

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

HEITOR EBBINGHAUS DE ARAUJO

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA
EM CONFIABILIDADE EM UMA MÁQUINA DE CORTE E COSTURA
DE EMBALAGENS DE RÁFIA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

HEITOR EBBINGHAUS DE ARAUJO

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA
EM CONFIABILIDADE EM UMA MÁQUINA DE CORTE E COSTURA
DE EMBALAGENS DE RÁFIA**

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

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

CURITIBA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UMA MÁQUINA DE CORTE E COSTURA DE EMBALAGENS DE RÁFIA

por

HEITOR EBBINGHAUS DE ARAUJO

Esta monografia foi apresentada em 4 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

Wanderson Stael Paris, MSc.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

RESUMO

ARAUJO, Heitor Ebbinghaus de. **Proposta de implementação da manutenção centrada em confiabilidade em uma máquina de corte e costura de embalagens de rafia.** 2019. 47f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Este trabalho propõe a implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em uma máquina de corte e costura de embalagens de rafia, a fim de estabelecer um controle de manutenção e aumentar a disponibilidade deste ativo. Embasados no procedimento das normas SAE JA1011 e SAE JA1012, utilizou-se métodos documentais para a análise de falhas do sistema e mapeamento das tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas. Dentre os principais resultados, o subsistema Corte foi o que apresentou maior nível de criticidade quanto aos modos de falha. Os resultados se mostram favoráveis para a implementação da MCC.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade. SAE JA1011. SAE JA1012. Máquina Corte-Costura. Embalagens de Rafia.

ABSTRACT

ARAUJO, Heitor Ebbinghaus de. **Proposta de implementação da manutenção centrada em confiabilidade em uma Máquina de corte e costura de embalagens de rafia.** 2019. 47f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

This paper proposes the implementation of Reliability Centered Maintenance (RCM) in a woven sack cutting stitching machine, in order to establish a maintenance control system and increase its availability. Based on the procedures of the SAE JA1011 and SAE JA1012 norms, documented methods were used for the analysis of the system's faults and mapping of the applicable and effective maintenance tasks. Within the main results, the subsystem "cutting" presented the highest level of criticality as to the failure modes. The results showed to be favourable to the RCM implementation.

Keywords: Reliability Centered Maintenance. SAE JA1011. SAE JA1012. Woven Sack Cutting Stitching Machine. Woven Sacks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fotografia 2.1 – Embalagens de rafia: saco simples e saco laminado.....	133
Fotografia 2.2 – Embalagem de rafia com arte impressa.....	14
Fotografia 2.3 – Placas para a impressão de embalagem com arte.	155
Fotografia 2.4 – Impressora.	16
Fotografia 2.5 – Processo de desbobinamento da rafia.	217
Fotografia 2.6 – Tracionador direcionando a rafia para o corte.....	178
Fotografia 2.7 – Processo de corte da rafia.	188
Fotografia 2.8 – Máquina de corte e costura (vista lateral).	189
Fotografia 2.9 – Processo de dobra e costura da base da rafia.....	19
Fotografia 2.10 – Máquina de corte e costura (vista frontal)	20
Fotografia 2.11 – Processo de empilhamento das embalagens.....	21
Diagrama 4.1 – Lógica de classificação das consequências das falhas.....	38
Quadro 4.1 – Sistema, subsistemas, funções e componentes.....	31
Quadro 4.2 – Classificação de Severidade.....	32
Quadro 4.3 – Classificação de Ocorrência.....	33
Quadro 4.4 – Classificação de Detecção.....	33
Quadro 4.5 – FMECA referente ao subsistema Transporte.....	34
Quadro 4.6 – FMECA referente ao subsistema Corte.....	35
Quadro 4.7 – FMECA referente ao subsistema Costura.....	36
Quadro 4.8 – FMECA ordenado por nível de criticidade decrescente.....	37
Quadro 4.9 – Classificação das consequências dos modos de falha.....	39
Quadro 4.10 – Tarefas de manutenção.....	40
Quadro 4.11 – Tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Transporte.....	41
Quadro 4.12 – Tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Corte.....	42
Quadro 4.13 – Tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Costura.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

ID Código de Identificação

LISTA DE SIGLAS

MCC Manutenção Centrada em Confiabilidade
RCM *Reliability Centered Maintenance*
MSG 1 *Maintenance Steering Group*
NPR Número de Prioridade de Risco

LISTA DE ACRÔNIMOS

SAE *Society of Automobile Engineers*
MAQ 1 Máquina de Corte e Costura 1
MAQ 2 Máquina de Corte e Costura 2
FAA *Federal Aviation Administration*
FMEA *Failure Mode and Effect Analysis*
FMECA *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*
IEC *International Electrotechnical Commission*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	9
1.2	PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA.....	10
1.3	OBJETIVOS	11
1.3.1	Objetivo Geral.....	11
1.3.2	Objetivos Específicos	11
1.4	JUSTIFICATIVA	11
1.5	PROCESSOS METODOLÓGICOS.....	11
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2	ÁREA DE APLICAÇÃO	13
2.1	EMPRESA.....	13
2.2	PRODUTO	13
2.3	MÁQUINAS	14
2.3.1	Impressora	15
2.3.2	Máquina de Corte e Costura	16
2.4	CRITÉRIO DE SELEÇÃO DO ATIVO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA MCC	22
2.5	MANUTENÇÃO	22
2.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	23
3	REFERENCIAL TEÓRICO ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
3.1	INTRODUÇÃO	24
3.2	PROCEDIMENTO DE IMPLEMENTAÇÃO DA MCC	25
3.2.1	Etapa 1 - Funções	26
3.2.2	Etapa 2 – Falhas Funcionais	26
3.2.3	Etapa 3 – Modos de Falha	27
3.2.4	Etapa 4 – Efeitos de Falha	27
3.2.5	Etapa 5 – Consequências das Falhas	27
3.2.6	Etapa 6 – Gerenciamento das Falhas e suas Consequências	28
3.2.7	Etapa 7 – Gerenciamento do Programa de MCC	28
3.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	29
4	DESENVOLVIMENTO	30
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	30
4.2	ETAPAS 1 A 4.....	32
4.3	ETAPA 5.....	38
4.4	ETAPA 6.....	39
4.5	ETAPA 7.....	43
4.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	43
5	CONCLUSÃO	45
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica pertinente ao estudo, assim como as premissas e problemas de pesquisa, o objetivo proposto, a justificativa, os processos metodológicos e a estrutura do trabalho.

1.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Segundo a apostila *Noções de Confiabilidade*, da Petrobras (2002), manutenção industrial pode ser conceituada como um conjunto de técnicas aplicadas a equipamentos e instalações com o objetivo de garantir a disponibilidade de suas funções de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados.

Assim como outras áreas relacionadas à indústria, a manutenção está em constante aperfeiçoamento. Em função do surgimento de necessidades cada vez maiores, novos estudos e tecnologias ao longo das décadas, suas técnicas estão em um contínuo processo de desenvolvimento (PETROBRAS, 2002).

Segundo Pinto e Xavier, (2012), a partir de 1930 a evolução da manutenção pode ser dividida em cinco gerações. A Primeira Geração se iniciou em meados da década de 30 e se estendeu até final da década de 40. Este período foi marcado pela mecanização primária da indústria, onde os equipamentos utilizados eram simples e sobredimensionados. A sociedade da época pouco dependia da produtividade industrial, sendo assim, não havia necessidade de manutenção preventiva, apenas serviços de limpeza e lubrificação eram sistematizados. Os reparos eram realizados após a quebra, o que caracteriza as atividades de manutenção da Primeira Geração como fundamentalmente corretivas (SIQUEIRA, 2005; PINTO e XAVIER, 2012).

De acordo com Siqueira (2005), a Segunda Geração ocorreu no período após a Segunda Guerra Mundial, entre os anos de 1950 e 1975. Este período pós-guerra sofreu um aumento da demanda de todos os tipos de produtos e, ao mesmo tempo, uma redução significativa no contingente de mão de obra industrial. Esta combinação de fatores provocou um forte aumento na mecanização e abriu espaço para instalações industriais mais complexas. Consequentemente, este avanço

rápido da indústria, a falta de mão de obra especializada e a alta demanda produtiva contribuíram para um aumento do número de falhas. Notou-se então a necessidade de aumentar a disponibilidade e a vida útil das máquinas, visto que o custo de manutenções corretivas estava crescendo devido às paradas na produção. Este fato motivou um esforço científico de pesquisa e desenvolvimento de técnicas de manutenção preventiva e preditiva (SIQUEIRA, 2005; PINTO e XAVIER, 2012).

Por volta de 1975 iniciava-se a Terceira Geração. Nesta fase houve avanço da mecanização e automação na indústria. Como resultado, as técnicas de manutenção adotadas até então se mostraram insuficientes. A ascensão da automação trouxe falhas cada vez mais frequentes, ao mesmo tempo em que a paralização da produção se tornou uma preocupação ainda maior, visto que o sistema de produção *just-in-time* estava se tornando uma tendência mundial. Este sistema era caracterizado pela produção conforme a demanda, o que significava que falhas poderiam paralisar a linha de produção. Além de interromper a produtividade, certas falhas provocavam consequências cada vez mais sérias em relação a segurança e ao meio ambiente. Diante destas dificuldades, tanto disponibilidade quanto confiabilidade se tornaram palavras-chave dentro da indústria. O conceito de confiabilidade passou a ser cada vez mais aplicado na manutenção, originando a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), também conhecida como *Reliability Centered Maintenance* (RCM), em inglês (SIQUEIRA, 2005; SOUZA, 2012b; PINTO e XAVIER, 2012).

1.2 PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA

A empresa do ramo de embalagens de rafia dispõe em sua linha de produção duas máquinas de corte e costura de embalagens e uma impressora. A empresa depende da disponibilidade destas máquinas para conseguir atender a demanda.

A manutenção destes equipamentos é absolutamente corretiva. Não há um plano de manutenção, nem um histórico de falhas.

A partir destes problemas, como propor uma implementação de MCC em um equipamento de corte e costura de embalagens de rafia, a fim de estabelecer um controle de manutenção e aumentar a disponibilidade do mesmo?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Propor um programa de MCC com base no procedimento de implementação da SAE JA1011 e SAE JA1012 para uma máquina de corte e costura de embalagens de rafia, a fim de estabelecer um controle da manutenção e aumentar a disponibilidade desta máquina.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Detalhar o procedimento de referência para a implementação da MCC;
- Alinhar cada uma das etapas do procedimento de implementação às condições reais da empresa;
- Propor à empresa uma estratégia de implementação da MCC, enfatizando suas vantagens em comparação ao programa atual de gestão da manutenção.

1.4 JUSTIFICATIVA

A falta de um plano de manutenção e de um histórico de falhas dos equipamentos torna a previsão de falhas muito difícil. A empresa dispõe de poucas máquinas em sua linha de produção, e a falha de alguma delas pode provocar uma significativa redução no faturamento da empresa. Se mais de uma máquina falhar simultaneamente, a produção pode ser interrompida e o prejuízo pode causar sérias complicações financeiras.

1.5 PROCESSOS METODOLÓGICOS

Este trabalho será elaborado seguindo a ordem dos objetivos específicos. O procedimento de implementação da MCC adotado será descrito detalhadamente. Cada etapa deste procedimento será alinhada às condições reais da máquina de

corde e costura de embalagens de ráfia. Para a aplica o de algumas etapas, ferramentas como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos) e FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* – Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade) serão utilizadas. Será proposta uma estratégia de implementa o da MCC para o equipamento, enfatizando suas vantagens em compara o ao programa atual de gestão da manuten o.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 2 apresentar  uma visão geral sobre a empresa em foco. Serão descritos os produtos, as máquinas, o critério de sele o do ativo para a implementa o da MCC e uma abordagem sobre a política de manuten o na empresa.

No capítulo 3 será abordada alguns aspectos pertinentes   MCC e o procedimento de implementa o da mesma, baseado nas normas SAE JA1011 e SAE JA1012. As etapas deste procedimento serão detalhadas.

O capítulo 4 mostrar  a aplica o de cada uma das etapas de implementa o, descritas no capítulo anterior, na máquina de corte e costura de embalagens de ráfia.

No capítulo 5 serão apresentadas as conclusões, com base nos resultados da aplica o do procedimento de implementa o da SAE no equipamento. Serão descritas as dificuldades encontradas, as soluçoes para as mesmas e também sugestões para trabalhos futuros.

2 ÁREA DE APLICAÇÃO

Nesta seção serão apresentados alguns tópicos sobre a empresa em foco para este trabalho, com o intuito de proporcionar um melhor entendimento sobre a situação em que a mesma se encontra e a aplicação do tema.

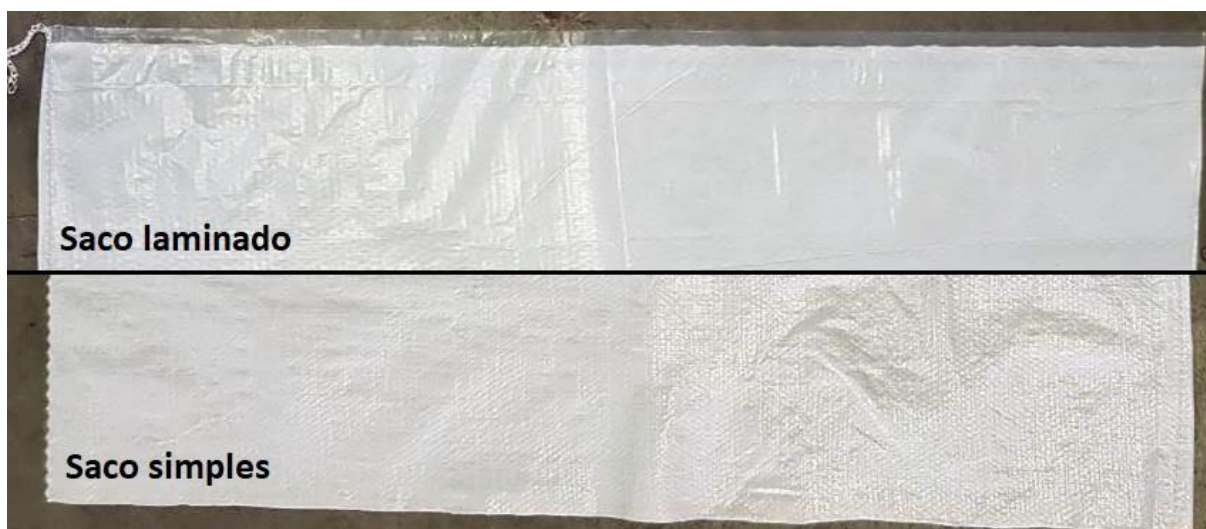
2.1 EMPRESA

A empresa produz embalagens de rafia e está localizada em Pinhais, região metropolitana de Curitiba/PR. A mesma pode ser classificada como familiar, de pequeno porte, visto que sua área produtiva é de aproximadamente 1050m² e opera com uma equipe de seis pessoas, sendo três delas funcionários contratados.

2.2 PRODUTO

A empresa trabalha com dois tipos de embalagens de rafia: saco simples e saco laminado. Ambos os tipos estão apresentados na Fotografia 2.1.

Fotografia 2.1 - Embalagens de rafia: saco simples e saco laminado.



Fonte: Adaptado de Santos, (2019).

As embalagens podem ser lisas ou impressas com a arte escolhida pelo cliente. A Fotografia 2.2, mostra um exemplo de uma embalagem com arte impressa.

As embalagens são produzidas a partir de bobinas de rafia simples e laminadas, que são adquiridas por meio de fornecedores. Os sacos têm a mesma largura da bobina utilizada para produzi-los, já o comprimento pode ser controlado pelo processo.

Fotografia 2.2 - Embalagem de rafia com arte impressa.



Fonte: Adaptado de Santos, (2019).

2.3 MÁQUINAS

A empresa dispõe de três ativos no total. Duas máquinas de corte e costura e uma impressora. Todo o maquinário é da marca VITRA, uma empresa brasileira referência no desenvolvimento de maquinário para a indústria de rafia. Os ativos serão apresentados com mais detalhes a seguir.

2.3.1 Impressora

A impressora é capaz de fazer impressões em até quatro cores, sendo elas: preto, azul, vermelho e amarelo. A arte é definida pelo cliente e a placa é confeccionada por uma empresa terceirizada. É feita uma placa para cada cor desejada na impressão. Estas placas são acopladas em cilindros posicionados no interior da impressora. A Fotografia 2.3 apresenta um exemplo de placas para a impressão de arte na embalagem de rafia. Cada cilindro se encontra em contato com um recipiente com uma cor de tinta. Estas são bombeadas das latas até estes recipientes.

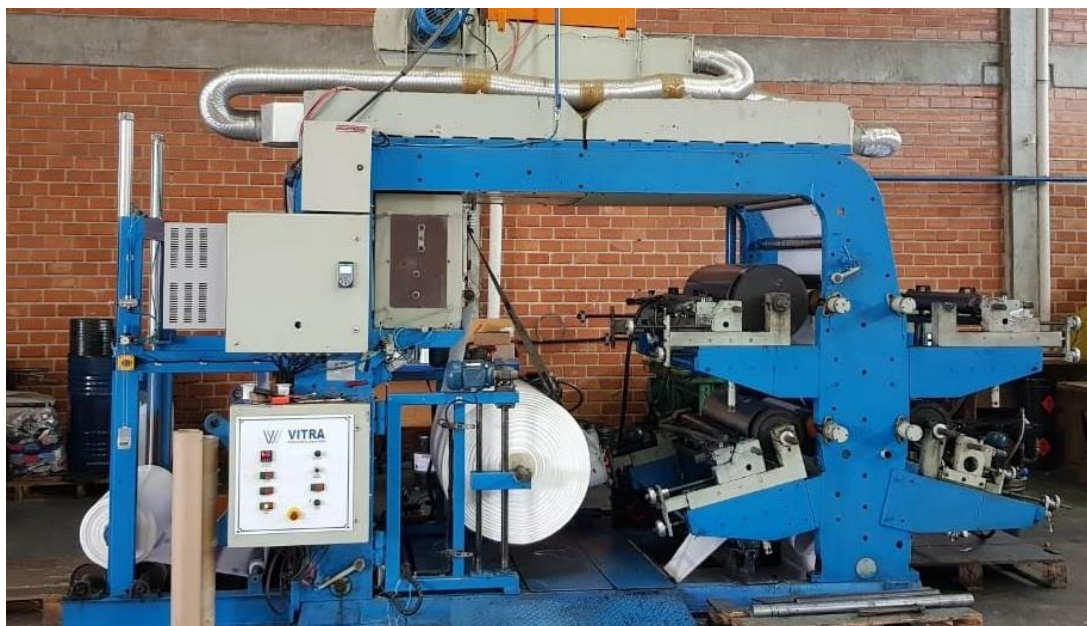
Fotografia 2.3 - Placas para a impressão de embalagem com arte.



Fonte: Adaptado de Santos, (2019).

A bobina de rafia é acoplada a impressora e então é desenrolada continuamente em direção aos cilindros. Estes rotacionam, com o intuito de mergulhar a placa no recipiente com tinta e imprimir a rafia em movimento contínuo. Após a impressão, a rafia é direcionada para um secador, localizado na parte superior da impressora, e por fim, é rebobinada. A Fotografia 2.4 apresenta a impressora descrita.

Fotografia 2.4 – Impressora.



Fonte: Santos, (2019).

2.3.2 Máquina de Corte e Costura

Para se iniciar o processo de corte e costura, a bobina de rafia é acoplada à máquina. Por meio de um desbobinador, acionado por um motor elétrico e uma correia de potência, a rafia é continuamente desenrolada. A Fotografia 2.5 ilustra o processo de desbobinamento da rafia.

Fotografia 2.5 – Processo de desbobinamento da ráfia.



Fonte: Adaptado de Santos, (2019).

À medida que a ráfia é desenrolada, a mesma é puxada por um tracionador. Este componente direciona o material para a lâmina de corte, conforme ilustra a Fotografia 2.6.

Fotografia 2.6 – Tracionador direcionando a rafia para o corte.



Fonte: Santos, (2019).

O corte é comandado por um sensor óptico, configurado com a dimensão desejada para a embalagem. Conforme o material é direcionado pelo tracionador, este sensor faz a leitura do comprimento da rafia e ativa um par de pistões pneumáticos ligados à lâmina. Estes pistões deslocam-se verticalmente para baixo e a lâmina executa o corte, conforme ilustra a Fotografia 2.7. Desse processo, são fabricadas unidades de rafia.

Fotografia 2.7 – Processo de corte da rafia.



Fonte: Santos, (2019).

Na sequência, um pistão pneumático, ligado a um conjunto de correias (posicionadas ortogonalmente em relação ao tracionador), é acionado. O mesmo desloca-se verticalmente para baixo, fazendo com que as correias entrem em contato com a unidade de rafia e a desloque lateralmente para as próximas etapas do processo. Esta ação se repete para cada unidade de rafia vinda do processo de corte.

A Fotografia 2.8 apresenta a vista lateral da máquina de corte e costura, capaz de ilustrar os componentes atuantes no processo descrito.

Fotografia 2.8 – Máquina de corte e costura (vista lateral).



Fonte: Santos, (2019).

À medida que unidades de rafia são deslocadas, elas passam por um aparato metálico. Este componente realiza uma pequena dobra na base das unidades e as encaminha para a máquina de costura. Esta máquina opera continuamente e realiza a costura na dobra executada pelo aparato, formando o fundo dos sacos.

A Fotografia 2.9 ilustra o processo descrito. Desse processo, são fabricadas embalagens de rafia unidas por uma costura.

Fotografia 2.9 – Processo de dobra e costura da base da rafia.



Fonte: Santos, (2019).

Para remover esta costura, os sacos de rafia passam por um par de sensores ópticos. Estes componentes juntos funcionam como um temporizador. À medida que a embalagem é deslocada, ela é identificada pelo primeiro sensor. Quando a mesma é identificada pelo segundo sensor, um pistão pneumático ligado a uma tesoura é acionado. O mesmo desloca-se verticalmente para baixo, fazendo com que a tesoura execute o corte da costura entre os sacos. Desse processo, são fabricadas embalagens de rafia independentes.

Por fim, um empilhador, acionado por um pistão pneumático, posiciona as embalagens um sobre a outra, formando uma pilha. Quando esta pilha atinge 50 sacos, um motor elétrico aciona um conjunto de correias, que transporta as embalagens para uma área de descarga.

A Fotografia 2.10 apresenta a vista frontal da máquina de corte e costura, capaz de ilustrar o empilhador e o conjunto de correias atuantes no processo descrito

Fotografia 2.10 – Máquina de corte e costura (vista frontal).



Fonte: Santos, (2019).

Na Fotografia 2.11 pode-se observar o processo de empilhamento das embalagens.

Fotografia 2.5 – Processo de empilhamento das embalagens.



Fonte: Adaptado de Santos, (2019).

O processo para a confecção de sacos simples e laminados é basicamente o mesmo, a única diferença está na fase de corte. Para a rafia laminada é feito o corte a frio. A lâmina se desloca horizontalmente para efetuar o corte. Para a rafia

simples, o corte é feito a quente. A lâmina é aquecida através de uma resistência e desloca-se verticalmente para efetuar corte.

A empresa dispõe de duas máquinas de corte e costura. Para diferenciá-las, serão chamadas de Máquina de Corte e Costura 1 (MAQ 1) e Máquina de Corte e Costura 2 (MAQ 2). A MAQ 2 é um pouco mais moderna em relação à MAQ 1. É capaz de realizar cortes a quente e a frio com eficácia. A MAQ 1 também é capaz de realizar ambos os tipos de corte, porém por conta de uma falha de projeto, quando este ativo está operando a quente, alguns componentes internos aquecem e se soltam da máquina. Por esta razão ela é operada somente a frio. Conseqüentemente, ela é limitada a produzir somente sacos de rafia laminados.

2.4 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DO ATIVO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA MCC

A seleção do ativo para o tema de estudo foi baseada pensando no pior cenário para a empresa. Primeiramente, foi avaliado os dois tipos de maquinário que a empresa possui: a impressora e a máquina de corte e costura.

A falha da impressora impossibilitaria a empresa de produzir embalagens de rafia impressas, porém a produção de embalagens, tanto de sacos laminados quanto sacos simples, iria continuar. Por outro lado, a falha da máquina de corte e costura iria parar a produção. Assim, define-se que, entre os dois maquinários, a máquina de corte e costura se mostra crítica.

Evoluindo a análise para as duas máquinas de corte e costura, MAQ 1 e MAQ 2, avalia-se que a MAQ 2 apresenta maior criticidade. Pois, se a MAQ 1 falhar, a MAQ 2 ainda conseguirá produzir tanto sacos laminados, quanto sacos simples. No entanto, se a MAQ 2 falhar, a empresa se restringirá a produzir sacos laminados. Dessa forma, conclui-se que a MAQ 2 é o ativo crítico e por esse motivo foi selecionado para a implementação da MCC.

2.5 MANUTENÇÃO

A manutenção do maquinário é predominantemente corretiva. A baixa complexidade das máquinas faz com que a grande maioria das atividades de manutenção seja substituir componentes que falharam por desgaste. O fato destes

componentes serem facilmente encontrados no comércio da região faz com que a empresa não seja muito prejudicada com o tempo de máquina parada. Outro aspecto importante é a falta de um controle de manutenção. A empresa não dispõe de um histórico de manutenções.

2.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordadas questões internas da empresa. Foram apresentados os produtos, as máquinas e como estas funcionam, com um enfoque na máquina de corte e costura, e uma breve discussão sobre a manutenção na empresa.

Este capítulo proporcionou uma visão mais detalhada sobre o objeto de estudo, e também sobre o ambiente no qual ele está inserido. Estas informações são indispensáveis para a aplicação do tema deste trabalho.

O próximo capítulo descreverá o procedimento de implementação da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) de acordo com as normas SAE JA1011 e SAE JA1012. Procedimento o qual será aplicado na máquina de corte e costura, apresentada neste capítulo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma breve introdução sobre a manutenção centrada em confiabilidade (MCC) e a descrição do procedimento de implementação de acordo com as normas SAE JA1011 e SAE JA1012.

3.1 INTRODUÇÃO

O surgimento da MCC está relacionado à aviação civil americana. Mais especificamente, com o lançamento do *Boeing 747*, na década de 70. O porte avantajado desta aeronave e o nível de complexidade de seus equipamentos, fez com que sua segurança de voo fosse questionada. As práticas de manutenção utilizadas naquela época eram economicamente inviáveis. Se fazia necessário desenvolver um procedimento de manutenção diferenciado (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; RIGONI, 2009).

Em 1967, criou-se o MSG 1 (*Maintenance Steering Group* – Grupo de Direcionamento da Manutenção), uma força tarefa constituída por representantes de linhas aéreas, fabricantes e a entidade governamental americana FAA (*Federal Aviation Administration* – Administração Federal de Aviação). A missão da equipe era elaborar uma política de manutenção capaz de garantir a segurança, confiabilidade e reduzir custos atrelados (SOUZA, 2012b; RIGONI, 2009).

A equipe encontrou a solução para o caso desenvolvendo uma política de manutenção estruturada que, ao invés de realizar tarefas de manutenção em um intervalo de tempo fixo, identifica as tarefas de manutenção aplicáveis, de modo a garantir que o ativo cumpra suas funções no contexto operacional. Em outras palavras, criou-se a MCC (MOUBRAY, 2001; RIGONI, 2009).

O relatório do caso, escrito pelos engenheiros participantes do MSG 1 (F. S. Nowlan e H. F. Heap), foi publicado em 1978 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, e se tornou o primeiro documento que abordava a MCC, ou RCM (*Reliability Centered Maintenance*) (SAE JA 1011, 1999)

Desde então, a RCM tem sido utilizada para auxiliar a formulação de estratégias de manutenção de ativos físicos em quase todas as áreas do empreendimento humano organizado, e em quase todos os países industrializados no mundo. O processo definido por Nowlan e Heap serviu

como base para vários documentos de aplicação, nos quais o processo RCM tem sido aprimorado e redefinido durante os anos seguintes (SAE JA 1011, 1999, p. 1).

É importante frisar que a MCC não é um tipo de manutenção, e sim, uma metodologia para identificar as tarefas de manutenção. Esta metodologia busca responder a sete perguntas (RIGONI, 2009; SOUZA, 2012a):

- 1) Quais são as funções do ativo em seu contexto operacional?
- 2) Quais são as falhas funcionais?
- 3) Quais são os modos de falha?
- 4) Quais são os efeitos da falha?
- 5) Quais são as consequências dos efeitos do modo de falha no meio ambiente, na segurança, na operação do sistema e na economia do processo?
- 6) O que pode ser feito para prevenir cada falha?
- 7) O que deve ser feito caso não seja encontrada uma tarefa aplicável e efetiva?

Estas perguntas são respondidas ao longo do processo de implementação da MCC. Existem diferentes procedimentos de implementação certificados que podem ser adotados de acordo com a aplicabilidade. Por exemplo, para o ramo de componentes elétricos e eletrônicos, pode-se adotar o procedimento da IEC (*International Electrotechnical Commission* – Comissão Eletrotécnica Internacional) (RIGONI, 2009).

Para este trabalho adotou-se o procedimento da SAE (*Society of Automotive Engineers* – Sociedade de Engenheiros Automotivos), pelo fato de ser um procedimento bem escrito e com ampla aplicabilidade (RIGONI, 2009).

3.2 PROCEDIMENTO DE IMPLEMENTAÇÃO DA MCC

A metodologia adotada para este trabalho é proposta pelas normas SAE JA1011 e SAE JA1012. A primeira, aborda os critérios mínimos que um processo deve cumprir para que possa ser denominado MCC (SAE JA1011, 1999). A segunda, é uma norma que foi criada com o objetivo de complementar a primeira. A

SAE JA1011 demanda um alto grau de familiaridade com os conceitos e terminologia relacionados a MCC. A SAE JA1012 busca amplificar e, quando necessário, esclarecer os principais conceitos e termos, especialmente aqueles que são exclusivos da MCC (SAE JA1012, 2002).

Este procedimento é composto por sete etapas, onde cada uma delas busca responder a uma das perguntas apresentadas anteriormente neste capítulo. São elas:

- Etapa 1 - Funções;
- Etapa 2 - Falhas Funcionais;
- Etapa 3 - Modos de Falha;
- Etapa 4 - Efeito das Falhas;
- Etapa 5 - Consequências das Falhas;
- Etapa 6 - Gerenciamento da Falha e suas Consequências;
- Etapa 7 - Gerenciamento do Programa de MCC.

3.2.1 Etapa 1 - Funções

Na primeira etapa, deve ser especificado o contexto operacional em que o ativo se encontra, e listadas as funções deste ativo, tanto as primárias quanto secundárias (SAE JA1011, 1999).

Ao definir uma função deve conter um verbo, um objeto e um padrão de desempenho, quantificado sempre que possível. O padrão de desempenho será o nível de performance desejada pelo proprietário ou usuário do ativo, dentro do seu contexto operacional (SAE JA1012, 2002).

3.2.2 Etapa 2 – Falhas Funcionais

Na segunda etapa, todos os estados de falha associados a cada uma das funções devem ser identificados (SAE JA1011, 1999).

3.2.3 Etapa 3 – Modos de Falha

Na terceira etapa, qualquer modo de falha que possa, razoavelmente, causar uma falha funcional deve ser identificado. Sendo “razoavelmente” um critério que cabe ao proprietário ou usuário do ativo julgar (SAE JA1011, 1999; SAE JA1012, 2002).

Segundo a norma SAE JA1012 (2002), é importante que sejam listados os modos de falha que já aconteceram, modos de falha que estão sendo prevenidos por atividades de manutenção e modos de falha que ainda não aconteceram, mas são possíveis de acontecer no contexto operacional.

A lista de modos de falha deve conter qualquer evento ou processo que possivelmente cause uma falha funcional, incluindo deterioração, erros de projeto e erros humanos (SAE JA1012, 2002).

3.2.4 Etapa 4 – Efeitos de Falha

Na quarta etapa, devem ser descritos os efeitos de cada falha funcional, ou seja, retratar o que aconteceria se nenhuma tarefa fosse executada para prever, prevenir ou detectar a falha (SAE JA1011, 1999; SAE JA1012, 2002).

Qualquer informação necessária para apoiar a avaliação das consequências da falha deve ser incluída nessa etapa (SAE JA1012, 2002).

3.2.5 Etapa 5 – Consequências das Falhas

Na quinta etapa, as consequências das falhas são primeiramente categorizadas em modos de falhas ocultos e modos de falha evidentes. Em seguida, são sub-categorizadas em modos de falha que tenham consequências que afetam a segurança e o meio ambiente, e modos de falha que causem apenas consequências econômicas (SAE JA1011, 1999; SAE JA1012, 2002).

Conforme a norma SAE JA1012 (2002), para caracterizar a consequência de uma falha, deve-se analisar como se não houvesse, no momento, nenhuma atividade específica a ser executada para prever, prevenir ou detectar a falha.

3.2.6 Etapa 6 – Gerenciamento das Falhas e suas Consequências

Na sexta etapa, o gerenciamento de falhas e suas consequências levará em consideração que a probabilidade condicional de ocorrer alguns modos de falha irá crescer com o tempo, de que a probabilidade condicional de ocorrer outros modos de falha irá se manter constante ao longo do tempo, e de que a probabilidade condicional de ocorrer outros modos de falha irá diminuir com o tempo (SAE JA1011, 1999; SAE JA1012, 2002).

As políticas de manutenção, e as tarefas programadas, devem ser viáveis (tecnicamente e economicamente) e efetivas. Em caso de duas ou mais políticas propostas serem viáveis e efetivas, deve-se adotar aquela que possua um menor custo (SAE JA1012, 2002).

A seleção de políticas de gerenciamento de falhas deve ser realizada como se não houvesse, no momento, sendo executada nenhuma tarefa específica para prever, prevenir ou detectar a falha (SAE JA1012, 2002).

3.2.7 Etapa 7 – Gerenciamento do Programa de MCC

A sétima etapa trata-se do acompanhamento e realimentação do procedimento, para que o mesmo possa ser aperfeiçoado ao longo do tempo (SAE JA1011, 1999).

Segundo a norma SAE JA1012 (2002), isto se faz necessário pelos seguintes motivos:

- a) Os dados utilizados em uma análise inicial podem ser imprecisos e, com o passar do tempo, a quantidade de dados será maior e mais precisa;
- b) É possível que os padrões de operação do ativo sejam modificados, juntamente com as expectativas de seu desempenho;
- c) A constante evolução das tecnologias de manutenção faz com que sejam realizadas revisões periódicas para garantir que o programa de gerenciamento de falhas e suas consequências continue a atender as expectativas funcionais dos seus proprietários e usuários.

3.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada uma breve introdução sobre a MCC, e descrito detalhadamente o procedimento de implementação da mesma, de acordo com as normas SAE JA1011 e SAE JA1012.

O referencial teórico abordado contribuiu para um melhor entendimento sobre o tema de estudo. A descrição detalhada das etapas do procedimento servirá de base para a próxima seção.

O capítulo em seguida irá relacionar os assuntos tratados nos capítulos 2 e 3. Será retratada a aplicação do procedimento de implementação, descrito no capítulo 3, na Máquina de Corte e Costura 2 (MAQ 2), apresentada no capítulo 2.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo irá tratar a aplicação de cada uma das etapas de implementação, descritas no capítulo anterior, na Máquina de Corte e Costura 2 (MAQ 2) de embalagens de rafia.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Antes de iniciar as etapas do procedimento, algumas considerações devem ser feitas para facilitar o entendimento da próxima seção. Ao longo deste capítulo, alguns itens atrelados ao ativo receberão um código de identificação (ID) para simplificar o reconhecimento destes itens. Para o caso de componentes iguais utilizados em etapas diferentes do processo, serão utilizados os números 1 e 2 para distingui-los.

O ativo que será submetido à análise e implementação da MCC é a MAQ 2. Este sistema pode ser dividido em três subsistemas, são eles: Transporte, Corte e Costura. O Quadro 4.1 apresenta o sistema, os subsistemas, a função de cada subsistema, os componentes e seus respectivos ID.

Quadro 4.1 – Sistema, subsistemas, funções e componentes.

Sistema	Máquina de Corte e Costura 2		ID_Sistema	MAQ 2	
ID_Subistema	Subsistema	ID_Função	Função	ID_Componente	Componente
TRA	Transporte	F1	Transportar a rafia durante o processo	1.1	Motor elétrico 1
				1.2	Correia de potência
				1.3	Tracionador
				1.4	Correia de transporte 1
				1.5	Correia de transporte 2
				1.6	Motor elétrico 2
COR	Corte	F2	Cortar o saco nas especificações	2.1	Lâmina
				2.2	Resistência
				2.3	Sensor óptico 1
COS	Costura	F3	Costurar o saco	3.1	Agulha
				3.2	Motor elétrico (máquina de costura)
				3.3	Sensores ópticos 2
				3.4	Tesoura

Fonte: O Autor, (2019).

4.2 ETAPAS 1 A 4

As etapas 1 a 4 serão cumpridas através de um FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* – Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade). Esta ferramenta permite identificar e documentar as funções do ativo, as falhas funcionais, os modos de falha, seus efeitos no subsistema, no sistema e na planta, e a criticidade.

Para cada modo de falha é definido um índice de criticidade, que é determinada por três fatores: severidade, ocorrência e detecção. A severidade refere-se à gravidade do efeito da falha. A ocorrência é a frequência de incidência da falha. A detecção é a capacidade de identificar as causas do modo de falha antes que a falha funcional ocorra.

A criticidade, também chamada de Número de Prioridade de Risco (NPR), é definida pelo produto dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). Esses índices se encontram entre 0 a 10 e são classificados de acordo com os quadros a seguir.

O Quadro 4.2 apresenta a classificação quanto a severidade do efeito do modo de falha.

Quadro 4.2 – Classificação de Severidade.

Severidade (S) do Efeito do Modo de Falha	Impacto na Função devido à Severidade dos Efeitos do Modo de Falha	Classificação
Perigoso Sem Aviso	Impacto na segurança, saúde ou meio ambiente. A falha ocorrerá sem aviso.	10
Perigoso Com Aviso	Impacto na segurança, saúde ou meio ambiente. A falha ocorrerá com aviso.	9
Muito Alto	Impacto muito alto. A função é perdida e é necessário um longo período de tempo para restauração da normalidade.	8
Alto	Impacto alto. Parte da função é perdida e é necessário um longo período de tempo até a restauração da normalidade.	7
Moderado	Impacto moderado. Parte da função é perdida e é necessário um período de tempo moderado até a restauração da normalidade.	6
Baixo	Impacto baixo. A função é prejudicada necessitando ser verificada.	5
Muito Baixo	Impacto moderado. Parte da função é prejudicada necessitando ser verificada.	4
Pequeno	Impacto reduzido. A falha demora algum tempo para ser reparada, mas não afeta a função.	3
Muito Pequeno	Impacto insignificante. A falha pode ser reparada rapidamente.	2
Nenhum	Não se verificam efeitos na segurança, saúde ou meio ambiente.	1

Fonte: Rigoni, (2009).

O Quadro 4.3 apresenta a classificação quanto a ocorrência da causa de falha. Neste quadro, observa-se que a ocorrência pode ser avaliada por diferentes critérios.

Quadro 4.3 – Classificação de Ocorrência.

Critérios avaliar a Probabilidade de Ocorrência (O) da Causa da Falha			Classificação
Obs.: Utilizar 1 dos 3 Critérios.			
Falhas em função do Tempo em Operação (horas)	Falhas em função do Ciclo Operacional (ciclos)	Confiabilidade baseada no Tempo Requerido pelo Usuário [C(t) %]	
1 em 1	1 em 90	$C(t) < 1\% \rightarrow MTBF \cong 10\%$ do tempo em operação	10
1 em 8	1 em 900	$C(t) = 5\% \rightarrow MTBF \cong 30\%$ do tempo em operação	9
1 em 24	1 em 36.000	$C(t) = 19\% \rightarrow MTBF \cong 60\%$ do tempo em operação	8
1 em 80	1 em 90.000	$C(t) = 37\% \rightarrow MTBF$ igual ao tempo em operação	7
1 em 350	1 em 180.000	$C(t) = 61\% \rightarrow MTBF$ 2 vezes maior do que o tempo em operação	6
1 em 1.000	1 em 270.000	$C(t) = 78\% \rightarrow MTBF$ 4 vezes maior do que o tempo em operação	5
1 em 2.500	1 em 360.000	$C(t) = 85\% \rightarrow MTBF$ 6 vezes maior do que o tempo em operação	4
1 em 5.000	1 em 540.000	$C(t) = 90\% \rightarrow MTBF$ 10 vezes maior do que o tempo em operação	3
1 em 10.000	1 em 900.000	$C(t) = 95\% \rightarrow MTBF$ 20 vezes maior do que o tempo em operação	2
1 em 25.000	1 em mais de 900.000	$C(t) = 98\% \rightarrow MTBF$ 50 vezes maior do que o tempo em operação	1

Fonte: Rigoni, (2009).

O Quadro 4.4 apresenta a classificação quanto a detecção da causa da falha.

Quadro 4.4 – Classificação de Detecção.

Chances de Detecção (D)	Critério para avaliar a Probabilidade de Detecção (D) da Causa da Falha	Classificação
Quase Impossível	Os dispositivos de controle existentes não irão detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha. Ou não existe um dispositivo de controle relacionado com esta causa/mecanismo.	10
Muito Remota	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito remota.	9
Remota	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é remota.	8
Muito Baixa	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito baixa.	7
Baixa	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é baixa.	6
Média	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é moderada.	5
Moderadamente Alta	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é moderadamente alta.	4
Alta	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é alta.	3
Muito Alta	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é muito alta.	2
Quase Certa	A possibilidade que os dispositivos de controle existentes detectem a causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha é quase certa.	1

Fonte: Rigoni, (2009).

A partir das funções listadas no Quadro 4.1, foi feito um FMECA. O mesmo foi dividido em três partes para apresentar com maior clareza a análise de cada subsistema.

Os ID Modo de Falha (MF), foram codificados de acordo com o componente do sistema que estão relacionados (observar Quadro 4.1). Para diferentes modos de falha atribuídos para um mesmo componente, foi acrescentado a letra A, B e C para identifica-los.

O Quadro 4.5 apresenta o FMECA do subsistema Transporte.

Quadro 4.5 – FMECA referente ao subsistema Transporte.

ID_Função	Função	ID_Falha Funcional	Falha Funcional	ID_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
F1	Transportar a rafia durante o processo	FF1	Não transportar o material	MF 1.1	Falha no motor elétrico A	Motor parado	Máquina parada	Interrupção da alimentação de rafia para o processo	8	Falta de manutenção no motor A	2	Ruído	1	16
				MF 1.2	Rompimento da correia de potência	Correia rompida	Máquina parada	Interrupção da alimentação de rafia para o processo	8	Desgaste da correia	3	Visual	1	24
				MF 1.3	Falha no tracionador	Tracionador não entra em contato com a rafia	Máquina parada	Interrupção da alimentação de rafia para o processo	8	Travamento de um do pistão pneumático	2	Visual	2	32
				MF 1.4	Rompimento da correia de transporte A	Correia rompida	Máquina parada	Interrupção da alimentação de unidades de rafia para o processo	8	Desgaste da correia	3	Visual	1	24
				MF 1.5	Rompimento da correia de transporte B	Correia rompida	Máquina em operação	Acúmulo de embalagens na pilha	1	Desgaste da correia	2	Visual	1	2
				MF 1.6	Falha no motor elétrico B	Motor parado	Máquina em operação	Embalagens desempilhadas	2	Falta de manutenção no motor B	2	Ruído	1	4
				MF 1.7	Falha no empilhador	Empilhador travado	Máquina em operação	Embalagens desempilhadas	2	Travamento do pistão pneumático	1	Visual	1	2

Fonte: O Autor ,(2019).

O Quadro 4.6 apresenta o FMECA do subsistema Corte.

Quadro 4.6 – FMECA referente ao subsistema Corte.

ID_Função	Função	ID_Falha Funcional	Falha Funcional	ID_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
F2	Cortar os sacos nas especificações	FF2	Não cortar os sacos dentro das especificações	MF 2.1A	Lâmina sem fio	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	7	Desgaste da lâmina	6	Visual	4	168
				MF 2.1B	Lâmina parcialmente em contato com a rafia	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	7	Travamento de um dos pistões pneumáticos	3	Visual	2	42
				MF 2.1C	Lâmina sem contato com a rafia	Corte não realizado	Falha de processo	Retrabalho	6	Travamento do par de pistões pneumáticos	2	Visual	2	24
				MF 2.2A	Lâmina fria para o corte a quente	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	7	Falta de corrente elétrica na resistência	2	Medição da corrente elétrica	5	70
				MF 2.2B	Lâmina fria para o corte a quente	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	7	Erro do operador (regulagem da temperatura para corte)	4	Controle de qualidade	3	84
				MF 2.3A	Sacos com dimensão fora do padrão	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	7	Sensor óptico desregulado	3	Controle de qualidade	5	105
				MF 2.3B	Lâmina não corta a rafia	Corte não realizado	Falha de processo	Retrabalho	6	Sensor óptico desativado	2	Visual	2	24

Fonte: O Autor, (2019).

O Quadro 4.7 apresenta o FMECA do subsistema Costura.

Quadro 4.7 – FMECA referente ao subsistema Costura.

ID_Função	Função	ID_Falha Funcional	Falha Funcional	ID_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
F3	Costurar o saco	FF3	Não costurar o saco dentro das especificações	MF 3.1	Quebra da agulha	Máquina não costura o saco	Falha de processo	Retrabalho	6	Desgaste da agulha	3	Visual	3	54
				MF 3.2	Falha no motor elétrico (máquina de costura)	Máquina não costura o saco	Falha de processo	Retrabalho	6	Falta de manutenção no motor (máquina de costura)	3	Ruído	3	54
				MF 3.3A	Tesoura não corta a linha entre os sacos	Sacos unidos	Falha de processo	Retrabalho	6	Sensor(es) óptico(s) desativado(s)	2	Visual	3	36
				MF 3.3B	Tesoura corta os sacos	Sacos unidos	Falha de processo	Descarte do material	7	Sensores óptico desregulados	3	Controle de qualidade	3	63
				MF 3.4	Tesoura não corta a linha entre os sacos	Sacos unidos	Falha de processo	Retrabalho	6	Travamento do pistão pneumático	2	Visual	1	12

Fonte: O Autor, (2019).

Analisando o FMECA dos três subsistemas como um todo, e organizando os índices de criticidade em ordem decrescente, é possível identificar os modos de falha com o maior nível de criticidade, conforme o Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – FMECA ordenado por nível de criticidade decrescente.

ID_Função	ID_Falha Funcional	ID_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Causas do Modo de Falha	NPR (ISO)
				Local	Sistema	Planta		
F2	FF2	MF 2.1A	Lâmina sem fio	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	Desgaste da lâmina	168
F2	FF2	MF 2.3A	Sacos com dimensão fora do padrão	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	Sensor óptico desregulado	105
F2	FF2	MF 2.2B	Lâmina fria para o corte a quente	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	Erro do operador (regulagem da temperatura para corte)	84
F2	FF2	MF 2.2A	Lâmina fria para o corte a quente	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	Falta de corrente elétrica na resistência	70
F3	FF3	MF 3.3B	Tesoura corta os sacos	Sacos unidos	Falha de processo	Descarte do material	Sensores óptico desregulados	63
F3	FF3	MF 3.1	Quebra da agulha	Máquina não costura o saco	Falha de processo	Retrabalho	Desgaste da agulha	54
F3	FF3	MF 3.2	Falha no motor elétrico (máquina de costura)	Máquina não costura o saco	Falha de processo	Retrabalho	Falta de manutenção no motor (máquina de costura)	54
F2	FF2	MF 2.1B	Lâmina parcialmente em contato com a ráfia	Corte irregular	Falha de processo	Descarte do material	Travamento de um dos pistões pneumáticos	42
F3	FF3	MF 3.3A	Tesoura não corta a linha entre os sacos	Sacos unidos	Falha de processo	Retrabalho	Sensor(es) óptico(s) desativado(s)	36
F1	FF1	MF 1.3	Falha no tracionador	Tracionador não entra em contato com a ráfia	Máquina parada	Interrupção da alimentação de ráfia para o processo	Travamento de um do pistão pneumático	32
F1	FF1	MF 1.2	Rompimento da correia de potência	Correia rompida	Máquina parada	Interrupção da alimentação de ráfia para o processo	Desgaste da correia	24
F1	FF1	MF 1.4	Rompimento da correia de transporte A	Correia rompida	Máquina parada	Interrupção da alimentação de unidades de ráfia para o processo	Desgaste da correia	24
F2	FF2	MF 2.1C	Lâmina sem contato com a ráfia	Corte não realizado	Falha de processo	Retrabalho	Travamento do par de pistões pneumáticos	24
F2	FF2	MF 2.3B	Lâmina não corta a rafia	Corte não realizado	Falha de processo	Retrabalho	Sensor óptico desativado	24
F1	FF1	MF 1.1	Falha no motor elétrico A	Motor parado	Máquina parada	Interrupção da alimentação de ráfia para o processo	Falta de manutenção no motor A	16
F3	FF3	MF 3.4	Tesoura não corta a linha entre os sacos	Sacos unidos	Falha de processo	Retrabalho	Travamento do pistão pneumático	12
F1	FF1	MF 1.6	Falha no motor elétrico B	Motor parado	Máquina em operação	Embalagens desempilhadas	Falta de manutenção no motor B	4
F1	FF1	MF 1.5	Rompimento da correia de transporte B	Correia rompida	Máquina em operação	Acúmulo de embalagens na pilha	Desgaste da correia	2
F1	FF1	MF 1.7	Falha no empilhador	Empilhador travado	Máquina em operação	Embalagens desempilhadas	Travamento do pistão pneumático	2

Fonte: O Autor, (2019).

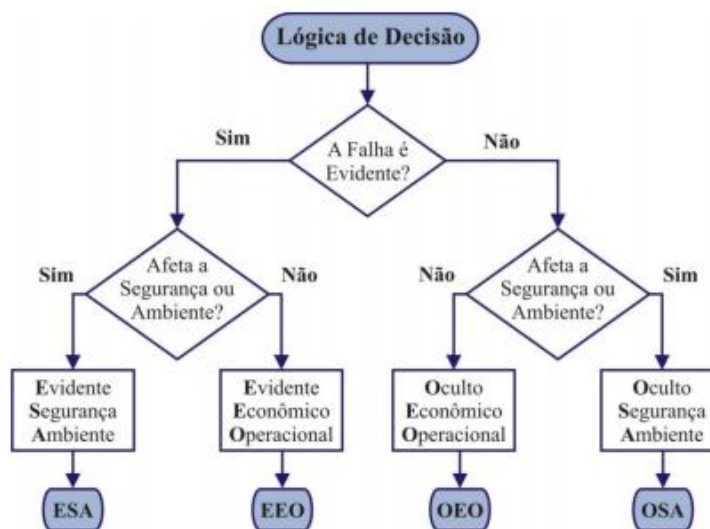
Com base no Quadro 4.8, é possível notar que dentre os cinco maiores índices de criticidade, quatro deles estão relacionados a falha da função F2. Isto indica que o subsistema Corte possui a maior criticidade.

Partindo da mesma lógica, nota-se que dentre os cinco menores índices de criticidade, quatro deles estão relacionados a falha da função F1. Isto mostra que o subsistema Transporte possui a menor criticidade.

4.3 ETAPA 5

A etapa 5 irá expôr e classificar as consequências dos modos de falha listados na sessão anterior. Foi utilizada a lógica de decisão apresentada no Diagrama 4.1 para realizar a classificação. O resultado está apresentado no Quadro 4.9.

Diagrama 4.1 – Lógica de classificação das consequências das falhas.



Fonte: Rigoni, (2009).

Quadro 4.9 – Classificação das consequências dos modos de falha.

ID_Função	ID_Falha_Funcional	ID_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem consequências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria
							ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional
F1	FF1	MF 1.1	Falha no motor elétrico A	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 1.2	Rompimento da correia de potência	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 1.3	Falha no tracionador	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 1.4	Rompimento da correia de transporte A	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 1.5	Rompimento da correia de transporte B	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 1.6	Falha no motor elétrico B	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 1.7	Falha no empilhador	Sim	Não	Sim	EEO
F2	FF2	MF 2.1A	Lâmina sem fio	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 2.1B	Lâmina parcialmente em contato com a rafia	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 2.1C	Lâmina sem contato com a rafia	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 2.2A	Lâmina fria para o corte a quente	Não	Não	Sim	OEO
		MF 2.2B	Lâmina fria para o corte a quente	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 2.3A	Sacos com dimensão fora do padrão	Não	Não	Sim	OEO
		MF 2.3B	Lâmina não corta a rafia	Sim	Não	Sim	EEO
F3	FF3	MF 3.1	Quebra da agulha	Não	Não	Sim	OEO
		MF 3.2	Falha no motor elétrico (máquina de costura)	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 3.3A	Tesoura não corta a linha entre os sacos	Sim	Não	Sim	EEO
		MF 3.3B	Tesoura corta os sacos	Sim	Não	Sim	OEO
		MF 3.4	Tesoura não corta a linha entre os sacos	Sim	Não	Sim	EEO

Fonte: O Autor, (2019).

A partir do Quadro 4.9, é possível observar que todos os modos de falha foram classificados como Evidente Econômico Operacional (EEO) ou Oculto Econômico Operacional (OEO). Isto indica que nenhum dos modos de falha deste ativo oferece risco a segurança e o meio ambiente.

Em relação à proporção de modos de falha categorizados como EEO e OEO, nota-se que dos 19 itens, 15 foram classificados como EEO. Isto indica que grande parte dos modos de falha são evidentes, ou seja, mais fáceis de detectar.

4.4 ETAPA 6

A etapa 6 irá definir as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para cada um dos modos de falha. Estas tarefas e suas descrições estão apresentadas no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Tarefas de manutenção.

TAREFA DE MANUTENÇÃO	DESCRIÇÃO
Serviço Operacional	Atividades repetitivas e de simples execução, porém necessárias para o processo. Como por exemplo, lubrificar certos componentes de uma máquina antes de iniciar a operação. Essas tarefas geralmente são realizadas pelo próprio operador.
Inspeção Preditiva	Atividade de inspeção detectar ou prever uma deteriorização funcional, sem desmontar o ativo.
Restauração Preventiva	Atividade programada de restauração de um componente baseada no tempo ou na condição.
Substituição Preventiva	Atividade programada de descarte e substituição de um componente baseada no tempo ou na condição.
Inspeção Funcional	Atividade programada de inspeção e/ou ensaio para detectar uma falha funcional oculta antes de evoluir para uma falha múltipla.
Manutenção Combinada	Combinação de atividades de manutenção. É aplicada quando nenhuma tarefa de manutenção pode, isoladamente, detectar e/ou corrigir a falha.
Mudança de Projeto	Atividades que alteram as especificações funcionais de projeto do ativo.
Reparo Funcional	Atividade de reparo do ativo realizada quando o mesmo é operado até falhar (Run to Failure).

Fonte: Adaptado de Rigoni, (2009).

Os quadros a seguir apresentam tanto as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas, quanto as tarefas propostas para aplicar em cada modo de falha dos subsistemas Transporte, Corte e Costura, respectivamente.

O Quadro 4.11 exhibe as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Transporte.

Quadro 4.11 - Tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Transporte.

ID_Função	ID_Falha_Funcional	ID_Modo de Falha	Consequência	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	ID_Tarefa	
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional			
F1	FF1	MF 1.1	EEO			X							Limpeza e lubrificação dos componentes do motor elétrico	T 1.1
		MF 1.2	EEO									X	Substituição da correia	T 1.2
		MF 1.3	EEO			X							Limpeza e lubrificação do cilindro do pistão pneumático	T 1.3
		MF 1.4	EEO									X	Substituição da correia	T 1.4
		MF 1.5	EEO									X	Substituição da correia	T 1.5
		MF 1.6	EEO			X							Limpeza e lubrificação dos componentes do motor elétrico	T 1.6
		MF 1.7	EEO			X							Limpeza e lubrificação do cilindro do pistão pneumático	T 1.7

Fonte: O Autor, (2019).

O Quadro 4.12 exibe as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Corte.

Quadro 4.12 - Tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Corte.

ID_Função	ID_Falha_Funcional	ID_Modo de Falha	Consequência	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	ID_Tarefa		
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional				
F2	FF2	MF 2.1A	EEO									X	Substituição da lâmina	T 2.1A	
		MF 2.1B	EEO			X							Limpeza e lubrificação do cilindro do pistão pneumático	T 2.1B	
		MF 2.1C	EEO			X							Limpeza e lubrificação do cilindro do pistão pneumático	T 2.1C	
		MF 2.2A	OEO					X					Medição da corrente elétrica	T 2.2A	
		MF 2.2B	EEO	X										Verificação e ajuste da temperatura para o corte	T 2.2B
		MF 2.3A	OEO					X						Calibração do sensor óptico	T 2.3A
		MF 2.3B	EEO										X	Substituição do sensor óptico	T 2.3B

Fonte: O Autor, (2019).

O Quadro 4.13 exibe as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Costura.

Quadro 4.13 - Tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas para o subsistema Costura.

ID_Função	ID_Falha_Funcional	ID_Modo de Falha	Consequência	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	ID_Tarefa	
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional			
F3	FF3	MF 3.1	OEO									X	Substituição da agulha	T 3.1
		MF 3.2	EEO			X							Contratar um serviço de manutenção especializado	T 3.2
		MF 3.3A	EEO									X	Substituição do(s) sensor(es) óptico(s)	T 3.3A
		MF 3.3B	OEO					X					Calibração dos sensores ópticos	T 3.3B
		MF 3.4	EEO			X							Limpeza e lubrificação do cilindro do pistão pneumático	T 3.4

Fonte: O Autor, (2019).

4.5 ETAPA 7

A etapa 7 trata-se do acompanhamento e realimentação do procedimento. Como o objetivo deste estudo é uma proposta de implementação de MCC, não há como iniciar esta etapa até que a proposta seja aceita e implementada pela empresa.

4.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordadas as considerações adotadas e a aplicação das etapas de implementação no tema de estudo. Métodos documentais foram utilizados como procedimento de coleta e análise de dados.

O capítulo 4 apresentou o desenvolvimento do tema de estudo. Os resultados foram obtidos a partir da análise de dados e serão discutidos nas considerações finais.

O próximo capítulo irá apresentar a síntese dos resultados, as dificuldades encontradas, as soluções para estas dificuldades, as conclusões resultantes do processo e os benefícios para a empresa. Também serão sugeridos temas para trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

Este capítulo irá apresentar as conclusões sobre o tema de estudo, com base nos resultados obtidos no capítulo anterior. Também serão sugeridos temas para trabalhos futuros.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi propor um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), com base no procedimento de implementação das normas SAE JA1011 e SAE JA1012, para a Máquina de Corte e Costura 2 (MAQ 2), a fim de estabelecer um controle de manutenção e aumentar a disponibilidade desta máquina.

A análise de modos de falha, efeitos e criticidade (FMECA), revelou o Corte como subsistema crítico para o ativo, visto que os maiores níveis de criticidade pertencem a modos de falha relacionados a este subsistema. Este resultado indica que a prevenção dos modos de falha de Corte, através de um programa de manutenção, seria o ponto de partida para aumentar a disponibilidade da máquina.

Em relação às consequências dos modos de falha, nota-se que nenhuma delas se mostrou prejudicial à segurança e/ou ao meio ambiente. Isto evidencia a segurança do processo, um aspecto positivo para a empresa.

Ainda sobre as consequências, observa-se que a grande maioria foi classificada como EEO (Evidente com impacto Econômico e Operacional), ou seja, a grande parte das consequências dos modos de falha são evidentes. Isto as torna mais fáceis de identificar. Outro aspecto positivo para a empresa.

A dificuldade enfrentada por este estudo, foi a falta de registros de manutenção e manuais dos ativos por parte da empresa. O conhecimento do processo, do maquinário e seus componentes teve de ser obtido indo a campo. Assim como o registro das máquinas teve de ser feito através de fotografias.

A implementação da MCC na MAQ 2 se mostra benéfica para a empresa. Um programa de manutenção iria, não só criar uma cultura de documentação de manutenção na empresa, como também a deixar mais preparada para identificar e agir de acordo com cada modo de falha que possa ocorrer.

Outro fator positivo é a similaridade entre a MAQ 2 e a MAQ 1. Pelo fato da operação destas máquinas ser muito semelhante, a MCC da MAQ 2 serviria como modelo para uma futura implementação da MCC na MAQ 1.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, caso a implementação da MCC na MAQ 1 seja aceita, indica-se realizar um estudo para avaliar o acompanhamento e realimentação do procedimento.

Sugere-se também, como tema de estudo a implementação da MCC na Impressora e na MAQ 1, que são os dois outros ativos que fazem parte do maquinário da empresa.

REFERÊNCIAS

- FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte, **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro, Editora Elsevier, 2009.
- MOUBRAY, Johnbra. **Reliability Centered Maintenance**. New York, Editora Industrial Press, 2001.
- PETROBRAS. **Noções de Confiabilidade**: Programa de Formação de Operadores de Produção e Refino de Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, 2002.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio de Aquino Nascif, **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 2012.
- RIGONI, Emerson. **Metodologia da implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade**: uma abordagem fundamentada em Sistema Baseados em Conhecimento e Lógica Fuzzy. Florianópolis, 2009. 342p.
- SAE JA 1011. **Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes**. Society of automotive Engineers, 1999.
- SAE JA 1012. **A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) standard**. Society of automotive Engineers, 2002.
- SAE JA 1739. **Potential Failure Mode and effects Analysis in Design**. Society of automotive Engineers, 2002.
- SANTOS, Lucas Matheus Marcondes dos, **Arquivo de fotos**. Curitiba, 2019.
- SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**: Manual de Implantação. Rio de Janeiro: Abraman, 2005.
- SOUZA, André Moriggi de. **Implantação de um Programa de Manutenção Centrada na Confiabilidade no Setor de Utilidades da BRF Brasil Foods Unidade Produtiva Paranaguá**. 2012(a). N.f.40.Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade Aplicada à Manutenção) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2012.
- SOUZA, Heraldo José Lopes de. **Proposta de Um Programa de Manutenção Centrada na Confiabilidade para uma Impressora Industrial**. 2012(b). 73 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade aplicada à manutenção) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR-PR, Curitiba, 2012.