

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE UM CASO DE MCC (MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE) PARA UMA CÉLULA DE TREFILARIA EM USINA SIDERÚRGICA

por

Vitor Hugo Machado da Silveira

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Novembro de 2008



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Estudo de um caso de MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) para uma
célula de Trefilaria em Usina Siderúrgica

por

Vitor Hugo Machado da Silveira

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Esmerio Mazzaferro

Comissão de Avaliação:

Prof. MSc. Eduardo Schneider

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez

Porto Alegre, 28 de Novembro de 2008.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais, *Isabel* e *Floriano*, por me propiciarem condições de freqüentar uma universidade conceituada.

Agradeço ao meu irmão, *Vitor Augusto*, por sempre se mostrar um fiel companheiro, e prestigiar-me com sua atenção nos assuntos referentes à vivência em Engenharia Mecânica.

À minha namorada, *Larrissa*, fonte de inspiração e grande incentivadora, sempre entendendo os intercursos inerentes dessa jornada.

Ao meu orientador, professor *Mazzaferro* pela ajuda e disponibilidade em tornar real esse trabalho.

À Gerdau Riograndense, em particular a *Paulo Berger* e *Edimar Madruga da Silva* pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional no meu período de estágio

Aos colegas de Gerdau, que de alguma forma cooperaram com esse trabalho, em especial ao Engenheiro *Leonardo Martins Cócio* e aos assistentes técnicos *Vanderlei Raupp*, *Paulo Ricardo Mandelli* e *Arcedino Salvi*.

SILVEIRA, V. H. M. **Estudo de um caso de MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) para uma célula de Trefilaria em Usina Siderúrgica**. 2008. 32f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RESUMO

Em um mercado cada vez mais exigente e competitivo, a manutenção dos processos industriais deve ser pró-ativa e, garantir além de disponibilidade e confiabilidade, assegurar qualidade. Assim, este trabalho visa estudar com base em bibliografias existentes, a atuação da manutenção segundo a metodologia da Manutenção centrada em Confiabilidade. Sendo assim se escolheu como objeto de estudo uma máquina de trefilar situada em uma usina siderúrgica, mais especificamente seu sistema mais crítico. Alinhado com a referida metodologia propõe-se um plano de manutenção que será comparado com plano de manutenção já existente, visando preservar as funções para as quais o equipamento é designado, através da ferramenta Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA). Também se procura estimar a confiabilidade de um item crítico situado no equipamento centro do estudo, através de uma base de dados, com auxílio de um software, o ProConf.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Centrada em Confiabilidade, Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA), Decapador de Lixas

SILVEIRA, V. H. M. **Study Case of Reliability Centered Maintenance to a drawing Mill cell in a Steel Plant.** 2008. 32f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ABSTRACT

In a market increasingly demanding and competitive, the maintenance of industrial processes must be proactive and as well as ensure availability and reliability to guarantee quality. Thus, this work aims to study based on existing bibliographies, the maintenance action according to the Reliability Centered Maintenance's methodology. As the object of study it was chosen a wire drawing machine located in a steel plant, more specifically its most critical system. Together with the said methodology provides a maintenance plan that will be compared with the existing maintenance, purposing preserve the equipment functions, through the "Failure Modes and Effects Analysis" tool (FMEA). It also seeks to estimate the reliability of an item critical located in the equipment which is the center of the study, through a database, with the help from software, the ProConf.

KEYWORDS: Reliability Centered Maintenance, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Sand Pickler

ÍNDICE

	Pág.
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	1
2.1. Tipos de Manutenção	1
2.1.1. Manutenção Corretiva	2
2.1.2. Manutenção Preventiva	2
2.1.3. Manutenção Preditiva	2
2.1.4. Manutenção Detectiva	3
2.1.5. Engenharia de Manutenção	3
2.2. Manutenção Centrada em Confiabilidade	3
2.2.1. Indicadores de desempenho aplicáveis a MCC	3
2.2.1.1. Tempo Médio entre Falhas (MTBF)	3
2.2.1.2. Tempo Médio para Reparo (MTTR)	3
2.2.1.3. Disponibilidade	4
2.3. Definições	4
2.3.1. Funções	4
2.3.2. Falhas	4
2.3.3. Modos de Falha	4
2.3.4. Causas de Falha	5
2.3.5. Efeitos de falha	5
2.3.6. Os seis padrões de Falha	5
2.4. Distribuição de Weibull	6
3. Metodologia	6
4. Estudo de Caso	7
4.1. Introdução	7
4.1.1. Gerenciamento de Manutenção da Área	7
4.1.2. Mapa do Processo de Trefilação	8
4.2. Escolha do objeto de estudo	9
4.3. Análise das funções e falhas funcionais	11
4.4. Seleção dos itens críticos	15
4.5. Análise dos modos de falha e efeitos	17
4.6. Seleção das tarefas de manutenção	18
4.7. Definição das frequências das tarefas de manutenção	18
4.8. Análise de Weibull na MCC	20
5. Conclusões	21
6. Referências Bibliográficas	22
7. Apêndices	23
7.1. Apêndice I	23
7.2. Apêndice II	24
7.2. Apêndice III	24
8. Anexos	26
8.1. Anexo I	26
8.2. Anexo II	27

1. INTRODUÇÃO

No período de 1940 a 1950, a indústria não apresentava alto grau de mecanização, sendo comum superdimensionar as funções aos quais os equipamentos eram designados, logo o desempenho dos mesmos pouco importava. Assim, ocorrendo defeitos, os mesmos eram apenas reparados, não se tinha uma cultura de planejamento de atividades de manutenção preventiva. Limitava-se a ação da área de manutenção apenas às tarefas corretivas, a limpeza e lubrificação.

Após esse período, temos a chamada segunda geração da Manutenção. Ela resulta da industrialização pela qual o mundo passou no pós-guerra, junto à necessidade crescente por produtos e processos industriais. A falta de mão-de-obra especializada e alto nível de automação levaram a um custo crescente de correção de falhas, gerando assim uma expectativa maior sobre o desempenho da indústria. Assim uma vida útil maior e maior disponibilidade se tornaram quesitos básicos para avaliar os equipamentos.

Esse contexto conduziu a um aumento significativo na busca por técnicas de manutenção que visassem minimizar os impactos das falhas nos processos produtivos. Resultado desse aumento teve-se as primeiras técnicas de manutenção preditiva e a revisão periódica dos equipamentos, mas sem que as atividades características da primeira geração fossem abandonadas. Assim nos meados dos anos 70, essas técnicas foram compiladas e integradas pela TPM (do inglês, *Total Productive Maintenance* – Manutenção Produtiva Total).

Mesmo com o surgimento da TPM, as técnicas da segunda geração foram incapazes de superar as exigências da automação industrial no fim da década de 70. A elevação dos custos de mão-de-obra e de capital, o consumo em larga escala, unidos a concorrência mundial fizeram com que o dimensionamento dos equipamentos fosse ajustado à necessidade dos processos, implicando em um aumento da importância da manutenção.

Já não eram mais exigidas apenas disponibilidade, confiabilidade e vida útil maior, mas também qualidade e garantia de desempenho dos produtos. Também se observa nessa geração que serviços básicos – como saúde e saneamento – passam a depender totalmente da automação, aliado com a consciência ambiental e a garantia de segurança para os usuários dos processos e produtos industriais motivaram o surgimento da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (Siqueira, 2005).

Em um mundo globalizado e volátil, onde as exigências de mercado mudam a todo instante, os produtos seguem essa tendência, o que leva a manutenção a um caráter pró-ativo. Sabe-se que equipamentos parados em momentos de produção, ou com baixa produção por manutenção inadequada, podem implicar na perda de clientes. E estes são exigentes, e requerem qualidade no produto. Logo, a manutenção deve ser eficaz e eficiente garantindo alta confiabilidade e disponibilidade, baixo custo e padrão qualidade (Pinto e Xavier, 2001).

Sendo assim, este trabalho visa estudar um caso de aplicação da metodologia de MCC em uma célula de trefilaria, da área de Trefila 2 (dois) da Gerdau Riograndense, situada na cidade de Sapucaia do Sul (RS), e integrante da área de negócios Gerdau Aços Longos S/A. Baseando-se em trabalhos e livros relacionados com o tema procura-se verificar a técnica em equipamento da referida unidade. Segue-se uma metodologia constituída de oito etapas que serão melhores discriminadas posteriormente. Conclui-se o estudo comparando o plano de manutenção obtido dessa técnica com o plano atualmente praticado na célula.

Fechando o mesmo, procura-se com auxílio de um software estimar a confiabilidade do sistema através de dados de falhas para o item crítico selecionado na última etapa da metodologia supracitada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. TIPOS DE MANUTENÇÃO

O modo como são realizadas as intervenções nos equipamentos ou máquinas caracterizam os tipos de manutenção existentes. Devido à existência de uma variada gama de denominações é pertinente caracterizar de forma mais objetiva os principais tipos de manutenção segundo Pinto e Xavier, 2001.

2.1.1. Manutenção Corretiva

Essa modalidade de manutenção caracteriza-se pela atuação com fim de corrigir uma falha ou um desempenho abaixo do esperado. São essas duas condições que definem se a manutenção corretiva a ser executada deverá ser planejada ou não planejada.

A manutenção corretiva não planejada é definida pela atuação em um fato já ocorrido, tanto sendo por falha ou desempenho indesejado. Devido à falta de tempo para preparação da intervenção, ela implica custos altos e, por conseguinte perdas de produção e de qualidade, bem como conseqüências graves para o equipamento.

Já a manutenção corretiva planejada caracteriza-se pela correção do desempenho ou da falha por decisão gerencial, ou seja, decisão de intervir segundo acompanhamento ou por decisão de operar até a quebra. Mesmo quando opção de operar até a quebra é escolhida, tem-se todo um aparato preparado como facilitação e preparação para o serviço. Essa decisão também pode ser fundamentada em certos fatores: (i) Compatibilidade de interesses entre manutenção e produção; (ii) Segurança operacional; (iii) Melhor planejamento; (iv) Garantia de existência de peças, ferramentas e mão-de-obra.

2.1.2. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é definida como ações de manutenção visando reduzir ou evitar falha ou desempenho indesejado baseados em um plano previamente elaborado com períodos de tempo definidos.

Esses períodos nem sempre são especificados pelos fabricantes, então se utilizam as condições operacionais e ambientais, bem como experiências em instalações similares. Sendo assim, os fatores abaixo listados devem ser considerados para a adoção de uma política de manutenção preventiva:

- Impossibilidade de uso da manutenção preditiva;
- Aspectos de segurança pessoal ou de instalação;
- Oportunidade de realização devido à dificuldade de liberação da máquina (ou do equipamento);
- Riscos ambientais.

Essa pratica proporciona um melhor planejamento e nivelamento dos recursos, além da previsão de custos de manutenção e necessidade de mão-de-obra. Entretanto, essa prática leva a introdução de defeitos não-existentes previamente, tais como: (i) Falha humana; (ii) Falha de sobressalentes; (iii) Contaminação de óleos; (iv) Danos devido a partidas e paradas; (v) Falhas no procedimento preventivo.

2.1.3. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é a atuação com base em alteração de condição ou desempenho, cujo acompanhamento é sistemático. Essa técnica é a primeira quebra de paradigma na manutenção e quanto mais usada, mais confiáveis tornam-se as avaliações segundo esse método.

Seu principal objetivo é prevenir falhas com base em acompanhamento de parâmetros, permitindo assim a operação pelo maior tempo possível, pois não promove intervenção nos sistemas. E é esse acompanhamento que permeia a decisão de intervenção.

Para se implantar essa sistemática necessitam-se as seguintes condições:

- Equipamento ou sistema deve permitir monitoramento;
- Viabilidade para o equipamento ou sistema;
- As causas de falhas e suas tendências possam ser acompanhadas;
- Criação de um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico.

A redução de falhas catastróficas é significativa, assim como a ocorrência de falhas inesperadas, além de um aumento de segurança pessoal, redução de paradas inesperadas e prejuízos.

2.1.4. Manutenção Detectiva

Técnica relativamente moderna utilizada para detectar falhas ocultas ou imperceptíveis ao pessoal de manutenção e operação com base em sistemas de proteção. Essa identificação é primordial para assegurar a confiabilidade. Também se pode dizer que estes sistemas são o limite entre a integridade e a falha, facilitando a retirada de um sistema que esteja operando fora de seus limites.

2.1.5. Engenharia de Manutenção

É considerada a segunda quebra de paradigma da manutenção bem como uma mudança cultural. Nela deseja-se deixar de praticar reparos continuamente, para concentrar o foco das ações em: (i) Procurar as causas básicas; (ii) Modificar situações de mau desempenho; (iii) Melhorar padrões; (iv) Desenvolver a manutenibilidade; (v) Interferência técnica nas compras; (vi) Perseguir as melhores práticas (*benchmarks*).

Em suma a prática da Engenharia de Manutenção se dá pelo uso de análises e propostas de melhorias, os dados coletados e armazenados pelas técnicas preditivas e de dados adquiridos pela manutenção preventiva.

2.2. MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Contrapondo-se à visão tradicional, a manutenção centrada na confiabilidade visa garantir que o equipamento siga cumprindo com suas *funções* dentro do contexto operacional, ao invés de tentar restabelecer uma condição ideal. Essa metodologia consiste em mudar o foco de tratamento das falhas, da caracterização para a análise dos efeitos das mesmas.

O planejamento de manutenção nessa metodologia tem como parâmetros de atividade as funções e padrões de desempenho desejados dentro do contexto operacional, desprezando critérios subjetivos como julgamento e “tentativa e erro”, característicos de uma visão mais tradicional.

Do ponto de vista de custos, a MCC age de forma a reduzir a necessidade de atividades de manutenção preventiva bem como os custos das mesmas, por conseguinte também reduzindo as intervenções corretivas. Salienta-se que o processo é contínuo, devendo ser avaliada continuamente de acordo com a experiência que se adquire do sistema, observando que em um primeiro momento usa-se um comportamento mais conservador.

Alguns de seus benefícios são: redução de carga de trabalho preventivo; aumento de disponibilidade e da vida útil dos equipamentos, especialização do pessoal em planejamento de manutenção, entre outros (Lafraia, 2001).

2.2.1. Indicadores de desempenho aplicáveis a MCC

2.2.1.1. Tempo Médio entre Falhas (MTBF)

A norma ABNT NBR 5462(1994) descreve o MTBF (do inglês, *Mean time between failure*) como a média aritmética dos tempos existentes entre o fim de uma falha e o começo de outra falha. Deve-se apenas considerar o tempo de funcionamento. O que matematicamente é expresso por:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n TPF_i}{N} \quad (2.1.)$$

onde TPF_i é o tempo entre a última posta em marcha e o início de outra falha e N é o número de ocorrências (Cunha, 2005).

2.2.1.2. Tempo Médio para Reparo (MTTR)

A mesma norma acima referida define o MTTR (do inglês, *Mean time to repair*) como a média aritmética dos tempos de reparo de um sistema, de um equipamento ou de um item.

Matematicamente:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR_i}{N} \quad (2.2.)$$

onde TPR_i é a duração do reparo e N é o número de ocorrências (Cunha, 2005).

2.2.1.3. Disponibilidade

É a capacidade de um bem físico (tanto item, equipamento ou sistema) de desempenhar sua função em instante de tempo determinado, levando em conta sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção. Considera-se também que os recursos externos requeridos devem ser assegurados. De forma quantitativa e percentual define-se como:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100 \quad (2.3.)$$

em que D designa a disponibilidade percentual (NBR 5462, 1994).

2.3. DEFINIÇÕES

2.3.1. Funções

Função é o desejo de que o item físico se comporte dentro de um padrão de desempenho especificado. Também se pode dizer que descreve o objetivo de existência dos sistemas, bem como a possibilidade de falhas dentro da ótica dos usuários (Siqueira, 2005).

Segundo Zaions (2003), a definição de uma função deve ser constituída de um verbo, de um objeto e de um padrão de desempenho desejado.

As funções são divididas entre principais e secundárias. A função principal é normalmente a razão pela qual o ativo foi adquirido. Logo a manutenção age para garantir ao menos um desempenho mínimo da função principal. Já as funções secundárias objetivam agregar valor ao item, e são divididas em: (i) integridade ambiental; (ii) segurança e integridade estrutural; (iii) controle, armazenamento e conforto; (iv) aparência; (v) economia e eficiência; e (vi) supérfluas (Siqueira, 2005).

2.3.2. Falhas

Para Siqueira (2005), falha é uma interrupção ou alteração da capacidade de um item realizar sua função. Complementando essa definição, as falhas podem ser classificadas de acordo com: (i) origem; (ii) extensão; (iii) velocidade; (iv) manifestação; (v) criticidade; ou (vi) idade.

Entretanto essa classificação é diferente na MCC, que as classifica de acordo com o efeito que geram sobre a função. São dois os tipos de falha segundo a MCC:

- **Falha Funcional:** incapacidade de desempenhar a função dentro de limites desejados de desempenho;
- **Falha Potencial:** condição identificável e mensurável que indica falha pendente ou em ocorrência.

2.3.3. Modos de Falha

Lafraia (2001) define modo de falha como descrição da maneira pela qual um item falha em cumprir sua função. E engloba as ocorrências que levam a alteração da função e suas metas desempenho. Deve-se também priorizar a identificação de modos que resultem em falhas funcionais. Os modos de falha mais usuais são: (i) A – Falha em operar no instante prescrito; (ii) B – Falha em cessar de operar no instante prescrito; (iii) C – Operação prematura; e (iv) D – Falha em operação.

A descrição do modo de falha consiste em um substantivo e um verbo. Esse verbo deve ser escolhido com cuidado, pois influencia o gerenciamento da falha (Zaions, 2003).

2.3.4. Causas de Falha

É o porquê do funcionamento errado do item. Diferentemente de modo, que é o quê está errado no funcionamento. Enquanto a manutenção centra nos modos de falha, o projeto se concentra nas causas. Em suma, um conjunto de modos de falha pode ser originado por um conjunto de causas (Siqueira, 2005).

Zaions (2003) referencia que as causas de falha são associadas à: (i) falha de projeto; (ii) defeitos do material; (iii) deficiências no processamento ou na fabricação; (iv) defeitos de instalação e montagem; (v) condições de serviço não previstas ou fora de projeto; (vi) deficiência de manutenção; ou (vii) operação indevida.

2.3.5. Efeitos de falha

Segundo Siqueira (2005), o efeito é o que acontece quando um modo de falha se apresenta. Com essa definição, devem-se pesquisar os impactos dos modos de falha para se definir as conseqüências dos mesmos.

São exemplos de efeitos típicos: (i) esforço de operação; (ii) vazamento de ar; (iii) desgaste prematuro; (iv) consumo excessivo; entre outros (Zaions, 2003). A ligação entre função, modo de falha, causa e efeito é vista na figura 2.1.

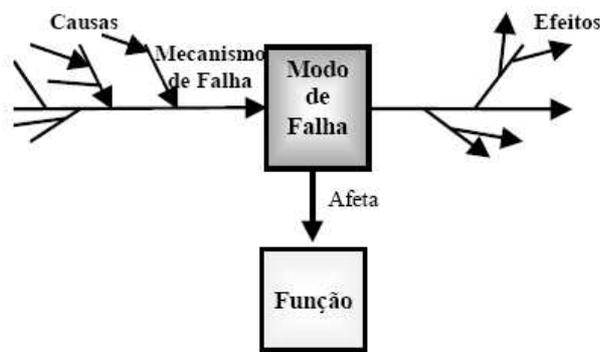


Figura 2.1. – Ligação entre Causa, Modo e Efeito de falha.

2.3.6. Os seis padrões de Falha

A Manutenção Centrada em Confiabilidade utiliza um modelo que contempla seis padrões de falha para caracterizar o comportamento dos equipamentos durante sua vida, além de representar a frequência em que surgem as falhas dentro do período operacional (Zaions, 2003; Lafraia, 2001; Siqueira, 2005).

O padrão A é a “curva da banheira”. Neste temos três estágios:

- **Mortalidade infantil:** as falhas presentes são prematuras e decrescem com o tempo. Normalmente associadas a problemas no projeto do componente, sobrecarga ou até erro humano;
- **Período de vida útil:** período caracterizado por uma taxa de falhas constantes e normalmente de origem aleatória;
- **Desgaste:** é o fim da vida útil do item, apresenta uma taxa de falhas crescente. Associado sempre a fenômenos como fadiga, corrosão, manutenção deficiente.

O padrão B inicia-se com um período de taxa de falhas constante seguido de um período de desgaste próximo ao fim de sua vida útil. Normalmente presente em equipamentos que degradam naturalmente, ou que estão sujeitos a esforços cíclicos e repetitivos, ou então que entram em contato com a matéria-prima. Salienta-se que para esse tipo de padrão o uso do MTBF para estabelecer o prazo de intervenção não é útil.

O padrão C possui uma probabilidade de falhas crescente, mas não se detectam falhas por desgaste. Uma provável causa é a fadiga.

Padrão D apresenta uma baixa taxa de falha no início da vida do item, mas posteriormente sofre um rápido crescimento da taxa, que logo estabiliza.

O padrão E assemelha-se muito com o padrão B, tendo uma taxa de falhas constante de ordem aleatória por qualquer período. Entretanto nesse caso, um item confiável é aquele que falhar com maior frequência.

No padrão F temos duas particularidades: (i) é o único que a taxa de falhas decresce com o tempo; (ii) é o mais usual de todos. Reforça-se que o mesmo tem a maior chance de falhar no início de sua vida.

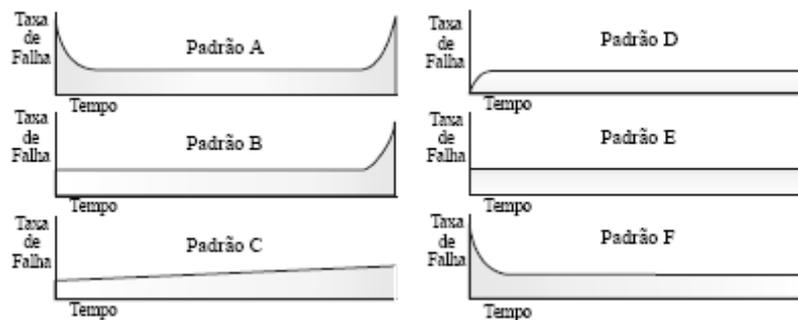


Figura 2.2. – Padrões de falha (Fonte: Siqueira, 2005).

2.4. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A distribuição de Weibull, nomeada pelo seu criador Hjalmar W. Weibull é uma distribuição de probabilidade contínua, usada em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas. Esta mostra uma boa aderência a dados de falha de equipamentos, necessitando menos ocorrências se comparada com outras distribuições. Essa ferramenta é caracterizada por três (3) parâmetros abaixo descritos (Lafraia, 2001):

- **Tempo de vida mínima ou tempo até a falha (t_0):** é tempo mais provável de uso do equipamento até a primeira falha. Tem três modos:
 1. $t_0=0$ – Probabilidade de Falha igual a zero;
 2. $t_0>0$ – Há confiabilidade intrínseca;
 3. $t_0<0$ – Probabilidade de falhar antes do uso.
- **Parâmetro de escala (η):** é o tempo de vida característica;
- **Fator de forma (β):** Define a forma da distribuição, bem como definir o período de vida do componente.
 1. $\beta<1$ – Fase de mortalidade infantil;
 2. $\beta=1$ – Taxa de falhas constante, falhas ligadas a aleatoriedade;
 3. $\beta>1$ – Taxa de falha crescente em função do tempo;
 4. $\beta>2$ – Taxa de falha linearmente crescente;
 5. $\beta>3,2$ – Forma próxima da distribuição normal.

Assim do ponto de vista mais próximo da confiabilidade, a Distribuição a modela da seguinte maneira:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.4.)$$

3. METODOLOGIA

Estudos de caso de Manutenção centrada na Confiabilidade vêm sendo discutidos por vários autores, como Moubray (2000) e Rausand et al (1998), mas na prática pouco se diferenciam. Essas diferenças vêm da experiência relatada por cada autor.

Segundo o modelo sugerido por Zaions (2003), o estudo de caso se resume em oito etapas. Salienta-se que a etapa de preparo do estudo que seria a primeira foi suprimida, e uma etapa foi inserida a fim do estudo. Essa etapa trata-se de avaliar o componente escolhido com base na análise de Weibull. Abaixo estão listadas as etapas em ordem de realização:

- I. **Seleção e Determinação do Sistema:** compreende a determinação do sistema analisado e o nível: planta industrial, sistemas e itens físicos. Também foram

apresentados o sistema de gerenciamento de manutenção e o mapa de processo produtivo;

- II. **Análise das funções e falhas funcionais:** identificam-se as funções do sistema e as fronteiras entre os sistemas na realidade da área de trefilaria. Nela estão contidos: descrição do sistema; diagrama de blocos funcionais, interfaces de entrada e de saída; lista de itens físicos e de controle;
- III. **Seleção de itens críticos:** selecionam-se os itens físicos potencialmente críticos baseado na relação com as funções funcionais;
- IV. **Coleta e análise de informações:** coletam-se e analisam-se dados de interrupções do equipamento, paradas mecânicas. Enfim, avalia-se o histórico de máquina. É a única etapa que pode ser realizada qualquer momento;
- V. **Análise de modos e efeitos de falhas:** identificam-se o papel que itens físicos realizam nas falhas funcionais através de seus modos de falha;
- VI. **Seleção de tarefas preventivas:** selecionam-se as tarefas viáveis e factíveis na prevenção das falhas funcionais. Nessa etapa, o plano de atividades preventivas proposto será confrontado com o plano de manutenção existente. Além de revisar o mesmo na caça de erros e omissões;
- VII. **Definição da periodicidade das tarefas preventivas:** determinam-se as periodicidades das tarefas de manutenção descritas na etapa anterior;
- VIII. **Análise de Weibull do item físico crítico:** avalia-se para os modos de falha do item físico para estimar sua confiabilidade com base em seu histórico de paradas.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. INTRODUÇÃO

O estudo de caso de MCC foi realizado na área de Trefila 2 (dois) da Gerdau Aços Longos S/A, localizada no município de Sapucaia do Sul, cujos principais produtos são arames, destinados ao uso industrial e agropecuário.

A área em questão é dividida em quatro principais células:

- 1 – Trefilaria: célula responsável pela trefilação do Fio-Máquina (5,50mm). Consiste na redução da seção do arame para obtenção de produtos com diâmetros menores e mais resistentes que o fio-máquina. Seus clientes internos são a Fábrica de Pregos, Galvanização e Recozimento. Nessa produção apenas 5% são arames vendidos direto para cliente externo;
- 2 – Galvanização: tem como responsabilidade galvanizar o arame trefilado. Sendo um processo que consiste no pré-aquecimento do arame, para aliviar as tensões (recozimento), seguido por um banho de zinco. Seus clientes são o Acabamento e a Trefila 1 (arama de farpas e amarração do ovalado);
- 3 – Recozimento e Acabamento da Galvanização: Célula responsável pelo aquecimento e resfriamento do arame proveniente da trefilação, visando aumentar sua ductibilidade. Já o acabamento da galvanização visa preparar o produto para a expedição para os clientes internos e externos.

Salienta-se a decisão de estudar a célula de trefilaria (apêndice 1) pela facilidade de observação da realidade de manutenção, de coleta de dados e de diversidade de equipamentos.

4.1.1. Gerenciamento de Manutenção da Área

A área adota um sistema de manutenção centralizado na figura do Facilitador de manutenção, que detém o comando da manutenção de todas as células da área. Esse setor está subordinado à gerência da área, que estabelece juntamente com a programação de produção as metas de produção, consultando o setor quanto à disponibilidade do maquinário. Abaixo da figura do facilitador, encontram-se os mecânicos, o lubrificador e os estagiários. Também se tem o vínculo do Planejador de manutenção e do facilitador de melhorias. O planejador administra as informações necessárias para nortear as decisões de manutenção, usando uma ferramenta computacional. Essa ferramenta facilita o acesso às informações e

aos históricos de manutenção, e sua retroalimentação é feita a partir do retorno dos planos de manutenção preventivos previamente executados. Na área, bem como em toda a unidade, têm-se impressos como rotas de manutenção, etiquetas de manutenção e de manutenção autônoma, para fornecer subsídio para o planejamento e controle das atividades.

O facilitador de melhorias tem suas atividades centradas em melhorias e reformas de equipamento, com base em critérios de falha, histórico de manutenção e necessidades da produção. As reformas são totalmente terceirizadas desde atividades de usinagem até pneumática e hidráulica.

A oficina mecânica é outro importante setor, onde se realizam os serviços impossíveis de serem realizados na área, assim como fabricação de certas peças.

O gerenciamento das atividades preventivas é realizado de acordo com a execução das seguintes ações: (i) planos de lubrificação; (ii) rota de inspeção mecânica realizada pelo plantão; (iii) planos de manutenção preventiva; (iv) controle de etiquetas de manutenção; (v) programação semanal de manutenção; e (vi) controle de paradas mecânicas apontadas pelos mecânicos.

A rota de inspeção mecânica consiste em inspeções diárias e semanais realizadas pelos mecânicos de plantão, com o uso de ferramental adequado ou por contato visual e manual, a procura de anomalias como vazamentos de óleo ou água, afrouxamento de parafusos, desgaste de correias e bobinadores, entre outros. O resultado dessa atividade é transcrito para o controle de paradas mecânicas ou para etiquetas de manutenção.

Essas informações juntamente com os planos de manutenção encerrados previamente e necessidades de melhoria, alimentam o gerenciamento a fim de permear as atividades a serem executadas em uma próxima atividade programada.

Semanalmente é realizada uma reunião de programação de manutenção, a Proman. Nela se fazem presentes, o facilitador de manutenção, os facilitadores de produção das três células previamente supracitadas, o planejador de manutenção, o facilitador de melhorias e a equipe de manutenção (mecânicos). O resultado dessa reunião é uma planilha semanal onde se encontram as máquinas que entraram em atividade preventiva, juntamente com suas pendências recolhidas na rota, melhorias, homens-hora empregados no serviço, horário de início das atividades e divisão da equipe.

Para serviços emergenciais, existe um controle previamente citado onde o executante transfere dados, tais como: (i) máquina; (ii) turno e turma; (iii) carga horária; e (iv) descrição breve das atividades e número da ordem de serviço aberta para o mesmo. Esse controle também é transferido para o gerenciamento, para que o mesmo trate os dados. Uma das atividades que usam esse controle é o planejamento de reformas de máquinas, de responsabilidade do facilitador de melhorias.

Dentro desse gerenciamento usa-se uma matriz de criticidade, isto é, um critério que define o quanto crítica a máquina ou estrutura pode ser ao atendimento de produção, impacto na qualidade ou no custo e complexidade de manutenção. Esta tem os critérios definidos abaixo:

- A. **Máquina com criticidade alta:** aquelas cuja falta impacta na produção, não possui máquina substituta, é complexa do ponto de vista da manutenção e impacta no custo;
- B. **Máquina com criticidade média:** aquelas cuja falta impacta na produção, mas não para o processo, ou não tem manutenção complexa;
- C. **Máquina com criticidade baixa:** aquele que não impacta na produção nem no custo, e possui reserva.

As máquinas com criticidade alta possuem prioridade de manutenção com relação às demais. Na área tem-se uma realidade com poucas máquinas altamente críticas, entretanto essas se concentram na sua maior parte na célula de trefilaria, o que fica evidenciado no apêndice 2.

4.1.2. Mapa do Processo de Trefilação

A usina siderúrgica onde se localiza a célula de trefilaria supracitada trata-se de uma usina semi-integrada, ou seja, opera apenas com duas fases do processo siderúrgico: refino e laminação.

A sucata ferrosa é o principal insumo na produção do aço, esta depois de prensada, cortada e triturada, é processada em Forno Elétrico a Arco de Fusão, visando seu uso como

matéria-prima no processo de fusão e refino do aço. Após essa etapa, o aço passa pelo chamado *Refino Secundário*, realizado no forno panela, com o objetivo de ajustar sua composição química e temperatura.

Esse aço refinado é transportado ao Lingotamento Contínuo, onde é vazado em um distribuidor que o leva a vários veios. Em cada um desses veios, o aço líquido passa por moldes de resfriamento para ser solidificado na forma de tarugos, que são cortados em pedaços convenientes para a Laminação. Na referida usina, o padrão para tarugos é uma seção quadrada de 120x120 mm² e aproximadamente 5 metros de comprimento.

Ao sair da Aciaria, os tarugos são depositados no pátio de tarugos próximos à laminação. Na laminação, o tarugo é levado ao forno de reaquecimento que eleva sua temperatura numa faixa entre 1000 e 1200°C, para permitir sua conformação. Essa é iniciada no desbaste onde se fazem as primeiras deformações – normalmente onde ocorrem as reduções mais bruscas de seção – preparando o mesmo para os cilindros intermediários. Esses por sua vez preparam-no para o trem acabador, que tem como função deixar o produto com a forma final e dentro de sua tolerância. No caso de trefilação, esse produto final são rolos. Para rolos, o bloco recebe o tarugo diretamente do trem intermediário produzindo o fio-máquina, esse em forma de bobinas.

Já dentro da área de Trefila, o fio-máquina é previamente decapado, isto é, retira-se a camada de óxido da superfície (carepa). Após isso ele é transformado mecanicamente a frio no sentido de reduzir seu diâmetro de acordo com as especificações requeridas. O produto então é acumulado em forma de bobinas e será então usado como matéria-prima na produção de produtos comerciais. Para um aumento de ductilidade do aço, que durante a trefilação sofreu aumento de resistência, é preciso submetê-lo a um tratamento térmico de recozimento (aquecimento seguido de resfriamento a temperatura ambiente). Após esse recozimento o arame é galvanizado, ou seja, recebe uma camada de zinco superficial a quente, com o intuito de dar uma melhor proteção contra a oxidação. O mercado principal de arame recozido é a construção civil, sendo utilizado como amarrilho de vergalhões nas obras.

O mercado do galvanizado é muito amplo. O galvanizado é utilizado em telas para cercas, arames farpados, ovalados para agropecuária.

4.2. ESCOLHA DO OBJETO DE ESTUDO

Com base na estruturação da área de Trefila e na matriz de criticidade citada na seção 4.1.2. percebe-se que a célula de trefilaria possui o maior número de máquinas críticas, bem como também uma diversidade de equipamentos, por isso é necessário escolher o mais crítico.

Essa escolha baseou-se nos seguintes critérios: (i) criticidade alta de acordo com a matriz de criticidade – apêndice dois, sendo esse critério eliminatório; (ii) menor tempo médio entre falhas (MTBF); (iii) maior tempo médio de reparo (MTTR); e (iv) disponibilidade percentual. Salienta-se que os demais critérios serão confrontados para a determinação da máquina de estudo. Vemos que a matriz de criticidade (apêndice dois) cita como máquinas de criticidade alta dentro da célula de trefilaria, ou trefilação, as máquinas:

- BAUT: Máquina de único passe de redução, responsável pela trefilação de arames com diâmetro entre 4,4mm e 7,6mm, destinados na maioria para a fabricação de pregos; K-9: Máquina com nove passes de redução, responsável por produzir arames de bitolas entre 1,40mm e 2,12mm, destinados ao cliente externo;
- MF-7: Máquina composta de sete reduções de seção, sendo que a última confere seção oval (diâmetro maior entre 2,20 e 2,90 mm). Este se destina ao uso em telas e cercas;
- MF-11: Máquina robusta de onze passes produz as bitolas mais finas (de 1,25mm até 1,70mm). Usado em diversas aplicações como arame farpado;
- OTT-5: Máquina de cinco passes que tem por finalidade abastecer a fabricação de pregos da referida unidade, normalmente de 3 mm de diâmetro;
- OTT-7: Máquina de sete passes que produz os mesmos produtos que a MF-7. É considerada crítica por substituir a MF-7 em caso de quebra ou falha.

Assim reduz-se o número de máquinas à apenas seis.

Para o segundo critério temos no gráfico abaixo o valor de MTBF, para o período de julho de 2007 a junho de 2008, referente às máquinas que atenderam o critério (i). Observa-se que os menores índices são das máquinas: MF-7 e K-9.

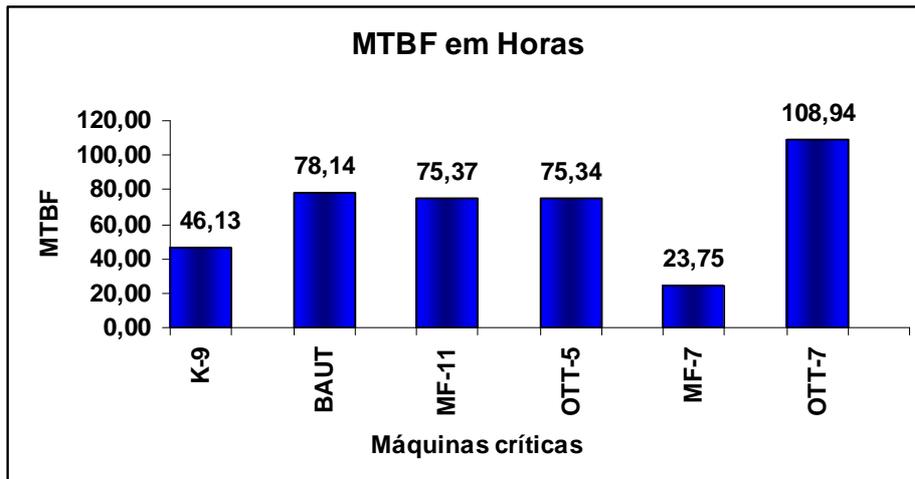


Figura 4.1. – Gráfico de MTBF para as máquinas consideradas críticas.

Já segundo, para o terceiro critério temos na seqüência o gráfico de MTTR. As máquinas BAUT e OTT-5 têm os índices menos desejáveis nesse ponto.

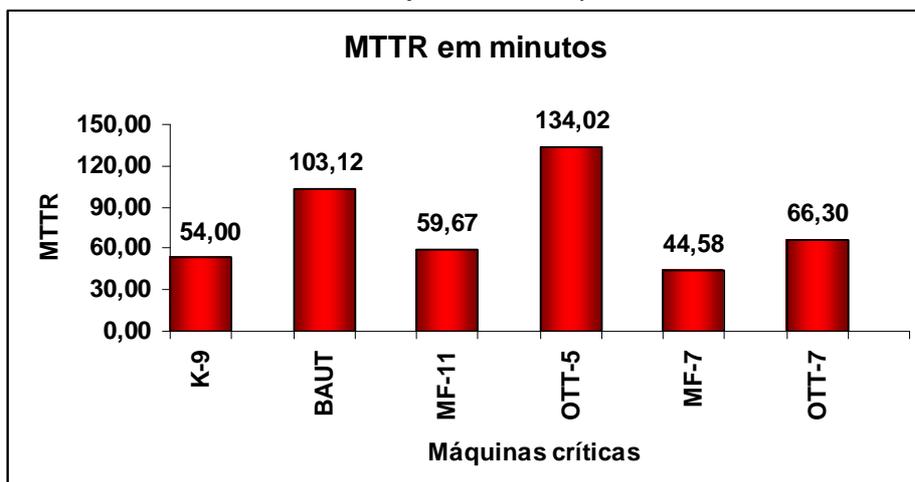


Figura 4.2. – Gráfico de MTTR para as máquinas consideradas críticas.

Já o quarto critério analisa a máquina de acordo com sua disponibilidade para produção, o que pode ser visto na figura 4.3.

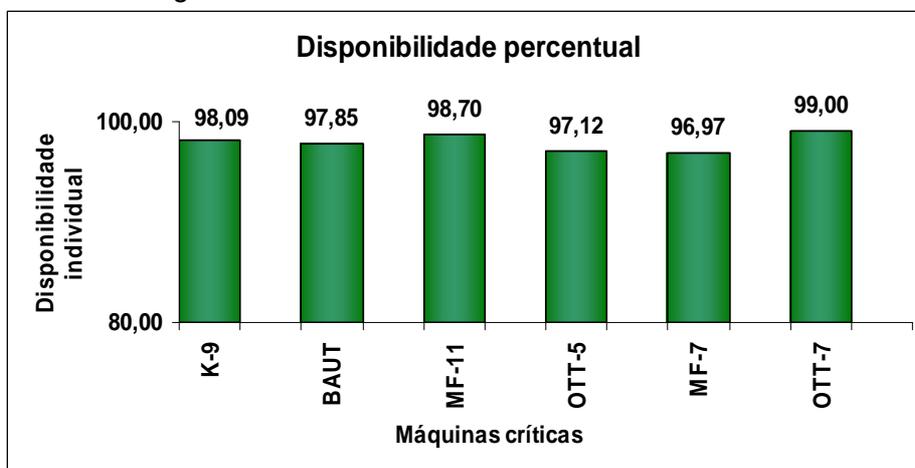


Figura 4.3. – Gráfico de disponibilidade percentual para as máquinas críticas.

Para centrar o estudo de caso a que se propõe esse trabalho escolheu-se a máquina de trefilar MF-7, justifica-se com as seguintes explicações: (i) criticidade alta; (ii) MTBF mais baixo dentre as máquinas críticas; e (iii) menor disponibilidade percentual.

Após essa decisão, a máquina foi dividida em quatro sistemas funcionais, e conseqüentemente em subsistemas. Essa divisão é visualizada na figura 4.4.

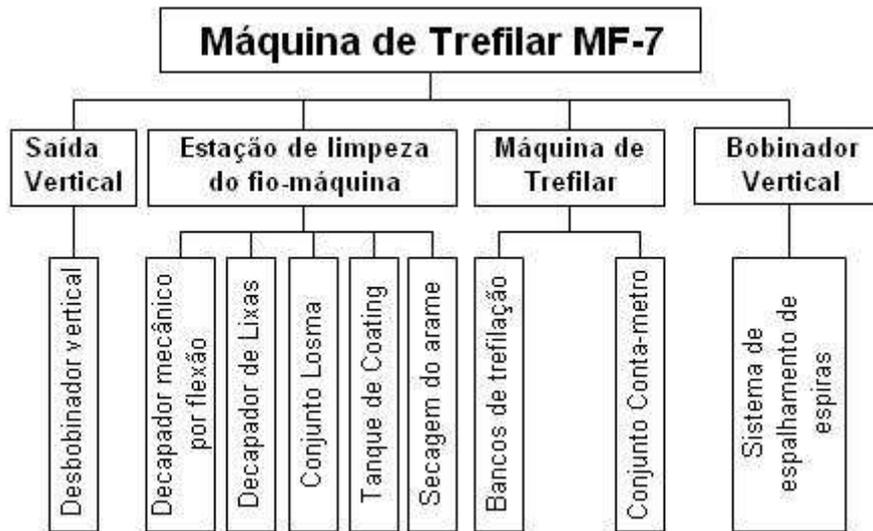


Figura 4.4 – Sistemas e subsistemas funcionais.

Os sistemas são grupos de subsistemas reunidos devido às funções principais, com base em definição prévia do equipamento.

Observa-se que a máquina tem uma forte complexidade, então se centrou o estudo no sistema funcional da estação de limpeza do fio-máquina, e mais conhecido como “Decapador de Lixas”. Esse subsistema possui itens físicos de ordem mecânica, elétrica e eletrônica. Tais como cilindro tensionador da lixa abrasiva, conjunto lubrefil, conjunto flyer, roletes de entrada, união rotativa, correia de transmissão, entre outros (apêndice 3).

4.3. ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

Segundo Zaians (2003), essa etapa do estudo de caso é essência para a manutenção centrada em confiabilidade. Partiu-se então para a identificação das fronteiras do sistema, através da planilha apresentada abaixo com base nos principais itens físicos do sistema, como o motor de acionamento, os motores de tracionamento da lixa abrasiva, cilindros tracionador e tensionador (tabela 1).

Tabela 1 – Planilha de identificação das fronteiras do sistema.

MCC	Sistema DECAPADOR DE LIXAS	Local Sistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ	Folha nº 1 Data / /
1 - Principais itens físicos			
Rolo tensionador de lixa		Motor de acionamento principal	
Rolo tracionador		Motor de tracionamento da lixa	
2 - Fronteiras físicas do sistema			
Inicia com:			
Energia elétrica aciona o motor de acionamento principal bem como os motores de tracionamento da lixa em ambos lados, sendo todos de corrente alternada. O torque é transmitido para o eixo principal através de um jogo de 3 correias em V, e o torque dos motores de tracionamento de lixa são transmitidos por par de correias. Energia pneumática aciona o sistema de tensão-regulação da lixa.			
Termina com:			
No eixo principal, o torque transmitido gira o eixo principal que move os dois conjuntos flyers (cilindro tensionador e cilindro tracionador), estes realizam a decapagem do fio-máquina previamente decapado mecanicamente pela ação da lixa abrasiva. Tanto os cilindros tensionadores e tracionadores quanto o eixo principal sobre cavaletes providos de rolamentos. O rolo tensionador posicionado corretamente a lixa para decapagem.			
3 - Considerações Necessárias			
A velocidade de giro do motor principal é definida pelo operador da máquina. Em uma tela de comando, o operador pode saber qual é a tensão no motor, parar o sistema e verificar o ajuste de tensão das lixas.			

Estes serão à base do estudo de caso referido.

Após essa etapa, preencheram-se uma planilha relativa às funções do sistema supracitado bem como parâmetros, redundâncias, dispositivos de proteção e instrumentação e controle do mesmo (tabela 2). Esta também revela informações úteis para especificações de atividades de manutenção preventiva.

Tabela 2 – Planilha de descrição do sistema.

MCC	Sistema DECAPADOR DE LIXAS	Local Sistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ	Folha nº 1
			Data / /
1 - Funções e Parâmetros			
Converter energia elétrica em energia mecânica através de correias a uma rotação constante; Transmitir o torque na saída do motor; Transmitir torque para o cilindro tensionador suficiente para tracionar corretamente a lixa; Permitir o correto giro de todo o conjunto com rotação aproximada de 500 RPM; Ventilar forçadamente o motor principal; Indicar tensão de alimentação dos motores; Sustentar os eixos (rolos); Indicar o ajuste de tensão nas lixas.			
2 - Redundâncias			
Não há			
3 - Dispositivos de Proteção			
Proteção contra projeção de carepa; Dispositivo de sobrecarga e de curto-circuito dos motores; Fusível mecânico			
4 - Instrumentação e Controle			
Indicador de tensão de entrada no motor;			

Como esta é uma etapa relativa às falhas funcionais é pertinente à criação de um diagrama de blocos funcionais que além de identificar as falhas, determina as funções que estão associadas às mesmas, como pode ser visto na figura 4.5.

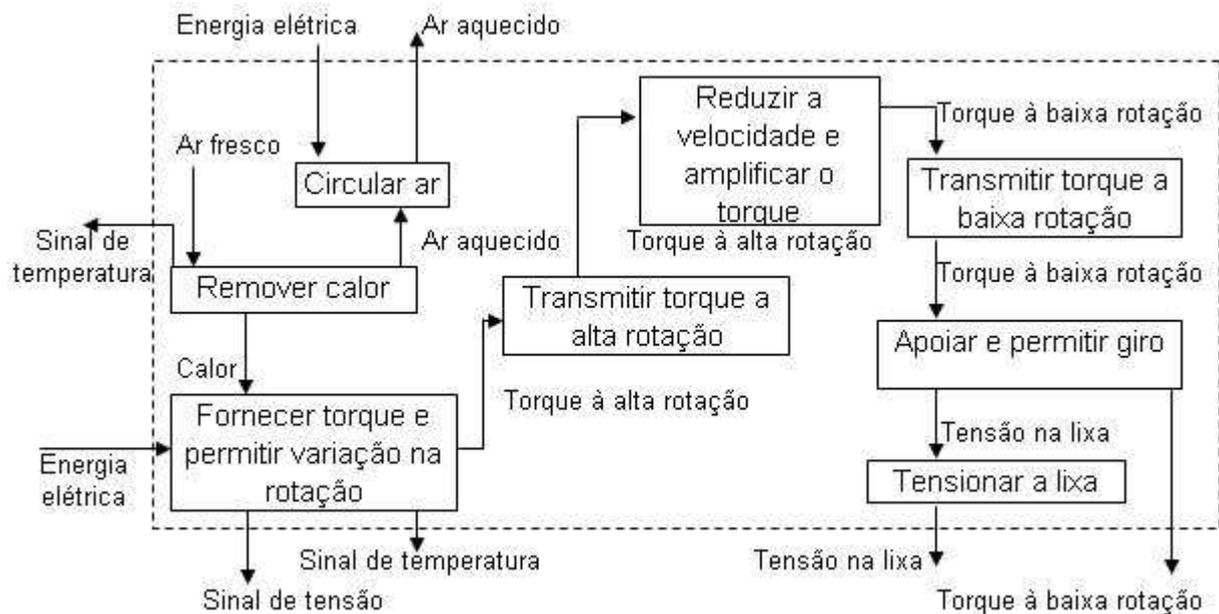


Figura 4.5. – Diagrama de blocos funcionais.

Salienta-se que neste não constam nomes de componentes físicos, apenas descrição de funções. Também se observam que as setas entrando nos blocos (funções) são as interfaces de entradas requeridas, bem como as setas saindo dos mesmos são interfaces de saídas, já o tracejado representa as fronteiras do sistema. Visando facilitar a retomada das funções criou-se uma planilha com as interfaces de entrada e de saída, como na tabela 3.

Tabela 3 – Planilha de interfaces de entrada e saída.

MCC	Sistema DECAPADOR DE LIXAS	Local Sistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ	Folha nº Data	1 / /
1 - Interfaces de Entrada Fluxo de ar ambiente para o motor; Energia elétrica; Energia pneumática				
2 - Interfaces de Saída Sinal de temperatura; Tensão na Lixa; Sinal elétrico de indicação de tensão; Fluxo de ar aquecido; Fluxo de toque à baixa rotação				
3 - Interfaces internas de entrada e saída Fluxo de calor; Fluxo de torque à alta rotação; Fluxo de torque à baixa rotação; Fluxo de ar aquecido; Tensão na lixa				

Como supracitado o subsistema escolhido foi o Decapador de Lixas devido: (i) ao fato de que sua parada compromete toda a produção da máquina; (ii) sua parada eleva os custos de manutenção da célula e, por conseguinte da área toda; e (iii) seu histórico de paradas ser o maior dentre os subsistemas da referida máquina. Além disso, ela apresenta um bom número de itens físicos para o objetivo deste trabalho. Na seqüência do estudo, elaborou-se uma planilha que lista os itens físicos e os itens de controle e instrumentação do subsistema. Estes foram definidos de acordo com os conjuntos presentes na máquina. Nela estão contidos dados como código, descrição, características técnicas, quantidade e localização, o que vem suscitado na tabela 4. A última fase dessa etapa caracteriza-se pela análise de falhas destes itens físicos baseados nos históricos de manutenção. Segundo Cunha (2005), o período ideal para ter-se um histórico razoável seria de dois ou três anos, entretanto essa máquina apresenta um MTBF relativamente baixo, o que pode justificar o uso de um histórico semestral dada a sua extensão de atividades relacionada ao subsistema Decapador de Lixas. Mas esse histórico será mais bem aproveitado posteriormente quando se analisarem os modos e os efeitos das falhas.

Usando a tabela de interfaces podemos especificar algumas funções do sistema, e essas são as bases da tabela de funções e falhas associadas às mesmas, como mostrado na tabela abaixo:

Tabela 5 - Planilha de descrição das Funções e Falhas do Sistema.

MCC	Sistema DECAPADOR DE LIXAS	Local Sistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ	Folha nº Data	1 / /
Nº	Função	Nº	Falha funcional	
F-01	Transmitir torque à alta rotação	FF-01	Não transmitir torque a alta rotação	
F-02	Fornecer torque e permitir variação de rotação	FF-02	Não fornecer torque	
F-03	Reduzir velocidade e amplificar torque	FF-03	Não permitir variação de rotação	
F-04	Transmitir torque à baixa rotação, no eixo principal em torno de 500 rpm	FF-04	Não reduzir a velocidade não transmitindo torque	
F-05	Indicar tensão de alimentação do motor	FF-05	Não transmitir torque a baixa rotação	
F-06	Indicar rotação do eixo principal	FF-06	Não indicar a tensão de alimentação do motor	
F-07	Sustentar os cilindros tracionador e tensionador	FF-07	Não indicar rotação do eixo principal	
F-08	Extrair o calor gerado pelo motor principal	FF-08	Não sustentar os cilindros	
F-09	Guiar os arames até a entrada do decapador	FF-09	Não extrair o calor gerado	
F-10	Fornecer energia pneumática para o tensionar a lixa	FF-10	Não guiar o arame corretamente até a entrada do decapador	
F-11	Gerar tensão na lixa	FF-11	Não fornecer energia para tensionar a lixa	
F-12	Girar a lixa abrasiva	FF-12	Fornecer energia insuficiente para tensionar a lixa	
F-13	Sustentar os conjuntos flyers e manter o giro em torno de 500 rpm	FF-13	Não tensionar a lixa corretamente	
F-14	Regular a pressão e reter impurezas	FF-14	Não girar a lixa corretamente	
F-15	Reduzir a rotação , parar o motor principal	FF-15	Não sustentar os conjuntos flyers	
		FF-16	Não manter a rotação na faixa de 500rpm	
		FF-17	Não regular a pressão	
		FF-18	Não reter impurezas	
		FF-19	Não reduzir a velocidade não transmitindo torque	
		FF-20	Não parar o motor	

Tabela 4 – Planilha de itens físicos do Decapador de lixas.

MCC	Planilha de Itens Físicos do Sistema			
	Sistema		Local Sistema	Folha nº 1
	DECAPADOR DE LIXAS		URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ	Data / /
Itens físicos do sistema (IF)				
Número	Descrição	Quant.	Características técnicas	Local de instalação
IF-01	Motor elétrico principal	1	Marca: SIEMENS; Corrente alternada; Potência: 11kW; Rotação: 1500 rpm	Acionamento principal
IF-02	Motor de tracionamento de lixa	2	Marca: SIEMENS; Corrente alternada; Potência: 11kW; Rotação: 3000 rpm	Conjunto de lixas entrada e conjunto de lixas saída
IF-03	Cilindro tracionador	2	Marca: Mario Frigerio; Material:borracha;	Conjunto de lixas entrada e conjunto de lixas saída
IF-04	Cilindro tensionador	2	Marca: Mario Frigerio; Material:aço inox;	Conjunto de lixas entrada e conjunto de lixas saída
IF-05	Eixo Principal	1	Modelo: WS-1253	No eixo principal do decapador
IF-06	Junta rotativa	2	Marca: WS; Modelo: 1400R/8	Entrada e saída do decapador
IF-07	Roletes de entrada	5	Marca: Cometo; Modelo: AS CA16; Diâmetro externo: 160mm	Entrada do decapador
IF-08	Bucha guia	2	Marca: Mário Frigério	No eixo principal do decapador
IF-09	Cilindro de acionamento	2	Marca: Parker	Sistema Pneumático
IF-10	Conjunto Flyer	2	Marca: Mário Frigério	No eixo central do decapador
IF-11	Conjunto Lubrefil	1	Marca: Parker	Sistema Pneumático
IF-12	Freio a disco	1	Marca: TB; Código:A1474; Modelo: WS-1131	Acionamento principal
IF-13	Correia menor de transmissão do motor de tensionamento	2	Marca: Gates; Modelo:GT 8M-896-36	Conjunto de lixas entrada e conjunto de lixas saída
IF-14	Correia maior de transmissão do motor de tensionamento	2	Marca: Gates; Modelo: GT 8M-2000-36	Conjunto de lixas entrada e conjunto de lixas saída
IF-15	Correia de transmissão do motor principal	3	Marca: Gates; Modelo: SPB2500.	Acionamento principal
Instrumentação e Controle (IC)				
IC-01	Manômetro	2	Marca: Parker	Na parte traseira
IC-02	Ajuste de tensão nas lixas	2	Incorporado ao CLP	Na frente da máquina
IC-03	Medidor de tensão dos motores	1	Incorporado ao CLP	Na parte central da frente do decapador
IC-04	Manômetro do Lubrefil	1	Marca: Parker	Na parte traseira
IC-05	Medidor de rotação do eixo principal	1	Incorporado ao CLP	Na parte central da frente do decapador

4.4. SELEÇÃO DOS ITENS CRÍTICOS

Nesse momento objetiva-se relacionar os itens físicos com as falhas funcionais identificadas, verificando sua criticidade e identificando fatores tais como baixa manutenibilidade e necessidade de mão-de-obra externa, por exemplo. Segundo Zaios (2003) a criação de uma planilha, que correlacione as falhas com os itens tange a idéia de priorizar o que é crítico, para que as atividades de manutenção preventiva foquem nas falhas funcionais, o que pode ser observado na tabela 6. Essa etapa do estudo requer um conhecimento mais amplo da realidade da máquina, bem como de suas premissas de projeto e de operação. Para tal, foram entrevistados o operador da máquina, o facilitador de melhorias e o mecânico da área, citados anteriormente no gerenciamento de manutenção.

Observam-se na planilha certos coeficientes que serão descritos abaixo:

- Ch – Conseqüência na segurança humana: “A falha funcional tem conseqüência na segurança humana?”. São possíveis apenas duas respostas; sim(S) ou não(N);
- Ca – Conseqüência na integridade ambiental: “A falha funcional apresenta conseqüência ao ambiente?”. Idem ao item anterior;
- Ce_j – Conseqüências econômicas e operacionais: Valor destinado ao grau de correlação entre as conseqüências da falha funcional com questões econômicas e operacionais. Esse valor varia de zero (nenhuma relação) até cinco (forte correlação);
- Dm_i – Dificuldade de manutenção: identifica a dificuldade de realização da atividade de manutenção, levando em conta fatores como: tempo para realizar, existência de sobressalentes, mão-de-obra externa e possibilidade de realização. O grau 1 equivale a pequena dificuldade e o grau 5 equivale a grande dificuldade;
- $Gc_{i,j}$ – Grau de correlação: valor destinado a relacionar os itens físicos com as falhas funcionais. Esses variam de zero (sem correlação) até 5 (grande correlação);
- I_{ce} – Índice de criticidade econômica: é definida pela fórmula abaixo, que leva em conta os índices Dm_i , $Gc_{i,j}$ e Ce_j :

$$I_{CEi} = D_{Mi} \cdot \sum_{j=1}^n (G_{Ci,j} \cdot C_{Ej}) \quad (4.1.)$$

A seguir temos os índices de criticidade obtidos, e ordenados em ordem decrescente, tendo como mais críticos, cilindro tensionador (IF-04), Motor elétrico principal (IF-01) e os Motores de tracionamento da lixa (IF-02).

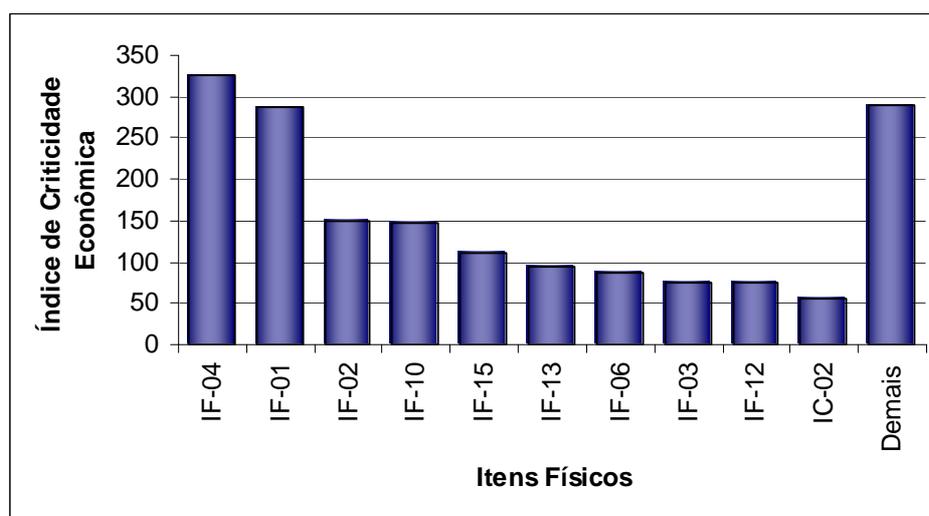


Figura 4.6. – Gráfico de índice de criticidade para cada item físico do Decapador de Lixas.

Após essa etapa, o estudo de caso centra-se na análise de apenas um item físico, haja vista que se não objetiva estender por demais no assunto. Mesmo que o certo fosse estender a metodologia para os demais itens. Com base em um razoável histórico de paradas

4.5. ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E EFEITOS - FMEA

A FMEA, ou *Failure Mode and Effect Analysis*, é uma técnica estruturada e lógica que identifica os modos de falhas e os efeitos para cada falha funcional possível. Ela, aplicada à metodologia de MCC, conduz a definição dos modos de falha associados aos itens físicos, às causas, aos efeitos e às conseqüências. Da matriz de correlação item físico X falhas funcionais (tabela 6) retira-se o item físico mais crítico – no caso o cilindro tensionador – juntamente com suas falhas e se monta uma tabela que é mostrada abaixo:

Tabela 7 – FMEA para o cilindro tensionador do Decapador de Lixas.

MCC	Sistema DECAPADOR DE LIXAS	Local Sistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ	Folha nº 1
	Subsistema Cilindro tensionador	Local Subsistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ-CTHS	Data / /
Função	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito e consequência da falha
F-10 - Fornecer energia pneumática para tensionar a lixa	FF-11 - Não fornecer energia para tensionar a lixa	MF-01 - Ruptura da mangueira de abastecimento de ar comprimido do cilindro pneumático	O atuador não avança, movimentando o cilindro a ponto de tensionar a lixa. Tempo para restabelecer o abastecimento: 30min
	FF-12 - Fornecer energia insuficiente para tensionar a lixa	MF-02 - Vazamento de ar na gaxeta ou no cabeçote devido a desgaste na vedação do cilindro pneumático	O atuador não avança satisfatoriamente, a lixa fica frouxa, e não decapa o arame. Tempo para substituição do cilindro: 1 hora
F-11 - Gerar tensão na lixa	F-13 - Não tensionar a lixa corretamente	MF-03 - Desgaste nos rolamentos devido ao fim da vida útil	O desgaste gera uma certa angulação entre a lixa e cilindro, provocando desgaste maior em um dos lados da lixa. Tempo para substituição do rolamento: 2horas
		MF-04 - Travamento do rolamento devido à contaminação com pó abrasivo da lixa	Esse travamento do rolamento também trava todo o cilindro, o que arrebenta a lixa abrasiva. Tempo para troca do rolamento e colocação de nova lixa: 3horas e 30minutos.
		MF-05 - Rompimento do fusível mecânico devido a falha na vedação do cilindro tensionador	A falha na vedação facilita a entrada de partículas que travam os rolamentos, que travam o sistema, esse travamento é possível pelo fusível mecânico, que salva o motor de queimar. Tempo de troca de fusível mecânico e ajuste: 3horas
		MF-06 - Desgaste abrasiva do rolo (capa) do cilindro tensionador	Isso gera um tensionamento irregular ou insuficiente da lixa, o que resulta em baixa qualidade da decapagem. Deve se usar um novo rolo.

Para determinação dos modos de falhas supracitados foram utilizadas informações da etapa anterior, experiência da equipe de manutenção da área e, principalmente o histórico de falhas do cilindro, segundo Zaians (2003). Considerou-se que os modos de falha definidos

como: falhas já ocorridas, falhas devido á falta de manutenção preventiva e falhas que possam vir a acontecer.

4.6. SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Nessa etapa busca-se selecionar tarefas de manutenção que previnam a falha, o descubram seu início, ou detectem uma falha oculta. Aqui se aplicam duas ferramentas importantes: a Árvore Lógica de Decisão (anexo 1) e o Diagrama de Seleção das Tarefas de Manutenção (anexo 2).

A Árvore lógica de decisão prioriza os modos de falhas que demandarão os recursos financeiros. Esse é um processo que classifica os modos em quatro categorias, sendo simplesmente um questionário de cinco perguntas. A classificação dos modos é a seguinte: (i) segurança; (ii) integridade ambiental; (iii) interrupção de produção; e (iv) perdas econômicas. Aqui podem ser detectados modos de falhas ocultos, nesse caso se realiza novamente o questionário a fim de relacionar o mesmo com um dos quatro tipos de impacto (Zaians, 2003).

Para cada modo de falha classificado usa-se o Diagrama de seleção das tarefas de manutenção com o intuito de selecionar as tarefas, de forma que sejam efetivas. Esse diagrama consiste em um conjunto de perguntas, que definem uma tarefa ou a outra pergunta, sendo que em último caso, o mesmo seleciona como opção “operar até a falha”. Essas tarefas são descritas na seção 2.

Os códigos referentes às respostas da árvore lógica significam: “E” – falhas evidentes ou ocultas; “S” – falhas afetam a segurança humana; “A” – falhas afetam a integridade ambiental; e “Cat” – categoria de falha. A classificação dos modos de falhas segue a seguinte seqüência: 1º - segurança; 2º - ambiental; 3º - produção; 4º - econômica insignificante.

No diagrama de decisão, cada número se refere às respostas das perguntas existentes no anexo 2. Observa-se que as perguntas 2 e 3 levam em conta dados como a taxa de falhas para o modo de falha escolhido. Já a pergunta 9 direciona os esforços para melhorias no equipamento, quando nenhuma tarefa possa ser descrita.

As decisões tomadas durante essa etapa, assim como as tarefas, estão descritas na tabela de seleção de tarefas conforme a tabela 8. Assim obtiveram-se para os seis modos de falha do cilindro tensionador, três tarefas de inspeção de rotina, cinco tarefas de manutenção preventiva (lubrificação e troca programada), uma atividade preditiva e cinco de alteração projetual ou elaboração de procedimento.

4.7. DEFINIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Aqui o histórico de manutenção no equipamento serve de base para estimar as curvas de desgaste dos componentes (Cunha, 2005). Para o caso de substituição ou descarte, estabelece-se como frequência o valor de MTBF por 3 ou 4. Em tarefas de monitoramento leva-se em conta um período chamado intervalo P-F, compreendido entre a falha funcional (F) identificável e a identificação potencial da mesma (P), sendo que essa frequência seja metade desse valor.

No caso de indisponibilidade de informações para determinar a periodicidade das tarefas, usa-se a opinião da equipe de manutenção para determinar as mesmas. É uma atividade empírica que consiste estimar o valor com base no conhecimento do sistema pela equipe. Se na primeira atividade não se detectar nenhuma degradação ou desgaste, eleva-se a periodicidade em 10%. Essa atividade se mantém até ocorrer algum sinal de degradação ou desgaste (Zaians, 2003).

Após obter-se um plano de manutenção para o referido item físico é sugerido que se compare o mesmo com o plano de manutenção já existente, o que é visto na tabela 9. Analisando ambos os planos, percebe-se que o plano atual preza por inspeções rotineiras e atividade preventiva de lubrificação que antecipem sintomas dos modos de falha possíveis. Já o plano proposto pela MCC leva em conta a vida útil de componentes, estabelecendo trocas programadas, considerando também que é mais barato trocar esses do que o conjunto inteiro em caso de falha. Mais uma vez o histórico de manutenção colaborou para a determinação das mesmas.

Tabela 8 – Tabela de seleção de tarefas para o cilindro tensionador do Decapador de lixas.

MCC		Sistema DECAPADOR DE LIXAS		Local Sistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ									Folha nº 1										
		Subsistema Cilindro tensionador		Local Subsistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ-CTNS									Data / /										
Falha Funcional		Modo de Falha		Árvore Lógica de Decisão					Diagrama de seleção de tarefas									Tarefa					
				E	S	A	O	Cat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ação					
FF-11	Não fornecer energia para tensionar a lixa	MF-01	Ruptura da mangueira de abastecimento de ar comprimido do cilindro pneumático	S	N	N	S	B	S	N	S	N	N	N	N	N	N	-	Inspeccionar visualmente a mangueira de abastecimento				
																					Trocar a conexão entre a mangueira e o cilindro		
FF-12	Fornecer energia insuficiente para tensionar a lixa	MF-02	Vazamento de ar na gaxeta ou no cabeçote devido a desgaste na vedação do cilindro pneumático	S	N	N	S	C	S	N	S	N	N	N	N	N	N	-	Inspeccionar o cilindro quanto a vazamentos diversos				
																					Programar a troca do cilindro pneumático		
FF-13	Não tensionar a lixa corretamente	MF-03	Desgaste nos rolamentos devido ao fim da vida útil	N	N	N	S	D/C	N	N	S	S	S	N	N	N	N		Retirar a capa do cilindro tensionador e lubrificar o rolamento				
																					Troca programada do rolamento antes do fim da vida útil		
																						Realizar análise de vibração	
				MF-04	Travamento do rolamento devido à contaminação com pó abrasivo da lixa	N	N	N	S	D/B	N	N	S	S	S	N	N	N	N	S		Troca do rolamento (sem vedação) por um modelo com dupla vedação	
																							Troca programada do rolamento antes do fim da vida útil
																							Realizar análise de vibração
		MF-05	Rompimento do fusível mecânico devido a falha na vedação do cilindro tensionador	N	N	N	S	D/B	N	N	S	N	S	N	N	N	N	S		Selecionar um fusível de material mais resistente (como inox)			
																					Selecionar uma vedação mais resistente a abrasão pelo pó		
																					Substituir a vedação		
		MF-06	Desgaste abrasivo do rolo (capa) do cilindro tensionador	S	N	N	S	E	S	N	N	N	N	N	N	S	N	S		Inspeccionar visualmente a capa quanto ao desgaste			
																					Aumentar a espessura da capa		
																					Elaborar um gabarito para inspeção do desgaste na superfície		

O plano proposto também antecipou a identificação de modos de falhas antes não contemplados, como também sugeriu a criação de procedimentos operacionais e de manutenção.

Tabela 9 – Comparação entre o plano proposto pela MCC e o plano atual de manutenção.

MCC	Sistema DECAPADOR DE LIXAS	Local Sistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ	Folha nº 1	
	Subsistema Cilindro tensionador	Local Subsistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ-CTHS	Data / /	
Tarefa de Manutenção			Frequência MCC Atual	
Inspeccionar visualmente a mangueira de abastecimento			1S	1S
Trocar a conexão entre a mangueira e o cilindro			6M	-
Inspeccionar o cilindro quanto a vazamentos diversos			1S	1S
Programar a troca do cilindro pneumático			6M	-
Retirar a capa do cilindro tensionador e lubrificar o rolamento			2S	2S
Troca programada do rolamento antes do fim da vida útil			2000H	-
Realizar análise de vibração			1M	-
Troca do rolamento (sem vedação) por um modelo com dupla vedação			-	-
Selecionar um fusível de material mais resistente (como inox)			-	-
Selecionar uma vedação mais resistente a abrasão pelo pó			-	-
Substituir a vedação			3M	-
Inspeccionar visualmente a capa quanto ao desgaste			1S	1S
Aumentar a espessura da capa			-	-
Elaborar um gabarito para inspeção do desgaste na superfície			-	-

4.8. ANÁLISE DE WEIBULL NA MCC

Conforme citado na metodologia, agora se torna interessante utilizar a análise de Weibull dentro da metodologia de MCC. Essa etapa integra-se com a etapa de definição das tarefas de manutenção com base nos dados históricos.

Para tal análise buscou-se informações de relatórios de paradas de produção em razão de emergências ocorridas em virtude dos seis modos de falhas para o item definido anteriormente como o mais crítico. Tal histórico é descrito na tabela 9, compreende um período os meses de julho de 2007 a julho de 2008.

Tabela 9 – Dados utilizados na análise de Weibull para o item físico cilindro tensionador.

MCC	Sistema DECAPADOR DE LIXAS		Local Sistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ		Folha nº 1
	Subsistema Cilindro tensionador		Local Subsistema URS-TR2-TREF-MTR35-CLZ-CTHS		Data / /
Data	Intervalo entre paradas (dias)	Modo de falha	Data	Intervalo entre paradas (dias)	Modo de falha
19/7/2007	-	MF-02	29/1/2008	21	MF-05
10/8/2007	22	MF-02	31/1/2008	2	MF-05
2/9/2007	23	MF-06	7/2/2008	7	MF-02
4/9/2007	2	MF-03	8/2/2008	1	MF-05
22/9/2007	18	MF-05	15/2/2008	7	MF-05
28/10/2007	36	MF-03	22/3/2008	36	MF-05
3/11/2007	6	MF-04	24/4/2008	33	MF-05
10/11/2007	7	MF-03	26/4/2008	2	MF-02
13/12/2007	33	MF-02	9/6/2008	44	MF-05
17/12/2007	4	MF-04	19/6/2008	10	MF-02
8/1/2008	22	MF-01	12/7/2008	23	MF-06

Aliado a isto se usou o software Proconf 2000 (Ch Tech Ltda) para estimar a confiabilidade e demais parâmetros ligados á mesma, estes estão demonstrados na figura 4.7.

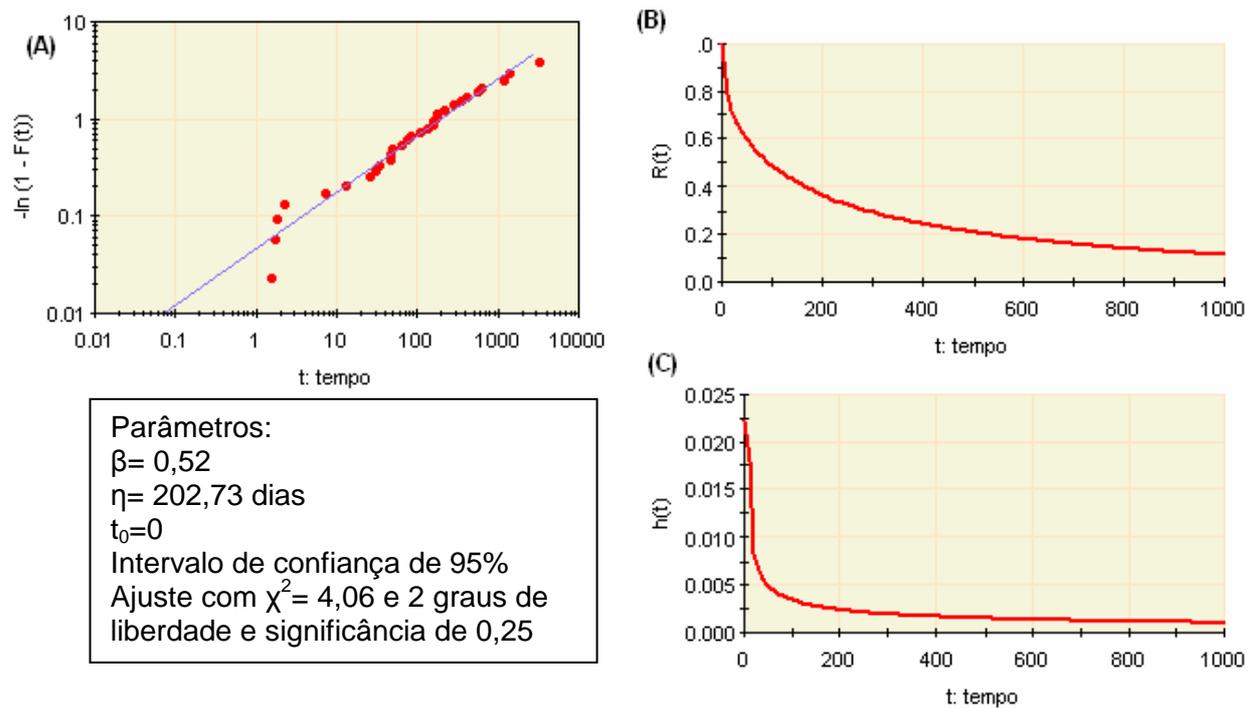


Figura 4.7. - (A) papel da probabilidade de Weibull; (B) confiabilidade $R(t)$ num período de 1000 dias; (C) taxa de falhas $\lambda(t)$ para o item físico cilindro tensionador.

Verifica-se analisando os parâmetros obtidos, que o cilindro tensionador tem uma baixa confiabilidade (figura 6. B.), bem como uma taxa de falhas que caracteriza o padrão de falha do Tipo F, conforme a figura 2.2. Esse é o único padrão de falhas que decresce com o tempo. O período mais crítico para este padrão de falha, neste caso, é o período de mortalidade infantil. Este tem como causas: (i) falha de projeto; (ii) operação incorreta; (iii) mão-de-obra desqualificada; e (iv) outras causas.

Também é pertinente salientar que se as atividades descritas pelo plano de manutenção proposto pela metodologia de MCC fossem realizadas, e visassem os modos de falha 02 e 05, se teriam uma maior confiabilidade e também uma taxa de falhas menor. Haja vista que os mesmos concentram 63,63% das ocorrências de falha do item físico em questão. Outro ponto que podemos salientar que o plano proposto na etapa 4.7 contempla atividades de melhorias. Isto acarreta que as mesmas atacam umas das causas – falha de projeto – do período de mortalidade infantil apresentado pelo cilindro tensionador.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou que a Manutenção centrada na Confiabilidade é ferramenta bastante útil no desejo de identificar, quantificar e estimar as falhas dos equipamentos através de seus modos de falha, o que impreterivelmente auxilia na melhoria do conhecimento do pessoal de manutenção sobre os equipamentos.

Como resultado obteve-se um plano de manutenção mais abrangente que o atualmente praticado, visando preservar as funções do sistema em estudo. Através do uso da tríade Arvore Lógica de Decisão – Diagrama de seleção de Tarefas - FMEA pôde-se estimar as atividades de manutenção de acordo com a tipificação apresentada na revisão bibliográfica. Salienta-se que o mesmo centrou-se no item mais crítico do subsistema considerado mais crítico de uma máquina igualmente crítica, segundo critérios apresentados na seção 4.2. Observa-se ainda que para certas funções analisadas os modos de falha não eram contemplados ou nem mesmo conhecidos, embora fossem sugeridos pelo plano MCC, o que confere com o que foi supracitado no primeiro parágrafo da conclusão.

Quanto á análise de Weibull obteve-se um resultado que confere com o que é estimado informalmente pelo pessoal de manutenção, o que pode ser utilizado para atividades de melhoria de peças. A mesma análise relatou as prováveis causas de uma confiabilidade baixa, apesar de a taxa de falhas estimada tendendo a decrescer, evidencia os modos de falhas mais freqüentes, caracterizando uma atividade de Engenharia de manutenção. O mesmo reafirmou a necessidade de atividades de melhoria, como citadas na Tabela 8, como seleção de um rolamento com vedação.

Por fim espera-se que esse estudo seja aproveitado dentro da empresa, estendendo-se para os demais subsistemas da máquina alvo do estudo, bem como de toda célula. Desta forma é possível garantir uma maior confiabilidade e disponibilidade, tratando de manter as funções dos subsistemas, o que sem sombra de dúvidas, acarretará numa maior utilização do maquinário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cunha, José T.; **“Projeto piloto de implantação da manutenção centrada em confiabilidade em uma usina siderúrgica”**, Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS, 2005.

Lafraia, João R. B.; **“Manual de Confiabilidade; Mantenabilidade e Disponibilidade”**, Qualitymark, 1ª Edição, 2001.

Moubray, John; **“Manutenção Centrada em Confiabilidade - RCM”**. Aladon Ltda, 1ª edição (brasileira), 2000.

Pinto, Alan K.; Xavier, Júlio N.; **“Manutenção, função estratégica”**, Qualitymark, 2ª edição, 2001.

Siqueira, Ione P.; **“Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação”**, Qualitymark, 1ª Edição, 2005.

Zaions, Douglas R.; **“Consolidação da metodologia de manutenção centrada na confiabilidade em uma planta de celulose e papel”**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFRGS, 2003.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Fotos da célula de Trefilaria



À esquerda temos as máquinas: OTT-5, H-40 e SP-4. À direita temos: SP-7, H-70 e SP-5.



À esquerda temos as máquinas: H-60, SP-6 e H-61. À direita temos: K-9 e BAUT.



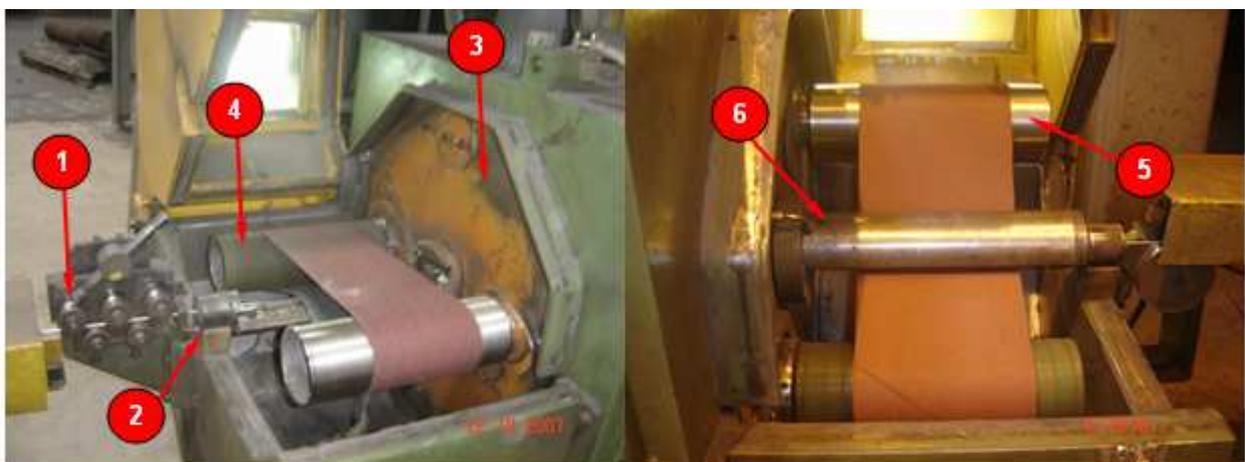
À esquerda temos as máquinas: H-41 e MF-11. À direita temos: MF-7, SP-64 e SP-65.

APÊNDICE 2 – Matriz de Criticidade de Máquinas para Trefila 2.

MATRIZ DE CRITICIDADE DE MÁQUINAS - TREFILA 2									
	Lista de Máquinas	ATP	CUSTO		META FORTE	PONTOS	CRITICIDADE		
		Existe máquina substituta?	Impacta no custo?	Impacta na produção?	Complexidade de manutenção?		Baixa	Média	Alta
TREFILARIA	BAUT	3	3	3	3	81			
	H-40	2	1	3	1	6			
	H-41	1	1	1	1	1			
	H-60	1	1	2	1	2			
	H-61	1	1	2	1	2			
	H-70	1	1	1	1	1			
	H-71	2	3	2	3	36			
	K-9	3	3	3	3	81			
	MF-7	3	3	3	3	81			
	MF-11	3	3	3	3	81			
	OTT-5	3	3	3	3	81			
	OTT-7	3	3	3	3	81			
	SP-4	2	1	3	1	6			
	SP-5	3	1	2	1	6			
	SP-6	1	1	2	1	2			
	SP-7	2	1	3	1	6			
SP-64	2	1	3	2	12				
SP-65	2	1	3	2	12				
GALVANIZAÇÃO	LZ-2	3	3	3	3	81			
	LZ-3	2	2	2	2	16			
ACABAMENTO	ALFAMA	3	1	3	3	27			
	ANGELI 1	1	1	3	3	9			
	ANGELI 2	2	1	3	3	18			
	ANGELI 3	1	1	3	3	9			
	ANGELI 4	1	1	3	3	9			
	NATEC	2	2	2	3	24			
	PYRO 4	2	2	3	2	24			
	PYRO 5	2	2	3	3	36			
	SP-60	1	1	1	1	1			
	SP-61	2	1	2	1	4			
TOSCA	3	3	2	3	54				

PESOS	CRITICIDADE	FAIXAS	PONTOS
1	BAIXA	0>50%	P>40
2	NORMAL	51>80%	41>P>65
3	ALTA	81>100%	66>P>100

APÊNDICE 3 – Fotos do Decapador de Lixa e de seus itens físicos.

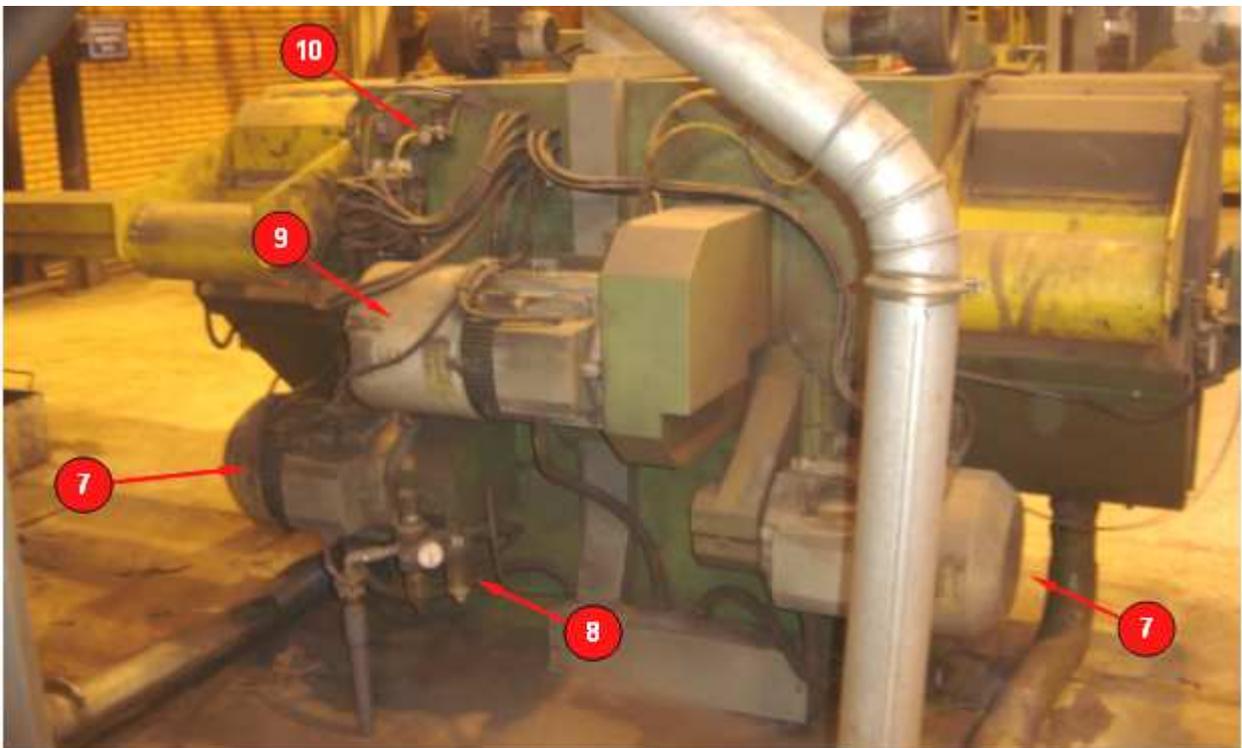


Itens físicos do Decapador de Lixas:

- 1 - Roletes de entrada; 2 - Junta Rotativa; 3 - Conjunto Flyer; 4 - Cilindro tracionador (borracha);
5 - Cilindro tensionador (inox); 6 - Bucha Guia.



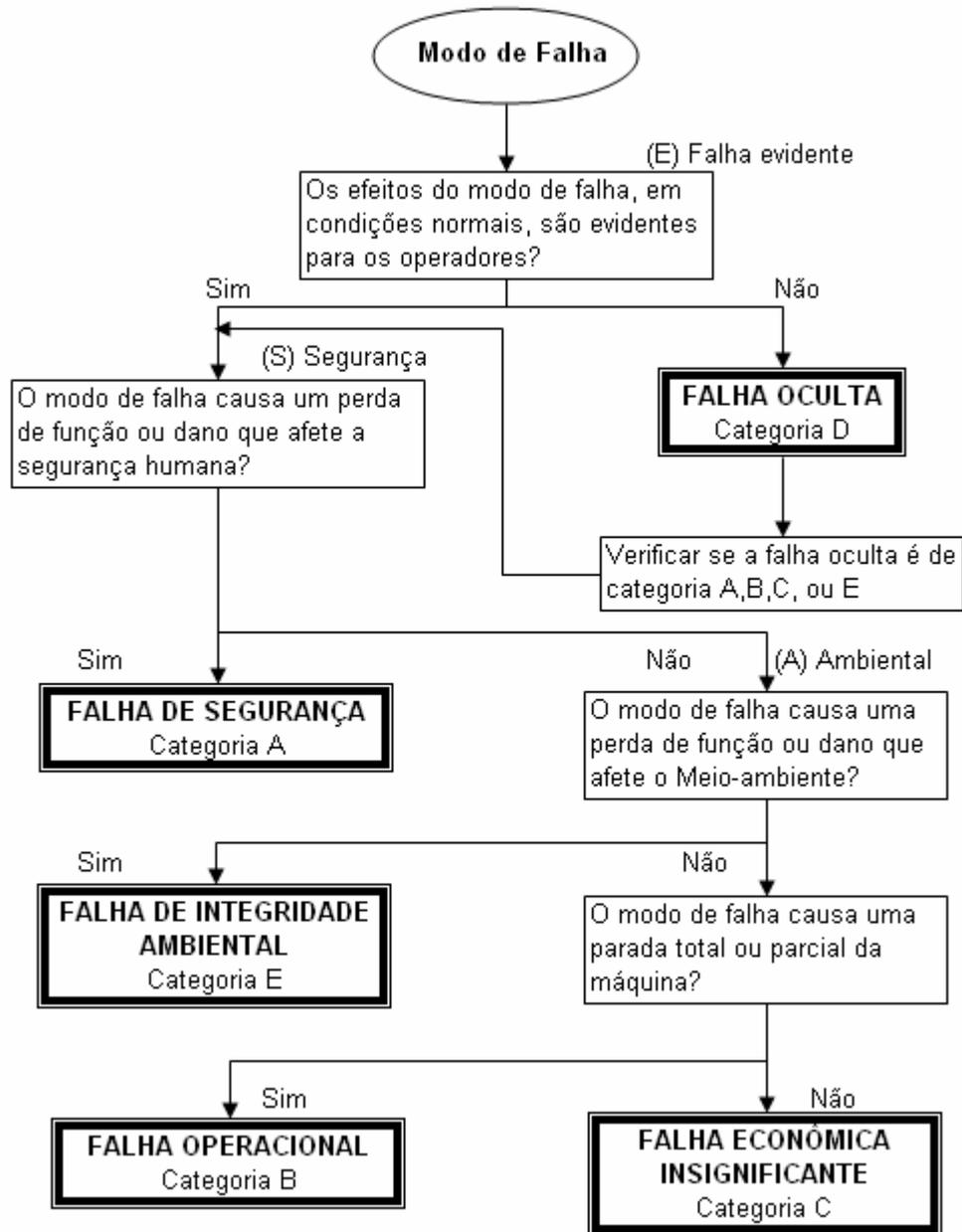
Vista Geral do Decapador de Lixas



Parte traseira do Decapador de Lixas:
 7 - Motores de tracionamento da Lixa; 8 - Conjunto Lubrefil; 9 - Motor Principal; 10 - Manômetro.

8. ANEXOS

ANEXO 1 – Árvore lógica de decisão (adaptado de Cunha, 2005).



ANEXO 2 – Diagrama de seleção de tarefas de manutenção (adaptado de Zaions, 2003).

