toda Semana	Todo Mês	Cada 6 meses	Todo ano	Medida - Observação
<b>Rolos de pressão (3 pgs.)</b>						
3	Função					Substitua se houver ronco Limpar
3	Desgaste					Substitua se gasto desigualmente
3	Ajuste do rolamento					Substitua rolamentos e/ou rolos quando o ajuste do rolamento não for satisfatório
3	Guias					Verifique a função e substitua se eles emperrarem
<b>Válvulas para rolos de pressão</b>						
4	Função					Substitua a válvula quando necessário
4	Vazamento de ar					Substitua a válvula se houver vazamento
<b>Roda de alimentação</b>						
5	Desgaste					Substitua a roda de alimentação se o trielho "V" se tornou por dentro um trielho "U" devido ao desgaste. Limpe o trielho em "V"
5	Ajuste do rolamento					Quando houver folga, substitua o rolamento. Não é permitido folga.
5	Fixação					Aperte os parafusos para 20 Nm de torque, se soltos.
<b>Porta</b>						
6	Fechadura e dobradiças					Substitua os componentes que emperrarem
6	Fechamento					Ajuste a fechadura para que não haja folga
<b>Chave de segurança</b>						
7	Fixação					Aperte os parafusos soltos
7	Função					Verifique a função e substitua se estiver em mal funcionamento

643 B 2015 428-25C

**Figura 7 – Preventiva do Dispositivo de Alimentação e Polia da Amarradeira**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa**

Na figura 8, foto do dispositivo de alimentação e polia durante execução de preventiva sistemática.



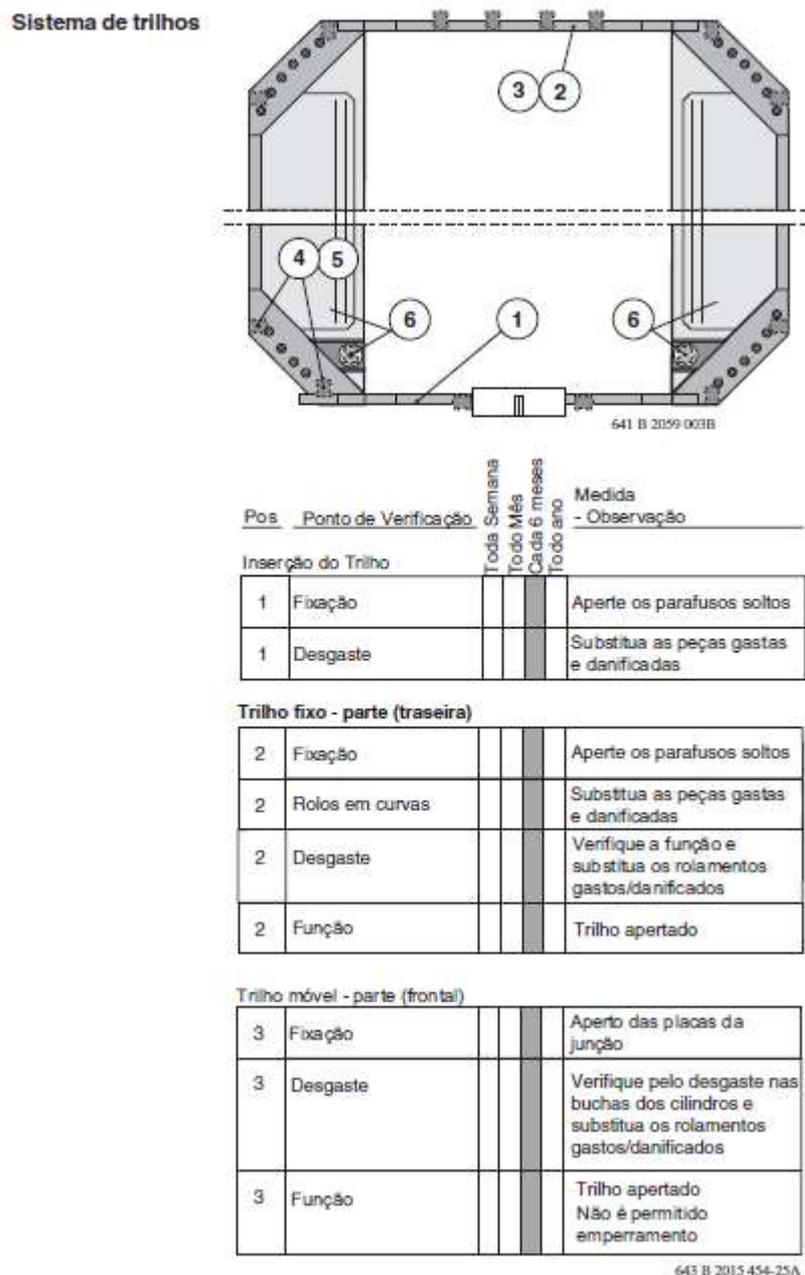
**Figura 8 – Foto do dispositivo de alimentação e polia**  
**Fonte: Empresa**

Na figura 9, foto do mecanismo de controle de tensão do arame, durante execução de preventiva sistemática.



**Figura 9 – Foto do mecanismo de controle de tensão do arame**  
**Fonte: Empresa**

As figuras 10 e 11 mostram o detalhamento da manutenção preventiva sistemática executada no sistema de trilhos da amarradeira.



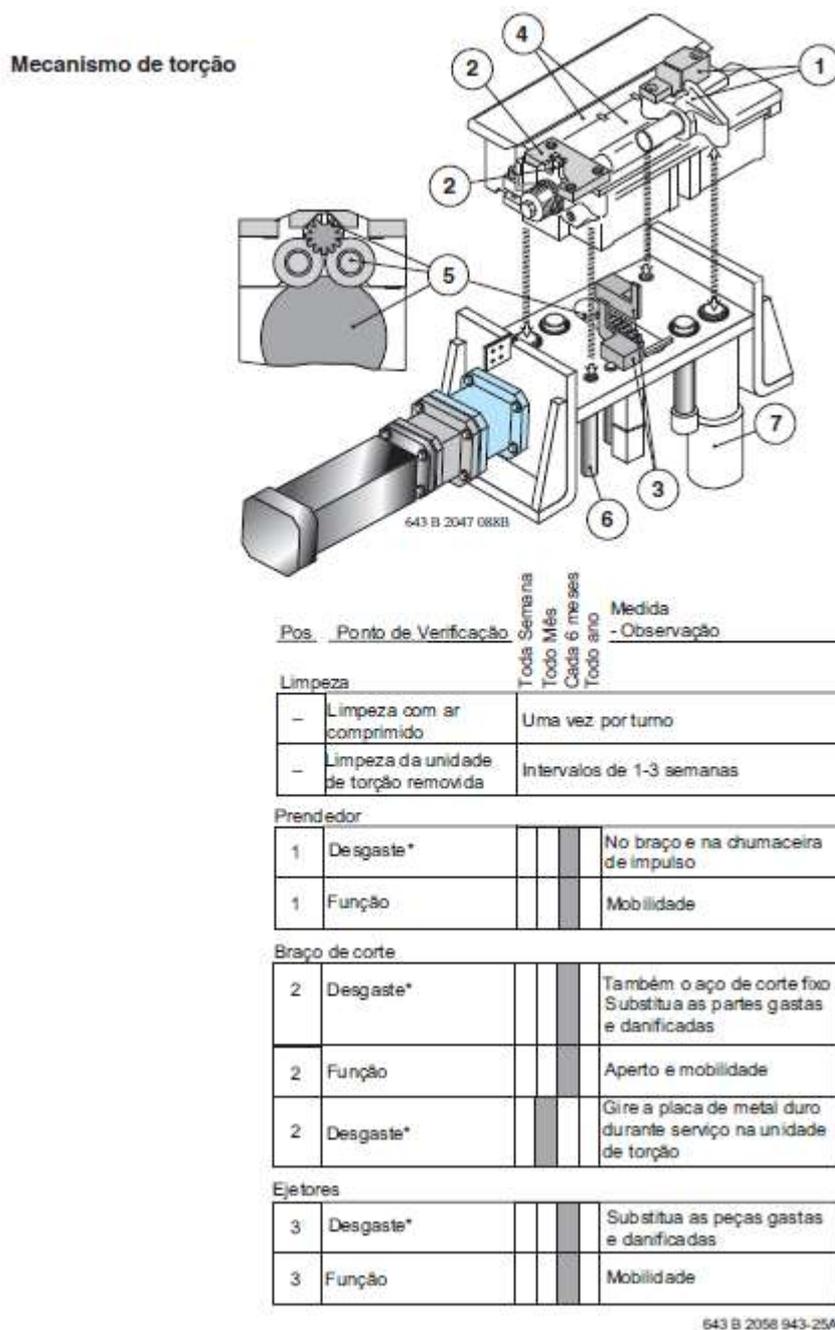
**Figura 10 – Preventiva no Sistema de Trilhos da Amarradeira**  
Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa

Pos	Ponto de Verificação	Toda Semana	Todo Mês	Cada 6 meses	Todo ano	Medida - Observação
Aperto dos cilindros e guias						
4	Função					Se os cilindros emperrarem, substitua-os
4	Vazamento de ar					Se houver vazamento, substitua o cilindro
Mangueiras e acoplamentos						
5	Fixação					Substitua os acoplamentos e mangueiras danificadas
5	Vazamento de graxa, ar ou óleo					Substitua os componentes com vazamentos
Sistema de estiramento de fio						
6	Função					Aperte os parafusos nas placas e verifique a mobilidade dos dispositivos de estiramento de fio
6	Desgaste					Substitua as placas se o desgaste for maior que 0,5 mm. Substitua os dispositivos de estiramento de fio se o desgaste for desigual

643 B 2052 81 2-258

**Figura 11 – Preventiva no Sistema de Trilhos da Amarradeira**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa**

As figuras 12 a 13 mostram o detalhamento da manutenção preventiva sistemática executada no mecanismo de torção da amarradeira.



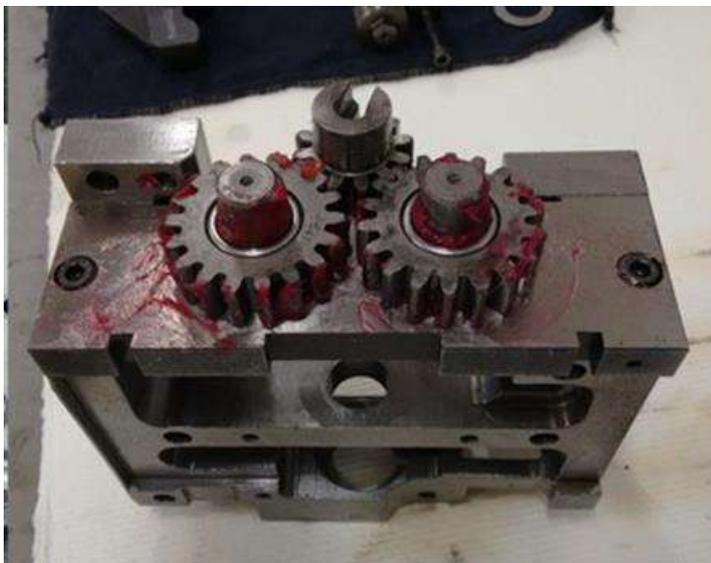
**Figura 12 – Preventiva no Mecanismo de Torção da Amarradeira**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa**

Pos.	Ponto de verificação	Todo turno	Toda semana	Todo mês	Cada 6 meses	Todo ano	Medida - Observação
<b>Trilhos guia</b>							
4	Desgaste*						Substitua as peças gastas e danificadas
4	Função						Mobilidade Trilho apertado
<b>Mecanismo de torção</b>							
5	Roda dentada*						Engrenagem danificada, desgastes nos dentes, lubrificação
5	Rolo de torção/ Roda dentada*						Desgaste, dano, lubrificação
5	Rolo de torção						Se não houver lubrificação automática, lubrifique com óleo SAE 30
5	Rolamentos de agulhas						Após cada manutenção (desmontagem e montagem) na unidade de torção, o rolamento de agulhas deve ser lubrificado com graxa para mancal
<b>Imersos</b>							
6	Verifique as vedações*						Vazamento
6	Desgaste*						Riscos, jogo
6	Função						Mobilidade Mola de força
<b>Cilindros</b>							
7	Função						Substitua aquelas que emperram
7	Vazamento de ar						Substitua se houver vazamento
7	Fixação						Posição dos transmissores
<b>Mangueiras e acoplamentos</b>							
	Vazamento de ar/graxa						Substitua componentes com vazamento
	Danos						Substitua componentes gastos ou danificados

\*Para ser verificado com a unidade de torção desmontada 643 B 2210 429-25E

**Figura 13 – Preventiva no Mecanismo de Torção da Amarradeira**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa**

Na figura 14, foto do mecanismo de torção durante execução de preventiva sistemática.



**Figura 14 – Foto do mecanismo de torção**  
**Fonte: Empresa**

Na figura 15, foto de todos os componentes do mecanismo de torção e corte, durante execução de preventiva sistemática.



**Figura 15 – Foto dos componentes do mecanismo de torção e corte**  
**Fonte: Empresa**

**Torque de aperto das juntas aparafusadas**

Medidas do parafuso	Classe de resistência 8.8, Estandado Lubrificado a óleo		Classe de resistência 12.9, Sem revestimento Lubrificado a óleo		Classe de resistência 80, A4-80 Lubrificado a cera	
	Arruela plana	Arruela tipo "Nord-lock"	Arruela plana	Arruela tipo "Nord-lock"	Arruela plana	Arruela tipo "Nord-lock"
M6	8.5	10.5	17.3	15.8	9.6	9.2
M8	20	25	42	38	23	22
M10	40	49	79	75	44	43
M12	70	85	140	128	76	75
M16	170	205	330	311	190	181
M20	410	402	650	610	360	256
M24	710	693	1100	1052	630	613
M30	1400	1379	2200	2091	1200	1220
M36	2400	2394	3800	3633	2200	2121

602 II 2043 334-25

**Figura 16 – Planilha de Torque de aperto das juntas aparafusadas**  
**Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa**

### 2.3 DETALHAMENTO DOS COMPONENTES DAS AMARRADEIRAS

As amarradeiras são compostas por componentes mecânicos, elétricos, eletrônicos, pneumáticos e de controle e automação. Entre todos os componentes, existem 96 itens de desgaste e que fazem parte do escopo para o *overhaul* completo. A figura 17 demonstra todos os componentes de desgaste necessários para o *overhaul*.

AMARRADEIRA BBE-1006 2,18mm					Qt / Equip
Local de Trabalho	Desenho	POS	Referência VALMET	Descrição	
UNIDADE DE TORÇÃO	SDU0003722	2	4-641054-01	GEAR WHEEL BBE BBA	2
UNIDADE DE TORÇÃO	SDU0003722	18	3-6410412-02	CUTTING ARM WITH SCREW	1
UNIDADE DE TORÇÃO	SDU0003722	19	3-6413122-02	CUTTING TOOL	1
UNIDADE DE TORÇÃO	SDU0003722	21	3-641051-01	WIRE GUIDE TRACK BBA	1
UNIDADE DE TORÇÃO	SDU0003722	22	3-6410372-01	WIRE GUIDE TRACK 30/R2 BKA-30	1
UNIDADE DE TORÇÃO	SDU0003722	23	4-641053-01	WIRE GRIPPER BKA-30	1
UNIDADE DE TORÇÃO	SDU0003722	24	3-6411221-01	WIRE HOLDER BKA-30 BKA-23/30	1
UNIDADE DE TORÇÃO	SDU0003722	29	3-6411075	TWISTING ROLLER	1
UNIDADE DE ALIMENT.	3-6430297-01	1	4-6430192	MEASURING WHEEL	1
UNIDADE DE ALIMENT.	3-6430297-01	2	3-6430266	ATTACHMENT	1
UNIDADE DE ALIMENT.	3-6430297-01	3	4-6430193	SHAFT	1
UNIDADE DE ALIMENT.	3-6430297-01	4	VAL0100806	DEEP GROOVE BALL BEARING 61905-2RS1	2
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	4	2-6430158	FEEDING WHEEL	1
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	5	1-6430240	WIRE GUIDE	1
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	6	2-6430195	WIRE GUIDE	1
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	10	3-6430297-01	MEASURING WHEEL UNIT BBE WHEEL,ATTACHM.SHAFT,BEAR. Bbe	1
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	13	3-6430218	GUIDE	1
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	15	4-6430157	GUIDE	1
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	34	VAL0102880	NEEDLE ROLLER BEARING NA 22/8 2 RSX	9
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	38	VAL0097931	DEEP GROOVE BALL BEARING 6305-2RS1	2
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003564	44	VAL0168393	ANGULAR CONTACT BALL BEARING 5215-2RS	1
UNIDADE DE ALIMENT.	SDU0003698	25	VAL0165638	GUIDEWAY WHEEL LFR 5201 NPP	5
CONJUNTO de GUIAS	SDU0003697	44	VAL0006836	DEEP GROOVE BALL BEARING 608-2RS1	23
CONJUNTO de GUIAS	1-6430191.A	3	1-6430191	GUIDE RAIL 4a curva guia	1
CONJUNTO de GUIAS	1-6430192-	4	1-6430192	GUIDE RAIL 4a curva guia	1
CONJUNTO de GUIAS	1-6430193.A	5	1-6430193	GUIDE RAIL 1a, 2a e 3a guias curvas	3
CONJUNTO de GUIAS	1-6430194.A	6	1-6430194	GUIDE RAIL 1a, 2a e 3a guias curvas	3
CONJUNTO de GUIAS	SDU0003697	34	4-6410407	COUNTER SUPPORT BBE WIRE STRECH UNIT	1
CONJUNTO de GUIAS	2-6430173-	12	2-6430173	GUIDE RAIL Guia reta antes da UT	1
CONJUNTO de GUIAS	2-6430174-	13	2-6430174	GUIDE RAIL Guia reta antes da UT	1
CONJUNTO PNEUMÁTICO	SDU0003430	1	4-6430181	TRIOCYLINDER Cilindro cortador C7 e prendedor C5	2
CONJUNTO PNEUMÁTICO	SDU0003430	2	4-6430182	MINI CYLINDER Cil Fechamento da guias da Unid Torção C10- C11- C4	3
CONJUNTO PNEUMÁTICO	SDU0003430	3	4-6430183	CYLINDER-RIGHT Cilindro retorno prendedor C12	1
CONJUNTO PNEUMÁTICO	SDU0003430	4	4-6430184	CYLINDER-LEFT Cilindro retorno prendedor C13	1
CONJUNTO PNEUMÁTICO	SDU0003430	5	4-6430185	COMPACT CYLINDER Cilindros fechamento das Guias C16 a 27)	2 (12)
CONJUNTO PNEUMÁTICO	SDU0003430	6	4-6430186	CYLINDER-WIRE STRETCH Cilindro do alinhador de arame C14	1
CONJUNTO PNEUMÁTICO	SDU0003430	7	4-6430187	COMPACT CYLINDER Cilindro dos ejetores C8 /C9	2
CONJUNTO PNEUMÁTICO	SDU0003430	8	4-6430188	COMPACT CYLINDER Cilindros roda limentação C1-C2-C3	3

Figura 17 – Lista de todos os componentes de desgaste para *overhaul*  
Fonte: Manual Metso Robotyer – Empresa

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo não é abordada a teoria das técnicas de confiabilidade, mas a maneira como as técnicas foram aplicadas.

Relembrando, a metodologia utilizada nesse trabalho foi RGA (do Inglês, Análise de Crescimento da Confiabilidade).

#### 3.1 ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE

A análise de crescimento de confiabilidade permite avaliar o desempenho de um sistema reparável, ou seja, um sistema que admite receber manutenção ou reparos, ou seja, é a metodologia adequada para se definir o tempo ótimo para se realizar o *overhaul*.

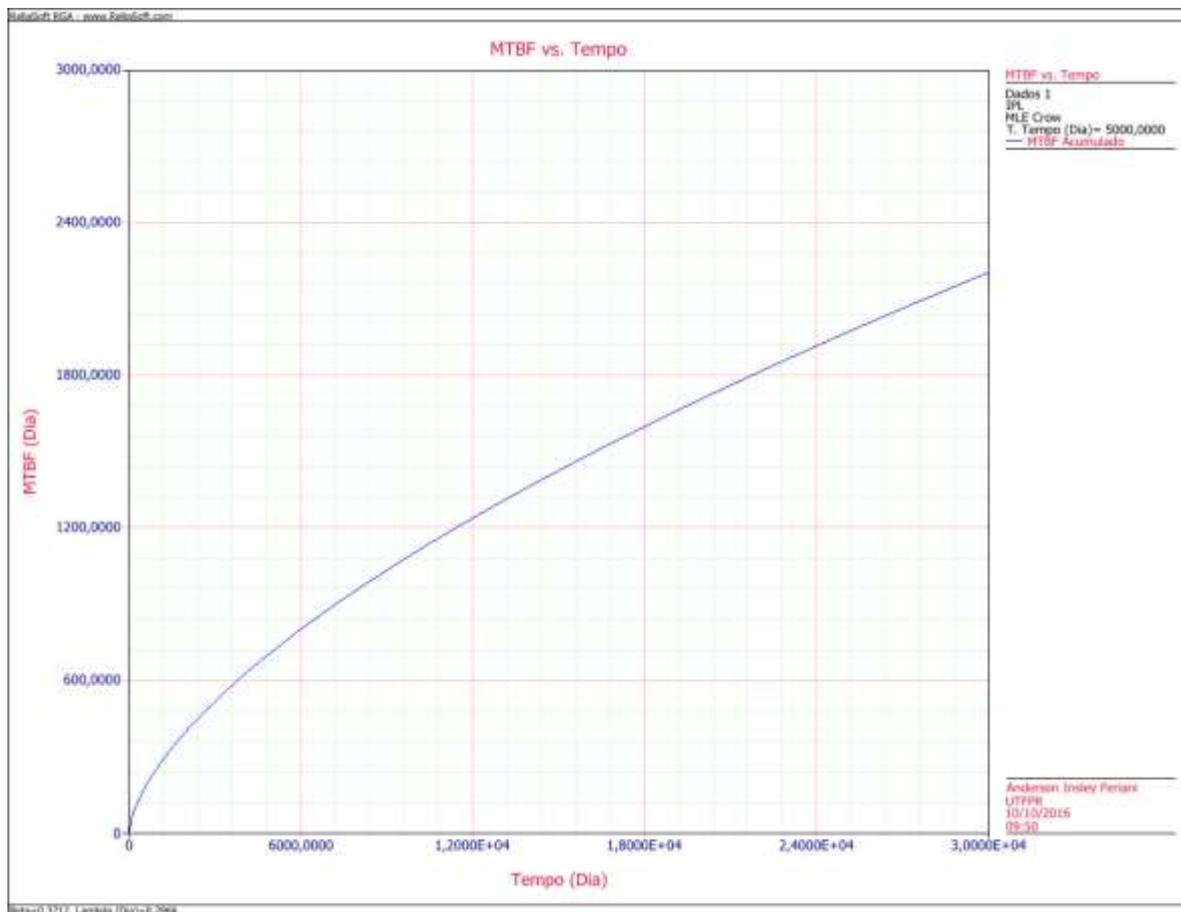
A técnica consiste em análise dos tempos de falha em campo e a partir desses dados, levantar as informações quantitativas para verificação do desempenho do equipamento, do sistema ou da qualidade da manutenção aplicada.

Especificamente para a definição do tempo de *overhaul* foi utilizado o modelo CROW-AMSAA, desenvolvido em parceria entre o Dr. Larry Crow e US Army Material Systems Analysis Activity (AMSAA).

Através da utilização do software RGA da Reliasoft, após a inserção dos dados de falhas de sistemas reparáveis e dentro do modelo CROW-AMSAA, foi aplicado o recurso de IPL (do inglês, Lei da Potência), voltado a análise de política de *overhaul*, onde uma das informações extraíveis é a curva MTBF(t) x tempo. Essa curva mostra a evolução do MTBF com o decorrer do tempo.

A curva pode apresentar 3 resultados possíveis: MTBF crescente, decrescente ou constante.

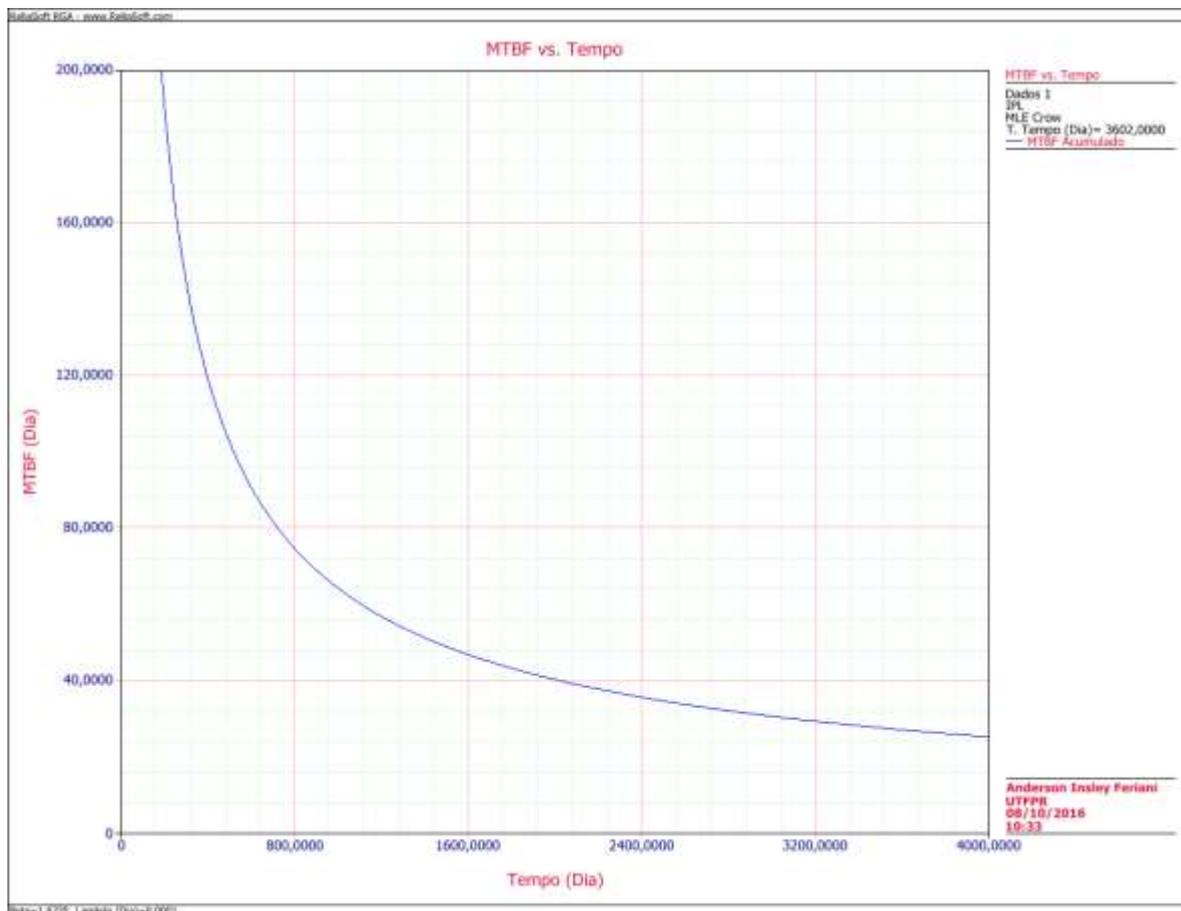
Curva crescente significa que o MTBF aumenta com o decorrer do tempo, ou seja, o tempo entre falhas aumenta, indicando que o sistema está tendo um melhor desempenho com o decorrer do tempo. Vide exemplo através da figura 18.



**Figura 18 - Gráfico do MTBF crescente no tempo**

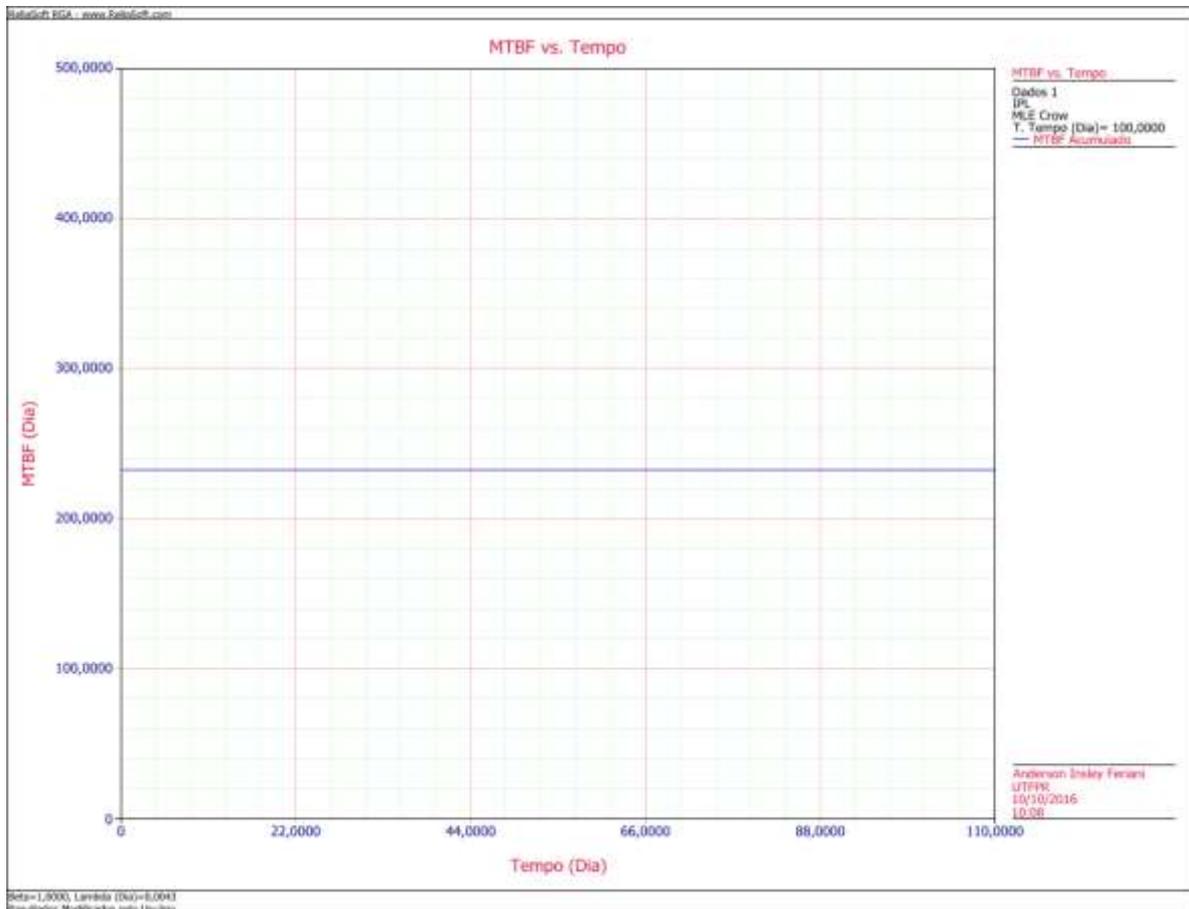
**Fonte: Autor com o uso do RGA da Reliasoft**

De forma análoga, quando a curva é decrescente indica uma deterioração do desempenho do sistema. Exemplo na figura 19.



**Figura 19 - Gráfico do MTBF decrescente no tempo**  
**Fonte: Autor com o uso do RGA da Reliasoft**

Curva é constante não apresenta crescimento ou decrescimento, indicando que o MTBF não se altera com o decorrer do tempo, exemplificado da figura 20.



**Figura 20 - Gráfico do MTBF constante no tempo**  
**Fonte: Autor com o uso do RGA da Reliasoft**

A demonstração das curvas de tendência do MTBF é base para entendimento do capítulo 4, onde será demonstrado que a estratégia atualmente utilizada está levando os equipamentos à degradação.

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE

Dentro deste trabalho será demonstrada a criticidade das amarradeiras antes e depois da avaliação realizada em função da oportunidade para melhorar a estratégia de manutenção, mencionada no capítulo 1.4 deste trabalho. A classificação de criticidade de um equipamento é realizada com base em sua função e através de um questionário específico para esse fim, que também pode ser elaborado conforme necessidades ou particularidades de cada corporação.

Esse questionário deve ser respondido por uma equipe multidisciplinar, formada por profissionais que tem conhecimento das características intrínsecas do equipamento, de suas condições operacionais (regime e função).

A seguir questões exemplificativas de um questionário de criticidade.

Cada questão tem uma pontuação conforme resposta e segue um algoritmo para ponderação final.

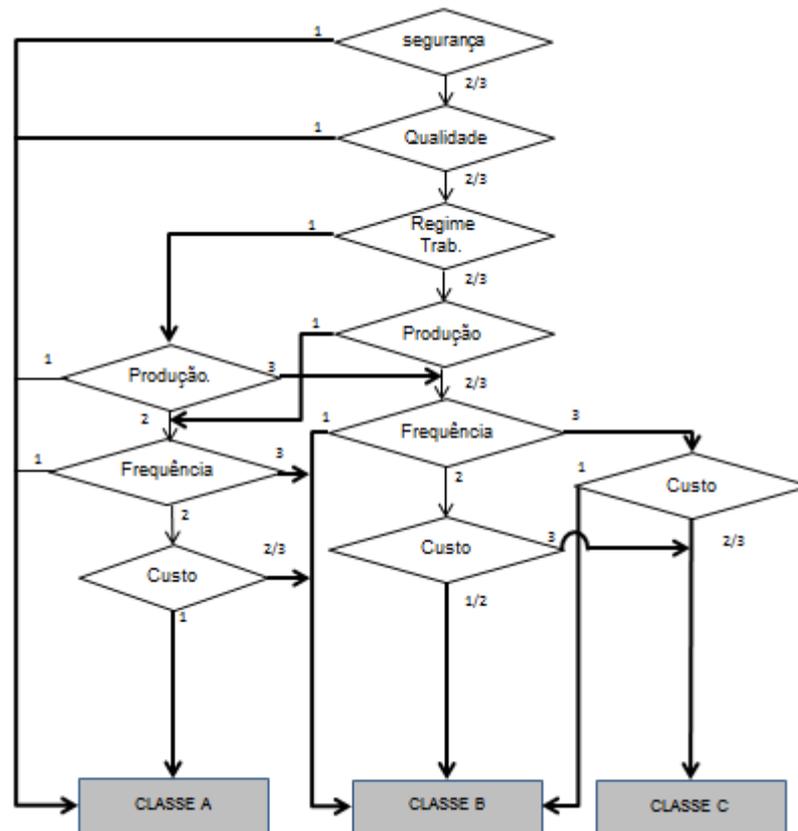
A seguir, a tabela 2 exemplifica o referido questionário.

**Tabela 2 – Exemplo de questionário de criticidade**

FATORES DE AVALIAÇÃO A/B/C	NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3
<b>SEGURANÇA E AMBIENTE</b>	A falha funcional pode ter consequências extremamente prejudicial em Segurança e Saúde ou Meio Ambiente.	A falha funcional pode provocar impactos ambientais dentro dos limites legais. A falha funcional pode provocar condições de exposição ao risco de acidentes, respeitando a Política de SSO.	A falha funcional não tem impacto em Segurança e Saúde ou Meio Ambiente.
<b>QUALIDADE</b>	A falha funcional do equipamento afeta a qualidade, gerando produto fora da especificação.	A falha funcional do equipamento afeta parcialmente o processo produtivo, podendo comprometer a qualidade.	A falha funcional não tem impacto na qualidade do produto.
<b>REGIME DE TRABALHO</b>	O equipamento é requerido 24 horas por dia. Não existe oportunidade para manutenções programadas entre as campanhas produtivas.	O equipamento é requerido por menos de 24 horas por dia, oferecendo algumas oportunidades para manutenções programadas entre as campanhas produtivas.	O equipamento é requerido por menos de 12 horas por dia, oferecendo oportunidades para manutenções entre as campanhas produtivas.
<b>PRODUÇÃO</b>	A falha funcional do equipamento interrompe totalmente o processo produtivo impactando nos resultados da produção.	A falha funcional do equipamento interrompe um subsistema ou sistema, afetando parcialmente uma linha produtiva, podendo provocar perdas de produção ou aumento no consumo de insumos.	A falha funcional não provoca perdas de produção e nem provoca o aumento no consumo de insumos.
<b>FREQUÊNCIA</b>	Muitas falhas funcionais durante sua vida útil. Duas ou mais falhas por ano.	Apresenta falhas funcionais durante sua vida útil. Uma falha no intervalo de um ano.	A falha funcional é pouco frequente com base no histórico. Menos de uma falha por ano.
<b>CUSTO</b>	O custo de reparo do equipamento é maior do que R\$ 60.000,00. Na análise de sistemas ou conjuntos, considerar a somatória dos valores de reparo.	O custo de reparo do equipamento é de R\$ 15.000,00 a R\$ 60.000,00. Na análise de sistemas ou conjuntos, considerar a somatória dos valores de reparo.	O custo de reparo do equipamento é inferior a R\$ 15.000,00. Na análise de sistemas ou conjuntos, considerar a somatória dos valores de reparo.

**Fonte: Empresa**

A seguir, a figura 21 exemplifica o referido algoritmo.



**Figura 21 – Exemplo de algoritmo de criticidade**  
**Fonte: Empresa**

Conforme classificação recebida, os equipamentos são ordenados e divididos em críticos A, B e C, onde “A” é o mais crítico e “C” o menos crítico.

### 3.3 INDICADORES

“Quem não mede, não gerencia” (KARDEC, 2005, p. 11).

Dentro deste trabalho serão propostos indicadores que apoiam a continuidade da metodologia de RGA, dando base para futuras tomadas de decisão, em função da oportunidade para melhorar a estratégia de manutenção, mencionada no capítulo 1.4 deste trabalho.

Para tanto, é necessário que se defina indicadores que sejam significativos ao processo e cujos resultados medidos levem a melhorias no processo.

Existem diversos indicadores e índices, sendo os mais comuns o MTBF e o MTTR. Esses indicadores estão voltados à manutenção.

Existem indicadores que medem o desempenho operacional da planta, o desempenho do pessoal de manutenção, bem como indicadores financeiros, tanto das manutenções quanto das operações.

Enfim, para este trabalho, em seu capítulo 5, serão elencados os indicadores considerados chaves para o processo em estudo.

As ferramentas apresentadas nos subitens 3.1 a 3.3, técnicas de Engenharia de Confiabilidade, são suficientes para a compreensão deste trabalho.

O capítulo 4 apresenta a aplicação dessas ferramentas, com o objetivo de elaborar estratégia para sensibilizar o corpo gerencial da empresa.

Espera-se que os gestores enxerguem a tendência atual da confiabilidade dos equipamentos, bem como os métodos de análise de onde e quando se deve intervir em algum ativo e, com esses princípios, estabelecer as premissas de manutenção e gestão dos ativos.

## **4 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE**

Este capítulo é dedicado a demonstrar a aplicação dos conceitos vistos no capítulo 3, nos sistemas apresentados nos capítulos 1 e 2, cujo objetivo é apresentar resultados e tendências que apoiem a tomada de decisão.

### **4.1 ANÁLISE PELA TENDÊNCIA: APLICAÇÃO DE TÉCNICA DE RGA**

Como apresentado inicialmente, a tratativa de manutenção aos ativos baseada na experiência não é a forma mais econômica e adequada às necessidades da planta de produção.

Um dos problemas mencionados foi a quantidade de manutenções recentes e que refletiu em parada da linha de produção, onde foi solicitada o *overhaul* de todas as amarradeiras para o ano de 2016.

Esse, porém, é um sentimento mais gerencial do que técnico e assim sendo, é preciso demonstrar com fatos e dados qual o melhor momento de realizar o *overhaul*.

Para isso foi realizada uma avaliação com base em crescimento de confiabilidade, através de simulação com base no modelo CROW-AMSAA.

#### 4.1.1 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

Para a coleta de dados, como não havia uma planilha específica de apontamento das falhas das amarradeiras disponível para consulta, foi realizado o levantamento de dados em todos os relatórios diários de apontamento operacional, onde, desde 01/01/2006, vem sendo relatado todos os desvios e ocorrências de toda a máquina através do sistema de registro de dados e ocorrências denominado *Optivision*. É um relatório confiável e que tem a disciplina dos operadores no apontamento, com auditorias mensais de verificação da padronização das informações. Na figura 22 um exemplo de apontamento de ocorrências em um relatório diário.

## Relatório Operacional Diário - SECADORA

Data: 22/5/2006      Turma:      Resp.:  
 Turno: 1,2,3      Área: AREAS\_FISICO\PRODPAP\SECADORA

Produção					
Produção Acabada Secadora		802337,2329	KG		
Segurança					
08:00	DDS	* Tema: O problema com anéis e alianças - 6 participantes.			
21:28	DDS	Fatos Sobre Ferimentos nos Olhos			
Ocorrências de Pessoal					
08:00	Hora treinamento	* O Colaborador Edmilton do Nascimento esteve em treinamento CIPA das 08:00 as 12:00hs.			
19:23	Afastamento	Sem Ocorrências.			
Organização e Limpeza					
08:00	Organização e Limpeza	* Efetuado limpeza na área da parte úmida, cortadeira e linha de embalagem.			
23:10	Organização e Limpeza	Limpeza do piso de operação e secador LA superior.			
Qualidade					
06:29	Qualidade	Produzindo Celulose Standard seca Prime.			
08:00	Qualidade	* 08:00hs - iniciamos o turno em quebras / sem coleta de amostras para análises. * As 08:48hs - produzindo Celulose Standard Prime.			
16:00	Qualidade	Produzindo STD Seca Prime.			
19:22	Qualidade	*Coletado amostras de água industrial para determinação de impurezas. *Coletado amostras dos rejeitos pesado dos depuradores para análise de sujidade.			
Meio Ambiente					
06:29	Meio Ambiente	Feito drenagem no rejeito pesado dos depuradores.			
08:00	Meio Ambiente	* Efetuado uma descarga de rejeito pesado nos depuradores.			
18:19	Meio Ambiente	Descarga no rejeito pesado dos depuradores.			
19:24	Pendências de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminar vazamento de água na tubulação de resfriamento de óleo da Unidade Hidráulica do rolo Couch.</li> <li>- Eliminar vazamento no dreno da 513BC027 (Diluição do Púlpel Seco).</li> <li>- Motor do chuveiro oscilante de alta pressão da tela inferior em manutenção.</li> <li>- Verificar nivelamento da 1ª calha de água quente.</li> <li>- Transmissor de consistência 513CST1070 fora de operação.</li> <li>- Vazamento de óleo: 513BC028.</li> <li>- Verificar vibração no 513EXA014.</li> <li>- Ruído anormal no 513DPV001 e 513DPV004.</li> <li>- Válvulas de degasagem da 513BC009 estão entupidas.</li> <li>- Checar lubrificação do mancal da 513BC019.</li> <li>- Válvula manual de água industrial para trocador de calor ar/água da unidade de recuperação de calor apresenta vazamento.</li> <li>- Checar ruído anormal no 513VTA085 (ventilador de circulação do Secador L.C.)</li> <li>- Proteção lateral (posição da 2ª amarradeira) está danificada.</li> <li>- Vazamento válvula manual da tubulação de recirculação da caixa de efluentes.</li> <li>- Diversas lâmpadas queimadas na área da parte úmida (área com pouca iluminação).</li> <li>- O.S Nº 2013549, aumento da proteção das correntes (sob a viga) do transportador de alimentação de capas do Pulmão (513TCN034).</li> <li>- Verificar nivelamento das lanças do garfo da cortadeira ( folhas ficam penduradas devido desnível ).</li> <li>- O.S Nº 2014389, retirada dos cabeçotes Metso da Linha, devido atrito ocorrido durante a passagem dos fardos em sua proteção, podendo ocorrer danos aos mesmos.</li> <li>- O.S. de n°2013872 para verificar iluminação superior da área da linha de embalagem; mais precisamente sob os transportadores pulmão de capas não estão acendendo.</li> </ul>			
Quebras e Paradas					
08:33	15 Min	MNT	ETE	ET - ELÉTRICA	* Falha na rede de comunicação da Linha de Embalagem.
01:55	10 Min	OPR	EPO	PARADA LINHA EMBALAGEM	Falha na amarradeira de fardos
11:07	18 Min	OPR	EPO	TRANSIÇÃO_CORTE_FOLHA	* Parada da cortadeira devido atuação do sensor do Rolo Overlap.
17:06	8 Min	OPR	EPO	VARIAÇÃO_UMIDADE	Rejeição na cortadeira devido variação do 513CST1021 umidecendo a folha na cortadeira.
07:30	63 Min	QBR	EPO	SUJEIRA	* Quebra da folha entre a Combi Press e Shoe Press.

**Figura 22 – Relatório de desvios e ocorrências**

**Fonte: Empresa**

Foram coletados os dados de tempo até a falha de cada amarradeira com data inicial de 01/01/2006 até 12/11/2015, exceto as amarradeiras 513AMA006 e 513AMA007 que tiveram data inicial em 01/01/2011 devido terem sido adquiridas posteriormente, mantendo data fim em 12/11/2015, conforme tabelas 3 a 9.

**Tabela 3 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA001A (dias)**

350	1460	1986	2714	3116	3413	3484
578	1460	2009	2714	3132	3416	3484
714	1518	2031	2723	3190	3418	3506
779	1559	2329	2765	3267	3420	3602
784	1575	2514	2775	3281	3436	
1430	1721	2522	2801	3309	3469	
1447	1956	2627	2844	3312	3470	
1455	1978	2661	3051	3316	3479	

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 4 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA001B (dias)**

563	1430	1830	2723	3048	3312	3469
578	1447	1978	2765	3116	3316	3470
739	1459	2031	2775	3132	3411	3473
761	1503	2560	2854	3219	3413	3479
784	1573	2627	2861	3277	3416	3482
844	1573	2640	2956	3281	3418	3483
1012	1650	2661	2988	3282	3420	3484
1172	1678	2714	2995	3309	3436	3602

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 5 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA002 (dias)**

141	1399	1650	2801	3219	3411	3478
642	1447	1678	2844	3222	3416	3483
784	1459	1818	2844	3280	3418	3484
784	1460	1830	2854	3281	3420	3492
839	1503	1954	2988	3282	3436	3493
942	1570	1986	2995	3309	3452	3524
1012	1573	2167	3050	3312	3469	3524
1046	1575	2560	3132	3404	3470	3602

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 6 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA006 (dias)**

56	835	1393	1594
128	897	1396	1643
130	975	1456	1666
139	1162	1456	1667
160	1169	1483	1680
652	1208	1486	1776
734	1224	1585	
801	1225	1592	

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 7 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA003 (dias)**

233	2315	3489
779	3110	3493
1295	3112	3505
1636	3129	3505
1764	3190	3506
1830	3191	3602
1883	3280	
1885	3339	

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 8 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA004 (dias)**

188	2953
1295	3110
1790	3112
1884	3493
1899	3505
1978	3506
2226	3602
2879	

**Fonte: Autoria própria**

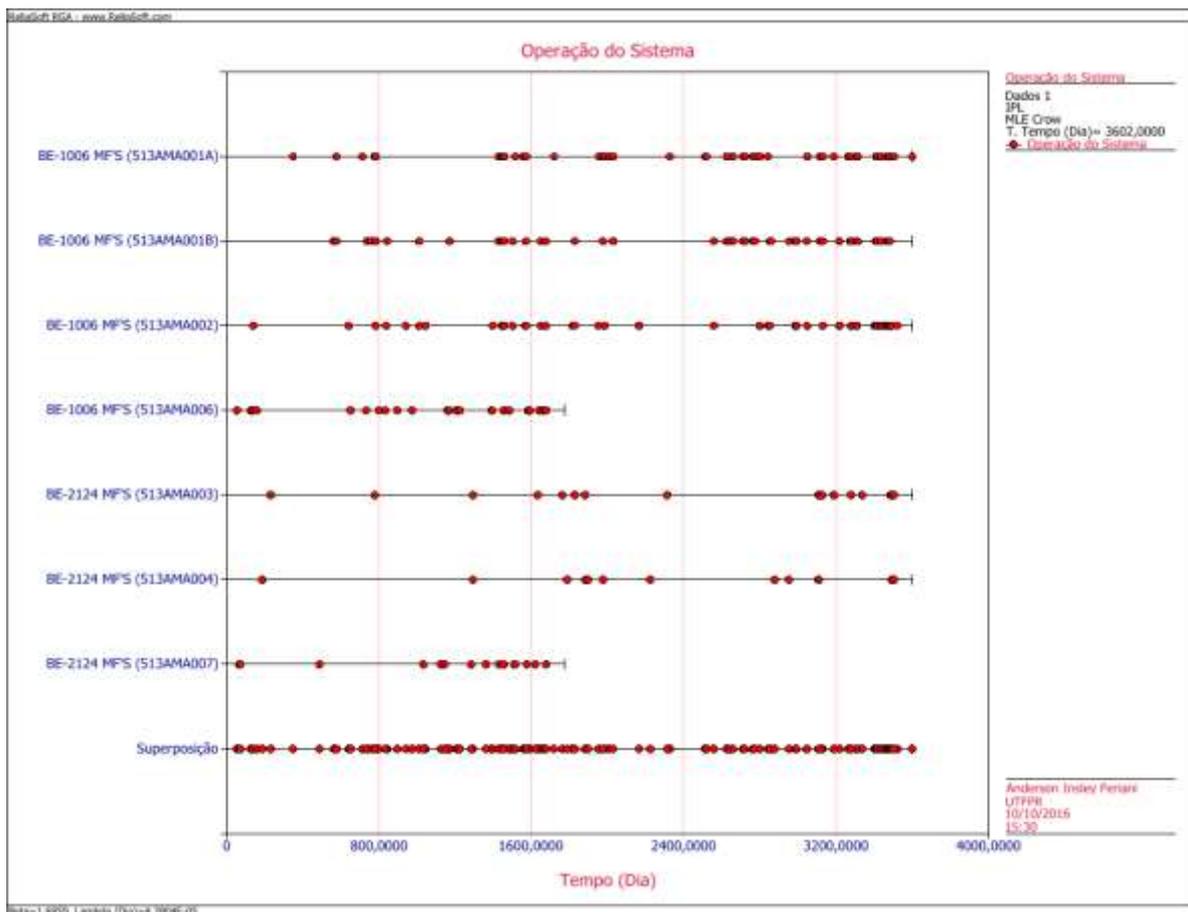
**Tabela 9 - Tempo até Falha da Amarradeira 513AMA007 (dias)**

68	1431	1679
73	1456	1680
489	1456	1776
1035	1513	
1127	1517	
1147	1578	
1286	1622	
1364	1679	

Fonte: Autoria própria

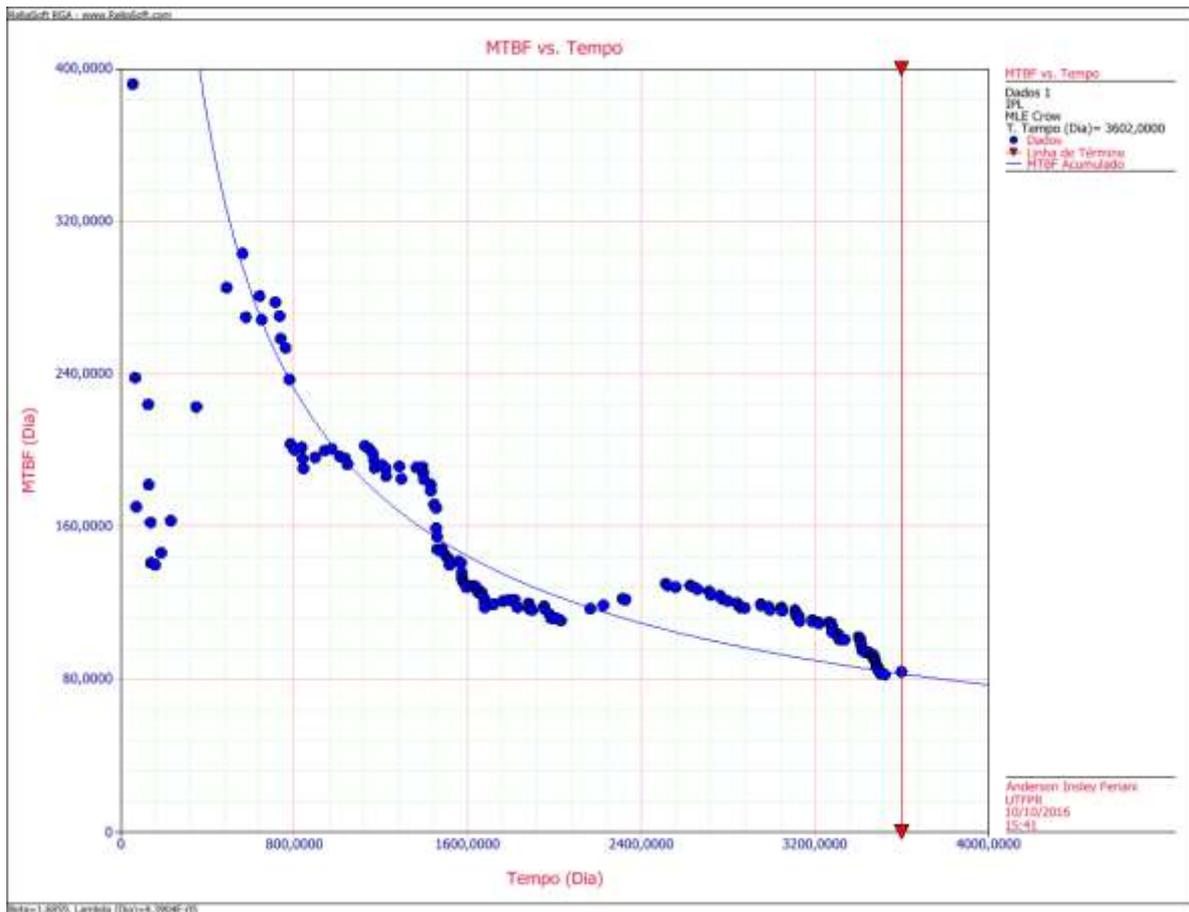
4.1.2 APRESENTAÇÃO DOS CÁLCULOS DE RGA E TENDÊNCIAS

Tomando-se o software RGA da Reliasoft e aplicando os dados das tabelas 3 a 9 como um sistema, obtêm-se os gráficos das figuras 23 a 25.



**Figura 23 - Gráfico de Operação do Sistema em Função do Tempo**  
 Fonte: Autor com Software RGA da Reliasoft

A figura 23 apresenta a disposição dos dados de falhas em cada amarradeira ao longo do tempo de estudo de 3602 dias, onde observa-se que duas amarradeiras AMA006 e AMA007 estão trabalhando há um tempo menor que as demais. Observa-se também que as amarradeiras AMA003 e AMA004 tem maior estabilidade em relação às falhas.



**Figura 24 - Gráfico do MTBF em Função do Tempo, para Tempo até Falha**

**Fonte: Autor com Software RGA da Reliasoft**

O gráfico da figura 24 apresenta o MTBF acumulado em dias, considerando todas as amarradeiras, ou seja, como um sistema, para determinar se existe indicação de degradação do sistema. A medida que o MTBF diminui, caracteriza-se como degradação do sistema. Com base em cálculos estatísticos a partir do modelo CROW-AMSAA, conclui-se que há um decréscimo do MTBF com o decorrer do tempo, indicando degradação do sistema.

Isso indica que quanto mais se espera para realizar o *overhaul*, maior será o custo de manutenção e a indisponibilidade dos ativos.

<b>Relatório de Resultados Simplificado</b>	
Tipo de Relatório	Resultados
<b>Informações do Usuário</b>	
Usuário	Anderson Insley Feriani
Empresa	UTFPR
Data	10/10/2016
<b>Parâmetros</b>	
Modelo	IPL
Análises	MLE
Beta	1,6859
Lambda (Dia)	4,39E-05
<b>Testes Estatísticos</b>	
Nível de Significância	0,1
CVM	Falhado
CBH	Passou
<b>Outras</b>	
Tempo Final (Dia)	3602

**Figura 25 – Planilha de cálculos RGA – Beta > 1 = degradação**  
**Fonte: Autor com Software RGA da Reliasoft**

Outro indicador que apoia a conclusão de degradação é o parâmetro Beta, que, sendo maior que 1 indica desgaste ou degradação do sistema, como mostra a figura 25. Assim, é preciso fazer a avaliação para identificar qual o melhor momento para se realizar o *overhaul* de cada amarradeira, levando em consideração o melhor custo benefício com base na disponibilidade e custo de manutenção.

#### 4.2 DEFINIÇÃO DO MELHOR MOMENTO PARA OVERHAUL

Com os valores iniciais, poderia ser calculado o momento ideal de *overhaul* para o sistema inteiro, composto de 7 amarradeiras, porém, existem recursos que viabilizam os cálculos individuais e com isso, maior otimização dos recursos de investimento para aplicação programada primeiramente nos ativos que mais necessitam, pois, mesmo tendo funções iguais, cada ativo tem um comportamento particular.

A seguir serão apresentados os cálculos individuais com os tempos de *overhaul* de cada amarradeira, tomando-se os recursos do software RGA da Reliasoft como apoio para os cálculos.

Para tanto, foi realizado a somatória dos custos médios de reparo por ocorrência de falha (mão-de-obra e materiais), bem como o lucro cessante para estas mesmas ocorrências.

Foi feito também o levantamento do custo total para um *overhaul* completo e o custo de uma amarradeira nova, ambos para compor o estudo.

Baseado no rodízio de funcionamento das amarradeiras com as amarradeiras reservas, considerou-se para as amarradeiras BME-1006, um dia equivalente a 12 horas de trabalho e para as amarradeiras BBE-2124, um dia equivalente a 8 horas de trabalho.

A tabela 10 demonstra os valores levantados de custos.

**Tabela 10 – Custos das Amarradeiras em Reais**

LI	Descrição	Modelo	Custo Reparo R\$	Custo Lucro Cessante R\$	Custo Nova R\$	Custo Overhaul R\$
L1CS70-513AMA001A	AMARRADEIRA 1A FARDOS SECADORA	BME-1006	2.099	7.874	1.300.000	240.000
L1CS70-513AMA001B	AMARRADEIRA 1B FARDOS SECADORA	BME-1006	1.942	6.427	1.300.000	240.000
L1CS70-513AMA002	AMARRADEIRA 2 FARDOS RESERVA) SECADORA	BME-1006	1.948	7.513	1.300.000	240.000
L1CS70-513AMA003	AMARRADEIRA 3 FARDOS UNITIZADORA SECA	BBE-2124	5.026	5.067	1.500.000	240.000
L1CS70-513AMA004	AMARRADEIRA 4 FARDOS UNITIZ RESERVA SECA	BBE-2124	7.528	5.432	1.500.000	240.000
L1CS70-513AMA006	AMARRADEIRA 6 FARDOS SECADORA RESERVA)	BME-1006	1.852	8.121	1.300.000	240.000
L1CS70-513AMA007	AMARRADEIRA 7 FARDOS UNITIZ SECA RESERVA	BBE-2124	2.952	6.766	1.500.000	240.000

**Fonte: Autoria própria**

Como comentado anteriormente, observa-se os custos médios distintos de reparos realizados em cada amarradeira.

A tabela 11, encontram-se as datas de reparos encontradas com a ajuda do software RGA da Reliasoft e classificadas em ordem cronológica, a fim de ajudar na programação das revisões de *overhaul*.

**Tabela 11 – Melhores datas para *Overhaul* das Amarradeiras**

LI	Descrição	Modelo	Data Start up	Data Overhaul só Reparo	Tempo parado (dias)	Disponibilidade
L1CS70-513AMA001B	AMARRADEIRA 1B FARDOS SECADORA	BME-1006	jan-2006	set-2019	1,3	99,96%
L1CS70-513AMA001A	AMARRADEIRA 1A FARDOS SECADORA	BME-1006	jan-2006	set-2019	1,4	99,96%
L1CS70-513AMA003	AMARRADEIRA 3 FARDOS UNITIZADORA SECA	BBE-2124	jan-2006	abr-2020	0,6	99,98%
L1CS70-513AMA002	AMARRADEIRA 2 FARDOS RESERVA) SECADORA	BME-1006	jan-2006	mai-2021	1,5	99,96%
L1CS70-513AMA004	AMARRADEIRA 4 FARDOS UNITIZ RESERVA SECA	BBE-2124	jan-2006	dez-2023	0,4	99,99%
L1CS70-513AMA007	AMARRADEIRA 7 FARDOS UNITIZ SECA RESERVA	BBE-2124	jan-2011	mai-2027	0,5	99,97%
L1CS70-513AMA006	AMARRADEIRA 6 FARDOS SECADORA RESERVA)	BME-1006	jan-2011	ago-2048	0,8	99,95%

**Fonte: Autoria própria**

Para melhor entendimento, a tabela 11 apresenta os valores de disponibilidade como complemento da análise após os cálculos, pois, os cálculos foram realizados apenas com os custos totais de reparos, rejeitando-se o custo do lucro cessante, em função da alta disponibilidade dos ativos e também, caso fossem considerados, o efeito seria imediato no resultado da data de *overhaul*, reduzindo-a.

#### 4.3 REVISÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE

Para reforçar e dar mais segurança a tomada de decisão da proposta deste estudo, uma vez que sugere programação de manutenções até 2025, foi realizada a revisão da classificação de criticidade das 7 amarradeiras e seus subsistemas.

Foram utilizados, o questionário da tabela 2 e o algoritmo da figura 21, demonstrado neste trabalho para a avaliação e revisão da classificação de criticidade.

O resultado final é demonstrado na tabela 12.

Tabela 12 – Revisão da Classificação de Criticidade - Hierarquia das Amarradeiras

LI	Descrição	LI Superior (Pai)	Centro trab responsá vel	Criticidade Anterior	Criticidade Nova
L1CS70-513AMA001A	AMARRADEIRA 1A FARDOS SECADORA	L1CS70	LMECMS	A	B
L1CS70-513AMA001AM1	MOTOR AMARRADEIRA 1A FARDOS SECADORA	L1CS70-513AMA001A	LELEMP	B	C
L1CS70-513AMA001AM2	MOTOR AMARRADEIRA 1A FARDOS SECADORA	L1CS70-513AMA001A	LELEMP		C
L1CS70-513AMA001APC1	PAINEL COMANDO AMARRADEIRA 1A	L1CS70-513AMA001A	LELEMP		C
L1CS70-513AMA001B	AMARRADEIRA 1B FARDOS SECADORA	L1CS70	LMECMS	C	B
L1CS70-513AMA001BM1	MOTOR AMARRADEIRA 1B FARDOS SECADORA	L1CS70-513AMA001B	LELEMP		C
L1CS70-513AMA001BM2	MOTOR AMARRADEIRA 1B FARDOS SECADORA	L1CS70-513AMA001B	LELEMP		C
L1CS70-513AMA001BPC1	PAINEL COMANDO AMARRADEIRA 1B	L1CS70-513AMA001B	LELEMP		C
L1CS70-513AMA002	AMARRADEIRA 2 FARDOS RESERVA) SECADORA	L1CS70	LMECMS	C	A
L1CS70-513AMA002M1	MOTOR AMARRADEIRA 2 FARDOS RESERVA SECA	L1CS70-513AMA002	LELEMP		B
L1CS70-513AMA002M2	MOTOR AMARRADEIRA 2 FARDOS RESERVA SECA	L1CS70-513AMA002	LELEMP	A	B
L1CS70-513AMA002PC1	PAINEL COMANDO AMARRADEIRA 2	L1CS70-513AMA002	LELEMP		B
L1CS70-513AMA003	AMARRADEIRA 3 FARDOS UNITIZADORA SECA	L1CS70-513UNI001	LMECMS	C	B
L1CS70-513AMA003A1	PAINEL COMANDO AMARRADEIRA 3	L1CS70-513AMA003	LELEMP		C
L1CS70-513AMA003M1	MOTOR AMARRADEIRA 3 FARDOS UNITIZ SECA	L1CS70-513AMA003	LELEMP	A	B
L1CS70-513AMA003M2	MOTOR AMARRADEIRA 3 FARDOS UNITIZ SECA	L1CS70-513AMA003	LELEMP		B
L1CS70-513AMA004	AMARRADEIRA 4 FARDOS UNITIZ RESERVA SECA	L1CS70-513UNI001	LMECMS	C	B
L1CS70-513AMA004A1	PAINEL COMANDO AMARRADEIRA 4	L1CS70-513AMA004	LELEMP		C
L1CS70-513AMA004M1	MOTAMARRAD 4 FARDOS UNITIZ RESERVA SECA	L1CS70-513AMA004	LELEMP		B
L1CS70-513AMA004M2	MOTAMARRAD 4 FARDOS UNITIZ RESERVA SECA	L1CS70-513AMA004	LELEMP	A	B
L1CS70-513AMA006	AMARRADEIRA 6 FARDOS SECADORA RESERVA)	L1CS70	LMECMS	C	B
L1CS70-513AMA006A1	PAINEL COMANDO AMARRADEIRA 6	L1CS70-513AMA006	LELEMP		C
L1CS70-513AMA006M1	MOTOR AMARRADEIRA 6 FARDOS SECADORA	L1CS70-513AMA006	LELEMP	C	B
L1CS70-513AMA006M2	MOTOR AMARRADEIRA 6 FARDOS SECADORA	L1CS70-513AMA006	LELEMP		B
L1CS70-513AMA007	AMARRADEIRA 7 FARDOS UNITIZ SECA RESERVA	L1CS70-513UNI001	LMECMS	C	B
L1CS70-513AMA007A1	PAINEL COMANDO AMARRADEIRA 7	L1CS70-513AMA007	LELEMP		C
L1CS70-513AMA007M1	MOTAMARRAD 7 FARDOS UNITIZ RESERVA SECA	L1CS70-513AMA007	LELEMP		C
L1CS70-513AMA007M2	MOTAMARRAD 7 FARDOS UNITIZ RESERVA SECA	L1CS70-513AMA007	LELEMP	A	C

Fonte: Autoria própria

Para a elaboração da tabela 12, a aplicação dos critérios se deu com base na experiência do autor, que contou com o apoio de outros profissionais da empresa da área de manutenção e operação.

Para tanto, conhecer a função operacional dos sistemas foi fundamental para uma correta atribuição dos critérios de criticidade.

As técnicas utilizadas são uma maneira de se demonstrar que cada equipamento está sujeito a um grau de criticidade e, portanto, pode-se avaliar melhor a estratégia de manutenção e gestão a eles impostos.

#### 4.4 INDICADORES

Sobre indicadores, em função das características da empresa e de seus ativos, são escolhidos e avaliados o desempenho dos ativos e o desempenho e a produtividade da equipe de manutenção.

Assim sendo, a proposta é que sejam coletadas informações e calculados os seguintes indicadores, além dos indicadores existentes:

- Indicador de Horas de Trabalho de cada amarradeira: HORÍMETRO
- Indicador de Desempenho dos Ativos: MTBF
- Indicador de Cumprimento das rotas de inspeção e preventiva nas amarradeiras: Grau de Realização das Preventivas em %.

Para o indicador HORÍMETRO, adequar o sistema eletrônico de funcionamento de cada amarradeira para indicar o tempo acumulado de trabalho em linha de produção. Anotar os valores em uma planilha de controle para apoio nos cálculos de MTBF.

Para os indicadores MTBF, a forma de cálculo será através da metodologia CROW-AMSAA, pois permite se verificar a tendência.

Para o indicador de grau de realização, considerar as ordens de manutenção preventivas executadas com apontamento de horas e dentro do prazo final de execução, como OK. As demais serão consideradas como não realizadas. Para se obter o resultado em %, considerar a quantidade de preventivas realizadas (OK), divididas pelo total de ordens emitidas para o prazo medido, multiplicado por 100.

Assim, neste capítulo foi possível se verificar que, com a aplicação das técnicas descritas no Capítulo 3, nos equipamentos definidos e delimitados no

Capítulo 2, é possível se gerar meios de se apresentar aos gestores a situação em que os ativos se encontram, a tendência e subsídios para decisões baseada em dados e fatos do histórico de operação dos ativos.

No Capítulo 5, será discutido e analisado os resultados dos itens abordados neste Capítulo 4, para reforçar os motivos de se ter estendido o trabalho com outras técnicas, além do RGA, principal objeto do estudo.

## **5 ANÁLISE DE RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES**

Este capítulo é dedicado a discutir os resultados dos itens abordados ao longo do Capítulo 4.

### **5.1 COMENTÁRIOS SOBRE A ANÁLISE E ITENS ABORDADOS**

Pode-se afirmar que a preocupação dos gestores, comentada no capítulo 1.4, se confirmou para algumas amarradeiras e outras, podem aguardar alguns anos para receberem o *overhaul*. Essa diluição de investimento vai proporcionar maior direcionamento da verba do orçamento de manutenção dos anos seguintes, a itens que tenham maior urgência. Porém, a definição por si só não é suficiente para manter este plano. É necessário dar maior segurança a decisão a ser tomada para que os ativos tenham o desempenho em linha com a expectativa projetada, e de acordo com os cálculos realizados.

Pelos motivos acima que foi necessário o complemento da classificação da criticidade, que traz melhoria da estratégia de manutenção, conforme altera-se a classificação para mais crítico, e principalmente com as revisões das preventivas sistemáticas.

Em linha com o objetivo, os indicadores propostos trazem maior controle e gestão à vista dos desvios que possam ocorrer com cada uma das amarradeiras e suportarão a programação para atender as datas definidas para *overhaul*.

## **6 CONCLUSÃO**

Este trabalho teve como objetivo dar suporte técnico para tomada de decisão a um corpo gerencial que, sem apoio de ferramentas de confiabilidade voltadas para a manutenção, estava com tendência a tomar decisões baseadas na experiência profissional e no sentimento do seu time de manutenção e operação.

Geralmente a tomada de decisão baseada na experiência é muito conservadora e em sua maioria leva a custos altos de manutenção em curto espaço de tempo, onde, por meio de programação baseada em cálculos, seria possível diluir os custos ao longo dos anos sem comprometer o desempenho.

Segundo análises realizadas, o tempo das 7 amarradeiras para *overhaul* pode ser programado para os próximos anos, o que pode representar redução de custo de mão de obra e materiais, considerando que os investimentos serão diluídos ao longo dos anos projetados.

Foi dado maior segurança a tomada de decisão com o complemento de técnicas de confiabilidade como revisão da classificação da criticidade e outros indicadores de manutenção, que forçam a revisão da estratégia de manutenção, bem como uma maior gestão a vista dos ativos abordados, principalmente pela necessidade de rever as preventivas sistemáticas, suas periodicidades e a qualidade de sua execução nos próximos anos.

Por fim, por tudo o que foi explanado e demonstrado ao longo deste trabalho, conclui-se que há subsídios suficientes para apoiar o time de gestão na tomada de decisão baseada em ferramentas de confiabilidade e principalmente, para estender este tipo de abordagem aos demais ativos da companhia que possam estar gerando custos excessivos, com decisões baseada somente em experiência profissional.

Como sugestão, pode-se avaliar a aplicação do estudo em turbo gerador de energia, prensa Nipco-flex da máquina de papel, rolo sucção prensa da máquina de papel, raspador de fundo do digestor, alimentador de alta do cozimento de cavacos.

## REFERÊNCIAS

BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e índices de manutenção** . 1. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.

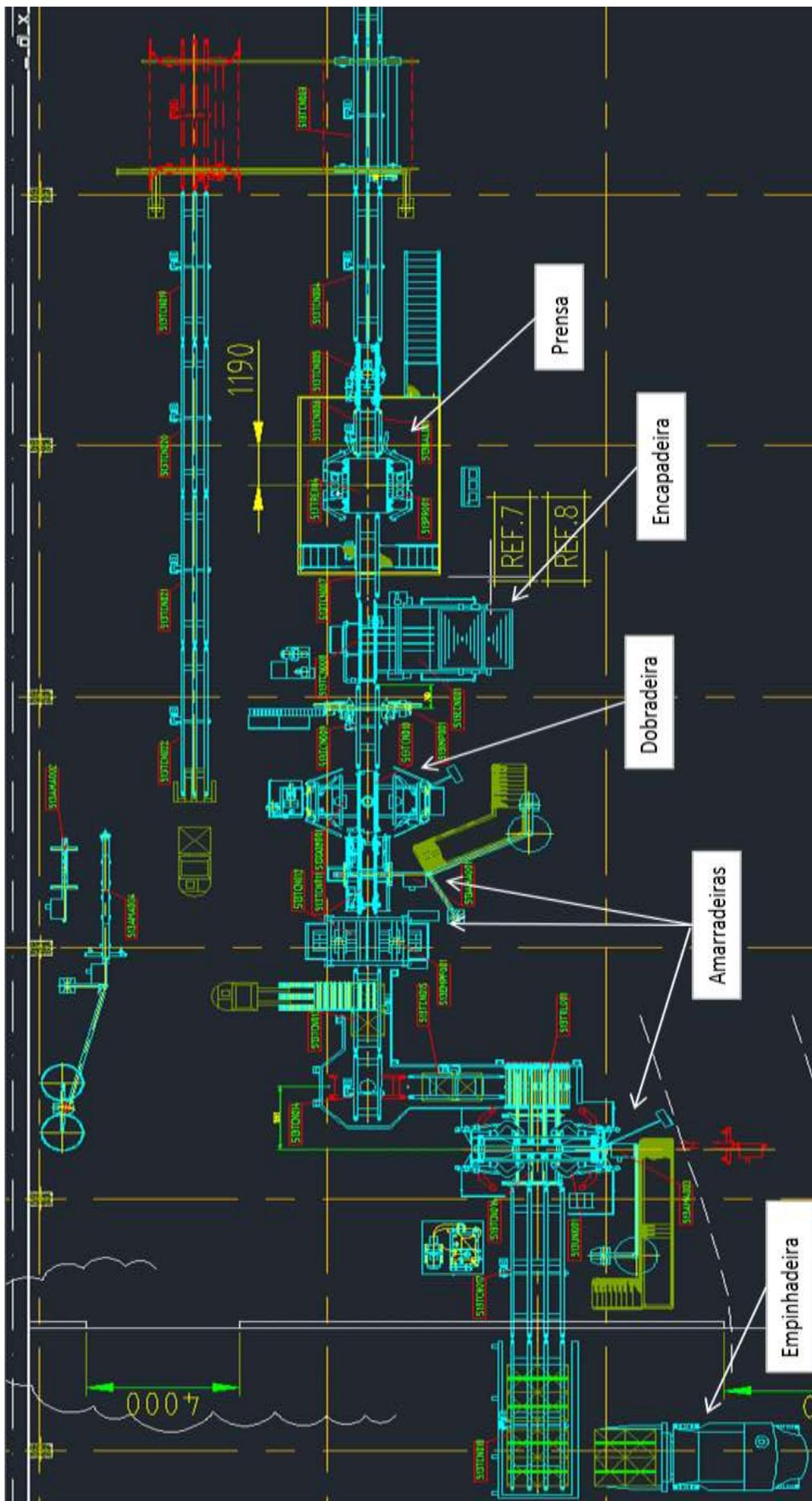
FOGLIATTO, Flávio S.; RIBEIRO, José Luiz D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

KARDEC, Alan; FLORES FILHO, Joubert F.; SEIXAS, Eduardo S. **Gestão estratégica e indicadores de desempenho**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

PALLEROSI, Carlos A.; MAZZOLINI, Beatriz P. M.; MAZZOLINI, Luiz Ricardo. **Confiabilidade humana: conceitos, análises, avaliação e desafios**. 1. ed. São Paulo: All Print, 2011.

RELIASOFT. **Software RGA**. Versão 9 – Licença acadêmica fornecida pela Reliasoft Brasil, com duração até 30/11/2016.

**ANEXO A** - Localização de cada amarradeira na linha de embalagem de fardos de celulose



**ANEXO B** - Hierarquia de TAG's ou LI's dos ativos na linha de embalagem,  
relacionados as amarradeiras

