

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO
CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) EM UMA
FÁBRICA DE PAPEL**

JOÃO ANDRADE LIMA BANDEIRA DE MELLO

Orientador: Prof. Enrique Lopez Ph.D

RECIFE, NOVEMBRO / 2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO
CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) EM UMA
FÁBRICA DE PAPEL**

JOÃO ANDRADE LIMA BANDEIRA DE MELLO

Trabalho de Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Enrique Lopez Ph.D

RECIFE, 2008

M527i

Mello, João Andrade Lima Bandeira de.

Implantação da metodologia manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em uma fábrica de papel / João Andrade Lima Bandeira de Mello.- Recife: O Autor, 2008.
ix, 68 folhas. ; il., gráfs., tabs.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Curso de Engenharia da Produção, 2008.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Engenharia de Produção. 2. Manutenção. 3. Centrada em Confiabilidade. 4.Fábrica de Papel. I. Título.

UFPE

658.5

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-247

AGRADECIMENTOS

Nesse momento agradeço a todos que me ajudaram minha formação pessoal e profissional, colaborando para que esse trabalho fosse concluído.

Em especial agradeço a IPELSA que possibilitou a construção técnica da monografia, ao gerente industrial Weber Távora, que colaborou tanto na parte técnica como ajudando durante as horas que precisei me ausentar da fábrica.

Agradeço a Ricardo Petrarca que é meu mentor e que tornou possível o início da minha carreira profissional na área de papel e celulose.

Agradeço ao Prof. Enrique Lopez, que me ajudou a definir a proposta da monografia, mostrando presteza e paciência para que o trabalho fosse concluído, e além de me orientar para conclusão me aconselhou para vida profissional.

Agradeço Francisco Saboya, que considero como pai, que sempre me ajudou e me incentivou a investir meu tempo nos estudos, me levando a concluir o curso de graduação e já pensando na pós-graduação.

A Mariana Longman que nunca deixou de me fazer elogios e me dar forças para continuar meu trabalho.

Ao meu pai Alexandre Bandeira, que sempre me deu conselhos, e está disponível a qualquer momento, me ajudando muito em todas as situações.

Em especial a minha mãe Carmen que me ensinou tudo e me guia até hoje.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Comentários Iniciais	1
1.2.	Tema e Objetivos.....	3
1.3.	Justificativa do Tema	3
1.4.	Método do Trabalho.....	4
1.5.	Limitações do Trabalho	4
1.6.	Estrutura do Trabalho	5
2.	MANUTENÇÃO COM ENFOQUE NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	6
2.1.	Histórico da manutenção industrial	6
2.2.	Definições de Manutenção	8
2.3.	Métodos de Manutenção.....	9
2.3.1.	Manutenção Corretiva	9
2.3.2.	Manutenção Preventiva	10
2.3.3.	Manutenção por Melhoria	11
2.4.	Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC.....	12
2.4.1.	Histórico da Manutenção Centrada em Confiabilidade	12
2.4.2.	Definições	13
2.5.	Definições importantes para a aplicação	18
2.5.1.	Funções.....	18
2.5.2.	Sistemas e subsistemas	18
2.5.3.	Padrão de Desempenho	19
2.5.4.	Falhas.....	19
2.5.5.	Falhas Funcionais.....	19
2.5.6.	Falhas Potenciais	19
2.5.7.	Modos de Falha	20
2.5.8.	.Causa das Falhas.....	20
2.5.9.	Efeito das Falhas.....	21
2.5.10.	Contexto Operacional.....	21
2.5.11.	Conseqüência das falhas	21
2.5.12.	Padrões de Falha	21
2.6.	Descrição da sistemática de aplicação do MCC	23
2.6.1.	Preparação do Estudo	23
2.6.2.	Seleção e Determinação do Sistema	23

2.6.3.	Análise das Funções e Falhas Funcionais	23
2.6.4.	Seleção dos Itens Críticos	24
2.6.5.	Coleta e Análise de Informações	24
2.6.6.	Análise de Modos e Efeitos de Falhas	24
2.6.7.	Seleção de Tarefas Preventivas	25
2.6.8.	Definição das Frequências das Tarefas de Manutenção Preventiva	26
3.	PROPOSTA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO CENTRADA EM COFIABILIDADE NA FÁBRICA DE PAPEL.....	27
3.1.	Procedimento de Preparação do Estudo.....	28
3.1.1.	Procedimento de Seleção e Determinação do Sistema	28
3.1.2.	Procedimento de Análise das Funções e Falhas Funcionais.....	28
3.1.3.	Procedimento de Seleção dos Itens Críticos	31
3.1.4.	Procedimento de Análise de Modos e Efeitos de Falhas	33
3.1.5.	Procedimento de Seleção de Tarefas Preventivas	33
3.1.1.	Procedimento de Definição do plano de Manutenção	34
4.	ESTUDO DE CASO	37
4.1.	Introdução a empresa	37
4.2.	Descritivo do processo de fabricação.....	38
4.3.	Implantação da metodologia proposta	41
4.3.1.	Preparação do estudo	41
4.3.2.	Seleção do sistema e subsistema funcional;	41
4.3.3.	Análise das funções e falhas funcionais;	42
4.3.4.	Seleção dos itens críticos do processo;	43
4.3.5.	Análise dos modos de falhas e efeitos;	45
4.3.6.	Seleção das tarefas de manutenção preventiva;	46
4.3.7.	Plano de manutenção.....	47
5.	CONCLUSÕES.....	48
6.	BIBLIOGRAFIA	51
7.	ANEXOS	53
	Anexo 1 – Planilhas do Projeto de Escopo Anterior.....	53
	Anexo 2 – Planilha de Descrição do Processo Preenchida.....	56
	Anexo 3 – Planilha de Descrição Inicial das Funções do Sistema Preenchida	57
	Anexo 4 – Diagrama de Blocos Funcional	58
	Anexo 5 – Planilha de Classificação das Funções do Sistema Preenchida	59
	Anexo 6 – Planilha de Descrição dos Itens Físicos Preenchida	60
	Anexo 7 – Planilha de Descrição das Funções e Falhas Funcionais Preenchida	61

Anexo 8 – Planilha de Descrição da Falha Funcional e Itens Físicos Preenchida	62
Anexo 9 – Planilha de Análise de Modo de Falha e Efeito Preenchida.....	63
Anexo 10 – Planilha de Descrição das Atividades de Manutenção Por Falha Funcional Preenchida....	66
Anexo 11 – Plano de Manutenção Preenchido.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Evolução da Manutenção Industrial	7
Figura 2 : Métodos de Manutenção.....	9
Figura 3 : Método de Manutenção x Tarefa de Manutenção x Divisão.....	12
Figura 4 : Intervalo P-F	20
Figura 5 : Padrões de falha.....	22
Figura 6 : Etapas do processo do FMEA.....	25
Figura 7: Árvore de Decisão das Falhas.....	35
Figura 8: Arvore de Decisão de Tarefas.....	36
Figura 9: Divisão Funcional do Sistema de Fabricação de papel	38
Figura 10: Desenho esquemático da máquina de papel	39
Figura 11: Gráfico de Pareto Índice de criticidade itens físicos	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Custo de Manutenção pelo Faturamento.....	1
Tabela 2 : Ferramentas Utilizadas para Promover a Qualidade.....	2
Tabela 3: Manutenção Tradicional x Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	14
Tabela 4 : Comparação das Sistemáticas para aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade	16

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Planilha de Descrição do Sistema	29
Quadro 2: Planilha de Descrição Inicial das Funções do Sistema	29
Quadro 3: Planilha de Classificação das Funções do Sistema	30
Quadro 4: Planilha de Descrição dos Itens Físicos	30
Quadro 5: Planilha de Descrição das funções e Falhas Funcionais	31
Quadro 6: Planilha de Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos.....	31
Quadro 7: Planilha de Análise de Modo de Falha e Efeitos – FMEA	33
Quadro 8: Planilha de Descrição das Atividades de Manutenção por Falha Funcional	34
Quadro 9: Exemplo Planilha de Descrição das Funções e Falhas Funcionais Preenchida	43
Quadro 10: Exemplo Planilha de Descrição da Falhas Funcionais e Itens Físicos.....	44
Quadro 11: Exemplo Planilha de Análise de Modo de Falha e Efeito preenchida	46
Quadro 12: Exemplo Planilha de Descrição das Atividades de Manutenção Por Falha Funcional preenchida	47
Quadro 13: Exemplo Plano de Manutenção.....	47

RESUMO

No ambiente empresarial na medida em que o mercado fica mais “maduro” e que cresce a competitividade, a busca pelo baixo custo com um nível de qualidade aceitável são cuidados essenciais que uma empresa deve ter para garantir sua competitividade no mercado. Analisando no âmbito da gestão industrial não são diferentes esses cuidados, e em geral o setor de manutenção é visto como uma das áreas mais propícias à implementação de melhorias, pois a normalmente representa uma grande parcela do custo para a empresa. Hoje, já existem uma grande quantidade de métodos, software, modelos e ferramentas de gestão disponíveis que tratam como deve ser a abordagem da manutenção na indústria, a metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), tradução do inglês *Reliability Centered Maintenance (RCM)* que tem origem norte-americana se destaca por ter uma metodologia lógica, com procedimentos que estabelecem critérios para manutenção normalmente preditiva ou preventiva, alcançando os níveis de segurança e confiabilidade desejados para cada equipamento. É através da aplicação da metodologia RCM em uma fábrica de papel que está baseada a monografia.

Palavras-Chave: Manutenção, Confiabilidade, Manutenção Centrada em Confiabilidade.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Comentários Iniciais

No ambiente empresarial atual quem apresenta uma gestão mais eficiente e eficaz se torna capaz de sobreviver em longo prazo dentro do mercado, pois com o crescimento da competitividade, o mercado consumidor exige maior qualidade e diversidade de produtos, além disso, inovações tecnológicas e sociais acontecem num ritmo mais acelerado, e a tendência é que mudanças aconteçam mais rapidamente, então as empresas precisam ser ágeis para acompanhar esse desenvolvimento, de maneira a criar situações favoráveis.

Com tantas mudanças acontecendo no mercado, cada setor dentro da empresa precisa responder a essa situação da melhor maneira, principalmente o setor de manutenção, que precisa reagir de maneira ágil e produtiva quando surgem novos equipamentos, novas instalações, ou novos projetos.

O setor de manutenção, em geral, é visto como uma das áreas mais propícias à implementação de melhorias na qualidade da gestão e dos serviços por representar uma área de parcela vital e custosa da empresa. Um parâmetro que pode ser analisado na fábrica é o custo de manutenção em relação ao faturamento, segundo dados extraídos do relatório de 2008 da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) o setor de papel e celulose tem o custo de manutenção que representa 4,7% do faturamento, conforme pode ser visto na tabela abaixo.

ESTES DADOS FAZEM PARTE DA RESPOSTA DE UMA PESQUISA ONDE PARTICIPARAM 404 EMPRESAS (45 - PORTUGAL, 197 - UK, 66 - ALEMANHA, 42 - FRANÇA e 54 - USA) ELABORADA PELA "PROFITABILITY ENGENNERS"			
CUSTO DA MANUTENÇÃO PELO FATURAMENTO			
SETOR	%	SETOR	%
Aeroespacial	2,7	Construção Civil	8,1
Químico	5,0	Bebidas	3,0
Eletrônico	2,9	Alimentos	3,1
Engenharia	3,3	Vidro	4,3
Mineração/ Metais	4,4	Automotivo	4,6
Nuclear	7,3	Petróleo	2,5
Embalagem	5,1	Papel e Celulose	4,7
Farmacêutico	3,9	Plástico	5,0
Borracha	4,3	Têxtil	5,1
Serviços	8,0	Transporte	12,7

Tabela 1: Custo de Manutenção pelo Faturamento
Fonte: Relatório anual ABRAMAN 2008

Como solução para investimento no setor de manutenção a metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), tradução do inglês *Reliability Centered Maintenance (RCM)* vem sendo utilizada freqüentemente como ferramenta de para promover a qualidade, conforme mostrado nos dados extraídos do relatório de 2008 da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN).

Ferramentas Utilizadas para Promover a Qualidade (% de Respostas)								
Ano	MCC	5S	FMEA	RCFA	CQC	TPM (MPT)	6 Sigma	Outros
2007	18,65	27,22	22,02	17,13	-	10,09	0,92	3,98
2005	15,20	41,18	-	-	10,78	15,69	7,35	9,80
2003	20,31	37,50	-	-	8,33	16,15	5,73	11,98
2001	17,35	37,90	-	-	11,42	14,61	-	18,72
1999	5,62	40,45	-	-	16,29	20,79	-	16,85
1997	2,89	46,24	-	-	12,14	18,50	-	20,23
1995	-	39,83	-	-	17,37	21,61	-	21,19

Tabela 2 : Ferramentas Utilizadas para Promover a Qualidade
Fonte: Relatório anual ABRAMAN 2008

A metodologia MCC em 2007 representou 18,65% dos casos o que mostra ser hoje bastante utilizada pelas empresas, vale ressaltar também que a metodologia MCC contempla em sua estrutura de implantação a utilização da ferramenta FMEA, que pelo dado coletado representa 22,02% dos casos, se somarmos as utilizações dos dois chega a 40,67% dos casos.

A metodologia surgiu por uma necessidade de certificação das linhas de montagem dos projetos de aeronaves da Boeing em 1969, então foi a partir desse momento que a nova metodologia de manutenção denominada *Realiability-Centered Maintenance (RCM)* ou, em português, Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) foi desenvolvida, a metodologia atende objetivo comprovar a confiabilidade dos componentes da aeronave, efetivando assim essa metodologia como uma promissora proposta de manutenção. Após esse ocorrido tal metodologia se disseminou na indústria elétrica e nuclear devido às similaridades dos requisitos de segurança, e hoje é aplicada em todos os setores industriais.

1.2.Tema e Objetivos

O assunto que trata esta monografia é o desenvolvimento de um plano de manutenção baseada na metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Este trabalho de conclusão do curso de engenharia de produção tem como objetivo principal **desenvolver um plano de manutenção para o sistema de fabricação de papel**, aumentando assim a disponibilidade da máquina de papel.

O trabalho apresenta como objetivos secundários:

1. Ampliar a bibliografia sobre o tema Manutenção Centrada em Confiabilidade, com ênfase voltada ao segmento de papel e celulose.
2. Aplicar o método a indústria de papel, levando em consideração as condições da fábrica do estudo de caso.
3. Descrever as etapas da implementação da metodologia a fábrica em questão;

1.3.Justificativa do Tema

A motivação do desenvolvimento do tema se deu através da identificação da necessidade de aumentar a disponibilidade da máquina de papel. Foi identificado que existem muitas paradas de máquina devido a intervenções corretivas não planejadas, o que implica em perdas de produção e altos custos para a fábrica. Além das paradas de máquina, pode-se perceber a inexistência da manutenção preventiva, o que levou a conclusão da necessidade de implantação de uma estratégia de manutenção.

Na fábrica de papel em questão o processo produtivo é contínuo, com produção em 3 turnos e 7 dias por semana. Não há horas disponíveis de folga, o que torna o trabalho da manutenção ainda mais crítico. Concluiu-se a necessidade da aplicação de um programa bem estruturado de manutenção para chegar ao objetivo desejado de se aumentar a disponibilidade da máquina. Será com esse propósito que o trabalho se desenvolverá.

A metodologia MCC é definida como uma técnica utilizada para aperfeiçoar as estratégias da manutenção, com a redução do custo de manutenção, focando as mais importantes funções do sistema e evitando ou removendo as ações de manutenção que não são estritamente necessárias (RAUSAND, 1998). O que mostra ser uma metodologia aplicável no caso em questão.

Essa metodologia é uma análise estruturada do sistema, onde se inicia com um estudo de suas funções, descrevendo seus modos de falha e prioridades, e a partir desse estudo são

definidas as atuações necessárias em cada equipamento. Vale ressaltar que podemos aplicar o MCC tanto no estudo das atividades de manutenção já implementadas com o objetivo de remover ou evitar ações desnecessárias, quanto para a implementação de novas ações de manutenção focadas nas funções essenciais do sistema.

Com a aplicação do MCC numa indústria se pretende alcançar alguns objetivos principais, que são: reduzir o tempo de manutenção, reduzir os custos de manutenção e torna o sistema mais disponível ao longo do tempo, (RAUSAND, 1998). O que justifica a escolha do método para resolver o problema de manutenção.

O objetivo da implantação da metodologia MCC a fábrica de papel da IPELSA é estruturar o setor de manutenção, apresentando um plano de manutenção sobre os equipamentos da área de fabricação de papel.

Alem da estruturação do plano de manutenção, a metodologia MCC gera informações sobre o processo de produção, onde serão descritas as suas funções, as falhas funcionais, os modos de falha, a causa e o efeito da falha, permitindo o aprimorar o conhecimento acerca do processo em estudo.

1.4.Método do Trabalho

O estudo dessa monografia será feito com o intuito de apresentar um plano de manutenção através do estudo feito em uma fábrica de papel baseado na metodologia MCC, onde será apresentada no capítulo 3 toda a metodologia de implantação ao caso em questão.

Durante o desenvolvimento da monografia a seqüência utilizada para atingir os objetivos aos quais se propõe este trabalho é baseada em uma revisão bibliográfica sobre o MCC, visando obter conhecimento sobre sua estrutura de análise, para então descrever e estudar todo o processo de fabricação de papel e para então aplicar a metodologia MCC proposta para chegar ao plano de manutenção desejado.

1.5.Limitações do Trabalho

O MCC foi desenvolvido para balancear os custos e benefícios e com isso obter o melhor custo efetivo do programa de manutenção (RAUSAND, 1998). Para isso os padrões desejados do desempenho do sistema têm que está especificado e as potências conseqüências de cada falha deve ser identificada e conhecida. A necessidade de um bom conhecimento do sistema se torna um fator limitante, pois as informações precisam ser buscadas através do conhecimento de profissionais.

A implementação da metodologia do MCC na sua totalidade demanda um longo período e dedicação dos profissionais envolvidos, então o estudo limitou-se a uma função de um subsistema funcional.

O presente trabalho limitasse a sugerir essa nova estratégia sem acompanhamento da evolução da implementação, por isso pode ser considerado um trabalho inicial de implementação da metodologia de manutenção e deixa em aberto uma possível expansão do estudo.

No estudo de caso a metodologia será utilizada para a implementação de novas ações de manutenção, e devido à dificuldade inicial de preparação, será enfoca o desenvolvimento baseado na lógica da metodologia, sem fazer um estudo aprofundado na confiabilidade de um componente.

1.6. Estrutura do Trabalho

Esta monografia apresenta 5 capítulos, contendo o seguinte conteúdo:

O capítulo 1 apresenta informações relevantes para a compreensão do trabalho. Neste capítulo serão apresentadas as considerações iniciais, que descrevem o tema e os objetivos, a justificativa do tema, a metodologia a ser adotada e como será apresentada a estrutura da monografia.

O capítulo 2 apresenta um referencial bibliográfico sobre manutenção com o enfoque na metodologia MCC contendo as definições que serão importantes para o desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 3 apresenta uma descrição da metodologia proposta para a análise do sistema em questão e de implementação do MCC para montar a estratégia de manutenção.

O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do estudo de caso com etapas de implantação da metodologia proposta no capítulo 3 até chegar ao objetivo da monografia.

O capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho bem como sugestões para a realização de trabalhos futuros.

2. MANUTENÇÃO COM ENFOQUE NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Este capítulo apresenta um referencial bibliográfico contendo definição e importância da manutenção, descrevendo a evolução da manutenção, posteriormente o capítulo traz os conceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e definições importantes que fazem parte do processo, com o objetivo de facilitar o entendimento dos tópicos abordados nos capítulos 3 e 4.

2.1. Histórico da manutenção industrial

Conforme comentado no tópico anterior a missão da manutenção tem evoluído ao longo do tempo e segundo Siqueira (2005), a manutenção pode ser dividida em três gerações distintas, assim denominadas:

- Primeira Geração: Mecanização;
- Segunda Geração: Industrialização;
- Terceira Geração: Automatização.

A primeira estende-se aproximadamente de 1940 a 1950, neste período, a mecanização da indústria era ainda incipiente, utilizando equipamentos simples e superdimensionados para as funções onde eram aplicados. Com isso as atividades de manutenção eram mínimas, sendo apenas reparadas as falhas quando ocorriam e existiam apenas preventivas de limpeza e lubrificação.

Encerrada a Segunda Guerra Mundial, aproximadamente em 1950 a segunda geração da manutenção que se estende até 1975, onde foram criadas linhas de produção, com isso a necessidade de aumentar a disponibilidade dos equipamentos. Surgiu a manutenção preditiva e as manutenções preventivas herdadas da geração anterior foram aperfeiçoadas, e nos meados de 1970 surgiu a Manutenção Produtiva Total ou *Total Productive Maintenance* (TPM) que é uma organização e integração de todas as técnicas.

A terceira Geração é marcada a partir da incapacidade técnica frente às exigências da automação ocorrida na indústria a partir de 1975, além disso, estava se tornando universal o uso de sistema “*just in time*”, que agrava ainda mais qualquer parada no equipamento. Então os requisitos agora para a manutenção eram de ter maior disponibilidade, maior confiabilidade e vida útil do equipamento.

Segundo Moubray os fatores que motivaram o surgimento de uma terceira geração são:

- i) Novas expectativas quanto aos itens físicos como a confiabilidade, disponibilidade, integridade ambiental, segurança humana e ao aumento dos custos totais de manutenção;
- ii) Novas pesquisas que evidenciaram a existência de seis padrões de falhas de equipamentos; e
- iii) Surgimento de novas ferramentas e técnicas, tais como o monitoramento de condições dos equipamentos, projeto de equipamento com ênfase na manutenção e ênfase no trabalho em equipe.

Na figura 1 Siqueira (2005) ilustra a evolução temporal destas gerações, após a segunda Guerra Mundial, mostrando a evolução da manutenção ao longo das gerações desde o início na manutenção corretiva até a manutenção da confiabilidade.

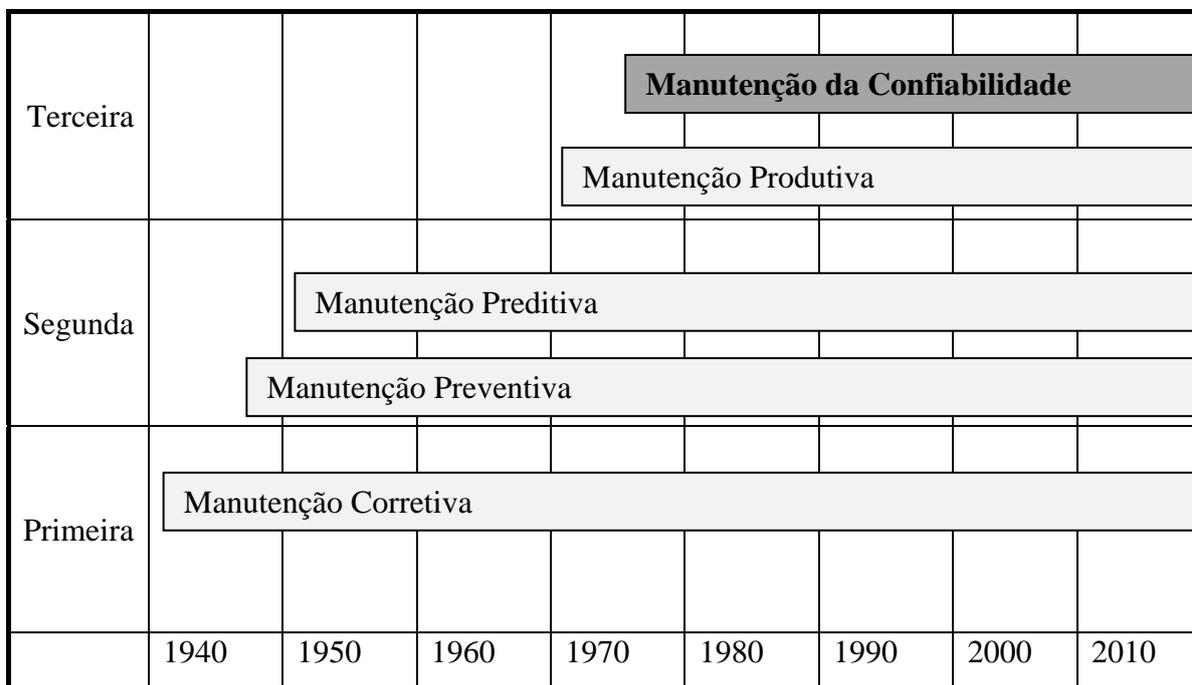


Figura 1 : Evolução da Manutenção Industrial
Fonte: Siqueira (2005, p4)

2.2. Definições de Manutenção

A missão da manutenção predominante no passado era de re-estabelecer as condições originais dos equipamentos ou sistemas, porém hoje, e segundo Pinto (2001) com a evolução dos sistemas produtivos uma nova missão para a manutenção foi restabelecida:

“garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados”

Pinto (2001) afirma que a manutenção existe para que não haja manutenção, entendendo manutenção como manutenção corretiva não-planejada. Então o foco da manutenção passa a ser:

- Aumento da disponibilidade;
- Aumento do faturamento e do lucro;
- Aumento da segurança pessoal e das instalações;
- Redução da demanda de serviços;
- Redução dos custos;
- Redução de lucros cessantes;
- Preservação ambiental.

Segundo Smith (1993) a manutenção tem como objetivo preservar as capacidades funcionais de equipamentos e sistemas em operação. Moubrey (2000) afirma que o objetivo da manutenção é assegurar que os itens físicos continuem a fazer o que seus usuários desejam que eles façam. O conceito apresentado pela norma americana de regulamento do MCC, SAE JA 1011 é:

“determinar os requisitos de manutenção para modos de falha que possam causar falhas funcionais há quaisquer item físico em seu ambiente operacional”.

2.3.Métodos de Manutenção

A maneira como é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários métodos de manutenção existentes. Existem hoje diversas classificações da manutenção, no presente trabalho, adota-se a terminologia utilizada pela maioria dos autores no que se refere à Manutenção Centrada em Confiabilidade.

A maneira como é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários tipos de manutenção existentes. Para a seguinte monografia os métodos de manutenção são divididos em: (i) Manutenção corretiva; (ii) Manutenção preventiva; e (iii) Manutenção por melhorias. Além dessa classificação existe a subdivisão da Manutenção Preventiva em: (i) Manutenção de rotina; (ii) Manutenção periódica e (iii) Manutenção preditiva. Conforme mostrado na figura abaixo.

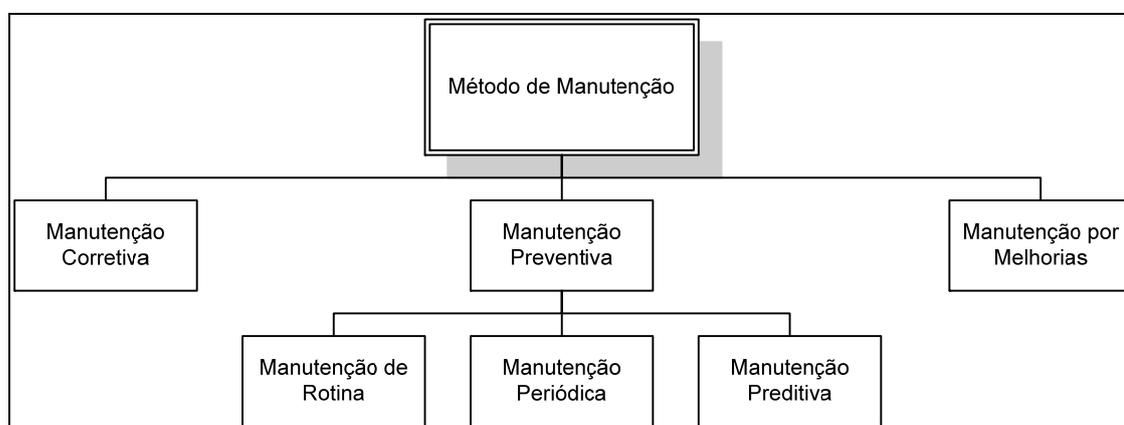


Figura 2 : Métodos de Manutenção

Fonte: Zaions (2003, p. 32)

Para muitos autores a divisão dos métodos de manutenção a manutenção preditiva, de rotina e periódicas, não são uma subdivisão da preventiva, ficando no mesmo nível da manutenção corretiva e manutenção por melhorias. A seguir serão apresentadas as definições de cada método.

2.3.1. Manutenção Corretiva

A **Manutenção Corretiva** é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado. E tem o objetivo de corrigir ou recuperar as condições de funcionamento do sistema. É uma prática reativa de manutenção.

2.3.2. Manutenção Preventiva

A **Manutenção Preventiva** é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

Esse tipo de manutenção tenta prevenir que ocorra a falha, diferente da manutenção corretiva que corrige a falha. A manutenção preventiva corresponde à ação tomada para manter um item físico em condições operantes por meio de inspeções, detecção, prevenção de falhas, reformas e troca de peças.

O objetivo final da manutenção preventiva é obter a utilização máxima do equipamento nas tarefas de produção, com a correspondente redução do tempo de máquina parada e custos da manutenção.

2.3.2.1. Manutenção de Rotina

A **Manutenção de Rotina** é a atuação através de serviços de inspeções e verificações das condições técnicas dos itens físicos, normalmente associada a intervenções leves que se efetua em intervalos de tempos pré-determinados.

A responsabilidade pela manutenção de rotina não é somente do pessoal de manutenção, mas também de todos os operadores dos itens físicos. As tarefas de manutenção de rotina normalmente são executadas no dia-a-dia para evitar a degradação dos itens físicos.

2.3.2.2. Manutenção Preditiva

A **Manutenção Preditiva** é a atuação realizada com base em modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Com esse tipo de manutenção se tem um acompanhamento do equipamento e as intervenções se dão no momento que o equipamento apresenta alguma tendência a falhar.

A manutenção preditiva será tanto mais eficiente quanto mais rapidamente for detectada a variação dos parâmetros. A finalidade da Manutenção Preditiva é fazer a manutenção somente quando e se houver necessidade. Ela permite aperfeiçoar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estão próximos do seu limite de vida.

As ações da manutenção preditiva não reduzem diretamente a taxa de deterioração de um componente, mas controlam indiretamente a consequência de acidentes, quebras e mau funcionamento. A manutenção preditiva deve ser aplicada para modos de falha que ocorrem aleatoriamente e repentinamente.

2.3.2.3. Manutenção Periódica

A **Manutenção Periódica** é a atuação efetuada em intervalos pré-determinados de tempo, o intervalo entre intervenções é definido proporcionalmente à deterioração do item físico. A intervenção é conduzida no tempo estabelecido, independente do estado do componente.

A Manutenção Periódica é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou quebra no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

2.3.3. Manutenção por Melhoria

A **Manutenção por Melhoria** é a atuação efetuada para reduzir ou eliminar totalmente a necessidade de manutenção. Trata-se de um método que consiste em programar melhorias para aumento da vida útil do equipamento. No contexto de manutenção, praticar a Manutenção por Melhorias dos itens físicos significa melhorá-los gradativamente e continuamente para além de suas especificações originais, através de modificações, modernizações, reprojeto, etc. Alguns autores denominam o nome de Engenharia de Manutenção para esse método.

A figura abaixo mostra a relação entre as tarefas de manutenção e os responsáveis pela sua realização, para cada método de manutenção, com a proposta dos executantes.

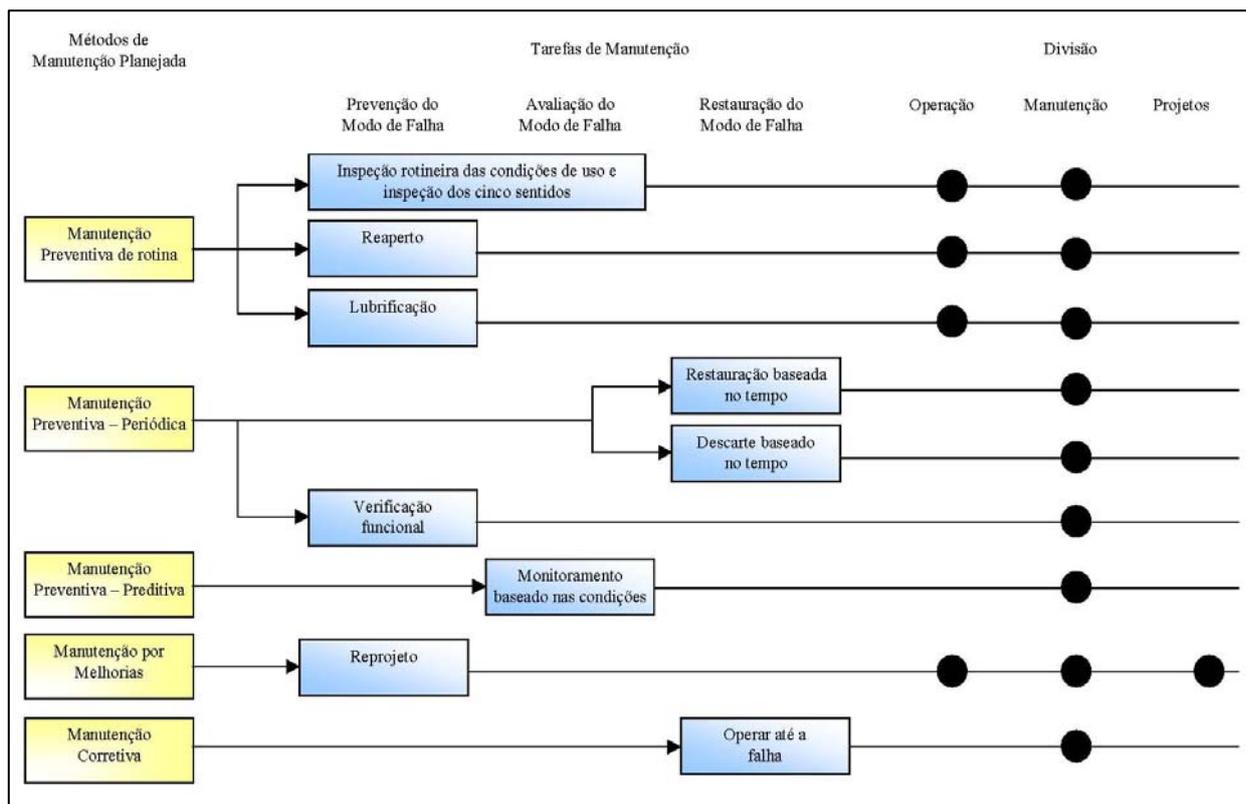


Figura 3 : Método de Manutenção x Tarefa de Manutenção x Divisão

Fonte: Zaions (2003, p. 38)

2.4. Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC

2.4.1. Histórico da Manutenção Centrada em Confiabilidade

Conforme destacado anteriormente a RCM surgiu na terceira geração da manutenção, onde os estudos da confiabilidade dos equipamentos começaram a ser realizados.

O primeiro evento atribuído a origem da Manutenção Centrada na Confiabilidade refere-se à necessidade de certificação da linha de aeronave Boeing 747 pela FAA (*Federal Aviation Authority*) nos Estados Unidos. Onde devido à complexidade e modernidade do projeto do Boeing surgiu uma força tarefa em 1968 conhecida como MSG-1 (*Maintenance Steering Group*), gerando um relatório que introduziu os conceitos iniciais do *Reliability-Centered Maintenance* (RCM).

A partir da certificação do Boeing 747 em 1969, novos estudos foram realizados com base no trabalho do MSG-1 e dois novos grupos foram criados MSG-2 em 1970 e MGS-3 em 1980, e todo o processo de fabricação de aeronave passou a ter a metodologia como obrigatória.

Com a rápida disseminação da metodologia motivou o desenvolvimento de versões diferentes da versão original do MSG-3. Moubray propôs modificação chamando de RCM2®, já mais recente Smith propôs novas versões.

Com o esforço de normatizar o MCC foram criadas normas internacionais que foram evoluindo ao longo dos anos, passando pela norma IEC 60300-3-11 de março de 1999 “*Gestion de la sureté de fonctionnement – Partie 3-11: Guide d’application – Maintenance basée sur La fiabilité*”, já em agosto do mesmo ano surgiu SAE JÁ1011, “*Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes*”, e mais recente em janeiro de 2002 surgiu a norma SAE JÁ1012 “*A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*”.

O sucesso da aplicação da metodologia MCC levou a mesma a expandir sua aplicação nos diversos setores produtivos, e a generalidade dos conceitos atuais permite que essa metodologia possa ser aplicada em qualquer sistema, onde se deseje manter a funcionalidade do processo.

2.4.2. Definições

Segundo Rausand (1998), Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma técnica utilizada para aperfeiçoar as estratégias da manutenção, com a redução do custo de manutenção, focando as mais importantes funções do sistema e evitando ou removendo as ações de manutenção que não são estritamente necessárias.

Moubray (2000) afirma que os resultados esperados com a implantação do MCC são que se tenha uma maior segurança ambiental e humana, apresentando também uma melhoria no desempenho operacional, maneira ter o menor custo de manutenção possível, aumento da vida útil dos equipamentos e se ter um banco de dados da manutenção para atualizações futuras.

Siqueira (2005) afirma que uma das características do MCC é fornecer um método estruturado para se selecionar as atividades de manutenção, para qualquer processo produtivo. Concluindo que o conceito fundamental e objetivo do MCC é aplicar a manutenção mais adequada a cada modo de falha.

Os principais autores sobre MCC definem os objetivos da manutenção focando as funções do sistema, Smith (1993) define como objetivo da manutenção preservar as capacidades funcionais de equipamentos e sistemas em operação, Moubray (2000) afirma que o objetivo é assegurar que os itens físicos continuem a fazer o que seus usuários desejam que eles façam.

Segundo a norma SAE JÁ 1011 (1999) estabelece que a manutenção deve garantir que “*itens físicos continuem a desempenhar suas funções planejada*” e cabe a MCC “*determinar os*

requisitos de manutenção para modos de falha que possam causar falhas funcionais de quaisquer item físico em seu ambiente operacional”.

Com de acordo com essas definições Siqueira (2005) baseado na norma IEC60300-3-11 e no relatório ATA MSG-3 afirma que os objetivos da manutenção baseada na metodologia MCC são os seguintes:

- Preservar as funções dos equipamentos, com a segurança requerida;
- Restaurar sua confiabilidade e segurança projetada, após deterioração;
- Otimizar a disponibilidade;
- Minimizar o custo de vida;
- Atuar conforme os modos de falha;
- Realizar apenas as atividades que precisam ser feitas;
- Agir em função dos efeitos e consequência da falha; e
- Documentar as razões para escolha das atividades.

Na tabela a seguir Siqueira faz a comparação entre as características da manutenção tradicional e da metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade

Característica	Manutenção tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividade	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e Sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Deterioração do equipamento	Conseqüências das falhas
Normatização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

Tabela 3: Manutenção Tradicional x Manutenção Centrada em Confiabilidade

Fonte: Siqueira (2005, p.17)

Rausand (1998) afirma que a metodologia tem um destaque de ter o seu foco no sistema de funções e não no equipamento, e que o objetivo do MCC é a redução do custo de manutenção,

focando as mais importantes funções do sistema, e evitando ou removendo as ações de manutenções que não são extremamente necessárias.

Com base nos autores pesquisados, uma análise MCC é basicamente proveniente da resposta das seguintes sete questões.

1. Quais são as funções e os padrões de desempenho do item em seu contexto operacional atual?
2. De que forma os itens deixam de cumprir sua função?
3. Qual a causa de cada falha operacional?
4. O que acontece quando cada falha ocorre?
5. De que forma é tratada cada falha?
6. O que é feito para prevenir cada falha?
7. O que pode ser feito se uma atividade preventiva adequada não for encontrada?

Segundo Rausand (1998) 30% dos esforços estão na definição das funções e do desempenho padrão. Segundo o mesmo autor o MCC foi desenvolvido para balancear os custos e benefícios em um programa de manutenção preventiva. E para isso os padrões desejados de desempenho do sistema precisam ser especificados, as potenciais falhas e conseqüências precisam ser identificadas e estudadas.

As metodologias de aplicação do MCC mais conhecidas, dentre aquelas apresentadas na literatura, são as de Moubray (2000), Rausand (1998) e Smith (1993). As idéias principais em cada abordagem são basicamente as mesmas, além desses autores a NASA (2000) fez seu próprio manual de aplicação do método.

Zaions (2003) em sua dissertação apresenta uma comparação dos modelos de implementação descritos por Smith (1993), Moubray (2000), NASA (2000) e Rausand *et al.* (1998), conforme mostrado na tabela seguinte.

O processo de implementação do MCC compreende basicamente 8 etapas, tais etapas são elaboradas a partir das abordagens mostradas na tabela, sendo detalhadas nas próximas seções.

Etapas	Smith (1993)	Moubray (2000)	NASA (2000)	Rausand et al. (1998)
1	Seleção do sistema e coleta de informações	Definição das funções e padrões de desempenho	Identificação do sistema e suas fronteiras	Preparação do estudo.
2	Definição das fronteiras do sistema.	Definição da forma como o item falha ao cumprir suas funções.	Identificação dos subsistemas e componentes.	Seleção do sistema.
3	Descrição do sistema	Descrição da causa de cada falha funcional	Exame das funções	Análise das Funções e Falhas Funcionais - AFF
4	Funções e falhas funcionais	Descrição das conseqüências de cada falha.	Definição das falhas e dos modos de falha.	Seleção dos itens críticos
5	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas	Definição da importância de cada falha.	Identificação das conseqüências da falha.	Coleta e análise de informações
6	Análise da árvore lógica.	Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha.	Análise do diagrama lógico de decisão.	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas
7	Seleção das tarefas preventivas.	Seleção de tarefas alternativas.	Seleção das tarefas preventivas	Seleção das tarefas de manutenção.
8				Determinação da freqüência das tarefas de Manutenção.

Tabela 4 : Comparação das Sistemáticas para aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade

Fonte: Zaions (2003, p.63)

Com a utilização dos passos propostos para implantação da metodologia RCM, Moubray (2000) define alguns resultados esperados:

- Segurança ambiental e humana;
- Melhoria de desempenho operacional;
- Menor custo de manutenção;
- Aumento da vida útil dos equipamentos;
- Criação do banco de dados da manutenção;
- Maior motivação do pessoal envolvido com a manutenção;
- Melhoria do trabalho em equipe.

A metodologia MCC apresenta uma estrutura de análise do sistema funções, tornando viável a implantação da metodologia em qualquer sistema. De maneira geral a análise MCC inicia-se com um estudo do sistema de funções, com suas especificações, para então descrever seus modos de falha e definir das prioridades, e com essas análise é definida as atuações necessárias da manutenção nos equipamentos.

As etapas mostradas na tabela anterior podem ser resumidas da seguinte forma:

Etapa 1 – Preparação do Estudo. Essa etapa deve esclarecer e definir os objetivos e o escopo da análise.

Etapa 2 – Seleção e Determinação do Sistema. Essa etapa compreende a determinação do que será analisado e em que nível: planta industrial, sistema, itens físicos ou componentes.

Etapa 3 – Análise das Funções e Falhas Funcionais. Permite identificar as funções do sistema e as fronteiras entre os sistemas componentes da unidade fabril. Essa etapa compreende, também, a documentação de informações como a descrição do sistema, diagrama de blocos das funções, interfaces de entrada e saída, lista de equipamentos e seu histórico.

Etapa 4 – Seleção dos Itens Críticos. O objetivo dessa etapa é identificar itens físicos potencialmente críticos com relação às falhas funcionais.

Etapa 5 – Coleta e Análise de Informações. Essa etapa compreende a coleta e análise das informações necessárias para implementar a análise da MCC.

Etapa 6 – Análise de Modos e Efeitos de Falhas. Permite identificar o papel que os itens físicos desempenham nas falhas funcionais.

Etapa 7 – Seleção de Tarefas Preventivas. Esse passo compreende a seleção das tarefas viáveis e efetivas na prevenção das falhas funcionais.

Etapa 8 – Definição das Freqüências das Tarefas de Manutenção Preventiva. O objetivo dessa etapa é determinar o intervalo ótimo para realizar as tarefas de manutenção previstas na etapa 7.

Nos próximos tópicos serão apresentadas definições importantes e principais ferramentas de apoio usadas pela MCC, para depois ser descrito com mais detalhes cada etapa mostrada acima.

2.5. Definições importantes para a aplicação

Nesse tópico serão apresentadas definições para um melhor entendimento dos passos de aplicação da metodologia MCC.

2.5.1. Funções

Função pode ser definida como o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de performance especificado (Siqueira, 2005)

As funções descrevem os objetivos do sistema na visão geral do usuário. Para Moubrey (2000), a definição de uma função deve consistir de um verbo, um objeto e o padrão de desempenho desejado.

Inicialmente é preciso priorizar as funções, de acordo com Siqueira 2005, se dá da seguinte maneira:

1. Segurança pessoal dos operadores e usuários;
2. Meio Ambiente;
3. Operação da instalação;
4. Economia do Processo;
5. Instrumentação e controle.

As funções podem ser divididas em funções principais e funções secundárias, iniciando sempre o processo de MCC pelas funções principais. A função principal de um item físico está associada, principalmente, gera o objetivo principal do sistema. Conforme Moubrey (2000) os itens físicos são geralmente adquiridos para uma, possivelmente, duas e não mais do que três funções principais.

2.5.2. Sistemas e subsistemas

Funções são desempenhadas por um sistema, os quais devem ser selecionados e identificados antes da caracterização das funções, a definição de sistema no dicionário Aurélio é *“conjunto de elementos materiais ou ideais, entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação”* onde essa relação pode ser encontrada nos sistemas indústrias no estabelecimento de uma ou mais funções características do sistema.

Os subsistemas são partições de um sistema multifuncional, especializadas na execução de uma ou mais funções do sistema principal, assim definido por Siqueira (2005).

2.5.3. Padrão de Desempenho

Os equipamentos são projetados e desenvolvidos para assegurar um padrão mínimo de desempenho. Porém, em virtude do trabalho executado pelas máquinas, seus componentes acabam deteriorando-se. Dessa forma, qualquer máquina ou componente que for colocado em operação deverá ser capaz de produzir mais do que o padrão mínimo de desempenho desejado pelo usuário. Esse limite de produção do equipamento é conhecido como capacidade inicial ou confiabilidade inerente do equipamento.

2.5.4. Falhas

Falha pode ser definida como a incapacidade do item físico de fazer o que o usuário quer que ele faça.

2.5.5. Falhas Funcionais

A definição de falha é bastante vaga, então aplicando os padrões de desempenho às funções individuais, a falha enfocada, em termos de falha funcional, é definida como a incapacidade de qualquer item físico cumprir uma função para um padrão de desempenho aceitável pelo usuário.

2.5.6. Falhas Potenciais

Falha potencial é uma condição identificável que indica se a falha funcional está para ocorrer ou em processo de ocorrência (MOUBRAY, 2000). Para Xenos (1998), o conceito de falha potencial leva em consideração o fato de que muitas falhas não acontecem repentinamente, mas se desenvolvem ao longo do tempo. A falha potencial representa o ponto onde o item físico começa a apresentar perda do desempenho da função.

A Figura 4 permite identificar a relação entre falha potencial e falha funcional. Na figura, podem-se identificar três períodos de tempo distintos na ocorrência de uma falha: (i) um período de tempo entre uma condição normal de operação até o início da falha; (ii) um segundo período de tempo entre o início da falha até o aparecimento de um sinal da falha; (iii) um terceiro período de tempo que se estende desde o aparecimento do sinal da falha até a sua ocorrência. Moubray (2000) define que o ponto P no processo de falha, onde é possível detectar se a falha está ocorrendo ou esta para ocorrer, é chamado de falha potencial. O ponto F representa o ponto de falha funcional. Assim, o intervalo P-F corresponde ao intervalo entre o ponto onde a falha torna-se detectável até a sua ocorrência.

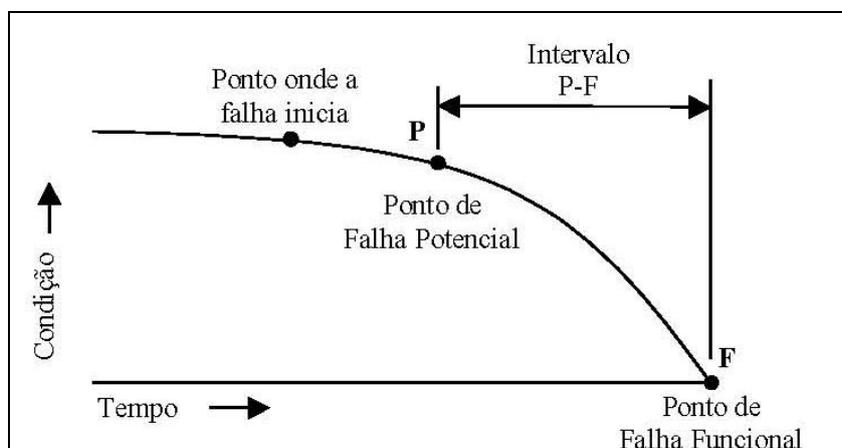


Figura 4 : Intervalo P-F
Fonte: Moubray (2000, p. 144)

2.5.7. Modos de Falha

Um Modo de Falha é definido como qualquer evento que possa levar um ativo (sistema ou processo) a falhar (SAE JA1011, 1999). O Modo de Falha está associado às prováveis causas de cada falha funcional. Os modos de falha são eventos que levam, associados a eles, uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho. O modo de falha pode ser também a causa de uma falha potencial em um sistema ou subsistema de um nível superior, ou ser o efeito de um componente em um nível inferior.

Os modos de falha podem ser classificados em um dos três grupos a seguir:

- Quando a capacidade reduz-se abaixo do desempenho desejado;
- Quando o desempenho desejado fica acima da capacidade inicial; e
- Quando o item físico não é capaz de realizar o que é desejado.

2.5.8. Causa das Falhas

A causa da falha representa os eventos que geram (provocam, induzem) o aparecimento do tipo modo de falha, e pode ser detalhada em diferentes níveis para diferentes situações.

O modo de falha descreve o que está errado na funcionalidade do item e causa da falha descreve porque está errada a funcionalidade do item.

2.5.9. Efeito das Falhas

O efeito da falha acontece quando o modo de falha ocorre então os efeitos da falha irá descrever os impactos dos modos de falha no sistema.

2.5.10. Contexto Operacional

O contexto operacional está associado às condições (funções) nas quais o ativo físico irá operar. É importante entender o conceito de contexto operacional, pois as funções principais e secundárias, além da natureza dos modos de falha, de seus efeitos e conseqüências são afetadas pelo contexto de operação.

2.5.11. Conseqüência das falhas

Cada vez que ocorrer alguma falha, a empresa que usa o item é afetada de alguma maneira. As falhas podem afetar a produção, a qualidade do serviço ou do produto, a segurança e o meio ambiente, podendo incorrer em aumento do custo operacional e do consumo de energia. A natureza e a severidade dessas conseqüências orientam a maneira como será vista a falha pela empresa.

2.5.12. Padrões de Falha

Os padrões de falha representam a frequência de ocorrência das falhas em relação à idade operacional de um equipamento. A Manutenção Centrada em Confiabilidade adota um modelo no qual seis padrões de falha são utilizados para caracterizar a vida dos equipamentos. Os seis padrões são ilustrados na Figura 5 e designados pelas letras A, B, C, D, E e F (MOUBRAY, 2000; SMITH, 1993; LAFRAIA, 2001; PINTO e NASIF, 1999; NASA, 2000).

O Padrão A é a bem conhecida curva da banheira, assim designada devido ao seu formato característico. Nesse padrão, há uma elevada ocorrência de falhas no início de operação do item físico (mortalidade infantil), seguido de uma frequência de falhas constante e, posteriormente, de um aumento na frequência, devido à degradação ou desgaste do equipamento. Esse padrão descreve falhas relacionadas à montagem do equipamento, bem como com a idade dos componentes.

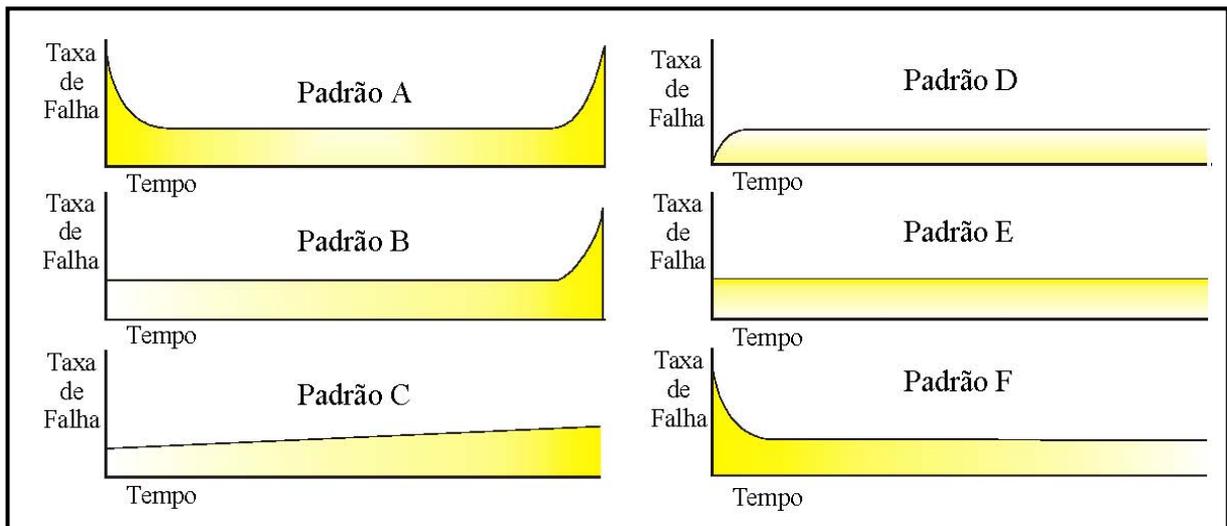


Figura 5 : Padrões de falha

Fonte: Zaions (2003, p.51)

O Padrão B apresenta probabilidade constante de falha, seguida de uma zona de acentuado desgaste no fim da sua vida útil. Esse padrão descreve falhas relacionadas com a idade dos componentes. Componentes em equipamentos podem se comportar dessa maneira, principalmente, aqueles que deterioram naturalmente com o tempo, que estão sujeitos a esforços cíclicos e repetitivos ou que entram em contato direto com a matéria-prima ou produto final.

O Padrão C apresenta um aumento lento e gradual da taxa de falha, porém sem uma zona definida de desgaste. Uma possível causa para a ocorrência de padrões de falha do tipo C é a fadiga.

O Padrão D mostra baixa taxa de falha quando o item é novo e sofre posteriormente um rápido aumento da taxa de falha para um nível constante.

O padrão E mostra uma taxa de falha constante em qualquer período. Nesse padrão, a natureza das falhas é aleatória.

A forma da curva do Padrão F de falhas indica que uma maior probabilidade de falhas ocorre quando o componente é novo ou imediatamente após restauração. O Padrão F inicia com uma alta mortalidade infantil, que eventualmente cai para uma taxa de falha constante. Pode apresentar também um aumento lento e gradual em vez de probabilidade constante.

Pode-se concluir, pela análise dos parágrafos anteriores, que os padrões de falha A, B e C podem estar geralmente associados à fadiga e corrosão. Os Padrões A e B são típicos de componentes ou peças de máquinas individuais e simples. Já os Padrões D, E e F são típicos de itens mais complexos (NASA, 2000).

2.6. Descrição da sistemática de aplicação do MCC

2.6.1. Preparação do Estudo

Antes de se iniciar qualquer análise de MCC, deve-se definir o grupo de pessoas que trabalhará no processo de implementação da MCC (MOUBRAY, 2000). Esse grupo deve ser formado por pelo menos um colaborador da área de manutenção, um da área de operação, além de um especialista em MCC.

Deve ser definido qual o escopo e os objetivos da análise, assim como as limitações existentes tanto de recurso financeiro como de pessoal.

2.6.2. Seleção e Determinação do Sistema

Esta etapa compreende a determinação do que será analisado e em que nível: planta industrial, sistema, itens físicos ou componentes. A escolha de ativos ou sistemas são prováveis de se beneficiar da implementação da MCC é fundamental no processo de planejamento (MOUBRAY, 2000).

Segundo Rausand (1998), dois aspectos devem ser considerados para seleção do sistema; são eles:

- (i) Quais sistemas são mais prováveis de se beneficiar do processo RCM, se comparado com a manutenção tradicional; e
- (ii) Qual nível será analisado: planta industrial, sistema, itens físicos ou componentes.

2.6.3. Análise das Funções e Falhas Funcionais

Essa etapa é de fundamental importância, pois o estabelecimento das funções e falhas funcionais constitui a essência da MCC. Os objetivos dessa etapa são (RAUSAND et al., 1998):

- (i) Identificação e descrição do sistema de funções e seu critério de performance;
- (ii) Identificação das interfaces de entrada e saída do sistema;
- (iii) Identificação das formas como o sistema pode falhar.

2.6.4. Seleção dos Itens Críticos

O objetivo dessa etapa é identificar os itens físicos que são potencialmente críticos com relação às falhas funcionais, além de apresentar elevada taxa de falha, altos custos de reparo, baixa manutenibilidade, ou necessidade de pessoal externo de manutenção.

Rausand (1998) designam os itens com as características citadas acima como “Itens Significativos de Manutenção – ISM” traduzido do inglês *Maintenance Significant Items*.

Cada ISMs deve ser analisado com a ferramenta FMEA descrita na etapa 6.

2.6.5. Coleta e Análise de Informações

A coleta de informações a respeito do sistema em análise é de fundamental importância para a implementação do processo de MCC, pois servirá como base para as etapas com informações para a tomada de decisão.

A coleta de informações que serão necessárias nas outras etapas do processo de implementação da MCC podem ser obtidas nos seguintes documentos (SMITH, 1993):

- (i) Diagramas de instrumentação;
- (ii) Diagramas de bloco ou esquemas do sistema;
- (iii) Manuais e memoriais de venda dos equipamentos, que contenham informações sobre o projeto e operação dos equipamentos do sistema;
- (iv) Arquivos históricos do equipamento que listem as falhas ocorridas e as ações de manutenção corretiva desenvolvidas;
- (v) Manuais de operação do sistema, que detalham as funções pretendidas para o sistema, como elas se relacionam com outros sistemas e quais são os limites operacionais; e
- (vi) Especificações e dados descritivos do projeto do sistema, que ajudarão o analista a identificar as funções do sistema.

2.6.6. Análise de Modos e Efeitos de Falhas

O objetivo dessa etapa é identificar os modos de falha dominantes dos itens críticos de manutenção. Para desenvolver essa etapa, utiliza-se a ferramenta FMEA – Análise de Modos e Efeitos de Falhas.

A Análise de Modos de Falhas e Efeitos traduzido da expressão em inglês *Falure Mode and Effects Analysis (FMEA)* é hoje um procedimento bastante utilizado pelo setor industrial, conforme dado já apresentado no capítulo 2. Sendo esta ferramenta utilizada para o desenvolvimento da metodologia MCC.

A figura a seguir mostra as etapas básicas para o desenvolvimento do processo de aplicação do FMEA

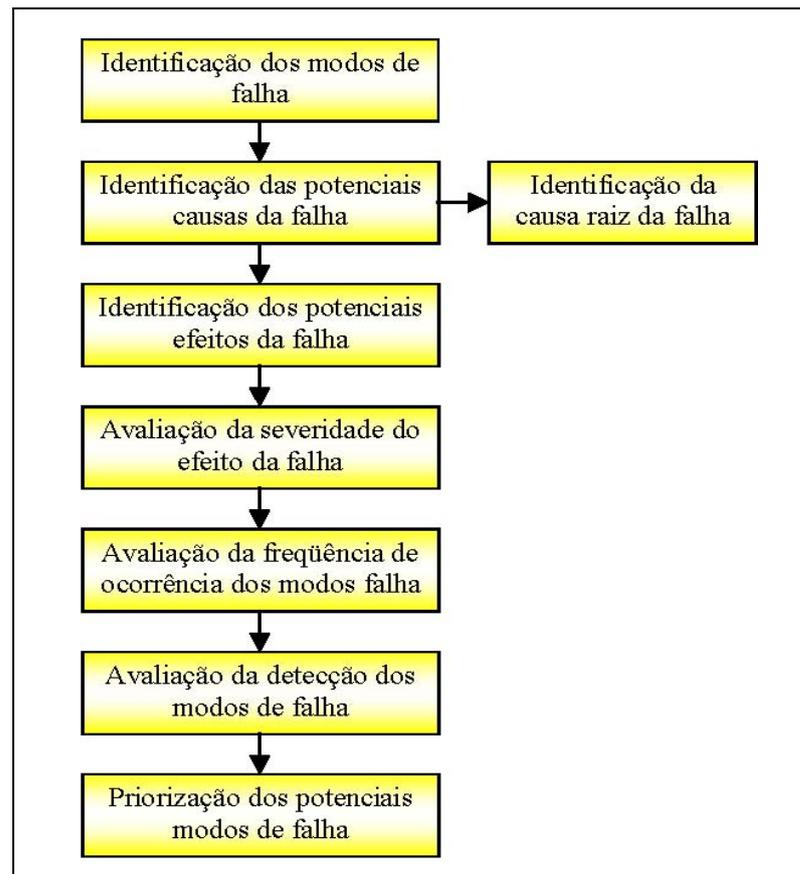


Figura 6 : Etapas do processo do FMEA

Fonte: Zaions (2003, p.58)

Existem diversos modelos de planilha para aplicação do FMEA, variando de acordo com a aplicação final.

2.6.7. Seleção de Tarefas Preventivas

As ferramentas básicas para o desenvolvimento dessa etapa são a Árvore Lógica de Decisão e o Diagrama de Decisão Seleção das Tarefas de Manutenção.

A Árvore Lógica de Decisão (ALD) tem o objetivo de priorizar os modos de falha. A Análise da ALD é um processo qualitativo que classifica os modos de falhas em quatro categorias descritas abaixo. É um processo simples em que o analista responde a cinco questões com um sim ou não.

Seguindo o diagrama as respostas dadas pelos analistas conduzem à especificação de uma tarefa ou de uma nova pergunta. As perguntas buscam identificar modos de falha (MOUBRAY 2000):

- (i) Ocultos para o operador;
- (ii) Com potencial impacto à segurança humana;
- (iii) Que têm impacto sobre o meio ambiente e
- (iv) Que têm impacto sobre a produção, qualidade ou custo do produto.

O Diagrama de Decisão para seleção de tarefas é utilizado para especificar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas. Também é um processo simples em que o analista responde a algumas questões com um sim ou não, guiando a definição das intervenções necessárias.

2.6.8. Definição das Frequências das Tarefas de Manutenção Preventiva

Para a definição da periodicidade deve-se levar em consideração o tipo de tarefa sendo considerada. Segundo Moubray (2000), a periodicidade deve ser baseada nos intervalos de tarefa sob-condição regida pelo intervalo P-F, e nos intervalos de tarefa de descarte programado e restauração programada, os quais dependem da vida útil do item em consideração.

Para determinação do intervalo P-F deve-se entender como cada modo de falha se comporta, ou seja, definir quanto tempo decorre do momento que a falha potencial começa ser detectável até o momento que atinge a funcionalidade do estado de falha.

Outra forma, citada por Siqueira (2005), é a utilização da opinião de especialistas para definir a frequência, onde quando não estão disponíveis dados suficientes para se definir através de um modelo a frequência, a maneira mais prática é a definição de um da frequência com base no conhecimento dos especialistas, Levando em consideração a dificuldade de manutenção, custo do equipamento, criticidade do equipamento para a funcionalidade do processo, disponibilidade de sobressalente, entre outros critérios.

3. PROPOSTA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO CENTRADA EM COFIABILIDADE NA FÁBRICA DE PAPEL

Neste capítulo será apresentado os procedimentos definidos para aplicação da metodologia MCC na fábrica de papel. Os procedimentos buscam ter uma base suficiente para responder as 7 questões proposta pela metodologia, que são:

1. Quais são as funções e os padrões de desempenho do item em seu contexto operacional atual?
2. De que forma os itens deixam de cumprir sua função?
3. Qual a causa de cada falha operacional?
4. O que acontece quando cada falha ocorre?
5. De que forma é tratada cada falha?
6. O que é feito para prevenir cada falha?
7. O que pode ser feito se uma atividade preventiva adequada não for encontrada?

Levando em consideração as questões acima, a implementação da MCC em uma planta de produção é realizada seguindo as seguintes etapas:

- (i) Preparação do estudo;
- (ii) Seleção do sistema e subsistema funcional;
- (iii) Análise das funções e falhas funcionais;
- (iv) Seleção dos itens críticos do sistema;
- (v) Análise dos modos de falhas e seus efeitos;
- (vi) Seleção das tarefas de manutenção preventiva;
- (vii) Determinação do plano de manutenção.

Os documentos utilizados para cada etapa foram adaptados dos procedimentos propostos pelos principais autores da metodologia, utilizando como principal base a proposta apresentada por Zaions (2003) em sua dissertação de mestrado.

3.1.Procedimento de Preparação do Estudo

O grupo formado, como descrito no item 2.6.1, onde participam o supervisor de fabricação e pelo encarregado de manutenção, junto com o analista do projeto.

As reuniões de grupo serão coordenadas pelo analista e os assuntos tratados serão debatidos por todos os integrantes da equipe. Os assuntos discutidos serão avaliados por todos e as propostas e soluções de consenso serão levadas às planilhas da MCC.

3.1.1. Procedimento de Seleção e Determinação do Sistema

O grupo irá, inicialmente nessa etapa, estudar e compreender o fluxo produtivo, a fim de determinar a melhor configuração funcional da fábrica. O objetivo dessa etapa é definir os sistemas e subsistemas funcionais que melhor caracterizam o processo produtivo.

O trabalho deverá ser conduzido, utilizando-se fluxogramas e, também, o conhecimento da equipe sobre o processo. Para melhor conduzir esse trabalho, sugere-se que sejam elaborados os diagramas de blocos funcionais dos diversos sistemas funcionais. A identificação dos sistemas e subsistemas permitirá que os itens físicos sejam alocados em seus respectivos subsistemas funcionais. Cada subsistema funcional representa uma alternativa a ser estudada, para início da implementação da MCC.

A equipe deverá direcionar os trabalhos futuros no sistema que apresenta elevado risco de parada parcial ou total do processo. Para definir tal sistema, deverão ser analisados os históricos de equipamentos e seus índices de parada corretiva, de forma a identificar os itens físicos críticos, para então identificar os subsistemas nos quais esses itens encontram-se alocados.

3.1.2. Procedimento de Análise das Funções e Falhas Funcionais

Procede-se, em seguida, o preenchimento da planilha de descrição do sistema, ilustrada no Quadro 4 para um melhor entendimento do processo, essa planilha deverá ser preenchida para cada subsistema funcional a ser abordado na implantação do MCC.

Após a descrição é preenchida a planilhas de descrição inicial das funções do sistema, destacada no quadro 1, que indica as principais funções, dispositivos de proteção e instrumentação e controle.

Após a definição das funções e a descrição do sistema, elaboram-se os diagramas de blocos funcionais, que definem o fluxo funcional do sistema e subsistema de produção. Nessa etapa,

serão esboçadas várias configurações e cabe à equipe definir aquela que melhor caracteriza o subsistema funcional.

Os diagramas de blocos funcionais devem ser elaborados de forma a mostrar como as diferentes partes do subsistema se interagem, facilitando o entendimento do sistema. Esses diagramas devem ser elaborados de modo a facilitar a análise dos subsistemas, permitindo uma melhor visualização do problema.

IPELSA - MCC	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DO SISTEMA			
	PROCESSO:			
	SUBPROCESSO:			
	DATA:		EQUIPE:	
Principais itens físicos				
Descrição do Processo				
Características importantes				

Quadro 1: Planilha de Descrição do Sistema
Fonte: IPELSA

IPELSA - MCC	PLANILHA DE DESCRIÇÃO INICIAL DAS FUNÇÕES DO SISTEMA			
	PROCESSO:			
	SUBPROCESSO:			
	DATA:		EQUIPE:	
Principais funções				
Dispositivos de proteção				
Instrumentação e controle				

Quadro 2: Planilha de Descrição Inicial das Funções do Sistema
Fonte: IPELSA

Após a definição dos diagramas de blocos funcionais, a planilha de classificação das funções deve ser preenchida. A planilha é apresentada no quadro 3.

<u>IPELSA -</u> <u>MCC</u>	PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES DO SISTEMA			
	PROCESSO:			
	SUBPROCESSO:			
	DATA:			EQUIPE:
Funções Principais				
Funções Secundárias				
Funções Secundárias				
Funções Secundárias				

Quadro 3: Planilha de Classificação das Funções do Sistema
Fonte: IPELSA

Para facilitar a associação das falhas funcionais com os respectivos itens físicos, faz-se necessário listar todos os itens físicos e a instrumentação instalada em cada um dos subsistemas funcionais. Essa identificação também requer a descrição das características técnicas e do local de instalação do item. O modelo da planilha é mostrado no quadro abaixo.

<u>IPELSA - MCC</u>	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DOS ITENS FÍSICOS			
	PROCESSO:			
	SUBPROCESSO:			
	DATA:			EQUIPE:
ITENS FÍSICOS (IF) e INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE (IC)				
No	ITEM FÍSICO	QNT.	DESCRIÇÃO	LOCAL INSTALAÇÃO
ITENS FÍSICOS (IF) e INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE (IC)				

Quadro 4: Planilha de Descrição dos Itens Físicos
Fonte: IPELSA

Com base nas informações obtidas e transcritas nas planilhas anteriormente elaboradas, pode-se preencher a planilha de funções e falhas funcionais para cada subsistema funcional. Nessa planilha, devem-se destacar as funções principais e as secundárias encontradas e as suas respectivas falhas funcionais. A planilha deverá ser elaborada seguindo o modelo apresentado no Quadro abaixo.

<u>IPELSA -</u> <u>MCC</u>	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS			
	PROCESSO:			
	SUBPROCESSO:			
	DATA:		EQUIPE:	
No	FUNÇÃO	No	FALHA FUNCIONAL	

Quadro 5: Planilha de Descrição das funções e Falhas Funcionais
Fonte: IPELSA

Preenchida a documentação proposta já se tem a identificação das funções e falha funcionais do processo escolhido para aplicação da metodologia. Então o próximo passo é a seleção dos itens críticos do processo.

3.1.3. Procedimento de Seleção dos Itens Críticos

Os itens críticos são aqueles associados às funções críticas do sistema ou subsistemas. O procedimento para determinação dos itens críticos dos subsistemas inicia com a elaboração de uma planilha que correlaciona à falha funcional com os itens físicos. Nessa planilha, associe a cada uma das falhas funcionais, os itens físicos e a instrumentação e controle que podem contribuir para a ocorrência da falha.

Para a implementação, é proposto utilizar a planilha mostrada no Quadro abaixo.

<u>IPELSA - MCC</u>	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FALHAS FUNCIONAIS E ITENS FÍSICOS													
	PROCESSO:													
	SUBPROCESSO:													
	DATA:		EQUIPE:											
ITEM FÍSICO		FALHA FUNCIONAL												
		CH												
		CA												
		CE												
		No	CH	DM										
													G_C	

Quadro 6: Planilha de Descrição das Falhas Funcionais e Itens Físicos
Fonte: IPELSA

Onde os itens indicados apresentam as seguintes definições:

- Conseqüência na segurança humana – CH: linha destinada à identificação da resposta à pergunta “A falha funcional apresenta conseqüência na segurança humana?”. Respostas possíveis são sim (s) e não (n).
- Conseqüência na integridade ambiental – CA: linha destinada à identificação da resposta a pergunta “A falha funcional apresenta conseqüência na integridade ambiental?”. Respostas possíveis são sim (s) e não (n).
- Conseqüências econômicas e operacionais – CE: linha destinada à identificação do grau de relação da falha funcional com as conseqüências da falha funcional associadas a questões econômicas e operacionais. Os índices de correlação variam de 0 (nenhuma correlação) a 5 (forte correlação).
- Dificuldade de realizar a manutenção – DM: coluna destinada à identificação do grau de dificuldade em realizar a manutenção do item físico. Os índices variam de 1 (pequena dificuldade) a 5 (grande dificuldade). A dificuldade de manutenção está associada ao tempo para realizar a manutenção, à existência ou não de equipamentos sobressalentes, necessidade de pessoal externo de manutenção, e baixa possibilidade de realizar manutenções.
- Grau de correlação – GC: campos destinados à correlação dos itens físicos com as falhas funcionais. Os campos são preenchidos com um índice que varia de 0 (nenhuma correlação) a 5 (grande correlação).
- Índice de Criticidade Econômica - ICE: campo destinado à identificação do índice de criticidade econômica calculado para cada item físico. A avaliação do índice de criticidade do iésimo item físico é realizada, levando-se em conta os índices DM i, GC i,j e CE j, através da fórmula:

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

Com o resultado alcançado com a aplicação da planilha se chega a priorização dos itens críticos e ao descarte da dos itens irrelevantes para o sistema funcional. Para fazer essa análise é proposto a utilização do gráfico de pareto com os Ice de cada equipamento.

3.1.4. Procedimento de Análise de Modos e Efeitos de Falhas

O objetivo dessa etapa é identificar os modos de falha dominantes dos itens críticos de manutenção. Para desenvolver essa etapa, utiliza-se a ferramenta FMEA – Análise de Modos e Efeitos de Falhas.

A análise do FMEA será realizada para todas as falhas funcionais definidas anteriormente. Utiliza-se uma planilha proposta no Quadro 9. Nela, as falhas funcionais são associadas às respectivas funções e aos itens físicos que podem provocar a referida falha funcional. Na planilha, na coluna ao lado do item físico, são listados todos os modos de falha, que induzem à falha funcional, e às respectivas causas da falha e seus efeitos onde estes são tratados em nível local e de sistema. A última coluna da planilha de FMEA permite identificar aqueles modos de falha que serão beneficiados pelo plano de manutenção preventiva. Se nessa coluna for atribuído um “sim”, isso implica que esse modo de falha será analisado na etapa seguinte, para determinação das tarefas de manutenção preventiva. Caso um “não” seja atribuído a essa coluna, o modo de falha será tratado corretivamente, através de uma tarefa de operar até a falha

Há no mínimo três fontes de informações, nas quais o analista poderá recorrer para determinar os modos de falha do item físico: (i) histórico dos equipamentos definidos na etapa 5; (ii) experiência obtida de engenheiros, técnicos, e do pessoal de projeto e manuseio do equipamento; (iii) a FMEA de projeto ou literatura especializada que contenha informações ou coletânea sobre os modos de falhas.

IPELSA - MCC		PLANILHA DE ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO				
		PROCESSO:				
		SUBPROCESSO:				
		DATA:		EQUIPE:		
FUNÇÃO:		FALHA FUNCIONAL:				
ITEM FÍSICO		MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DA FALHA	A	
No	DESCRIÇÃO					

Quadro 7: Planilha de Análise de Modo de Falha e Efeitos – FMEA
Fonte: IPELSA

3.1.5. Procedimento de Seleção de Tarefas Preventivas

O objetivo dessa etapa é selecionar as tarefas de manutenção preventiva aplicáveis aos modos de falha definidos na etapa anterior.

Para isso, utiliza-se uma planilha semelhante àquela ilustrada no Quadro 10 que consiste na descrição da falha funcional e os seus respectivos modos de falha, e a tarefa de manutenção preventiva definida.

IPELSA - MCC		PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO POR FALHA FUNCIONAL				
		PROCESSO:				
		SUBPROCESSO:				
		DATA:		EQUIPE:		
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	RESULTADO ÁRVORE 1	RESULTADO ÁRVORE 2	DESCRIÇÃO DA TAREFA	FREQ.	

Quadro 8: Planilha de Descrição das Atividades de Manutenção por Falha Funcional
Fonte: IPELSA

As ferramentas básicas para o desenvolvimento dessa etapa são a Árvore Lógica de Decisão e o Diagrama de Seleção de Tarefas, que irão permitir de forma lógica e estruturada atingir o objetivo da MCC, qual seja a definição das tarefas de manutenção.

As respostas das perguntas associadas à Árvore de Decisão de Falha e Arvore de decisão de Tarefas são mostradas respectivamente na figura 7 e 8, e os resultados são indicados na planilha de seleção de tarefas. As árvores mostradas que estão de acordo com as ferramentas básicas, mostrada no capítulo 3, que são a Árvore Lógica de Decisão e o Diagrama de Decisão Seleção das Tarefas de Manutenção.

3.1.1. Procedimento de Definição do plano de Manutenção

Uma das últimas etapas para finalização da MCC é elaborar o plano de manutenção. Para tanto, deve-se associar a cada item físico as tarefas de manutenção definidas para cada modo de falha em particular definidos na etapa anterior. O plano contempla ainda a frequência de realização das tarefas.

O preenchimento dessa planilha deverá compreender todas as tarefas cujos modos de falha estão previstos no programa corrente e no proposto pela MCC, bem como aquelas que não estejam contempladas no plano corrente.

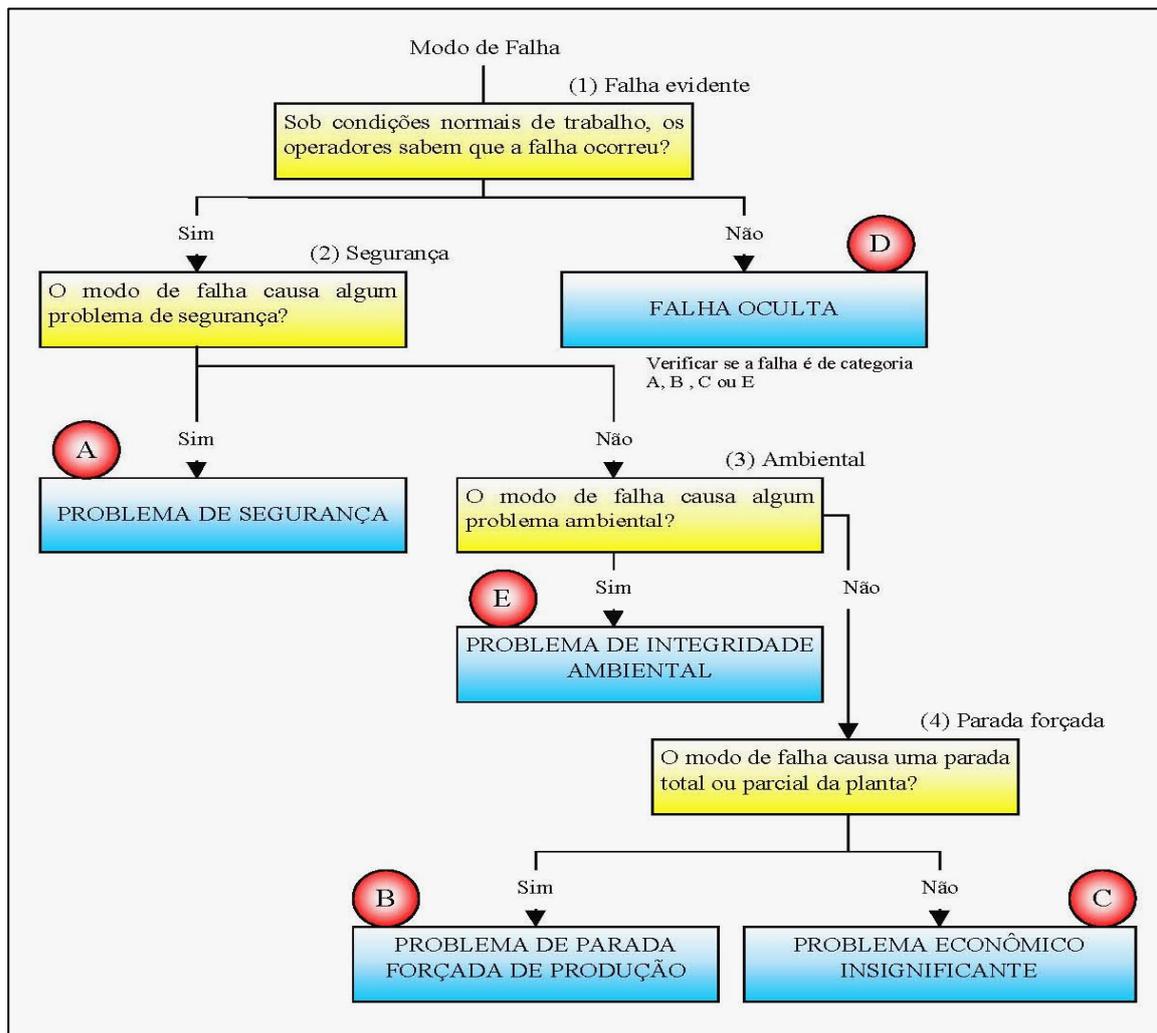


Figura 7: Árvore de Decisão das Falhas
Fonte: Zaions (2003, p. 80)

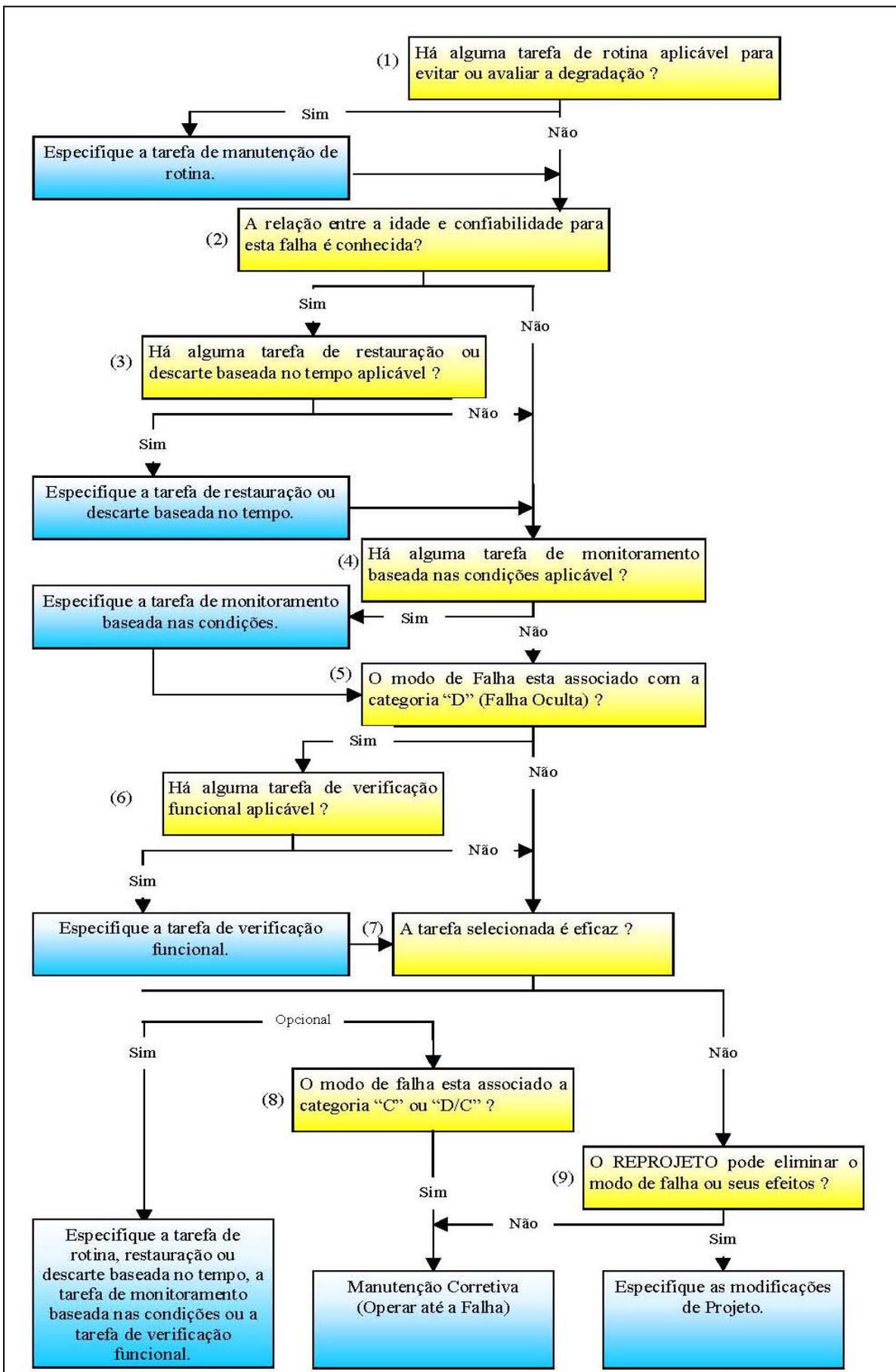


Figura 8: Arvore de Decisão de Tarefas

Fonte: Zaions (2003, p. 81)

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Introdução a empresa

A empresa no qual foi desenvolvida e aplicada à metodologia da MCC, descrita no Capítulo 3, pertencem ao ramo de papel e celulose e tem a razão social IPELSA - Indústria de Papel e Celulose da Paraíba S.A., está localizada no bairro de Bodocongó em Campina Grande, Paraíba.

Fundada em 1960 a IPELSA se dedicou a produzir diversos tipos de papéis, mas foi a partir de 1976, que a IPELSA iniciou a produção de papéis tipo Tissue ou para fins sanitários, sendo este o atual tipo de papel que continua sendo produzido pela empresa.

Durante a década de 90 manteve-se líder do segmento na região nordeste e, no final desta mesma década com o intuito de alavancar novamente sua participação no mercado, a IPELSA iniciou uma nova fase de atualização tecnológica, buscando a modernização de seus equipamentos e a qualidade em seus produtos a fim de atender a expectativa do consumidor.

Para a fabricação de seus papeis a IPELSA utiliza como matéria-prima fibras celulósicas 100% recicladas, a partir de aparas de papel. E tem em seu parque industrial três grandes áreas:

- Preparação da polpa;
- Fabricação do papel;
- Acabamento.

A área de preparação da polpa, de maneira simplificada, pode ser entendida como o processo de transformar o papel “velho” em polpa, eliminando os contaminantes através da depuração para então fabricar novamente papel.

A área de fabricação do papel é o processo de transformação da polpa em bobinas de papel utilizando como meio a máquina de papel.

É o setor de acabamento que é composto por máquinas rebobinadeiras e cortadeiras que tem a função de transformar o papel produzido em rolos de papel higiênico.

O papel é produzido pela IPELSA tem gramatura de 20g/m² e são classificados como natural ou branco, dependendo do tipo de aparas utilizado. Esse papel produzido é transformado em rolos de papel higiênico com 30 metros. Tem como sua marca principal os papeis higiênicos VISON.

4.2. Descritivo do processo de fabricação

Conforme descrito no capítulo 1, o trabalho será focado apenas no setor de fabricação do papel, onde o mesmo é composto pela máquina, seus componentes e sistemas auxiliares.

Para facilitar o entendimento posterior da aplicação da metodologia em um subsistema funcional, será apresentado um descritivo do sistema de fabricação de papel.

Abaixo é mostrada a divisão funcional do sistema, onde é focado os processos funcionais do sistema e os subprocessos funcionais.

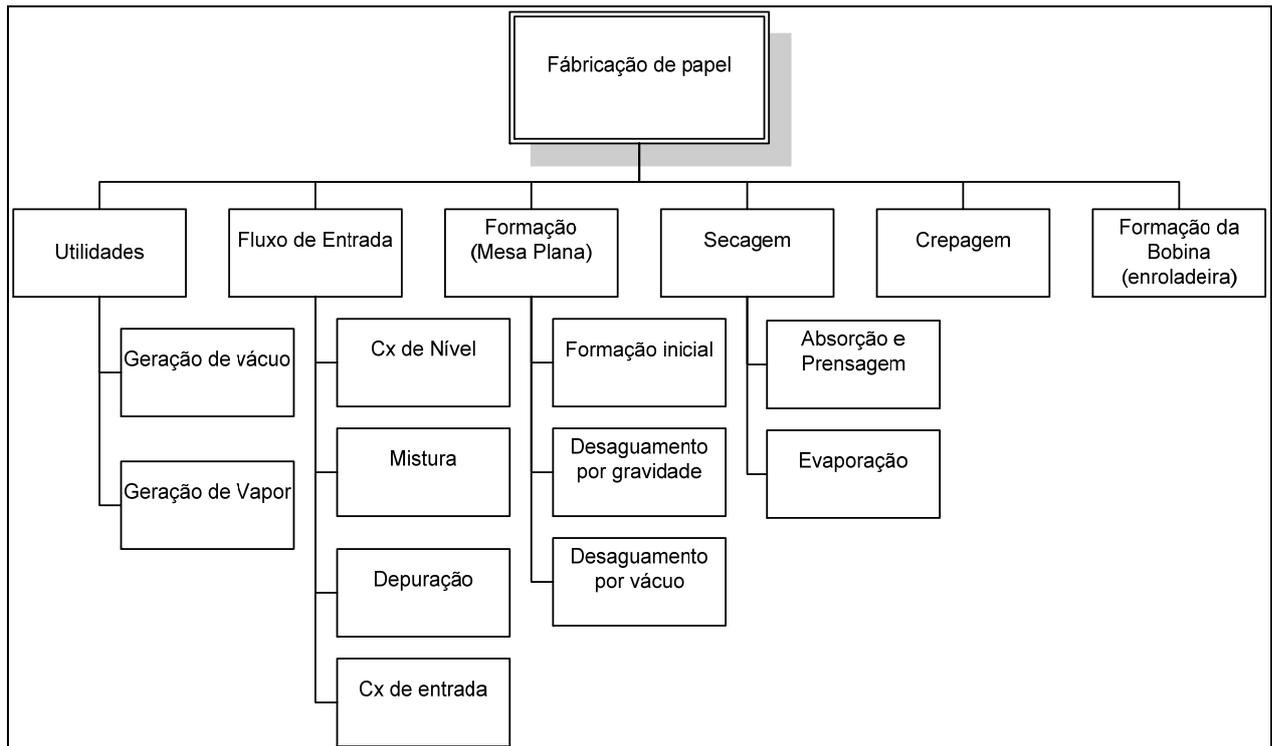


Figura 9: Divisão Funcional do Sistema de Fabricação de papel

Fonte: IPELSA

O sistema tem início através do Fluxo de Entrada da polpa no processo. Inicialmente a polpa ou massa preparada está em um tanque, onde essa massa é constantemente bobeada para uma caixa de nível, que tem a função de manter a pressão na tubulação. A massa então desce por gravidade para a bomba de mistura, que puxa água do sistema e mistura a massa. A solução de massa é então lançada para um depurador pressurizado, que tem a função de garantir que nenhuma impureza esteja passando para a caixa de entrada, a próxima etapa do processo.

Um desenho esquemático da máquina de papel é mostrado na figura 10, onde são destacados os principais componentes.

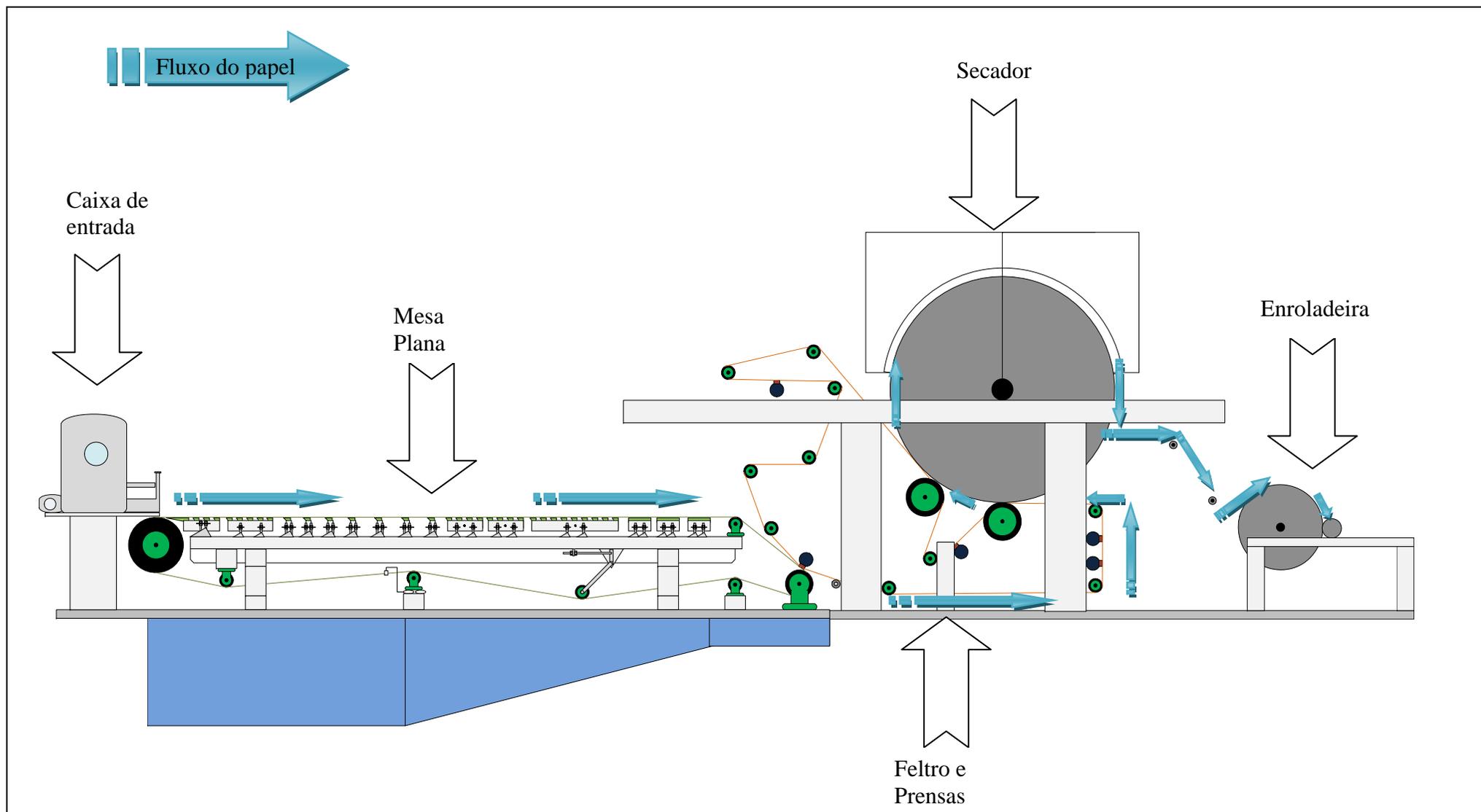


Figura 10: Desenho esquemático da máquina de papel

Fonte: IPELSA

A caixa de entrada é considerada a entrada da máquina propriamente dita, tendo a função de manter a solução homogênea e depositar uma lamina constante sobre a mesa plana, próxima etapa. A caixa de entrada é construída de maneira que o fluxo de massa seja distribuído de maneira uniformemente por toda largura da tela, além da uniformidade da distribuição é necessário que a velocidade esteja de acordo com a velocidade da tela (próximo componente).

Lançada a solução na mesa plana inicia o processo de formação do papel. Na mesa plana é formada pelo circuito da tela formadora, sobre a qual é depositada a solução de polpa, sob as tela existem uma série de elementos desaguadores, primeiro tem o forming board, que são régua mais largas que tem a função de agitar as fibras para uma melhor formação do papel, logo após tem as régua, que tem a função de ajudar no desaguamento por gravidade na tela formadora e então tem as caixas de vácuo que tem o objetivo de retirar parte da água que não saiu por gravidade.

No fim do percurso de drenagem na mesa plana, após o ultimo elemento desaguador, a folha de papel já está formada, então inicia o processo de secagem do papel. O papel formado na tela é transferido para um tecido especial chamado de feltro, a transferência é forçada por uma caixa de vácuo, esse processo é chamado de Pick-up. Com o papel aderido o feltro tem duas finalidade: primeira é transportar a folha de papel para ser prensada entre o cilindro secador e uma rolo (prensa) revestido com borracha, a segunda finalidade do feltro é absorver a água que é retirada da folha no momento em que é prensada.

Após a folha de papel ser prensado contra o cilindro secador, o mesmo adere à superfície do cilindro e inicia-se o processo de secagem térmica, por evaporação da água contida na folha. O cilindro secador é aquecido pôr vapor saturado, sobre o cilindro secador há uma coifa que retira o vapor que está sobre a folha, reaquece o mesmo e lança-o novamente sobre a folha em aumentando a eficiência de secagem. Ao sair do cilindro secador o papel está na sua condição final quanto à secagem.

Para retirar a folha de papel do cilindro existe a raspa, que consiste em uma lamina de bronze que encostada na superfície do cilindro descola a folha de papel, durante a raspagem a folha sofre um enrugamento que é chamado de crepagem, o percentual de enrugamento é encolhimento conforme a característica técnica do papel em fabricação, esse enrugamento é um dos fatores que consegue dar maciez ao papel.

Após a crepagem o papel é enrolado sobre um tubo de papelão, formando as bobinas de papel. A folha vai sendo enrolada até a bobina atingir um diâmetro pré-estabelecido e então um novo tubo é colocado para formar uma nova bobina.

4.3. Implantação da metodologia proposta

Neste tópico será descrito como foi desenvolvida a metodologia proposta de Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada à área de fabricação de papel na Indústria de Celulose e Papel da Paraíba S/A. – IPELSA, conforme procedimento descrito no capítulo 3.

4.3.1. Preparação do estudo

Para iniciar o estudo, foi definida uma equipe com um profissional na área de manutenção, com experiência no funcionamento e manutenção dos itens físicos, componentes e acessórios nos quais foi realizado o estudo, um profissional na área de produção que tinha experiência no processo para definições importantes das funções.

Para a realização desse projeto piloto foi definido que as conseqüências mais importantes a serem avaliadas no processo eram aquelas associadas produção.

4.3.2. Seleção do sistema e subsistema funcional;

Conforme mencionado na preparação do estudo, a aplicação da metodologia foi focada nas funções do processo que estão gerando atualmente as maiores perdas de produção.

Analisando o sistema funcional que foi mostrado na figura 9, e de acordo com a definição do escopo de prioridade do projeto foi escolhido o sistema de secagem. Além umidade alta do papel afetar na produção do papel em bobinas quanto a quebra do papel na máquina, tem uma grande influência quando se trata do setor de acabamento, pois com o papel úmido é gerado uma grande quantidade de refugo, causado pela perda de eficiência das máquinas do setor. Esse problema é hoje vivenciado pela fábrica em questão.

Após a decisão da escolha do sistema de secagem foi definido que o estudo começaria pelo subsistema de absorção e prensagem, o motivo da escolha deste subsistema para a implantação da metodologia MCC foi:

1. Os componentes principais desse subsistema sofrem desgastes e são essenciais para o sistema;
2. Ao fato de que a perda parcial da funcionalidade do subsistema compromete sensivelmente a velocidade de produção,
3. Os componentes não são reparáveis, necessitando de um acompanhamento aprimorado;

Durante o processo de análise das funções e falhas funcionais do subsistema, o escopo do projeto piloto foi alterado, devido às dificuldades encontradas para analisar todos os itens e funções do subsistema, então se definiu um novo projeto restringindo a análise a uma das funções do subsistema. A análise de falha do escopo inicialmente definido está apresentado no anexo 1, com o preenchimento do quadro 1 e 2 e o diagrama de blocos do subsistema.

Foi definido que a implantação seria na função de condicionamento do feltro. Os motivos que levou a decidir sobre essa função são:

1. Dados de paradas mostraram que a condição de limpeza do feltro está sendo motivo de parada quase que diária para limpeza do mesmo;
2. A vida útil do feltro está diretamente ligada ao condicionamento do mesmo, sendo o feltro é um item de custo elevado, além de a sua troca ser de tempo elevado;
3. O condicionamento do feltro é essencial para a função de absorção, sendo essa uma das funções principais do subsistema.

4.3.3. Análise das funções e falhas funcionais;

Definido a função para aplicação da metodologia, iniciasse a análise de falhas, que é essencial para o desenvolvimento das atividades posteriores de aplicação do método.

Iniciou a análise com o preenchimento do Quadro 3: Planilha de Descrição do Sistema, com o objetivo a ter uma visão do processo, visualizado quais são as característica relevantes do mesmo. O resultado é mostrado anexo 2.

Com a descrição do sistema finalizada o próximo passo é o preenchimento do quadro 5 que descreve as principais funções, dispositivos de proteção e instrumentação e controle. O anexo 3 mostra o resultado encontrado. Nessa planilha destacamos cada função do processo, sem definir quais as principais funções do sistema, e com essas informações é desenvolvido o diagrama de blocos funcional, que tem o objetivo de facilitar a visualização das interações das funções e identificar as interfaces do sistema. O diagrama de Blocos é apresentado no anexo 4.

Analisando as planilhas preenchidas e o digrama funcional de blocos podemos preencher a planilha de classificação das funções de acordo com o quadro 7 descrito no capítulo 3, com essa planilha foi dividida as funções do processo em primarias e secundárias. A planilha preenchida é mostrada no anexo 5.

Como apoio para a etapa da metodologia foi preenchido o quadro com a lista dos itens físicos e instrumentação e controle do processo, conforme mostrado no anexo 6, onde esses

dados serão utilizados posteriormente para fazer a relação posterior das falhas com os itens físicos.

O próximo passo é o preenchimento do quadro 9, que mostra a relação das possíveis falhas funcionais. Sendo o preenchimento desse quadro como o principal objetivo dessa etapa. A seguir é mostrado o exemplo do quadro preenchido e no anexo 7 é mostrada a planilha completa.

IPELSA - MCC		PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS			
		PROCESSO:		Secagem	
		SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem - condicionamento do feltro	
		DATA:		EQUIPE:	
No	FUNÇÃO	No	FALHA FUNCIONAL		
F-01	Soltar as impurezas	FF-01	Não soltar as impurezas		
		FF-02	Soltar parte das impurezas		
F-02	Retirar impurezas	FF-03	Não retirar as impurezas		
		FF-04	Retirar parte das impurezas		

Quadro 9: Exemplo Planilha de Descrição das Funções e Falhas Funcionais Preenchida
Fonte: IPELSA

Como resultado foi descrito 6 funções do sistema e 12 falhas funcionais, e são essas funções e falhas que serão utilizada para definir as ações necessárias.

4.3.4. Seleção dos itens críticos do processo;

A seleção dos itens críticos do processo se da através do preenchimento da planilha mostrada no quadro 10. Nela é feita uma relação entre os itens físicos e falhas, conforme descrito no capítulo 3. O resultado é apresentado no anexo 9 e a seguir é mostrado o exemplo da aplicação da planilha. Os índices mostrados foram definidos conforme método proposto no capítulo 3.

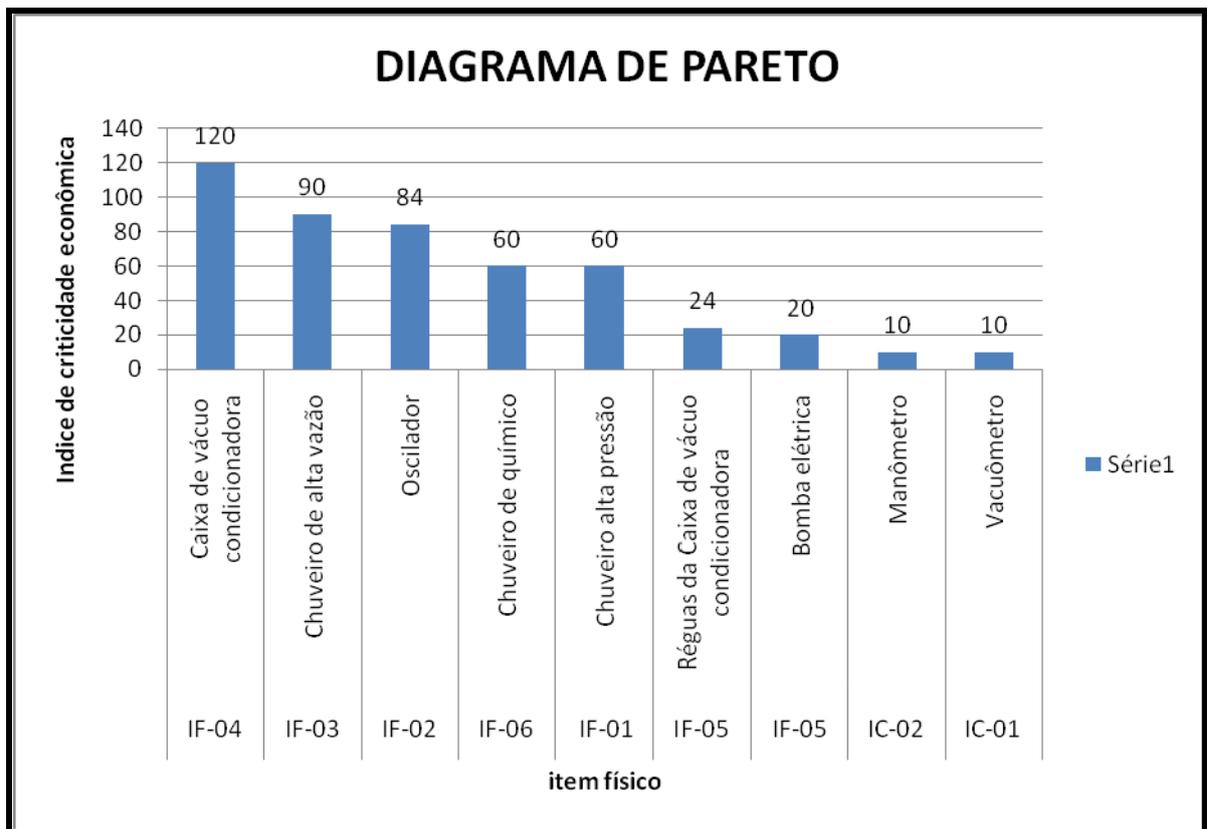


Figura 11: Gráfico de Pareto Índice de criticidade itens físicos
Fonte: IPELSA

Analisando o resultado note que a caixa de vácuo se destaca seguido do chuveiro de alta vazão, o manômetro e o vacuometro serão excluído da análise pelo baixo índice de criticidade econômica.

4.3.5. Análise dos modos de falhas e efeitos;

Desenvolvida as etapas anteriores, onde já se tem informações sobre as falhas funcionais e os itens críticos do processo, então é feita a análise das falhas através da aplicação do FMEA para cada falha funcional, as planilhas preenchidas são mostradas no anexo 9, a seguir é mostrado um exemplo da planilha preenchida.

IPELSA - MCC		PLANILHA DE ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO				
		PROCESSO:		Secagem		
		SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem – Condicionamento do feltro		
		DATA:		EQUIPE:		
FUNÇÃO: F-01 Soltar as impurezas			FALHA FUNCIONAL: FF-01 Não soltar as impurezas e FF-02 Soltar parte das impurezas			
ITEM FÍSICO		MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DA FALHA	A	
No	DESCRIÇÃO					
IF-01	Chuveiro alta pressão	MF-01 Direcionamento do jato	Regulagem do chuveiro	O jato ao invés de soltar a impureza, prende mais a mesmo no feltro, causando acumulo de impureza no mesmo, prejudicando a secagem do papel e a redução da vida útil do feltro.	S	
IF-01	Chuveiro alta pressão	MF-02 Bico entupido	Impureza na água	Pontos do feltro ficam sem limpeza, causando faixas de sujeira no feltro, prejudicando a secagem do papel nesse ponto e a redução da vida útil do feltro.	S	

Quadro 11: Exemplo Planilha de Análise de Modo de Falha e Efeito preenchida
Fonte: IPELSA

Com a aplicação do FMEA nas diversas falhas funcionais encontradas chegou-se a listagem de 13 Modos de falhas, onde foram definidos que todos deveriam ser estudados para a próxima fase.

4.3.6. Seleção das tarefas de manutenção preventiva;

O passo agora é a seleção das tarefas para cada modo de falha que foi evidenciado. Então inicialmente foi aplicada a árvore de decisão da função, para se evidenciar qual o tipo de falha que será trabalhada e então aplicada a árvore de decisão das tarefas, definindo quais atividades serão realizadas, conforme destacado no capítulo 3. O resultado da aplicação das árvores é mostrado no anexo 10, a seguir é mostrado um exemplo da planilha preenchida.

Vale ressaltar que as frequências da tarefas definidas para cada modo de falhas foram definidas pelos profissionais capacitados na área de manutenção e operação, levando em consideração os parâmetros descritos no capítulo 3.

IPELSA - MCC	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO POR FALHA FUNCIONAL				
	PROCESSO:				
	SUBPROCESSO:				
	DATA:			EQUIPE:	
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	RESULTADO ADF	RESULTADO ADT	DESCRIÇÃO DA TAREFA	FRE Q.
FF-01 Não soltar as impurezas e FF-02 Soltar parte das impurezas	MF-01 Direcionamento do jato	S-N-N-N (C)	S-N-N-N-S-S (rotina)	Verificar posicionamento a cada troca de feltro	-
	MF-02 Bico entupido	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Operar ate a falha	

Quadro 12: Exemplo Planilha de Descrição das Atividades de Manutenção Por Falha Funcional preenchida
Fonte: IPELSA

4.3.7. Plano de manutenção

Com toda análise concluída é necessário organizar o plano encontrado, então a seguir é mostrado o quadro com o exemplo do plano de ação e no anexo 11 é mostrado o plano completo.

IPELSA - MCC	PLANO DE MANUTENÇÃO			
	PROCESSO:		Secagem	
	SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem – Condicionamento do feltro	
	DATA:			EQUIPE:
PLANO				
No	ITEM FÍSICO	DESCRIÇÃO ATIVIDADE		FREQUENCIA
IF-01	Chuveiro alta pressão	Ajustar posicionamento a cada troca de feltro		Troca de feltro
		Fazer revisão dos bicos		Cada 3 meses
IF-02	Oscilador	Verificar o movimento de oscilação.		Diária

Quadro 13: Exemplo Plano de Manutenção
Fonte: IPELSA

5. CONCLUSÕES

Durante a conclusão serão apresentadas algumas observações do ponto de vista teórico e prático.

Do ponto de vista teórico, a revisão bibliográfica associa um conjunto de definições e de procedimentos à MCC. Durante a realização da revisão bibliográfica, vários autores foram consultados de forma a definir um guia para a implantação prática.

Dos autores pesquisados, observou-se que aqueles que apresentam propostas concretas de implementação da MCC são Smith (1993) e Siqueira (2005). Esses autores apresentam uma gama de informações teóricas, planilhas e diagramas de decisão que podem auxiliar o analista no entendimento e implementação da MCC.

Observou-se que Moubrey (2000) é uma referência importante, principalmente, no que diz respeito a aspectos teóricos da MCC.

Durante o trabalho a tese de Zaions (2003) foi bastante utilizada pois o mesmo fez uma revisão bibliográfica citando as definições dos principais autores, e chegando a um modelo de implantação da metodologia.

Do ponto de vista prática da metodologia da MCC apresentou os seguintes aspectos positivos:

- (i) Permitiu identificar e avaliar os modos de falha do processo;
- (ii) Permitiu um aprimoramento do pessoal, melhorando conhecimento técnico do sistema funcional da empresa;
- (iii) Deixou uma série de registro do processo que podem ser utilizados em outro projetos;
- (iv) Tem tendência de achar atividades de rotina, que aumenta o envolvimento do pessoal de produção na manutenção.

Os seguintes aspectos negativos ou dificuldades que foram identificados no decorrer da implementação da MCC.

- (i) Foram encontradas dificuldades para recolher material técnico do processo, foi necessário mobilizar o pessoal na tentativa de implantação da metodologia;

- (ii) As especificações das funções do processo são mutantes a medida que o conhecimento aumenta, ou seja, durante o processo de implantação várias definições anteriores são revisadas, dificultando a implantação;
- (iii) A implantação requer um longo tempo dedicado para que possa apresentar resultados satisfatórios.

Concluindo este trabalho, em função dos objetivos específicos traçados no início, pode-se dizer que:

a) o objetivo 1) foi atingido, onde a revisão bibliográfica sobre a MCC pode ser utilizada como fonte de pesquisa ampliar os conhecimentos com relação a conceituações e com a própria metodologia para implementar a MCC;

b) o objetivo 2) dos objetivos específicos também foi atingido, quando nos capítulos 3 e 4 apresentou descrição e análise da implementação da MCC focada na Indústria de Papel e Celulose.

c) o objetivo 3) referente à descrição da implementação da MCC, esse objetivo também foi alcançado, apesar da redução do escopo do projeto, o que limitou a aplicação.

De maneira geral o trabalho foi considerado de maneira satisfatória, e o objetivo principal da monografia foi finalizado ao se apresentar um plano de manutenção.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se os seguintes temas:

- a) Ampliação do escopo do projeto de aplicação do MCC;
- b) Acompanhamento das atividades implementadas de maneira a determinar a eficácia do MCC;
- c) Utilização da ferramenta FMEA na continuidade do processo de implantação do MCC.

Como contribuição deste TCC para minha formação quanto a Engenheiro de Produção destaco os seguintes pontos:

Desenvolvimento de um projeto - durante o todo o trabalho de desenvolvimento da parte teórica e posterior aplicação ao estudo de caso foi seguido um cronograma que precisava ser cumprido, o que deixou uma grande contribuição para minha formação.

Relação teoria x pratica – Com o desenvolvimento do método e a aplicação no caso prático pude confrontar as dificuldades práticas com as teóricas, e esse confronto, acredito, será necessário para o restante de minha carreira de engenheiro de produção, onde é preciso buscar alternativas teóricas para os problemas e aplicá-las na prática.

6. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.

LAFRAIA, João, R, B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitmark: Petrobrás, 2001, 372 p.

LIMA, Rubens S. **TPM – Total Productive Maintenance – Curso de Formação de Multiplicadores**. Belo Horizonte: Advanced Consulting & Training, 2000. 218 p.

MOUBRAY, Jonh. **Reliability-Centered Maintenance**. Butterworth, Heinemann, Oxford, 2000.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Reliability Centered Maintenance Guide for Facilitis and Collateral Equipment**. Disponível em <<http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/>> Acesso em 15 Junho de 2008.

PINTO, Alan, K.; NASIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**, Rio de Janeiro: Qualitymark 2001.

POSSAMAI, Osmar; NUNES, Enon L. **Falhas Ocultas e a Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Anais XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis: Enegep, 2001.

RAUSAND, Marvin. **Reliability centered maintenance**. Elsevir: Reliability Engineering and System Safety 60, 1998, p. 121 – 132.

RAUSAND, Marvin., Oien, K. **The basic concepts of failure analysis**. Elsevir: Reliability Engineering and System Safety 58, 1996, p. 73 – 83.

SANTOS, C. H. Godoy. Processo de fabricação do papel. **Revista Nosso Papel**, Ed. 1 a 15, ABTCP, 2005.

SENAI Serviço Nacional da Indústria, IPT Instituto de Pesquisa Tecnologia do Estado de São Paulo, **Papel e Celulose Tecnologia de fabricação de papel**. São Paulo: Publicações IPT, 1982.

SIQUEIRA, Iony. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de implementação**, Rio de Janeiro: Qualitymark 2005.

SMITH, Anthony,M. **Reliability-Centered Maintenance**. Boston: McGraw Hill, 1993.

SOUSA, Fábio, J.. **Melhoria do pilar “Manutenção Planejada” da TPM através da utilização do RCM para nortear as estratégias de manutenção.** Porto Alegre: UFRGS, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciamento da Manutenção Produtiva.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

ZAIONS, Douglas R. **Manutenção Industrial com Enfoque na Manutenção Centrada em Confiabilidade.** Porto Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

7. ANEXOS

Anexo 1 – Planilhas do Projeto de Escopo Anterior

<u>IPELSA - MCC</u>	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DO PROCESSO		
	PROCESSO:	Secagem	
	SUBPROCESSO:	Absorção e Prensagem	
	DATA:	EQUIPE:	
Principais itens físicos			
Feltro, Prensas, Sistema hidráulico, Rolos guia, Sensor, Chuveiros, Caixa de vácuo, Bombas de vácuos e Tubulações			
Descrição do processo			
<p>Após passar pela mesa formadora o papel já está formado e com isso iniciasse o processo de secagem. A passagem da folha de papel para o feltro se dá através do pick-up e para então iniciar o processo de absorção e Prensagem.</p> <p>O subprocesso inicia quando a folha de papel com alta umidade é transferida para um tecido especial, o feltro; A falha de papel é encaminhada para o rolo de refile para a retirada do refile.</p> <p>O papel segue no feltro para as caixas de vácuo dianteira inferior e superior, que retira a água do feltro.</p> <p>O papel segue no feltro para a primeira prensa;</p> <p>A prensagem é realizada através da compressão da Prensa sobre o feltro e a folha de papel no Monolúcido (Secador), cilindro aquecido por vapor, durante a prensagem o feltro absorve a água do papel.</p> <p>O feltro segue para a caixa de vácuo intermediária, que retira parte da água absorvida;</p> <p>O papel segue no secador para a segunda prensa;</p> <p>Novamente acontece a prensagem na segunda prensa, com as mesmas características da primeira;</p> <p>O papel segue no secador e continua o processo de secagem no subprocesso de evaporação.</p> <p>O feltro segue para o chuveiro de alta pressão, que solta as impurezas do feltro;</p> <p>Então o feltro segue para o chuveiro de alta vazão para encharcar o mesmo;</p> <p>Então o feltro segue para a caixa de vácuo condicionadora, que retira a água e as impurezas do feltro.</p> <p>O feltro ainda passa pelo chuveiro (DAG) de químicos;</p> <p>Então o feltro novamente recebe a folha de papel no pick-up, dando continuidade ao processo.</p>			
Considerações importantes			
<p>As prensas são acionadas através de um processo Hidráulico(com controle de pressão controlada manual), que através de um pistão empurra um braço que desloca a presa para a prensagem. Durante o transporte o feltro já absorve a água do papel;</p> <p>O feltro com o uso vai perdendo o poder de absorção;</p> <p>O nip da prensa e a dureza da prensa se relacionam com absorção do feltro na prensagem;</p> <p>O vácuo da caixa intermediária, dianteira inferior e dianteira superior é gerado pela bomba de vácuo 2000.</p> <p>O vácuo da caixa condicionadora é gerado pela bomba de vácuo 2001;</p> <p>Água é adicionada abaixo do rolo do refile para diluir a massa retira;</p>			

IPELSA - MCC	PLANILHA DE DESCRIÇÃO INICIAL DAS FUNÇÕES DO PROCESSO		
	PROCESSO:	Secagem	
	SUBPROCESSO:	Absorção e Prensagem	
	DATA:	EQUIPE:	
Funções			
<p>Reter o papel; Transportar o papel; Retirar do refile; Absorver água; Retirar a água do feltro; Transferência forçada da água do papel para o feltro; Retirar água do feltro; Transferência forçada da água do papel para o feltro; Controlar pressão das prensas; Soltar impurezas entranhadas no feltro; Retirar impurezas do feltro; Adicionar químicos ao feltro;</p>			
Dispositivos de proteção			
<p>Controle pneumático do rolo guia do feltro; Sistema de resfriamento dos rolamentos da prensa;</p>			
Instrumentação e controle			
<p>Manômetros para medição da pressão das Prensas; Válvulas de controle do sistema hidráulico das prensas; Manômetro para medição da pressão do chuveiro de alta pressão; Vacuômetro para medição do vácuo dos tubos e da bomba de vácuo; Válvula de controle do vácuo na entrada da bomba de vácuo 2000 e 2001; Válvula de controle de vazão do chuveiro de alta pressão; Válvula de controle de vazão do chuveiro de alta vazão; Válvula de controle de vazão do chuveiro químico Controle da bomba de injeção de produtos químicos no chuveiro;</p>			

DIAGRAMA DE BLOCOS FUNCIONAL

PROCESSO:

Secagem

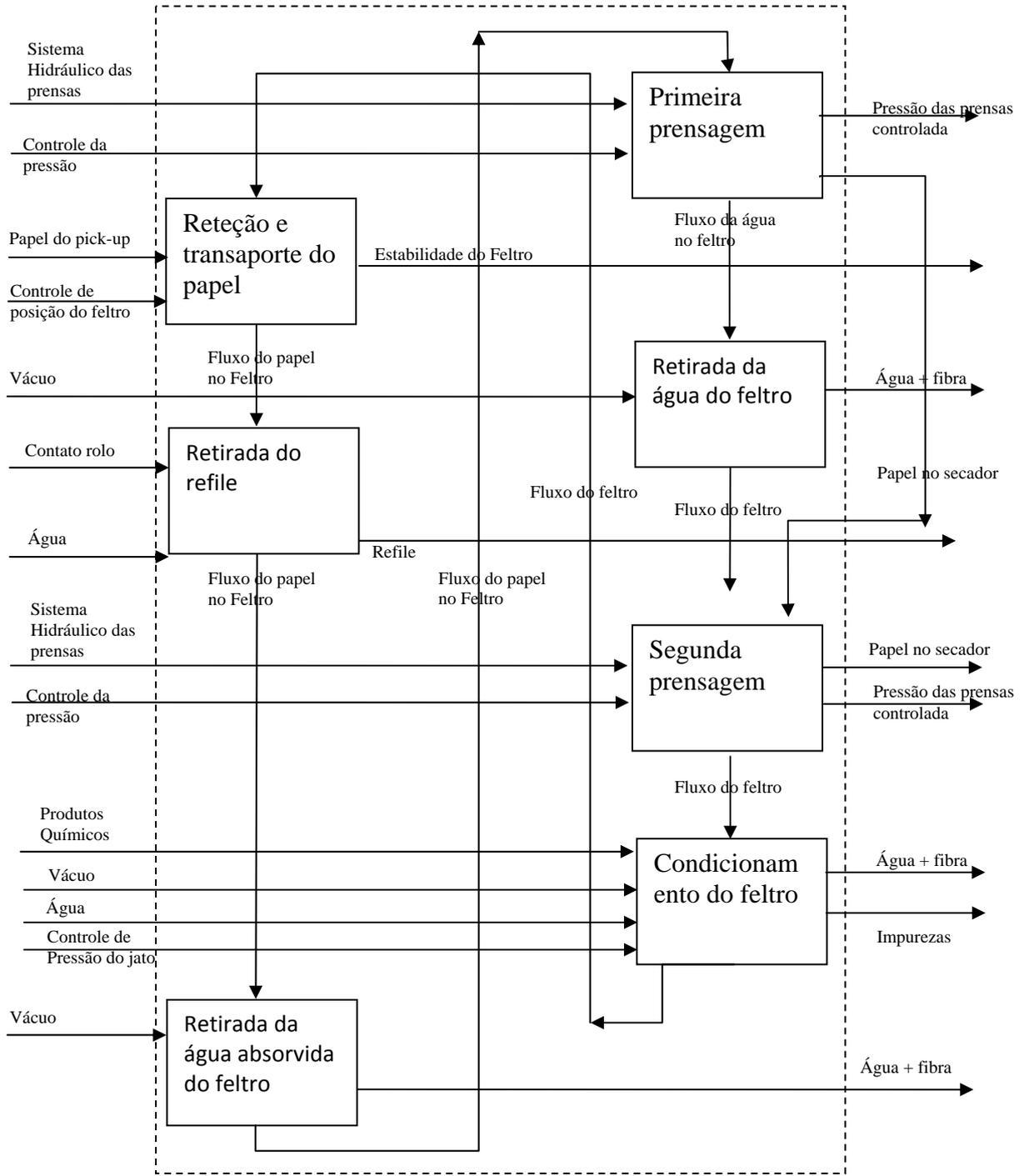
SUBPROCESSO:

Absorção e Prensagem

DATA:

EQUIPE:

Diagrama de Blocos



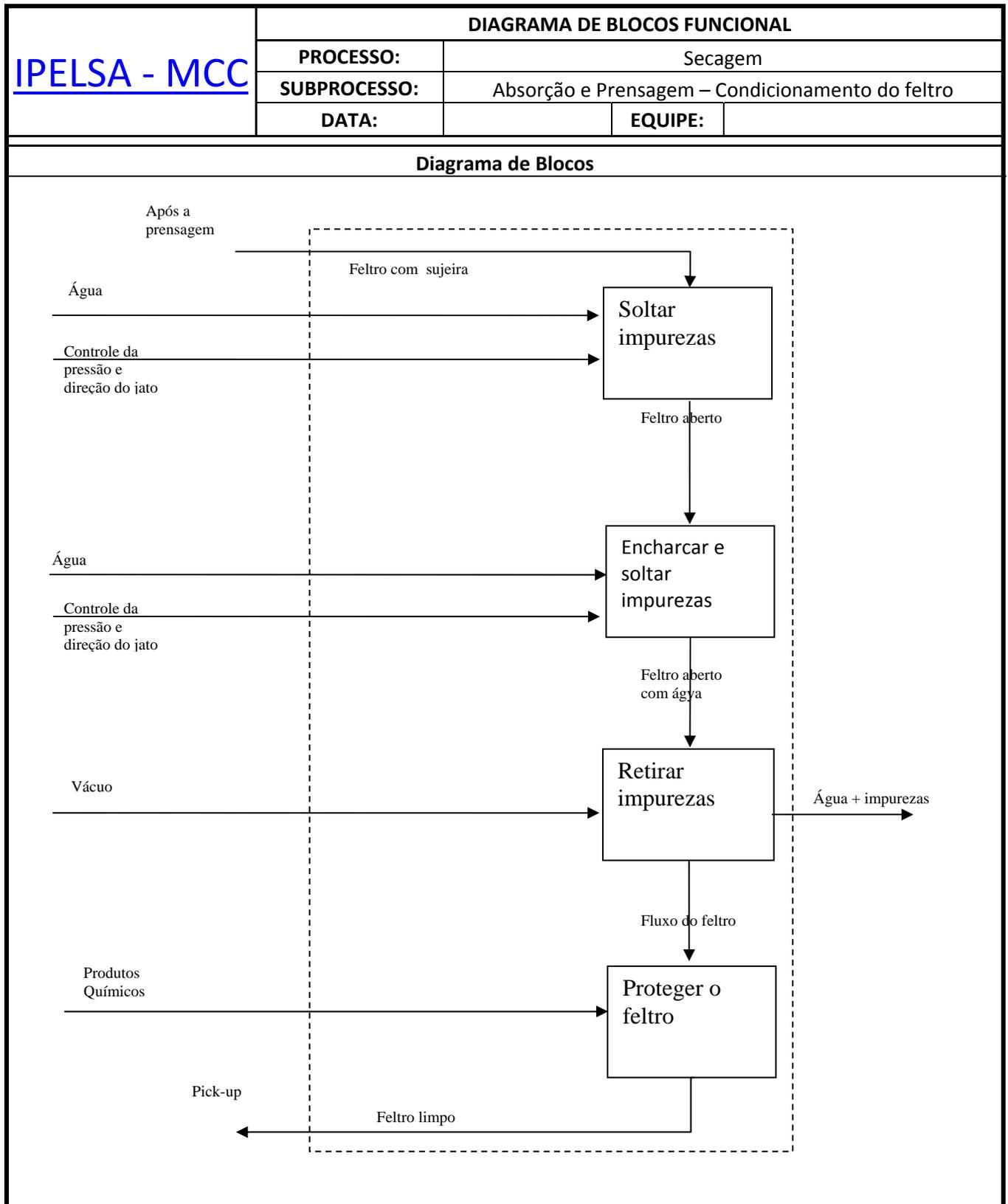
Anexo 2 – Planilha de Descrição do Processo Preenchida

<u>IPELSA - MCC</u>	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DO PROCESSO			
	PROCESSO:	Secagem		
	SUBPROCESSO:	Absorção e Prensagem – Condicionamento do feltro		
	DATA:		EQUIPE:	
Principais itens físicos				
Caixa de vácuo condicionadora, chuveiro de alta vazão , químicos e alta pressão, régua, bomba elétrica e Tubulações;				
Descrição do Processo				
<p>Após as duas prensagens o feltro carregado com as impurezas segue para a limpeza;</p> <p>Para soltar essas impurezas o feltro passa primeiro pelo chuveiro de alta pressão, que é formado por uma tubulação com bicos tipo agulha para a saída da água, esse jato de água força a sujeira a descolar o feltro. O jato de água do chuveiro de alta pressão é posicionado na parte externa do feltro, a face papel.</p> <p>O feltro então segue para o chuveiro de alta vazão, que pela outra face do feltro joga água entre o feltro e o rolo esticador, os bicos são do tipo leque, com menor pressão que o agulha e maior volume, a água então é forçada a passar pelo feltro e soltando as impureza e encharcando o feltro.</p> <p>Essa impureza é retirada na caixa de vácuo condicionadora, que através de aberturas o vácuo retira toda água contaminada do feltro.</p> <p>Depois o feltro passa pelo chuveiro de químicos, que é essencial para que o feltro se mantenha em condições de uso, preservando as características mecânicas do feltro.</p>				
Considerações importantes				
<p>Existe uma bomba de vácuo exclusiva para a caixa de vácuo condicionadora.</p> <p>O nível de vácuo é controlado por válvula manual na entrada da bomba.</p> <p>O chuveiro de alta pressão deve está posicionado em um ângulo de 30° com a vertical para que levante as fibras e facilite a saída da sujeira.</p> <p>O chuveiro de alta pressão é posicionado na parte externa do feltro, chamada de face papel, o contrário do chuveiro de alta vazão;</p> <p>O chuveiro de alta vazão deve ser direcionado entrada do feltro no rolo esticador, de maneira que a água seja forçada a entrar no feltro;</p> <p>O chuveiro de alta vazão oscila durante a passagem do feltro para limpeza de todo a largura do feltro;</p>				

Anexo 3 – Planilha de Descrição Inicial das Funções do Sistema Preenchida

<u>IPELSA - MCC</u>	PLANILHA DE DESCRIÇÃO INICIAL DAS FUNÇÕES DO SISTEMA			
	PROCESSO:	Secagem		
	SUBPROCESSO:	Absorção e Prensagem – Condicionamento do feltro		
	DATA:		EQUIPE:	
Funções				
Soltar as impurezas; Encharcar o feltro; Retirar água e impureza; Proteger o feltro;				
Dispositivos de proteção				
Não há				
Instrumentação e controle				
Manômetros para medição da pressão do chuveiro de alta pressão; Válvulas de controle do sistema de vácuo; Vacuômetro para medição do vácuo da caixa de vácuo; Válvula de controle de vazão do chuveiro de alta pressão; Válvula de controle de vazão do chuveiro de alta vazão; Válvula de controle de vazão do chuveiro químico Controle da bomba de injeção de produtos químicos;				

Anexo 4 – Diagrama de Blocos Funcional



Anexo 5 – Planilha de Classificação das Funções do Sistema Preenchida

<u>IPELSA - MCC</u>	PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES DO SISTEMA			
	PROCESSO:	Secagem		
	SUBPROCESSO:	Absorção e Prensagem – Condicionamento do feltro		
	DATA:		EQUIPE:	
Funções Principais				
Soltar impurezas; Retirar impurezas; Proteger feltro;				
Funções Secundárias				
Indicar vácuo da caixa de vácuo condicionadora; Indicar Pressão do chuveiro; Oscilar chuveiro;				

Anexo 6 – Planilha de Descrição dos Itens Físicos Preenchida

IPELSA - MCC		PLANILHA DE DESCRIÇÃO DOS ITENS FÍSICOS			
		PROCESSO:	Secagem		
		SUBPROCESSO:	Absorção e Prensagem – Condicionamento do feltro		
		DATA:		EQUIPE:	
ITENS FÍSICOS (IF) e INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE (IC)					
No	ITEM FÍSICO	QNT.	DESCRIÇÃO	LOCAL INSTALAÇÃO	
IF-01	Chuveiro alta pressão	1	Chuveiro formado por uma seqüência bicos agulha, disposto no sentido transversal ao feltro.	Na parte de cima da máquina de papel, na face papel do feltro.	
IF-02	Oscilador	1	Oscilador hidráulico, do chuveiro de alta pressão	Na lateral do chuveiro de alta pressão.	
IF-03	Chuveiro de alta vazão	1	Chuveiro formado por uma seqüência bico leque, disposto no sentido transversal ao feltro.	Após o chuveiro de alta pressão na face oposta.	
IF-04	Caixa de vácuo condicionadora	1	Tubo com tampa no sentido longitudinal com 2 aberturas.	No circuito do feltro, após o chuveiro de alta pressão e alta vazão.	
IF-05	Réguas da Caixa de vácuo condicionadora	3	Réguas de encaixa para caixa de vácuo regulando a abertura.	Na parte de cima da caixa de vácuo, em contato com o feltro.	
IF-05	Bomba elétrica	1	Bomba elétrica de funcionamento intermitente, para adicionar os químicos.	Fora do circuito, próximo ao reservatório.	
IF-06	Chuveiro químico	1	Chuveiro formado por uma seqüência bicos leque, disposto no sentido transversal ao feltro.	Após a caixa de vácuo condicionadora.	
IC-01	Vacuômetro	1	Vacuômetro	Na caixa de vácuo condicionadora	
IC-02	Manômetro	1	Manômetro	No chuveiro de alta pressão	

Anexo 7 – Planilha de Descrição das Funções e Falhas Funcionais Preenchida

IPELSA - MCC		PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS			
		PROCESSO:		Secagem	
		SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem - condicionamento do feltro	
		DATA:		EQUIPE:	
No	FUNÇÃO	No	FALHA FUNCIONAL		
F-01	Soltar as impurezas	FF-01	Não soltar as impurezas		
F-02	Retirar impurezas	FF-02	Soltar parte das impurezas		
F-03	Indicar vácuo da caixa de vácuo condicionadora	FF-03	Não retirar as impurezas		
F-04	Indicar Pressão do chuveiro	FF-04	Retirar parte das impurezas		
F-05	Oscilar chuveiro	FF-05	Não indicar o vácuo da caixa		
F-06	Adicionar produtos químicos	FF-06	Indicar errado o vácuo da caixa		
		FF-07	Não indicar a pressão		
		FF-08	Indicar errado pressão		
		FF-09	Não oscilar		
		FF-10	Oscilar de maneira errada o chuveiro		
		FF-11	Não adicionar químicos		
		FF-12	Adicionar quantidade errada		

Anexo 8 – Planilha de Descrição da Falha Funcional e Itens Físicos Preenchida

IPELSA - MCC		PLANILHA DE DESCRIÇÃO DA FALHA FUNCIONAL E ITENS FÍSICOS																		
		PROCESSO:		Secagem																
		SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem – condicionamento do feltro																
		DATA:								EQUIPE:										
ITEM FÍSICO		FALHA FUNCIONAL												C	h	Ca	Ce	D	m	Ice
		FF-01	FF-02	FF-03	FF-04	FF-05	FF-06	FF-07	FF-08	FF-09	FF-10	FF-11	FF-12							
		Não soltar as impurezas	Soltar parte das impurezas	Não retirar as impurezas	Retirar parte das impurezas	Não indicar o vácuo da caixa	Indicar errado o vácuo da caixa	Não indicar a pressão	Indicar errado pressão	Não oscilar	Oscilar de maneira errada o chuveiro	Não adicionar químicos	Adicionar quantidade errada							
		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N							
		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N							
		4	2	4	2	1	1	1	1	3	3	4	3							
No	Descrição																			
IF-01	Chuveiro alta pressão	2	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0					60		
IF-02	Oscilador	2	2	2	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0				84		
IF-03	Chuveiro de alta vazão	3	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0					90		
IF-04	Caixa de vácuo condicionadora	4	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0					120		
IF-05	Réguas da Caixa de vácuo condicionadora	1	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0					24		
IF-05	Bomba elétrica	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5					20		
IF-06	Chuveiro de Químicos	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5					60		
IC-01	Vacuômetro	1	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0					10		
IC-02	Manômetro	1	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0					10		

Anexo 9 – Planilha de Análise de Modo de Falha e Efeito Preenchida

IPELSA - MCC		PLANILHA DE ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO				
		PROCESSO:		Secagem		
		SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem – Condicionamento do feltro		
		DATA:		EQUIPE:		
FUNÇÃO: F-01 Soltar as impurezas			FALHA FUNCIONAL: FF-01 Não soltar as impurezas e FF-02 Soltar parte das impurezas			
ITEM FÍSICO		MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DA FALHA	A	
No	DESCRIÇÃO					
IF-01	Chuveiro alta pressão	MF-01 Direcionamento do jato	Regulagem do chuveiro	O jato ao invés de soltar a impureza, prende mais a mesmo no feltro, causando acúmulo de impureza no mesmo, prejudicando a secagem do papel e a redução da vida útil do feltro.	S	
IF-01	Chuveiro alta pressão	MF-02 Bico entupido	Impureza na água	Pontos do feltro ficam sem limpeza, causando faixas de sujeira no feltro, prejudicando a secagem do papel nesse ponto e a redução da vida útil do feltro.	S	
IF-01	Chuveiro alta pressão	MF-03 Bico gasto	Impureza na água	Pressão irregular resultando em limpeza irregular do feltro, causando acúmulo de impureza em partes específicas do feltro, prejudicando a secagem do papel e a redução da vida útil do feltro.	S	
IF-02	Oscilador	MF-04 Oscilação falha	Falha do equipamento	Passagem muito rápida do jato nos pontos de limpeza, com velocidade variando ou não completando o deslocamento, causando acúmulo de impureza no mesmo, prejudicando a secagem do papel e a redução da vida útil do feltro.	S	
IF-03	Chuveiro alta vazão	MF-05 Direcionamento do jato	Regulagem do chuveiro	A água lançada não penetra feltro para retirar a sujeira, causando ineficiência da limpeza da caixa de vácuo, pois a sujeira não solta do feltro.	S	

IPELSA - MCC		PLANILHA DE ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO				
		PROCESSO:		Secagem		
		SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem – condicionamento do feltro		
		DATA:		EQUIPE:		
FUNÇÃO: F-02 Soltar as impurezas			FALHA FUNCIONAL: FF-03 Não Retirar as impurezas e FF-04 Retirar parte das impurezas			
ITEM FÍSICO		MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DA FALHA	A	
No	DESCRIÇÃO					
IF-03	Chuveiro alta vazão	MF-06 direcionamento do jato	Regulagem do chuveiro	O direcionamento do jato não está entrada do rolo esticador, o que faz com que a água não penetre feltro para retirar a sujeira, e sem água a caixa de vácuo perde a eficiência. Prejudicando a secagem do papel e a redução da vida útil do feltro.	S	
IF-04	Caixa de vácuo condicionadora	MF-07 Entupimento caixa	Acumulo de sujeira	Baixo nível de vácuo, resultando em baixa retirada da água com as impurezas e acumulo de impureza no feltro, prejudicando a secagem do papel e a redução da vida útil do feltro.	S	
IF-05	Réguas da Caixa de vácuo condicionadora	MF-08 Desgaste das réguas	Vida útil do material	Imperfeição na vedação reduzindo a eficiência da caixa de vácuo e acumulo de impureza no mesmo, prejudicando a secagem do papel e a redução da vida útil do feltro.	S	

IPELSA - MCC		PLANILHA DE ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO				
		PROCESSO:		Secagem		
		SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem – condicionamento do feltro		
		DATA:		EQUIPE:		
FUNÇÃO: F-05 Oscilar o chuveiro			FALHA FUNCIONAL: FF-09 Não oscilar e FF-10 oscilar de maneira errada			
ITEM FÍSICO		MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DA FALHA	A	
No	DESCRIÇÃO					
IF-02	Oscilador	MF-09 Oscilação falha	Falha do equipamento	Oscilação rápida, com velocidade variando ou não completando o deslocamento, causando acumulo de impureza no mesmo, prejudicando a secagem do papel e a redução da vida útil do feltro. .	S	

IPELSA - MCC		PLANILHA DE ANÁLISE DE MODO DE FALHA E EFEITO				
		PROCESSO:		Secagem		
		SUBPROCESSO:		Absorção e Prensagem – condicionamento do feltro		
		DATA:		EQUIPE:		
FUNÇÃO: F-06 Adicionar químico			FALHA FUNCIONAL: FF-11 Não adicionar e FF-12 adicionar quantidade errada			
ITEM FÍSICO		MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DA FALHA	A	
No	DESCRIÇÃO					
IF-05	Bomba elétrica	MF-10 Não succiona produto	Falha na bomba	Não envio do produto para o chuveiro químico, o que faz o feltro perder característica mecânica de absorção e prejudica a limpeza. Causando acúmulo de impureza, prejudicando a produção de papel.	S	
IF-05	Bomba elétrica	MF-11 Queima da bomba	Problema elétrico	Não envio do produto para o chuveiro, o que faz o feltro perder característica mecânica. Causando acúmulo de impureza, prejudicando a produção de papel.	S	
IF-06	Chuveiro de Químicos	MF-12 Desgaste dos bicos	Desgaste	Aplicação incorreta do produto no feltro, o que faz o feltro perder característica mecânica em pontos específicos, prejudicando a produção de papel.	S	
IF-06	Chuveiro de Químicos	MF-13 Entupimento bico	Impureza na água	Aplicação incorreta do produto no feltro, o que faz o feltro perder característica mecânica em pontos específicos, prejudicando a produção de papel.	S	

Anexo 10 – Planilha de Descrição das Atividades de Manutenção Por Falha Funcional Preenchida

<u>IPELSA -</u> <u>MCC</u>		PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO POR FALHA FUNCIONAL			
		PROCESSO:			
		SUBPROCESSO:			
		DATA:		EQUIPE:	
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	RESULTADO ÁRVORE 1	RESULTADO ÁRVORE 2	DESCRIÇÃO DA TAREFA	FREQ .
FF-01 Não soltar as impurezas e FF-02 Soltar parte das impurezas	MF-01 Direcionamento do jato	S-N-N-N (C)	S-N-N-N-S-S (rotina)	Verificar posicionamento a cada troca de feltro	-
	MF-02 Bico entupido	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Operar ate a falha	
	MF-03 Desgaste dos bicos	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Fazer revisão dos bicos a cada 3 meses	3M
	MF-04 Oscilação falha	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Verificar a oscilação do conjunto diariamente	1D
	MF-05 Direcionamento do jato	S-N-N-N (C)	S-N-N-N-S-S (rotina)	Ajustar durante a troca do feltro	-
FF-03 Não Retirar as impurezas e FF-04 Retirar parte das impurezas	MF-06 Direcionamento do jato	S-N-N-N (C)	S-N-N-N-S-S (rotina)	Ajustar durante a troca do feltro	-
	MF-07 Entupimento caixa	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Fazer verificação diária da necessidade de intervenção	1D
	MF-07 Entupimento caixa	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Limpeza interna da caixa na troca do feltro	-
	MF-08 Desgaste das réguas	S-N-N-N (C)	S-N-N-N-S-S (rotina)	Verificar o estado da régua a cada troca de feltro	-

<u>IPELSA -</u> <u>MCC</u>	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO POR FALHA FUNCIONAL				
	SISTEMA:				
	SUBSISTEMA:				
	DATA:		EQUIPE:		
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	RESULTADO ÁRVORE 1	RESULTADO ÁRVORE 2	DESCRIÇÃO DA TAREFA	FREQ. .
FF-09 Não oscilar e FF-10 oscilar de maneira errada	MF-09 Oscilação falha	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (rotina)	Verificar a oscilação do conjunto diariamente	1D
FF-11 Não adiciona e FF-12 adiciona quantidade errada	MF-10 Não succiona produto	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Fazer medição da vazão de produto, para ajuste	1D
	MF-11 Queima da bomba	N-N-N-N (D/C)	N-N-N-N-S-S (rotina)	Operar ate a falha	1D
	MF-12 Desgaste dos bicos	S-N-N-N (C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Fazer revisão dos bicos a cada 3 meses	
	MF-13 Entupimento bico	N-N-N-N (D/C)	N-N-N-N-S-S (operar ate falha)	Operar ate a falha	

Anexo 11 – Plano de Manutenção Preenchido

IPELSA - MCC		PLANO DE MANUTENÇÃO			
		PROCESSO:	Secagem		
		SUBPROCESSO:	Absorção e Prensagem – Condicionamento do feltro		
		DATA:		EQUIPE:	
PLANO					
No	ITEM FÍSICO	DESCRIÇÃO ATIVIDADE	FREQUENCIA		
IF-01	Chuveiro alta pressão	Ajustar posicionamento a cada troca de feltro	Troca de feltro		
		Fazer revisão dos bicos	Cada 3 meses		
IF-02	Oscilador	Verificar o movimento de oscilação.	Diária		
IF-03	Chuveiro de alta vazão	Ajustar posicionamento a cada troca de feltro	Troca de feltro		
		Fazer revisão dos bicos	Cada 3 meses		
IF-04	Caixa de vácuo condicionadora	Limpeza interna da caixa na troca do feltro	Troca do feltro		
		Fazer verificação diária da necessidade de intervenção	Diária		
IF-05	Réguas da Caixa de vácuo condicionadora	Verificar o estado da régua a cada troca de feltro	Troca de feltro		
IF-05	Bomba elétrica	Fazer medição da vazão de produto, para ajuste.	Diária		
IF-05	Bomba elétrica	Fazer medição da vazão de produto, para ajuste.	Diária		
IF-06	Chuveiro químico	Fazer revisão dos bicos	Cada 3 meses		
IC-01	Vacuômetro	-	-		
IC-02	Manômetro	-	-		