

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA

BRUNO CESAR MOREIRA
GUILHERME NICIAKI PAULIN

**APLICAÇÃO DE RCM NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE
UMA LINHA DE EXTRUSÃO DE NÃO TECIDO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

BRUNO CESAR MOREIRA
GUILHERME NICIANKI PAULIN

**APLICAÇÃO DE RCM NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE
UMA LINHA DE EXTRUSÃO DE NÃO TECIDO**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2 do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. João Mário Fernandes

CURITIBA

2015

TERMO DE ENCAMINHAMENTO

Venho, por meio deste termo, encaminhar para apresentação a monografia do Projeto de Pesquisa “APLICAÇÃO DE RCM NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE UMA LINHA DE EXTRUSÃO DE NÃO TECIDO”, realizada pelos alunos Bruno Cesar Moreira e Guilherme Niciaki Paulin, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. João Mário Fernandes
UTFPR - Damec

Curitiba, 11 de janeiro de 2014.

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa " APLICAÇÃO DE RCM NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE UMA LINHA DE EXTRUSÃO DE NÃO TECIDO", realizado pelos alunos Bruno Cesar Moreira e Guilherme Niciaki Paulin, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Msc. João Mário Fernandes
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Msc. Tiago Rodrigues Weller
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Prof. Msc. João Carlos Roso
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 02 de Fevereiro de 2015

RESUMO

O RCM, do inglês *Reliability Centered Maintenance* (Manutenção Centrada em Confiabilidade), é uma técnica de manutenção que vem sendo adotada em várias empresas no mundo. Consiste na implantação de uma sistemática de manutenção baseada nas possíveis falhas e funcionalidades de um determinado equipamento de uma linha produtiva. Isso faz com que se obtenha um aumento na disponibilidade e confiabilidade de máquina, diminuição de perdas, melhores condições para planejamento de produção, dentre outras vantagens. Visando um aumento de rentabilidade da produção, este trabalho faz a aplicação do conceito de RCM em parte de uma unidade de extrusão de uma linha de produção de não tecidos. A partir do levantamento e análise do histórico de falhas dos equipamentos foi realizado um estudo para identificar quais os tipos (preventiva, preditiva e corretiva) e frequências de manutenções mais adequadas para cada tipo de equipamento presente na linha de produção e com o apoio de manuais e corpo técnico foi levantado quais as possíveis falhas presentes em cada equipamento. Quando realizado o cruzamento desses dados relatados anteriormente de forma priorizada (por funcionalidades) com o custo de manutenção e o custo de uma quebra de máquina, pode ser determinada uma sistemática de manutenção para a linha em estudo com alto grau de confiabilidade e qualidade. Consequentemente a implementação de um projeto como este aumenta a margem de lucro por quilo produzido e também aumenta a vida útil dos equipamentos. Outro ganho considerável que se obtém é uma melhora nas condições de trabalho para o setor de manutenção da empresa, pois reduzindo o número de falhas e aumentando a qualidade de manutenções preventivas e preditivas, pode-se trabalhar de uma forma mais planejada e organizada.

Palavras-chave: RCM, confiabilidade, manutenção, falha, disponibilidade.

ABSTRACT

The Reliability Centered Maintenance (RCM) is a maintenance technique that has been adopted in several companies in the world. It consists of the implementation of a systems-based maintenance in the possible failures and functionality of a piece of equipment of a production line. This makes obtain an increase in the availability and machine reliability, reduced losses, best condition for production planning among other advantages. Aiming to increase the profitability of production, this work is the application of the RCM concept in an extrusion unit of a nonwoven production line. From the survey and analysis of equipment failure history a study was conducted to identify what types (preventive, predictive and corrective) and frequency most appropriate maintenance for each type of equipment in the production line and with the support of machine manuals and staff was raised what possible flaws present in each equipment. When done the crossing of previously reported data prioritized form (features) with the cost of maintenance and the cost of a machine breakage, can be determined a systematic maintenance for online study with a high degree of reliability and quality. Consequently the implementation of such a project increases the profit margin per kilogram produced and also extends the life of the equipment. Another considerable gain you get is an improvement in working conditions for the company's maintenance sector, for reducing the number of failures and increasing the quality of preventive maintenance, you can work in a more planned and organized manner.

Keywords: RCM, reliability, maintenance, failure, availability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Relação entre confiabilidade e custo de produção.....	10
Figura 2-Relação entre confiabilidade e custo de manutenção.....	11
Figura 3- Curva da banheira.....	11
Figura 4-Vista frontal bomba de vácuo.....	22
Figura 5 - Vista frontal sistema de dosagem	23
Figura 6-Vista lateral extrusora	24
Figura 7 - Vista frontal extrusora	25
Figura 8-Quebras de máquina devida por corretivas	26
Figura 9-Horas de falha geradas por manutenções corretivas.....	27
Figura 10-Sistemas de interferência dos componentes do sistema de dosagem.....	30
Figura 11-Sistemas de interferência dos componentes do sistema de alimentação de matéria prima	30
Figura 12-Sistemas de interferência dos componentes da extrusora.....	30
Figura 13-Sistemas de interferência dos equipamentos	31
Figura 14 - NPR X Equipamentos Analisados.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Lista de funções componentes bomba de vácuo	22
Tabela 2-Lista de funções componentes sistema de dosagem.	24
Tabela 3-Lista de funções componentes sistema de dosagem.	25
Tabela 4- Dados de confiabilidade, taxa de falhas e TMEF para o sistema de alimentação de matéria prima.	28
Tabela 5- Dados de confiabilidade, taxa de falhas e TMEF para o sistema de dosagem.	29
Tabela 6-Dados de confiabilidade, taxa de falhas e TMEF para a extrusora.	29
Tabela 7- Valores de manutenibilidade, TMPR e número de reparos no sistema de alimentação de matéria prima	32
Tabela 8-Valores de manutenibilidade, TMPR e numero de reparos no sistema de dosagem.	33
Tabela 9-Valores de manutenibilidade, TMPR e número de reparos na extrusora.	33
Tabela 10- Curvas de falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.	34
Tabela 11-Curvas de falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.	35
Tabela 12- Curvas de falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.	36
Tabela 13- Lista de possíveis falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.	37
Tabela 14-Lista de possíveis falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.	38
Tabela 15-Lista de possíveis falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.	39

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

RCM – *Reliability Centered Maintenance*

DPA – Disponibilidade própria por pane

SAP - *Systeme, Anwendungen und Produkte*

TMEF- Tempo médio entre falhas

TMPR- Tempo médio para reparo

NPR – Número de prioridade de risco

FMEA - *Failure mode and effects analysis*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Contexto do Tema	6
1.2	Caracterização do Problema	7
1.3	Objetivos	7
1.4	Justificativa	8
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1	Confiabilidade	9
2.1.1	Desempenho e falha	10
2.1.2	Taxa de falhas	11
2.1.3	Disponibilidade	12
2.2	Manutenção e manutenção centrada em confiabilidade (RCM)	13
2.3	RCM como uma ferramenta para otimização das operações e atividades de manutenção	13
2.4	Os princípios da RCM	14
2.5	Os passos básicos do processo RCM	14
2.5.1	Preparação	15
2.5.2	Análise	15
2.5.3	Seleção de tarefas	16
2.5.4	Comparação das tarefas	16
2.5.5	Registros	17
2.6	Utilização do FMEA no RCM.	17
3	METODOLOGIA	19
3.1	Descrição da Metodologia	19
3.1.1	Levantamento de dados	19
3.1.2	Estudo do plano de manutenção existente	20
3.1.3	Análise dos dados	21
3.1.4	Estudo dos tipos de falhas presentes nos componentes	33
3.1.5	Análise da criticidade das falhas:	39
3.2	Estruturação do plano de manutenção.	41
4	RESULTADOS	42
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	44
	ANEXO A - LISTA DE SOBRESSALENTES	45
	ANEXO B - FMEA	47
	ANEXO C – PARETO FMEA	50
	ANEXO D – PLANO DE MANUTENÇÃO FINAL	53

1 INTRODUÇÃO

A implantação de uma sistemática de manutenção baseada em RCM é um dos métodos mais confiáveis disponíveis hoje, pois nele se estuda com precisão todos os modos de falha de um equipamento presente em uma linha produtiva. Isso faz com que se tenha uma alta confiabilidade de manutenção, que é um desejo de todas as empresas, principalmente aquelas que possuem um processo contínuo de produção e com uma dificuldade de instalação de “bolsões” de produção, pois nestas uma falha de um equipamento pode gerar a parada de toda a linha de produção gerando grandes perdas financeiras.

É necessária a identificação de inúmeros equipamentos e todas as funções de cada um, sendo elas primárias ou secundárias dentro da cadeia produtiva. A partir disso são priorizadas as funções e colocados como prioritário os equipamentos com funções mais críticas dentro da sistemática de manutenção.

As principais dificuldades são o levantamento com confiabilidade de todos estes dados e a execução de todas as tarefas da sistemática de manutenção que será implantada, visto que temos inúmeros equipamentos.

1.1 Contexto do Tema

Visando uma melhor performance da linha de produção será implantada uma sistemática de manutenção em parte de uma linha de produção de não tecidos baseada na teoria de manutenção centrada em confiabilidade. A linha de produção em estudo já possui um plano de manutenção preventiva e preditiva implantado há cerca de 3 anos e periodicamente essa sistemática é atualizada, porém sem um embasamento teórico e sim com base em ocorrências de falha no dia a dia de produção. Na empresa em questão será a primeira vez que será implantada a sistemática de manutenção baseada no RCM. Para a implantação desta sistemática será usada a fundamentação teórica em manutenção e processos vistos durante o curso, fazendo com que seja criada com um alto nível de confiabilidade.

1.2 Caracterização do Problema

O foco deste trabalho é desenvolver uma sistemática de manutenção que evite falhas por manutenção durante o processo produtivo pois estas falhas além de gerar perdas de produção também diminuem o rendimento das linhas produtivas pois ficam paradas. Além disso, quando temos uma linha de produção com paradas inesperadas temos uma baixa acuracidade do planejamento de produção e que pode vir a afetar o prazo de entregas para clientes, gerando assim perdas financeiras para a empresa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolvimento de uma sistemática de manutenção baseada no RCM para aumento de desempenho e diminuição dos custos de manutenção.

1.3.2 Objetivos específicos

Criação de um plano de manutenção utilizando a teoria do RCM, juntamente com seus afluentes que seriam:

- Organização e redução de custos com sobressalentes;
- Desenvolvimento do corpo técnico de manutenção;
- Melhoria da qualidade de informação das bases de dados e indicadores do setor.

1.4 Justificativa

Atualmente, mesmo com um plano de manutenção já implementado, temos um nível de falha acima do citado pelo fabricante do equipamento, onde este afirma em manuais que a disponibilidade própria por pane DPA, que é aquela que leva em consideração apenas falhas devido a problemas de manutenção, deve estar em 95%, devido que temos obrigatoriamente a parada deste equipamento para manutenção preventiva com frequência de 30 dias.

Conforme dados levantados no sistema de manutenção utilizado pela empresa temos no ano de 2013 uma DPA média de 87%. Considerando a informação acima temos um bom ganho disponível para captação que aumenta quando contabilizamos as 13 linhas de produção existente na empresa.

A implantação de um processo deste vem de encontro ao que verificamos nas disciplinas relacionadas com esta situação problema, onde esta tem a oferecer uma grande experiência de captação de ganhos e aumento de rendimento de um processo produtivo.

Para a aplicação deste trabalho foi escolhido a fase inicial do processo devido a este ser mais crítico, pois é onde temos o maior número de equipamentos da linha de produção, 30% de toda a linha, e também é onde se tem a maior influência na qualidade do produto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Manutenção centrada em confiabilidade (*Reliability centered maintenance*, RCM) é uma técnica inicialmente desenvolvida pela indústria aeronáutica que foca prevenir falhas cujas consequências podem ser sérias. Foi desenvolvida nos anos 60 quando jatos muito grandes estavam entrando em serviço e as companhias aéreas estavam preocupadas que pelo grande tamanho e complexidade dessas aeronaves, os métodos de manutenção comum poderiam torná-las não econômicas.

Anteriormente a manutenção preventiva era baseada no tempo. Em contraste, o RCM é baseado nas condições, com intervalos de manutenção baseados na criticidade dos equipamentos e dados de desempenho. Após adotar essa aproximação as companhias descobriram que os custos de manutenção permaneceram constantes, mas a disponibilidade e confiabilidade de suas aeronaves aumentou devido aos esforços despendidos na manutenção de equipamentos mais suscetíveis de causar problemas sérios. Como resultado, o RCM é hoje utilizado pela maior parte das companhias aéreas e indústrias (Viana, 2001).

2.1 Confiabilidade

“Confiabilidade é a probabilidade que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso” Kardec e Nascif (2001:96).

Pode ser expressa pela equação (2.1):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

$R(t)$ é a confiabilidade em um tempo t

$e = 2,303$ (base dos logaritmos neperianos)

λ é a taxa de falhas, o número total de falhas por período de operação

t é o tempo de operação

2.1.1 Desempenho e falha

O desempenho de um equipamento pode ser Inerente, que é o desempenho que o equipamento pode fornecer e Requerido, que é o que queremos obter.

O termo falha é utilizado quando o desempenho previsto não é alcançado ou quando a função de um item é interrompida. À medida que o número de falhas aumenta, a confiabilidade de um item diminui.

Nas Figuras 1 e 2 são expressados os custos de produção e manutenção em função da confiabilidade.

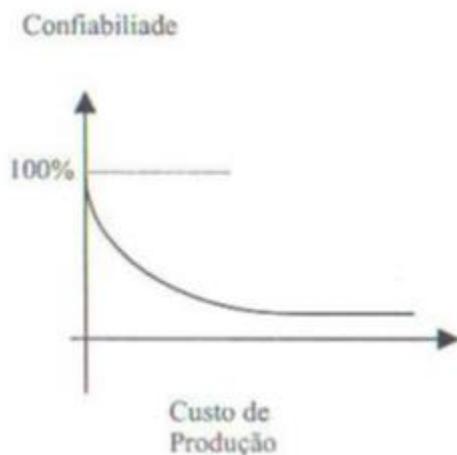


Figura 1-Relação entre confiabilidade e custo de produção

Fonte : Kardec e Nascif (2001)

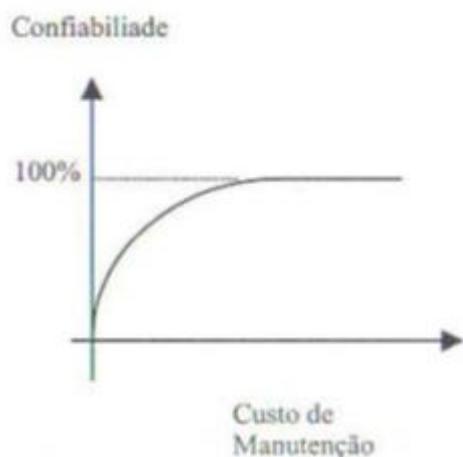


Figura 2-Relação entre confiabilidade e custo de manutenção.

Fonte-Kardec e Nascif (2001)

2.1.2 Taxa de falhas

A Figura 3 é chamada de curva da banheira devido ao seu formato. Ela mostra a taxa de falhas em função do tempo.

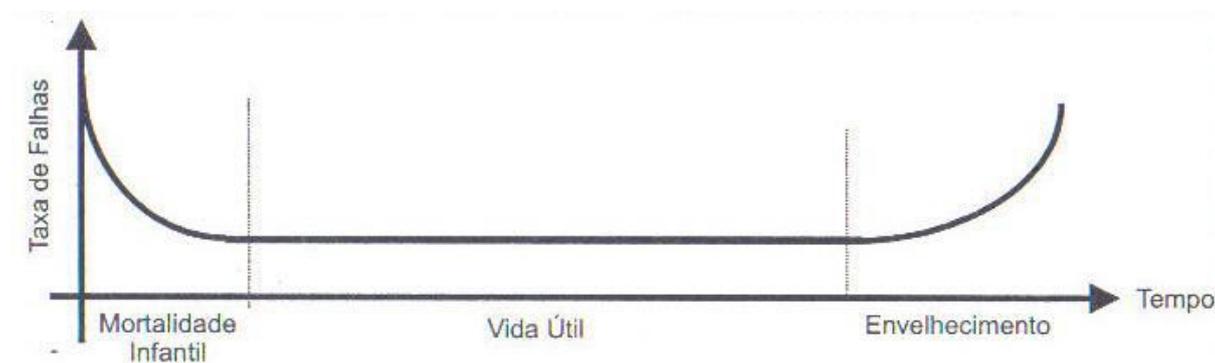


Figura 3- Curva da banheira

Fonte-Xenos (2004)

É dividida em três partes:

Mortalidade Infantil - São as falhas prematuras, como processo de fabricação deficiente, contaminação, mão de obra desqualificada, amaciamento insuficiente, etc.

Vida Útil - São falhas casuais, constantes ao longo do tempo, causadas por fatores menos controláveis como fenômenos naturais imprevisíveis, defeitos não detectáveis em ensaios e fadiga ou corrosão.

Envelhecimento – São falhas por desgaste, que será maior com o passar do tempo, como degradação de resistência, abrasão, manutenção insuficiente ou deficiente, etc.

A taxa de falhas é dada pela equação 2.2

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número total de horas de operação}} \quad (2.2)$$

2.1.3 Disponibilidade

Disponibilidade é a relação entre o tempo em que o equipamento ou instalação ficou disponível para produzir e o tempo total (Kardec e Nascif, 2001).

O tempo médio entre falhas (TMEF) é o tempo médio em que um serviço fica disponível sem interrupção. É medido a partir do momento em que o serviço começa a funcionar, até sua próxima falha. É o inverso da taxa de falhas como mostra a equação 2.3.

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \quad (2.3)$$

O tempo médio para reparo (TMPR) é o tempo médio levado para reparar um equipamento após uma falha. O TMPR é medido a partir de quando o serviço falha até que seja reparado.

A disponibilidade pode ser expressa pela equação 2.4.

$$\text{DISPONIBILIDADE} = \frac{\text{TMEF}}{(\text{TMEF} + \text{TMPR})} \quad (2.4)$$

2.2 Manutenção e manutenção centrada em confiabilidade (RCM)

As instalações e equipamentos são instalados e empregados para fazer o que os usuários querem que eles façam. A manutenção é realizada em várias formas para assegurar que as instalações e equipamentos continuem a fazer o que os usuários querem que eles façam. O RCM determina quais manutenções precisam ser feitas e quais testes e inspeções devem ser realizados para apoiar a estratégia de manutenção.

Os resultados de uma análise RCM podem resultar em mudanças nas tarefas de manutenção preventiva existentes, no uso de condições monitoradas, em inspeções e testes funcionais e na adição ou eliminação dessas tarefas.

Quando usada efetivamente pode resultar num aumento de segurança e confiabilidade da instalação e otimização das operações e atividades de manutenção.

O RCM não é um processo que resulta em benefícios a curto prazo. Aqueles que o adotam devem estar preparados para um período de retorno de 5 a 10 anos.

2.3 RCM como uma ferramenta para otimização das operações e atividades de manutenção

O RCM é uma ferramenta para tomada de decisões. Operações e programas de manutenção podem beneficiar os processos envolvidos na tomada de decisões.

Os objetivos claros do RCM são aumentar a confiabilidade e reduzir o custo das atividades de manutenção. Quando realizado de forma eficaz resulta tanto na

eliminação de tarefas de manutenção desnecessárias quanto na introdução de medidas para lidar com omissões e deficiências nos programas de manutenção.

2.4 Os princípios da RCM

O processo de análise RCM centra-se nas funções das instalações e equipamentos, nas consequências de falhas e nas medidas para prevenir ou lidar com a falha funcional. O processo deve estabelecer respostas para as seguintes sete perguntas (John Moubray, 1997)

- Quais são as funções e padrões de desempenho da planta?
- De que maneira falha em cumprir as suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- Qual a importância de cada falha?
- O que pode ser feito para prever e prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se uma tarefa proativa adequada não puder ser encontrada?

2.5 Os passos básicos do processo RCM

O RCM não é um processo autônomo, mas uma parte integrante das operações e programas de manutenção. A introdução do processo RCM envolve mudanças para processos de trabalho estabelecidos. Para a introdução bem sucedida de tais mudanças é importante que a gestão demonstre seu compromisso com as mesmas, possivelmente na forma de uma declaração política e envolvimento pessoal e que sejam tomadas medidas para estabelecer também o envolvimento daqueles que serão afetados. O RCM funciona melhor quando empregado como um

processo realizado de baixo para cima, começando pelos que trabalham diretamente na operação e manutenção de instalações e equipamentos.

2.5.1 Preparação

A fase de preparação tem uma série de etapas que envolvem, basicamente, a seleção dos sistemas a serem analisados, recolhendo os dados necessários para a análise. Além disso, devem ser estabelecidas regras ou critérios a serem utilizados no processo de seleção e análise. Os estágios da preparação podem ser resumidos como:

- Sistema de seleção;
- Definição dos limites do sistema;
- Aquisição de documentação e materiais;
- Entrevistas com o pessoal da instalação.

2.5.2 Análise

Uma vez que os sistemas foram selecionados e as preparações foram concluídas, a análise pode começar. Ter experiência no processo de análise é importante para a efetiva tomada de decisão. Os dados contidos nos sistemas normalmente são muito abrangentes e o gerenciamento do conhecimento não é tão bem desenvolvido numa linha de extrusão em que toda a experiência é capturada na base de dados. Por esta razão, é importante que o pessoal com experiência local de operação e manutenção da planta esteja envolvido no processo de análise.

A primeira etapa do processo de análise, portanto, é a montagem de uma equipe com uma gama adequada de qualificações e experiência para a tarefa. A análise envolve as seguintes fases:

- Identificação das funções do sistema;

- Sistema de análise de falha funcional;
- Identificação do equipamento;
- Coleta de dados de confiabilidade e desempenho;
- Identificação de modos de falha;
- Identificação dos efeitos de falha;
- Determinação do componente criticidade.

2.5.3 Seleção de tarefas

Quando a análise tiver sido concluída a parte seguinte do processo é alocar tarefas de manutenção adequadas aos sistemas e equipamentos identificados no processo de análise, de acordo com o significado que lhes é atribuído, ou seja, como sendo crítico ou não-crítico. Esta parte do processo vai procurar estabelecer os meios mais eficientes para proporcionar a estratégia de manutenção em matéria de confiabilidade, obtenção de segurança e metas econômicas e ambientais.

O processo de seleção de tarefa usa várias formas de decisão lógica para conclusões de uma forma sistemática. Os resultados podem incluir:

- Manutenção preventiva;
- Monitoramento das condições;
- Inspeção e testes funcionais.

2.5.4 Comparação das tarefas

Quando as tarefas forem concluídas e revistas, as recomendações decorrentes do processo de seleção de tarefas serão comparadas com as práticas de manutenção atuais. O objetivo desta comparação é identificar as mudanças necessárias para o programa de manutenção e o impacto sobre os recursos.

2.5.5 Registros

O RCM deve fazer parte de um programa de vida. Os resultados do processo de análise e implantação das recomendações terão impacto sobre a eficácia das operações e programas de manutenção. É importante, portanto, que todas as decisões, a base para elas e os envolvidos em fazê-las sejam documentadas, de modo a disponibilizar estas informações para aqueles que realizam revisões subsequentes da estratégia de manutenção (IRESON, 1997).

2.6 Utilização do FMEA no RCM.

O FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), ou Análise de Modos de Falhas e Efeitos é uma técnica para analisar as causas e efeitos de cada modo de falha, resultando em ações corretivas de acordo com a criticidade e sua principal característica é ser um processo indutivo (Lafraia, 2001).

As etapas de elaboração do nosso formulário FMEA seguem a ordem:

Campo 1 – Item - Termo geral que designa o sistema.

Campo 2 e 3 – Nome do componente ou etapa do processo – São os elementos que constituem o sistema.

Campo 4 – Identificação dos modos de falhas – são identificados os modos de falhas que levem a falhas funcionais.

Campo 5 – Frequência de ocorrências – Estimativa da ocorrência de falha. É estabelecido um índice para cada causa de 1 a 10, sendo o 1 a probabilidade remota e 10 falhas inevitáveis.

Campo 6 – Gravidade dos efeitos – Reflete a severidade do efeito da falha. É estabelecido um índice para cada efeito de 1 a 10, sendo o 1 a gravidade muito baixa, sem efeito real e o 10 para gravidade muito alta, que envolve riscos de operação.

Campo 7 – Detectabilidade – Avalia a probabilidade de uma falha ser detectada antes que afete o sistema. Os índices variam de 1, muito alta, onde certamente será detectada durante o processo de fabricação, e 10, completamente indetectável.

Campo 8 – Custo – É mensurado o custo que a falha representa no processo, sendo 1 muito baixo e 10 muito alto.

Campo 9 – NPR – É o número de prioridade de risco, obtido da multiplicação dos campos 5, 6, 7 e 8 (Frequência x Gravidade x Detectabilidade x Custo). O NPR é conhecido como Índice de Risco e falhas com um índice de risco alto devem ser tratadas com prioridade.

No anexo B podemos observar a tabela FMEA..

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição da Metodologia

Como citado anteriormente, neste trabalho iremos aplicar os conceitos da manutenção centrada em confiabilidade em parte de uma linha de extrusão de não tecido, conhecida também como *Nonwoven*, onde uma falha de equipamento que venha a ocasionar a parada da linha tem como consequência grande perda de matéria prima e horas de produção, pois a mesma trabalha 24 horas por dia.

Os equipamentos que serão analisados estão descritos abaixo:

Sistema de alimentação de material: Esse equipamento também é conhecido como bomba de vácuo, sua função é transportar o material dos silos de estocagem para o sistema de dosagem a partir de tubos e mangueiras.

Sistema de dosagem: Consiste no processo inicial da fabricação, onde são dosados as misturas de polipropileno em *pellets* (pequenos grãos) e os pigmentos também em *pellets*, essa dosagem é feita a partir de um sistema conhecido como dosagem gravimétrica.

Extrusora: Nesta etapa do processo é que se faz a extrusão do material com a aplicação de calor e pressão sobre o polipropileno, com o objetivo de fundir o material para extrudar e formar os filamentos presentes nas mantas de não tecido.

3.1.1 Levantamento de dados

Foi realizado um levantamento dos dados de ocorrências que ocasionaram falhas do equipamento desde 2011. Esta base de dados foi retirada do sistema de gestão de manutenção utilizado pela empresa, o SAP. Ela contempla ocorrências de manutenção tanto preventivas quando corretivas, estendendo também para falhas nas máquinas originadas por problemas operacionais ou de processo.

É de suma importância para este trabalho a organização dos dados a fim de evitar erros, pois estes que nos guiarão por todo o estudo. Por isso foi realizada uma análise com atenção a fim de expurgar erros de apontamentos, os quais foram encontrados diversas vezes na base analisada. Um exemplo é a alocação de ocorrências ou falhas operacionais em falhas por problemas de manutenção.

Outra fonte de dados utilizada neste trabalho foi o manual de equipamentos do fabricante de origem alemã Reicofil, pertencente ao grupo Reifenhauer. Neste manual tivemos acesso aos desenhos das máquinas e informações de alguns sobressalentes estratégicos, porém estes estavam cadastrados com o código de localização do fabricante da máquina e não dos fabricantes dos sobressalentes. Isto dificulta muito pois muitos dos componentes são comerciais, não precisando comprar via importação da fabricante Reicofil caso tenhamos as especificações corretas dos componentes.

Com a finalização da análise dos manuais chegou-se à conclusão que não tínhamos grande parte das peças sobressalentes identificadas. Decidiu-se então realizar a coleta desses dados na própria máquina em dias de parada para setup de produção e manutenção programada. Esta lista de sobressalentes encontra-se anexa a este trabalho.

As informações de processo e instruções de trabalhos também foram retiradas dos manuais do fabricante, porém estas instruções não serão citadas aqui devido a não liberação da mesma por parte da empresa por conter instruções e informações estratégicas de produção.

3.1.2 Estudo do plano de manutenção existente

Atualmente a empresa já possui um plano de manutenção implementado, porém este apresenta indícios que está mal distribuído e apresenta custo elevado pois na maioria dos casos as peças verificadas e trocadas estão em perfeito estado. O principal motivo disto é que este plano é baseado no tempo.

Foi realizado um estudo desta estratégia adotada e em resumo conseguimos pontuar os seguintes itens:

- Com relação à frequência das atividades encontramos diversas incoerências como por exemplo limpeza dos filtros do sistema de dosagem com frequência inferior ao indicado pelo fabricante, motores que dificilmente apresentam defeitos sendo verificados varias vezes por mês, esses fatos acabam gerando custos além dos necessários.

- Listas de tarefas de preventivas não estão claras aos olhos dos técnicos de manutenção e podem gerar dúvidas.

- Trabalhos de baixa complexidade sendo executados por técnicos de alta formação.

- Falta de uma estratégia de sobressalentes.

Porém vemos estes pontos levantados como oportunidade de melhoria e não problemas pois na maioria dos equipamentos esta estratégia está atendendo a meta de *Down-time*.

Com esse estudo concluímos que as atividades de manutenção estão superdimensionadas gerando altos custos e alto risco de paradas longas, pois não temos uma gestão de peças sobressalentes adequadas.

3.1.3 Análise dos dados

3.1.3.1 Análise das funções dos equipamentos e componentes

Foram levantadas todas as funções principais e secundárias de cada componente presente dentro dos equipamentos analisados e em seguida identificado se uma possível falha de componente gera uma falha na função principal do equipamento.

Para cada equipamento, em conjunto com um time selecionado dentro da manutenção da companhia, foram levantados os desenhos e analisadas as funções e impactos que cada um gera no processo.

Os resultados para o sistema de alimentação de material ou bomba de vácuo podem ser visualizados na Figura 4 e Tabela 1.

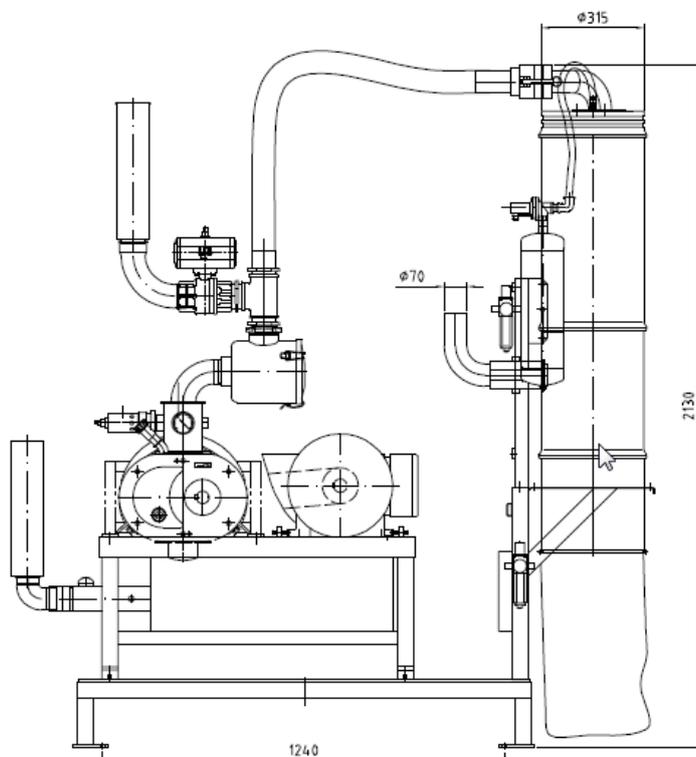


Figura 4-Vista frontal bomba de vácuo

Fonte 1- Reicofil

Tabela 1- Lista de funções componentes bomba de vácuo

NUM	EQUIPAMENTOS	FUNÇÃO PRINCIPAL	FUNÇÃO SECUNDÁRIA	IMPACTO (GERA PARADA)
1	Bomba de vácuo	Gerar vácuo	N/A	Sim
2	Motor CA	Acionamento bomba de vácuo	N/A	Sim
3	Filtro principal	Evitar envio de impurezas para o sistema de dosagem	N/A	Sim
4	Filtro de ar	Evitar envio de impurezas para a bomba de vácuo	N/A	Sim
5	Recipiente de descarte	Coletar sujeira do filtro	N/A	Não
6	Válvulas pneumáticas direcionais	Controlar atuação da geração de vácuo	N/A	Sim
7	Reguladores de pressão	Controlar pressão pneumática do sistema	N/A	Não
8	Abafador de ruído	Minimizar ruído da bomba de vácuo	N/A	Não
9	Mangueiras sanfonadas	Conduzir vácuo e/ou matéria prima	N/A	Sim
10	Suporte para bomba	Fixação do conjunto	N/A	Não

Fonte - Autoria própria

Para o sistema de dosagem ou dosador os resultados são apresentados na Figura 5 e Tabela 2.

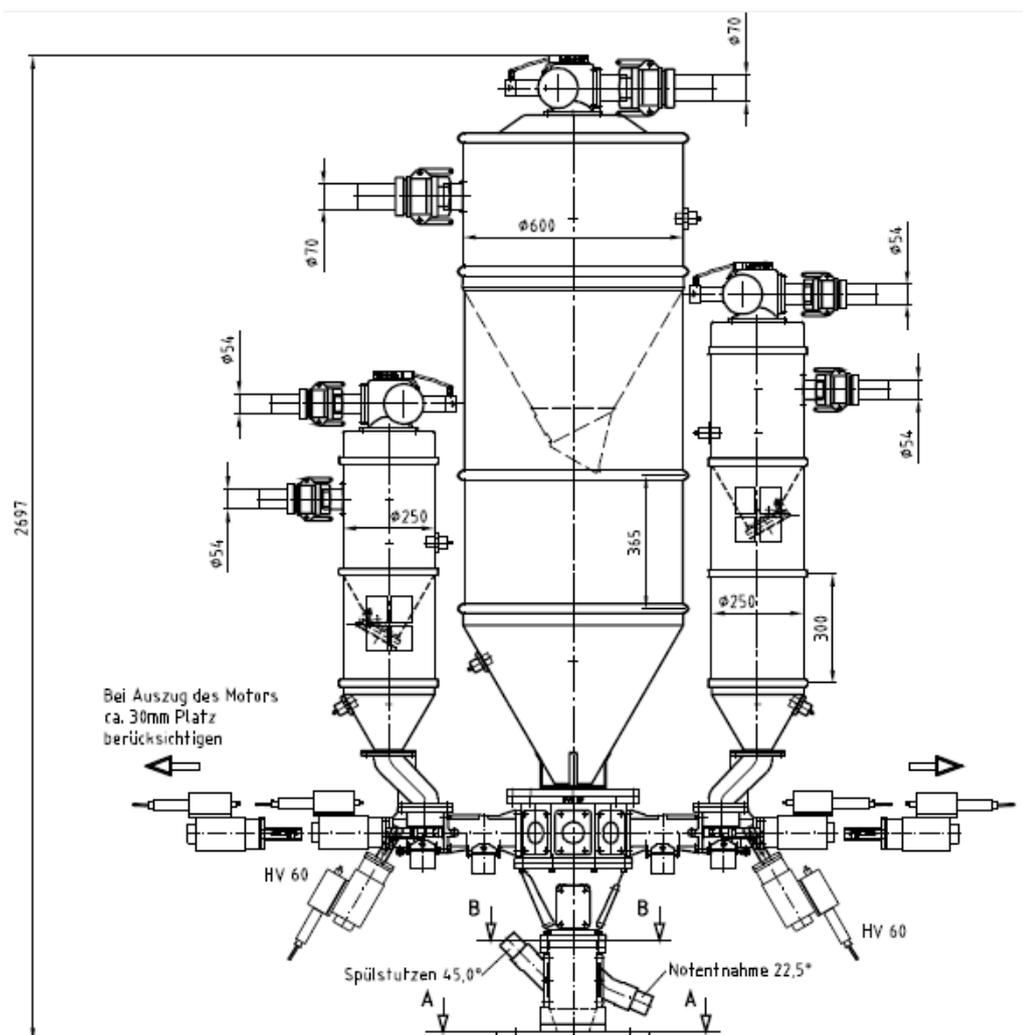


Figura 5 - Vista frontal sistema de dosagem

Fonte 2- Reicofil

Tabela 2-Lista de funções componentes sistema de dosagem.

NUM	EQUIPAMENTOS	FUNÇÃO PRINCIPAL	FUNÇÃO SECUNDÁRIA	IMPACTO (GERA PARADA)
1	Silo de dosagem principal	Realizar o armazenamento de materia prima (PP virgem)	N/A	Não
2	Silos de dosagem secundários	Realizar o armazenamento de materia prima (PP pigmentado)	N/A	Não
3	Cilindro pneumático entrada	Controlar a entrada de matéria prima	N/A	Sim
4	Válvula eletropneumática	Controlar o acionamento de cilindros pneumáticos	N/A	Sim
5	Flaps de dosagem	Controlar o envio de matéria prima para a extrusora	N/A	Sim
6	Sensores capacitivos	Indicar o nível de matéria prima de cada silo	N/A	Sim
7	Rosca de dosagem	Realizar a dosagem correta de cada componente na mistura	N/A	Sim
8	Servomotor	Acionamento da rosca de dosagem	N/A	Sim
9	Vedações dos silos	Evitar a perda de vácuo dentro do silo	N/A	Sim
10	Mangueiras sanfonadas	Transporte de matéria prima	N/A	Sim
11	Visores em acrílico	Identificação visual do fluxo de matéria	N/A	Não
12	Placa perfurada	Auxiliar na mistura homogênea de PP virgem e PP pigmentado	N/A	Não

Fonte-Autoria própria

E nas Figuras 6 e 7 temos os desenhos do sistema de extrusão ou extrusora com os dados apresentados na tabela 3

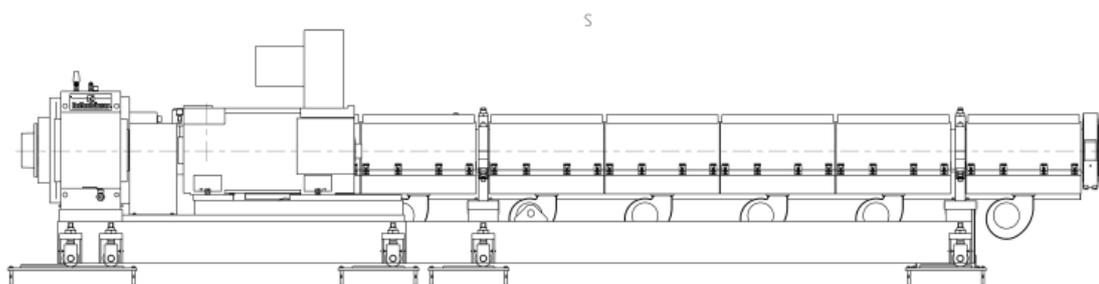


Figura 6-Vista lateral extrusora

Fonte - Reicofil

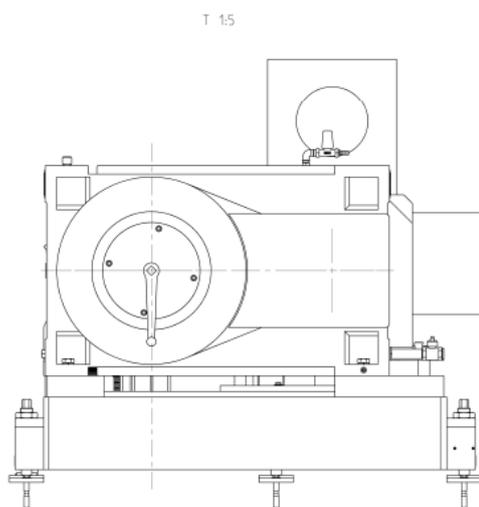


Figura 7 - Vista frontal extrusora

Fonte-Reicofil

Tabela 3-Lista de funções componentes sistema de dosagem.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>FUNÇÃO PRINCIPAL</i>	<i>FUNÇÃO SECUNDÁRIA</i>	<i>IMPACTO (GERA PARADA)</i>
1	Motor de acionamento	Realizar o giro do redutor	N/A	Sim
2	Redutor de acionamento	Transferir o giro e torque para a rosca da extrusora	N/A	Sim
3	Motor de ventilação	Realizar o resfriamento do motor de acionamento	N/A	Não
4	Filtros de ventilação	Evitar que sujeiras entrem nos motores	N/A	Não
5	Serpentina de resfriamento	Resfriar o óleo do redutor	N/A	Não
6	Base do cj de acionamento	Alojamento do e amortecimento do cj de acionamento	N/A	Não
7	Acoplamento	Acoplar o motor ao redutor	N/A	Sim
8	Proteção do acoplamento	Evitar o contato do acoplamento com elementos externos	N/A	Não
9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	Acoplar a rosca ao redutor	N/A	Sim
10	Rosca de extrusão	Conduzir o material extrudado	N/A	Sim
11	Canhão de extrusão	Transferir o aquecimento da resistência para o material	N/A	Não
12	Tubulação do pé da rosca	Resfriar a entrada do material a fim de evitar a solidificação do mesmo	N/A	Sim
13	Registros da tubulação	Restringir a passagem de água	N/A	Sim
14	Resistências	Gerar calor	N/A	Sim
15	Sensores de temperatura	Medir temperatura do material	N/A	Sim
16	Sensores de pressão	Medir pressão de massa do polímero	N/A	Sim
17	Ventiladores	Controlar a temperatura do canhão de	N/A	Não
18	Motores de ventilação	Fornecer giro aos ventiladores	N/A	Não

Fonte-Autoria própria

3.1.3.2 Análise dos dados de falhas de equipamentos e componentes

Com um melhor entendimento das funções dos componentes e da influência de cada um no sistema como um todo, pode-se partir para a análise dos dados de falhas dos equipamentos. Para isso foi utilizado o registros de ocorrência dentro do SAP, que se encontra anexa a este trabalho. Nesta etapa analisam-se somente aqueles equipamentos que quando falham geram impacto direto no volume de produção.

Primeiramente verificam-se os dados de número de quebras de máquina ao longo do período proposto em um âmbito mais geral, mostrado na Figura 8.

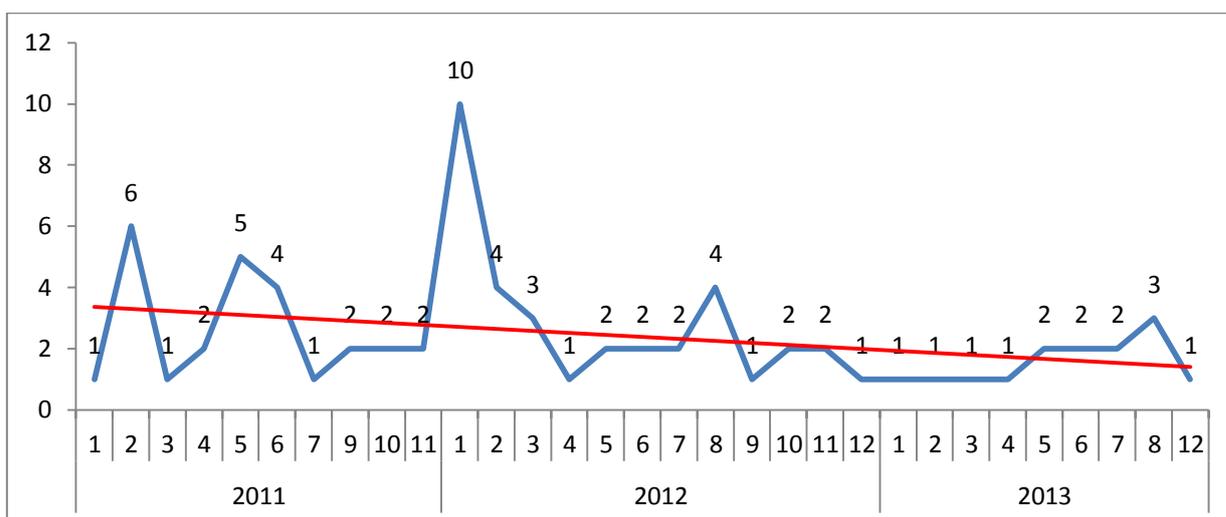


Figura 8-Quebras de máquina devida por corretivas

Fonte-Autoria própria

Logo podemos verificar que apesar da máquina já possuir um plano de manutenção ativo desde junho de 2012, temos ainda um número considerável de quebras de máquina a serem eliminados.

Na Figura 9 temos a duração da soma das quebras de máquinas avaliadas no mesmo período.

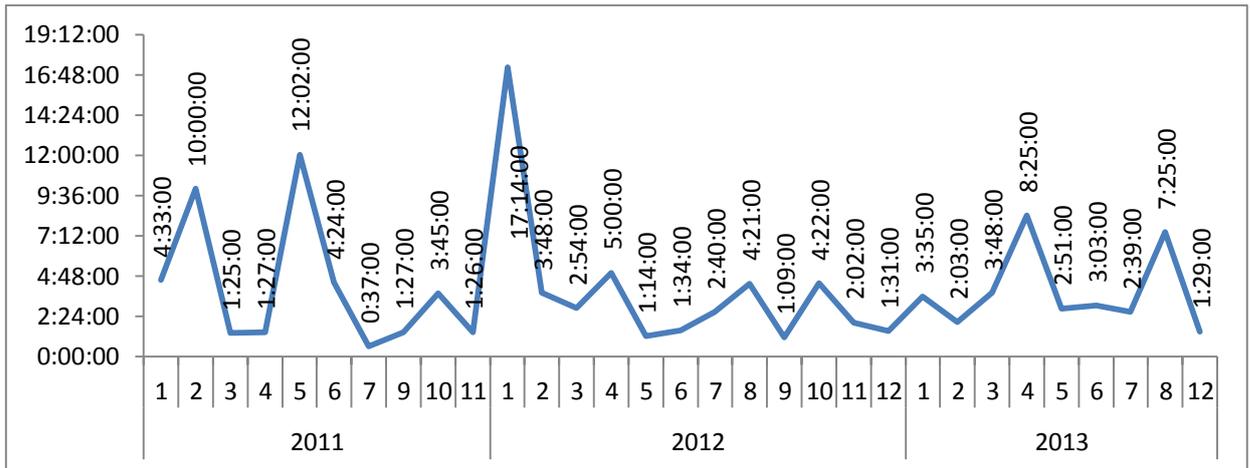


Figura 9-Horas de falha geradas por manutenções corretivas.

Fonte-Autoria própria.

3.1.3.3 Análise de confiabilidade dos componentes

A seguir verifica-se individualmente a confiabilidade de cada equipamento que pode gerar uma parada de máquina para o período de 6 meses, pois para garantirmos a disponibilidade de um equipamento devemos atender um processo de produção ou serviço com confiabilidade e segurança (KARDEC, 2001)

Inicialmente devemos calcular a taxa de falha de cada equipamento que é expressa pela equação 3.1 ou 3.2

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número total de horas de operação}} \quad (3.1)$$

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \quad (3.2)$$

Onde TMEF é o tempo médio de entre as falhas do componente analisado.

Com a taxa de falha determinada, podemos determinar a Confiabilidade de cada componente através da equação 3.3.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.3)$$

Onde t é o tempo requerido de trabalho, neste caso 720 horas, o qual é o intervalo de tempo das paradas preventivas da linha de produção, que é realizada juntamente com as paradas para troca de ferramentas da máquina.

Conforme citado anteriormente será realizada a análise de confiabilidade apenas para os equipamentos que geram impacto no volume de produção.

Através dos dados coletados e também reunião juntamente com o time designado para este trabalho os valores de confiabilidade para os componentes do sistema de alimentação de matéria prima podem ser visualizados na Tabela 4, onde podemos constar que os componentes com confiabilidade mais baixa são os filtros, salientando então que deve-se garantir a execução de manutenção preventiva nesses itens a fim evitar paradas de produção.

Tabela 4- Dados de confiabilidade, taxa de falhas e TMEF para o sistema de alimentação de matéria prima.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>TMEF (horas)</i>	<i>Taxa de falhas</i>	<i>Confiabilidade</i>
1	Bomba de vácuo	6480	1,5E-04	0,89
2	Motor CA	8640	1,2E-04	0,92
3	Filtro principal	1440	6,9E-04	0,61
4	Filtro de ar	2880	3,5E-04	0,78
6	Válvulas pneumáticas direcionais	8640	1,2E-04	0,92
9	Mangueiras sanfonadas	2160	4,6E-04	0,72

Fonte-Autoria própria

E na Tabela 5 temos listada a confiabilidade dos componentes presentes no sistema de dosagem, que tem como seu componente mais crítico as mangueiras

sanfonadas, mostrando a fragilidade deste componente que é comprovado pelo alto índice de reparabilidade nas bases de dados.

Tabela 5- Dados de confiabilidade, taxa de falhas e TMEF para o sistema de dosagem.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>TMEF(horas)</i>	<i>Taxa de falhas</i>	<i>Confiabilidade</i>
3	Cilindro pneumático entrada	17280	5,8E-05	0,96
4	Válvula eletropneumática	8640	1,2E-04	0,92
5	Flaps de dosagem	17280	5,8E-05	0,96
6	Sensores capacitivos	4320	2,3E-04	0,85
7	Rosca de dosagem	17280	5,8E-05	0,96
8	Servomotor	8640	1,2E-04	0,92
9	Vedações dos silos	8640	1,2E-04	0,92
10	Mangueiras sanfonadas	1440	6,9E-04	0,61

Fonte-Autoria própria

Analisando os dados referente a extrusora, mostrados na Tabela 6, verificamos que o ponto crítico é dado pelos conjuntos de resistências que são a fonte de energia do equipamento sob a forma de geração de calor para a fusão do polipropileno.

Tabela 6-Dados de confiabilidade, taxa de falhas e TMEF para a extrusora.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>TMEF (horas)</i>	<i>Taxa de falhas</i>	<i>Confiabilidade</i>
1	Motor de acionamento	12960	7,7E-05	0,95
2	Redutor de acionamento	17280	5,8E-05	0,96
7	Acoplamento	8640	1,2E-04	0,92
9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	17280	5,8E-05	0,96
10	Rosca de extrusão	86400	1,2E-05	0,99
12	Tubulação do pé da rosca	8640	1,2E-04	0,92
13	Registros da tubulação	8640	1,2E-04	0,92
14	Resistências	2160	4,6E-04	0,72
15	Sensores de temperatura	4320	2,3E-04	0,85
16	Sensores de pressão	8640	1,2E-04	0,92

Fonte-Autoria própria.

Nas Figuras 10, 11 e 12 temos o sistema de interferência de confiabilidade para cada equipamento, e na figura 13 temos o agrupamento deste sistema para os equipamentos em estudo.

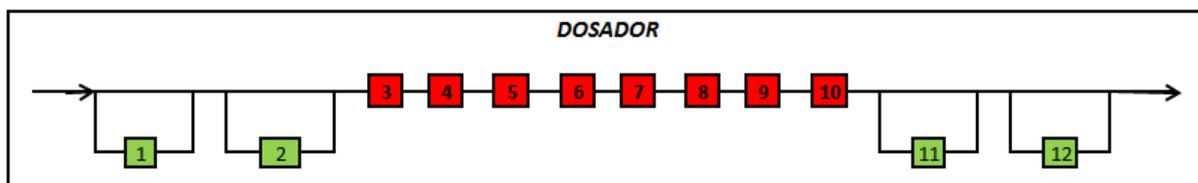


Figura 10-Sistemas de interferência dos componentes do sistema de dosagem.

Fonte-Autoria própria.

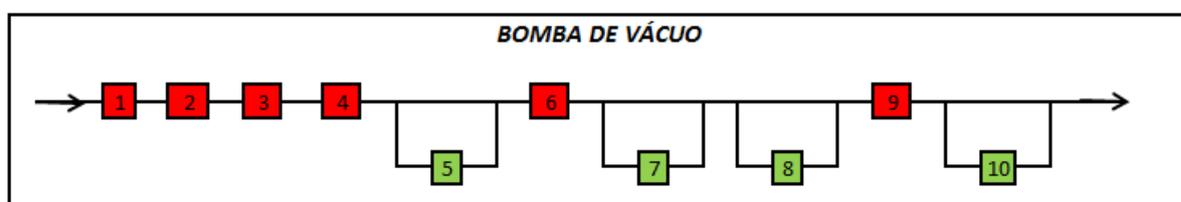


Figura 11-Sistemas de interferência dos componentes do sistema de alimentação de matéria prima

Fonte-Autoria própria.

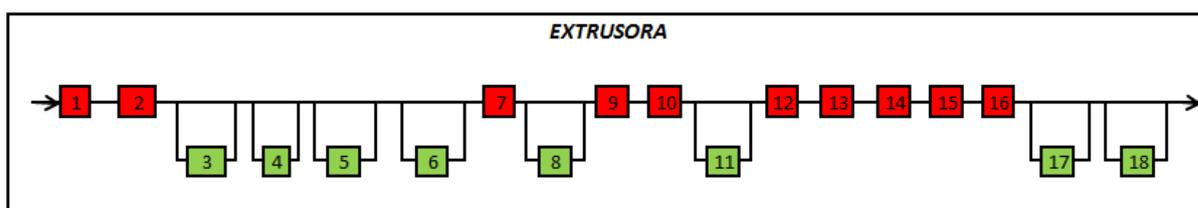


Figura 12-Sistemas de interferência dos componentes da extrusora

Fonte-Autoria própria.

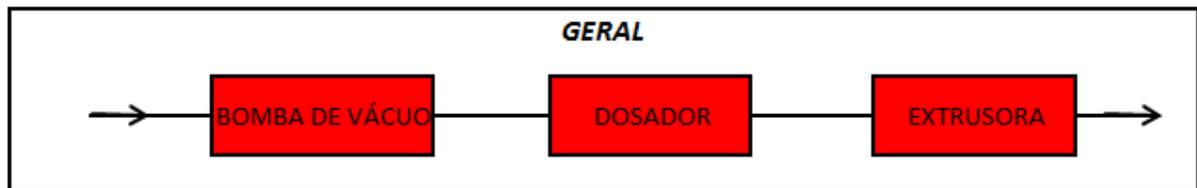


Figura 13-Sistemas de interferência dos equipamentos

Fonte-Autoria própria.

3.1.3.4 Análise de manutenibilidade dos componentes

Verificamos que a maioria dos equipamentos está em série, isto é, caso qualquer um destes equipamentos falhe, causa a interrupção do funcionamento dos demais. Portanto devem-se priorizar as manutenções dos componentes que estão ligados em série a linha do processo.

Outro dado importante a ser analisado é a Manutenibilidade, que do inglês *Maintainability* pode ser conceituada como sendo a característica de um equipamento ou instalação permitir um maior ou menor grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção (DHILLON, 1999)

Sendo a manutenibilidade expressa pela equação 3.4.

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (3.4)$$

Onde:

-M(t) representa a manutenibilidade, que é a probabilidade de que o reparo comece no tempo t=0 e esteja concluído corretamente no tempo t.

- μ representa o número de reparos realizados em um determinado tempo.

Porém μ pode ser determinado ainda pela equação 3.5.

$$\mu = \frac{1}{TMPR} \quad (3.5)$$

Onde:

TMPR é o tempo médio para reparo da falha analisada em questão.

Para o sistema de alimentação de matéria prima podemos concluir que os equipamentos que demandam maior necessidade de mão de obra para realizar o reparo na bomba de vácuo é conjunto de acionamento da mesma (Bomba de vácuo e motor CA), como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7- Valores de manutenibilidade, TMPR e número de reparos no sistema de alimentação de matéria prima

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>TMPR (min)</i>	μ	<i>Manutenibilidade</i>
1	Bomba de vácuo	180	5,6E-03	0,28
2	Motor CA	240	4,2E-03	0,22
3	Filtro principal	30	3,3E-02	0,86
4	Filtro de ar	30	3,3E-02	0,86
6	Válvulas pneumáticas direcionais	30	3,3E-02	0,86
9	Mangueiras sanfonadas	45	2,2E-02	0,74

Fonte-Autoria própria

Os dados apresentados na Tabela 8 mostram que o dosador é um equipamento crítico com relação a duração das intervenções, por isso deve-se ter atenção na montagem do plano de manutenção preventiva, a fim de evitar quebras que demandam muito tempo para reparo.

Tabela 8-Valores de manutenibilidade, TMR e número de reparos no sistema de dosagem.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>TMR (min)</i>	μ	<i>Manutenibilidade</i>
3	Cilindro pneumático entrada	120	8,3E-03	0,39
4	Válvula eletropneumática	30	3,3E-02	0,86
5	Flaps de dosagem	120	8,3E-03	0,39
6	Sensores capacitivos	30	3,3E-02	0,86
7	Rosca de dosagem	180	5,6E-03	0,28
8	Servomotor	60	1,7E-02	0,63
9	Vedações dos silos	60	1,7E-02	0,63
10	Mangueiras sanfonadas	45	2,2E-02	0,74

Fonte-Autoria própria

Assim como o dosador a extrusora possui em sua totalidade trabalhos de difícil manutenibilidade, como apresentados na Tabela 9.

Tabela 9-Valores de manutenibilidade, TMR e número de reparos na extrusora.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>TMR (min)</i>	μ	<i>Manutenibilidade</i>
1	Motor de acionamento	1440	6,9E-04	0,04
2	Redutor de acionamento	2880	3,5E-04	0,02
7	Acoplamento	240	4,2E-03	0,22
9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	360	2,8E-03	0,15
10	Rosca de extrusão	2880	3,5E-04	0,02
12	Tubulação do pé da rosca	120	8,3E-03	0,39
13	Registros da tubulação	60	1,7E-02	0,63
14	Resistências	120	8,3E-03	0,39
15	Sensores de temperatura	120	8,3E-03	0,39
16	Sensores de pressão	120	8,3E-03	0,39

Fonte-Autoria própria

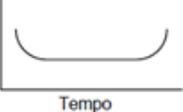
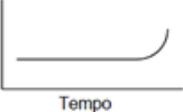
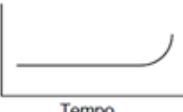
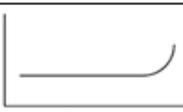
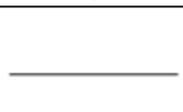
3.1.4 Estudo dos tipos de falhas presentes nos componentes

Cada equipamento possui um tipo particular de falha. Usa-se a ferramenta conhecida como curva típica de falha, que relaciona a probabilidade de falha ao

longo do tempo. Através dela constata-se que o equipamento usualmente falha quando atinge sua vida útil, ou possui eventos externos que fazem com que a falha ocorra antes do fim da vida útil.

Para a bomba de vácuo temos as curvas de falhas apresentadas na Tabela 10, em que podemos verificar que em sua maioria os equipamentos quebram devido ao fim vida útil,

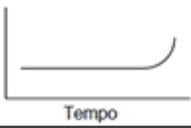
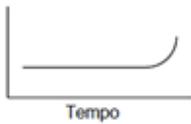
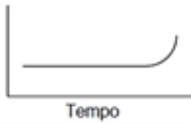
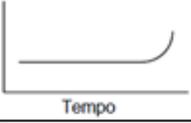
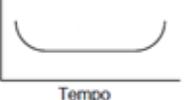
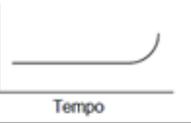
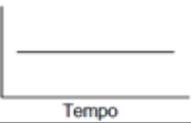
Tabela 10- Curvas de falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.

NUM	EQUIPAMENTOS	CURVA DA BANHEIRA	COMENTÁRIO BREVE
1	Bomba de vácuo	A 	Equipamento quebra devido a desgaste, porém quando reinstalado equipamentos recuperado temos problemas com as vedações novas
2	Motor CA	B 	Equipamento quebra devido a desgaste de rolamentos e estator
3	Filtro principal	B 	Equipamento falha devido a saturação do filtro ao longo do tempo
4	Filtro de ar	B 	Equipamento falha devido a saturação do filtro ao longo do tempo
6	Válvulas pneumáticas direcionais	B 	Equipamento falha principalmente devido a desgastes das vedações do bloco
9	Mangueiras sanfonadas	E 	Equipamentos apresenta quebras aleatórias ao longo do tempo, devido a impurezas e choques mecânicos

Fonte-Autoria própria.

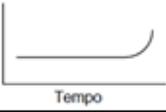
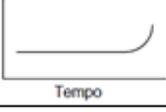
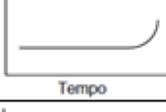
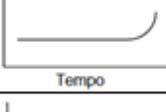
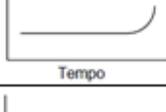
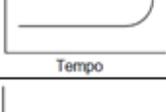
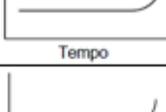
E para o sistema de dosagem de matéria prima e extrusora temos as curvas de falhas apresentadas nas Tabelas 11 e 12 respectivamente.

Tabela 11-Curvas de falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.

NUM	EQUIPAMENTOS	CURVA DA BANHEIRA	COMENTÁRIO BREVE
3	Cilindro pneumático entrada	B 	Equipamento falha principalmente devido a desgastes de vedações e na haste do cilindro
4	Válvula eletropneumática	E 	Equipamento apresenta falhas devido a problemas elétricos
5	Flaps de dosagem	B 	Equipamento apresenta falhas de vedações ocasionadas com o desgaste
6	Sensores capacitivos	B 	Acumulo de sujeira causa falhas no equipamento
7	Rosca de dosagem	B 	O desgaste da superfície da rosca causa falhas e variação no volume de dosagem
8	Servomotor	A 	As falhas iniciais são geradas por falha de montagem
9	Vedações dos silos	B 	Equipamento apresenta falhas de vedações ocasionadas com o desgaste
10	Mangueiras sanfonadas	E 	Equipamentos apresenta quebras aleatórias ao longo do tempo, devido a impurezas e choques mecânicos

Fonte-Autoria própria.

Tabela 12- Curvas de falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.

NUM	EQUIPAMENTOS	CURVA DA BANHEIRA	COMENTÁRIO BREVE
1	Motor de acionamento	B 	Equipamento quebra devido a desgaste de rolamentos e estator
2	Redutor de acionamento	B 	Equipamento quebra devido a desgaste de rolamentos, engrenagens e vedações
7	Acoplamento	B 	Equipamento apresenta falhas no acoplamento elastico devido a desgaste
9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	B 	Equipamento apresenta falhas no acoplamento elastico devido a desgaste
10	Rosca de extrusão	B 	Equipamento apresenta desgaste na superficie devido a ação de pressão e temperatura
12	Tubulação do pé da rosca	B 	Equipamento apresenta falhas devido a sujeiras e encrustações na superficie
13	Registros da tubulação	E 	Equipamento apresenta falhas aleatórias devido a sujeiras presentes na linha
14	Resistências	E 	Equipamento apresenta falhas aleatórias devido a problemas eletrônicos
15	Sensores de temperatura	B 	Equipamento apresenta falhas devido ao desgaste
16	Sensores de pressão	B 	Equipamento apresenta falhas devido ao desgaste

Fonte-Autoria própria.

Para complementar as curvas de falhas realiza-se a listagem de todas as possíveis falhas que podem ocorrer em cada componente.

Esta etapa do trabalho envolveu uma equipe composta por dois supervisores de manutenção e dois técnicos de manutenção, sendo nos dois casos um da área mecânica e outro da área eletrônica.

Nas Tabelas 13,14 e 15 temos listadas as falhas dos equipamentos analisados.

Tabela 13- Lista de possíveis falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>FALHAS</i>
1	Bomba de vácuo	Vazamento de óleo
1	Bomba de vácuo	Falha nos rolamentos
1	Bomba de vácuo	Vazamento de vácuo
2	Motor CA	Falha nos rolamentos LOA e LA
2	Motor CA	Curto circuito na caixa de ligação do equipamento
2	Motor CA	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento
2	Motor CA	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema
2	Motor CA	Desgaste na chaveta de acoplamento
2	Motor CA	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo
3	Filtro principal	Saturação devido a sujeira
4	Filtro de ar	Saturação devido a sujeira
6	Válvulas pneumáticas direcionais	Desgastes na vedações
6	Válvulas pneumáticas direcionais	Vazamentos nas conexões
6	Válvulas pneumáticas direcionais	Travamento da válvula
9	Mangueiras sanfonadas	Vazamentos de matéria prima devido a furos
9	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a furos
9	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a vazamentos nos encaixes das mangueiras

Fonte-Autoria própria.

Tabela 14-Lista de possíveis falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>FALHAS</i>
3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos pneumáticos no corpo do cilindro
3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos pneumáticos devido a desgastes nas vedações
3	Cilindro pneumático entrada	Haste do cilindro desgastada
3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos de ar nos conectores de ar
3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos de ar nas mangueiras pneumáticas
4	Válvula eletropneumática	Falha devido a mal contato nos conectores elétricos
4	Válvula eletropneumática	Falha devido a rompimentos dos cabos elétricos
4	Válvula eletropneumática	Vazamentos pneumáticos devido a desgaste das vedações
4	Válvula eletropneumática	Travamento da válvula devido a sujeira
4	Válvula eletropneumática	Vazamentos pneumáticos nos conectores
5	Flaps de dosagem	Perda de vácuo no sistema devido a desgastes nas vedações
6	Sensores capacitivos	Queima do sensor
6	Sensores capacitivos	Sensor com falha devido a acúmulo de sujeira
6	Sensores capacitivos	Falha devido a mal contato nos conectores elétricos
6	Sensores capacitivos	Falha devido a rompimentos dos cabos elétricos
7	Rosca de dosagem	Falha no volume de dosagem devido a desgaste na superfície da rosca de dosagem
8	Servomotor	Falha nos rolamentos LOA e LA
8	Servomotor	Curto circuito na caixa de ligação do equipamento
8	Servomotor	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento
8	Servomotor	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema
8	Servomotor	Desgaste na chaveta de acoplamento
8	Servomotor	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo
9	Vedações dos silos	Perda de vácuo devido a desgaste nas vedações dos silos
10	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a vazamentos nos encaixes das mangueiras

Fonte-Autoria própria.

Tabela 15-Lista de possíveis falhas para o sistema de alimentação de matéria prima.

<i>NUM</i>	<i>EQUIPAMENTOS</i>	<i>FALHAS</i>
1	Motor de acionamento	Falha nos rolamentos LOA e LA
1	Motor de acionamento	Curto circuito na caixa de ligação do equipamento
1	Motor de acionamento	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento
1	Motor de acionamento	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema
1	Motor de acionamento	Desgaste na chaveta de acoplamento
1	Motor de acionamento	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo
2	Redutor de acionamento	Parada do equipamento devido a falta de óleo
2	Redutor de acionamento	Desgaste das engrenagens devido a má qualidade do óleo
2	Redutor de acionamento	Desgaste natural das engrenagens
2	Redutor de acionamento	Vazamentos de óleo pelo retentor
2	Redutor de acionamento	Vazamento de óleo pelas vedações da caixa de redução
2	Redutor de acionamento	Desgastes nos eixos de redução
2	Redutor de acionamento	Desgastes nos rolamentos e buchas da caixa de redução
7	Acoplamento	Folga gerada pelo desgaste do elemento elástico
7	Acoplamento	Folga gerada pelo desgaste das chavetas de LOA e LA
9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	Folga gerada pelo desgaste das chavetas de LOA e LA
9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	Travamento devido a vazamento de PP sobre o acoplamento
10	Rosca de extrusão	Queda da pressão de extrusão devido a desgastes na superfície da rosca de dosagem
12	Tubulação do pé da rosca	Vazamentos de água devido a furos na tubulação, ocasionados pela oxidação da mesma
13	Registros da tubulação	Vazamentos de água devido a desgaste nas vedações dos registros
13	Registros da tubulação	Travamento da válvula de devido a sujeira no sistema
14	Resistências	Má geração de calor pela resistência
14	Resistências	Mal contato nos bornes de ligação da resistência
14	Resistências	Rompimento do cabeamento elétrico
15	Sensores de temperatura	Mal contato nos bornes de ligação do sensor
15	Sensores de temperatura	Rompimento do cabeamento elétrico
16	Sensores de pressão	Mal contato nos bornes de ligação do sensor
16	Sensores de pressão	Rompimento do cabeamento elétrico

Fonte-Autoria própria.

3.1.5 Análise da criticidade das falhas:

Para esta etapa utiliza-se a ferramenta FMEA focada na área de processos, classificando as falhas em 4 categorias, e atribuindo notas para cada categoria de 1 a 10, sendo 1 a menos impactante e 10 a mais impactante.

São as seguintes categorias:

- Frequência das falhas;
- Gravidade das falhas;
- Detectabilidade das falhas;
- Custo de reparo.

O resultado da aplicação do método do FMEA pode ser verificado na Figura 14, onde temos o Pareto do valor de NPR para cada equipamento.

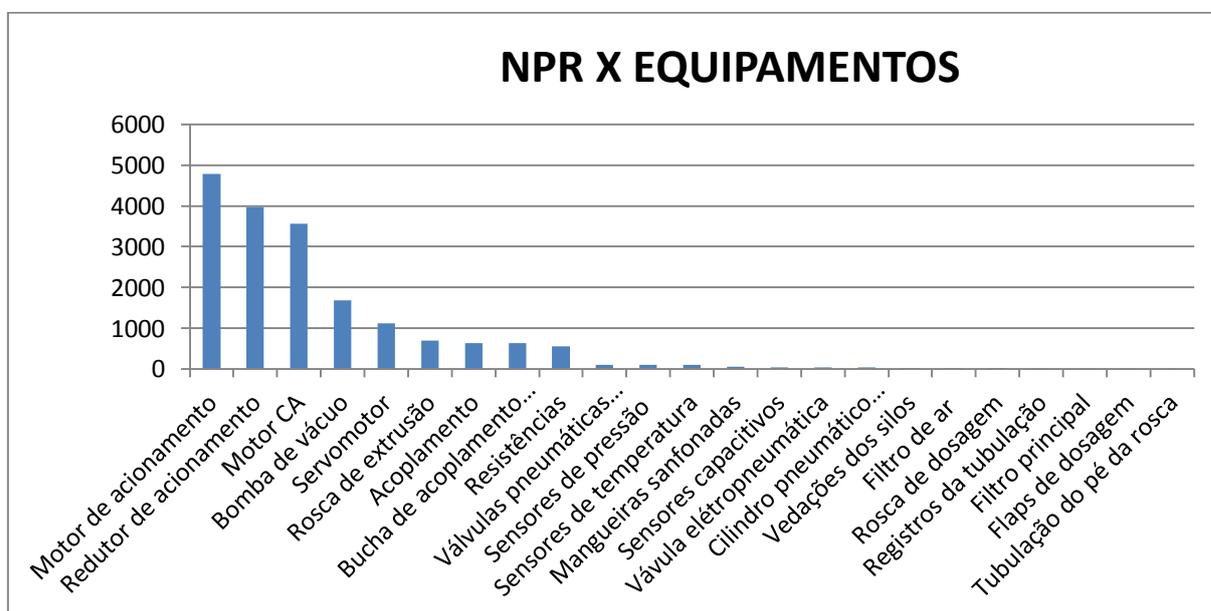


Figura 14 - NPR X Equipamentos Analisados

Fonte-Autoria própria.

Os equipamentos foram classificados em criticidade A, B ou C de acordo com o NPR seguindo as seguintes linhas de corte:

- Equipamentos A, NPR maior ou igual a 500.
- Equipamentos B, NPR entre 100 e 500.
- Equipamentos C, NPR abaixo de 100.

Tanto a tabela inicial dos resultados quanto a tabela ordenada com pareto estão anexas a este trabalho.

3.2 Estruturação do plano de manutenção.

A determinação do plano de manutenção para os equipamentos estudados, é baseado em todas as informações que já vimos anteriormente, ou seja leva-se em conta o fator de confiabilidade, a manutenibilidade e análise FMEA realizada.

Em consenso com a equipe que se dedicou neste trabalho foi estruturado um plano de manutenção que está anexo a este trabalho, com lista de tarefas específicas para cada componente dos equipamentos. Onde estas atividades estão divididas nos seguintes tipos de manutenção:

-Manutenção preventiva.

Sendo realizadas atividades que exigem máquina parada, no dias de parada para troca de ferramentas ou setup de produção.

-Manutenção preditiva.

Sendo realizada análise de vibração, Termografia e análise de óleo. Essas atividades são muito importantes pois evitam trocas de componentes antes do fim da vida útil.

-Manutenção detectiva (ou também conhecida como inspeções).

Onde estas são realizadas com a máquina em produção, pois são atividades mais simples.

-Lubrificação.

Os equipamentos que não geram perdas produtivas quando falham serão submetidos ao processo de manutenção corretiva a fim de minimizar os custos de manutenção da fábrica.

4 RESULTADOS

A implementação da sistemática de RCM leva em média 5 anos para obter por completo seus resultados, porém com uma implementação de 6 meses já se obtém uma melhora nos indicadores de manutenção com a redução de aproximadamente 10% de quebras por corretiva nos equipamentos analisados.

Outro indicador com melhorias no primeiro semestre é a redução entre 5% e 10% do valor de estoque de peças sobressalentes em almoxarifado. Em contrapartida com o desenvolvimento desta nova lista de peças passa-se a ter 80% dos componentes estocados sendo que inicialmente esse valor era em torno de 50%. Isso faz com que se aumente o valor da confiabilidade dos equipamentos, e também a possibilidade de intervenções corretivas ou de oportunidades em torno de 35% dos equipamentos, os quais não implicam diretamente em parada de linha de produção.

Um fator relevante também obtido foi a qualificação de 10% dos técnicos mecânicos e eletrônicos em ferramentas de análise (FMEA) e aprofundamento dos conhecimentos técnicos e modo de falhas dos equipamentos abordados.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados previstos podemos concluir que o objetivo inicial foi alcançado, porém a previsão para atingimento do ganho final é de pelo menos 5 anos.

Uma das principais mudanças após a implementação é a percepção de mudança cultural da equipe de manutenção, que com a implementação desta metodologia passa a focar-se em melhorar o rendimento dos equipamentos ao invés de somente manter os mesmos em condições mínimas de uso.

Como sugestão para projetos futuros esse trabalho poderá ser expandido aos outros equipamentos da linha de produção analisada, e também para outras linhas ao longo do tempo, pois o mesmo apresenta resultados satisfatórios e uma boa aceitação da equipe de manutenção e produção.

REFERÊNCIAS

DHILLON, B. S. Engineering Maintainability. Texas: Gulf Publishing Company, 1999.

IRESON, G. I. Handbook of Reliability Engineering and Management. New York: McGraw-Hill, 1997.

KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LAFRAIA, J. R. B. Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MOUBRAY, J. Reliability-centered Maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*. New York: Industrial Press INC., 1997.

REICOFIL, R. Reifenhäusergrupp, 2007

SIQUEIRA, I. P. Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005

VIANA, H. R. G. Planejamento e Controle de Manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

XENOS, H. G. D. Gerenciamento a Manutenção Produtiva. Belo Horizonte: FDG, 2004.

ANEXO A – LISTA DE SOBRESSALENTES

COMPONENTE	EQUIPAMENTO	LOCALIZAÇÃO NA MÁQUINA	FABRICANTE	MODELO
REGULADOR DE PRESSÃO	BOMBA DE VÁCUO	BOMBA DE VÁCUO DOSADOR A	FESTO	LFR-D-MINI
REGULADOR DE PRESSÃO	BOMBA DE VÁCUO	BOMBA DE VÁCUO DOSADOR A	FESTO	LFR-D-MINI
VÁLVULA SOLENÓIDE	BOMBA DE VÁCUO	BOMBA DE VÁCUO DOSADOR A	FESTO	MEBH-5/2-1/8-B
VÁLVULA PNEUMÁTICA	BOMBA DE VÁCUO	BOMBA DE VÁCUO DOSADOR A	BAR	PKO-512-065-D078
VÁLVULA PNEUMÁTICA	BOMBA DE VÁCUO	BOMBA DE VÁCUO DOSADOR A	BAR	PKO-512-065-D078
VÁLVULA SOLENÓIDE	BOMBA DE VÁCUO	BOMBA DE VÁCUO DOSADOR A	BUSCHJOST	82963008173
MOTOR CA	BOMBA DE VÁCUO	BOMBA DE VÁCUO DOSADOR A	DUTCHI NL	TYP: DMI 160 M2
MOTOR CA	BOMBA DE VÁCUO	BOMBA DE VÁCUO DOSADOR A	DUTCHI NL	TYP: DMI 160 M2
VÁLVULA SOLENÓIDE	DOSADOR	SILO PRINCIPAL DOSADOR A	FESTO	MEBH-5/2-1/8-B
CILINDRO PNEUMÁTICO	DOSADOR	SILO PRINCIPAL DOSADOR A	FESTO	DG-40-50-P-5A
SENSOR CAPACITIVO	DOSADOR	SILO PRINCIPAL DOSADOR A	RECHNER	79-82-016-962
SENSOR CAPACITIVO	DOSADOR	SILO PRINCIPAL DOSADOR A	RECHNER	79-82-016-962
SENSOR INDUTIVO	DOSADOR	SILO PRINCIPAL DOSADOR A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
VÁLVULA SOLENÓIDE	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 1 DOSADOR A	MEBH	5/2-1/8-B
CILINDRO PNEUMÁTICO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 1 DOSADOR A	FESTO	DSNY-25-60-PA
SENSOR CAPACITIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 1 DOSADOR A	RECHNER	79-82-010-962
SENSOR CAPACITIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 1 DOSADOR A	RECHNER	79-82-010-962
SENSOR INDUTIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 1 DOSADOR A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SERVOMOTOR	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 1 DOSADOR A	MANN+HUMMER	79-82-039-619
SERVOMOTOR	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 1 DOSADOR A	MANN+HUMMER	79-82-039-619
SENSOR MAGNÉTICO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 1 DOSADOR A	PILZ	PSEN 11-20
VÁLVULA SOLENÓIDE	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 2 DOSADOR A	MEBH	5/2-1/8-B
CILINDRO PNEUMÁTICO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 2 DOSADOR A	FESTO	DSNY-25-60-PA
SENSOR CAPACITIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 2 DOSADOR A	RECHNER	79-82-010-962
SENSOR CAPACITIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 2 DOSADOR A	RECHNER	79-82-010-962
SENSOR INDUTIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 2 DOSADOR A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SERVOMOTOR	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 2 DOSADOR A	MANN+HUMMER	79-82-039-619
SERVOMOTOR	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 2 DOSADOR A	MANN+HUMMER	79-82-039-619
SENSOR MAGNÉTICO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 2 DOSADOR A	PILZ	PSEN 11-20
VÁLVULA SOLENÓIDE	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 3 DOSADOR A	MEBH	5/2-1/8-B
CILINDRO PNEUMÁTICO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 3 DOSADOR A	FESTO	DSNY-25-60-PA
SENSOR CAPACITIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 3 DOSADOR A	RECHNER	79-82-010-962
SENSOR CAPACITIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 3 DOSADOR A	RECHNER	79-82-010-962
SENSOR INDUTIVO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 3 DOSADOR A	BALUFF	
SERVOMOTOR	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 3 DOSADOR A	MANN+HUMMER	79-82-039-619
SERVOMOTOR	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 3 DOSADOR A	MANN+HUMMER	79-82-039-619
SENSOR MAGNÉTICO	DOSADOR	SILO SECUNDÁRIO 3 DOSADOR A	PILZ	PSEN 11-20

COMPONENTE	EQUIPAMENTO	LOCALIZAÇÃO NA MÁQUINA	FABRICANTE	MODELO
MOTOR CA	EXTRUSORA	TRANSMISSÃO EXTRUSORA A	SIEMENS	3~MOT 1PL6.284-0HD000AA9-Z
MOTOR CA	EXTRUSORA	TRANSMISSÃO EXTRUSORA A	SIEMENS	3~MOT 1PL6.284-0HD000AA9-Z
ENCODER	EXTRUSORA	MOTOR TRANSM EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
VENTILAÇÃO DO MOTOR	EXTRUSORA	MOTOR TRANSM EXTRUSORA A	SIEMENS	3~MOT 1LA7090 4AA91-2
MOTOR CA	EXTRUSORA	MOTOR TRANSM EXTRUSORA A	BALUFF	
MOTOR CA	EXTRUSORA	MOTOR TRANSM EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
CAIXA REDUTORA	EXTRUSORA	TRANSMISSÃO EXTRUSORA A	REIFENHÄUSER	RT 3201-1-180-30D
CAIXA REDUTORA	EXTRUSORA	TRANSMISSÃO EXTRUSORA A	REIFENHÄUSER	RT 3201-1-180-30D
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.1 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.1 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SENSOR DE TEMPERATURA	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.1 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
CJ DE RESISTÊNCIAS	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.1 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.2 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.2 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SENSOR DE TEMPERATURA	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.2 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
CJ DE RESISTÊNCIAS	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.2 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.3 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.3 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SENSOR DE TEMPERATURA	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.3 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
CJ DE RESISTÊNCIAS	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.3 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.4 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.4 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SENSOR DE TEMPERATURA	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.4 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
CJ DE RESISTÊNCIAS	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.4 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.5 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.5 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SENSOR DE TEMPERATURA	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.5 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
CJ DE RESISTÊNCIAS	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.5 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.6 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.6 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SENSOR DE TEMPERATURA	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.6 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
CJ DE RESISTÊNCIAS	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.6 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.7 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
MOTOR CA	EXTRUSORA	VENTILAÇÃO AQUECIM 1.7 EXT A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
SENSOR DE TEMPERATURA	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.7 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO
CJ DE RESISTÊNCIAS	EXTRUSORA	AQUECIMENTO 1.7 EXTRUSORA A	SEM ACESSO	SEM ACESSO

ANEXO B - FMEA

LOCAL	NUM	EQUIPAMENTOS	FALHAS	FREQÜÊNCIA	GRAVIDADE	DETECTABILIDADE	CUSTO	NPR
Bomba de vácuo	1	Bomba de vácuo	Vazamento de óleo	7	2	1	4	56
Bomba de vácuo	1	Bomba de vácuo	Falha nos rolamentos	4	9	7	6	1512
Bomba de vácuo	1	Bomba de vácuo	Vazamento de vácuo	5	6	2	2	120
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Falha nos rolamentos LOA e LA	4	9	7	6	1512
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Curto circuito na caixa de ligação do equipamento	1	6	5	2	60
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento	1	7	6	6	252
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema	1	7	7	5	245
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Desgaste na chaveta de acoplamento	1	7	7	3	147
Bomba de vácuo		Motor CA	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo	3	8	8	7	1344
Bomba de vácuo	3	Filtro principal	Saturação devido a sujeira	6	1	1	1	6
Bomba de vácuo	4	Filtro de ar	Saturação devido a sujeira	6	1	1	3	18
Bomba de vácuo	6	Válvulas pneumáticas direcionais	Desgastes na vedações	3	4	1	3	36
Bomba de vácuo	6	Válvulas pneumáticas direcionais	Vazamentos nas conexões	3	4	1	3	36
Bomba de vácuo	6	Válvulas pneumáticas direcionais	Travamento da válvula	3	4	1	3	36
Bomba de vácuo	9	Mangueiras sanfonadas	Vazamentos de matéria prima devido a furos	6	1	1	2	12
Bomba de vácuo	9	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a furos	6	1	1	2	12
Bomba de vácuo	9	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a vazamentos nos encaixes das mangueiras	6	1	1	2	12

LOCAL	NUM	EQUIPAMENTOS	FALHAS	FREQÜÊNCIA	GRAVIDADE	DETECTABILIDADE	CUSTO	NPR
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos pneumáticos no corpo do cilindro	1	2	1	4	8
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos pneumáticos devido a desgastes nas vedações	1	2	1	2	4
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Haste do cilindro desgastada	1	2	3	3	18
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos de ar nos conectores de ar	1	1	1	1	1
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos de ar nas mangueiras pneumáticas	4	1	1	1	4
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Falha devido a mal contato nos conectores elétricos	1	2	2	1	4
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Falha devido a rompimentos dos cabos elétricos	2	2	4	1	16
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Vazamentos pneumáticos devido a desgaste das vedações	1	2	2	2	8
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Travamento da válvula devido a sujeira	2	2	2	1	8
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Vazamentos pneumáticos nos conectores	1	1	1	1	1
Dosador	5	Flaps de dosagem	Perda de vácuo no sistema devido a desgastes nas vedações	1	1	3	2	6
Dosador	6	Sensores capacitivos	Queima do sensor	1	1	2	2	4
Dosador	6	Sensores capacitivos	Sensor com falha devido a acúmulo de sujeira	3	1	1	1	3
Dosador	6	Sensores capacitivos	Falha devido a mal contato nos conectores elétricos	2	2	2	1	8
Dosador	6	Sensores capacitivos	Falha devido a rompimentos dos cabos elétricos	2	3	4	1	24
Dosador	7	Rosca de dosagem	Falha no volume de dosagem devido a desgaste na superfície da rosca de dosagem					
Dosador	8	Servomotor	Falha nos rolamentos LOA e LA	1	3	2	3	18
Dosador	8	Servomotor	Curto circuito na caixa de ligação do equipamento	1	4	7	4	112
Dosador	8	Servomotor	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento	2	3	4	3	72
Dosador	8	Servomotor	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema	2	4	5	3	120
Dosador	8	Servomotor	Desgaste na chave de acoplamento	4	3	4	3	144
Dosador	8	Servomotor	Desgaste na chave de acoplamento	4	3	4	3	144
Dosador	8	Servomotor	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo					
Dosador	9	Vedações dos silos	Perda de vácuo devido a desgaste nas vedações dos silos	3	7	5	5	525
Dosador	10	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a vazamentos nos encaixes das mangueiras	2	2	3	2	24
Dosador	10	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a vazamentos nos encaixes das mangueiras	6	1	1	2	12

LOCAL	NUM	EQUIPAMENTOS	FALHAS	FREQUENCIA	GRAVIDADE	DETCTABILIDADE	CUSTO	NPR
Extrusora	1	Motor de acionamento	Falha nos rolamentos LOA e LA	4	9	7	8	2016
Extrusora	1	Motor de acionamento	Curto circuito na caixa de ligação do equioamento	1	6	5	4	120
Extrusora	1	Motor de acionamento	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento	1	7	6	8	336
Extrusora	1	Motor de acionamento	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema	1	7	7	7	343
Extrusora	1	Motor de acionamento	Desgaste na chaveta de acoplamento	1	7	7	5	245
Extrusora	1	Motor de acionamento	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo	3	8	8	9	1728
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Parada do equipamento devido a falta de óleo	2	8	1	10	160
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Desgaste das engrenagens devido a má qualidade do óleo	2	8	8	10	1280
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Desgaste natural das engrnagens	2	7	7	10	980
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Vazamentos de óleo pelo retentor	3	7	2	5	210
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Vazamento de óleo pelas vedações da caixa de redução	3	7	2	4	168
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Desgastes nos eixos de redução	2	7	7	6	588
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Desgastes nos rolamentos e buchas da caixa de redução	2	7	7	6	588
Extrusora	7	Acoplamento	Folga gerada pelo desgaste do elemento elástico	3	5	7	3	315
Extrusora	7	Acoplamento	Folga gerada pelo desgaste das chavetas de LOA e LA	3	5	7	3	315
Extrusora	9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	Folga gerada pelo desgaste das chavetas de LOA e LA	3	5	7	3	315
Extrusora	9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	Travamento devido a vazamento de PP sobre o acoplamento	3	5	7	3	315
Extrusora	10	Rosca de extrusão	Queda da pressão de extrusão devido a desgastes na superfície da rosca de dosagem	1	10	7	10	700
Extrusora	12	Tubulação do pé da rosca	Vazamentos de agua devido a furos na tubulação, ocasionados pela oxidação da mesma	1	2	1	2	4
Extrusora	13	Registros da tubulação	Vazamentos de agua devido a desgaste nas vedações dos registros	1	2	1	2	4
Extrusora	13	Registros da tubulação	Travamento da válvula de devido a sujeira no sistema	1	2	1	2	4
Extrusora	14	Resistências	Má geração de calor pela resitência	4	5	4	4	320
Extrusora	14	Resistências	Mal contato nos bornes de ligação da resistência	4	5	4	1	80
Extrusora	14	Resistências	Rompimento do cabeamento elétrico	4	5	4	2	160
Extrusora	15	Sensores de temperatura	Mal contato nos bornes de ligação do sensor	2	3	4	2	48
Extrusora	15	Sensores de temperatura	Rompimento do cabeamento elétrico	2	3	4	2	48
Extrusora	16	Sensores de pressão	Mal contato nos bornes de ligação do sensor	2	3	4	2	48
Extrusora	16	Sensores de pressão	Rompimento do cabeamento elétrico	2	3	4	2	48

ANEXO C – PARETO FMEA

LOCAL	NUM	EQUIPAMENTOS	FALHAS	FREQUENCIA	GRAVIDADE	DETECTABILIDADE	CUSTO	NPR
Extrusora	1	Motor de acionamento	Falha nos rolamentos LOA e LA	4	9	7	8	2016
Extrusora	1	Motor de acionamento	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo	3	8	8	9	1728
Bomba de vácuo	1	Bomba de vácuo	Falha nos rolamentos	4	9	7	6	1512
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Falha nos rolamentos LOA e LA	4	9	7	6	1512
Bomba de vácuo		Motor CA	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo	3	8	8	7	1344
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Desgaste das engrenagens devido a má qualidade do óleo	2	8	8	10	1280
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Desgaste natural das engrenagens	2	7	7	10	980
Extrusora	10	Rosca de extrusão	Queda da pressão de extrusão devido a desgastes na superfície da rosca de dosagem	1	10	7	10	700
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Desgastes nos eixos de redução	2	7	7	6	588
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Desgastes nos rolamentos e buchas da caixa de redução	2	7	7	6	588
Dosador	8	Servomotor	Falha no drive de acionamento do motor gerando a parada do mesmo	3	7	5	5	525
Extrusora	1	Motor de acionamento	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema	1	7	7	7	343
Extrusora	1	Motor de acionamento	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento	1	7	6	8	336
Extrusora	14	Resistências	Má geração de calor pela resistência	4	5	4	4	320
Extrusora	7	Acoplamento	Folga gerada pelo desgaste do elemento elástico	3	5	7	3	315
Extrusora	7	Acoplamento	Folga gerada pelo desgaste das chavetas de LOA e LA	3	5	7	3	315
Extrusora	9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	Folga gerada pelo desgaste das chavetas de LOA e LA	3	5	7	3	315
Extrusora	9	Bucha de acoplamento rosca da extrusora	Travamento devido a vazamento de PP sobre o acoplamento	3	5	7	3	315
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento	1	7	6	6	252
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema	1	7	7	5	245
Extrusora	1	Motor de acionamento	Desgaste na chaveta de acoplamento	1	7	7	5	245

LOCAL	NUM	EQUIPAMENTOS	FALHAS	FREQUENCIA	GRAVIDADE	DETECTABILIDADE	CUSTO	NPR
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Vazamentos de óleo pelo retentor	3	7	2	5	210
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Vazamento de óleo pelas vedações da caixa de redução	3	7	2	4	168
Extrusora	2	Redutor de acionamento	Parada do equipamento devido a falta de óleo	2	8	1	10	160
Extrusora	14	Resistências	Rompimento do cabeamento elétrico	4	5	4	2	160
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Desgaste na chaveta de acoplamento	1	7	7	3	147
Dosador	8	Servomotor	Desgaste no eixo gerando folgas no sistema	4	3	4	3	144
Dosador	8	Servomotor	Desgaste na chaveta de acoplamento	4	3	4	3	144
Bomba de vácuo	1	Bomba de vácuo	Vazamento de vácuo	5	6	2	2	120
Bomba de vácuo	8	Servomotor	Baixa isolamento elétrica no estator do equipamento	2	4	5	3	120
Extrusora	1	Motor de acionamento	Curto circuito na caixa de ligação do equipamento	1	6	5	4	120
Dosador	8	Servomotor	Falha nos rolamentos LOA e LA	1	4	7	4	112
Extrusora	14	Resistências	Mal contato nos bornes de ligação da resistência	4	5	4	1	80
Dosador	8	Servomotor	Curto circuito na caixa de ligação do equipamento	2	3	4	3	72
Bomba de vácuo	2	Motor CA	Curto circuito na caixa de ligação do equipamento	1	6	5	2	60
Bomba de vácuo	1	Bomba de vácuo	Vazamento de óleo	7	2	1	4	56
Extrusora	15	Sensores de temperatura	Mal contato nos bornes de ligação do sensor	2	3	4	2	48
Extrusora	15	Sensores de temperatura	Rompimento do cabeamento elétrico	2	3	4	2	48
Extrusora	16	Sensores de pressão	Mal contato nos bornes de ligação do sensor	2	3	4	2	48
Extrusora	16	Sensores de pressão	Rompimento do cabeamento elétrico	2	3	4	2	48
Bomba de vácuo	6	Válvulas pneumáticas direcionais	Desgastes na vedações	3	4	1	3	36
Bomba de vácuo	6	Válvulas pneumáticas direcionais	Vazamentos nas conexões	3	4	1	3	36
Bomba de vácuo	6	Válvulas pneumáticas direcionais	Travamento da válvula	3	4	1	3	36

LOCAL	NUM	EQUIPAMENTOS	FALHAS	FREQUENCIA	GRAVIDADE	DETECTABILIDADE	CUSTO	NPR
Dosador	6	Sensores capacitivos	Falha devido a rompimentos dos cabos elétricos	2	3	4	1	24
Dosador	9	Vedações dos silos	Perda de vácuo devido a desgaste nas vedações dos silos	2	2	3	2	24
Bomba de vácuo	4	Filtro de ar	Saturação devido a sujeira	6	1	1	3	18
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Haste do cilindro desgastada	1	2	3	3	18
Dosador	7	Rosca de dosagem	Falha no volume de dosagem devido a desgaste na superfície da rosca de dosagem	1	3	2	3	18
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Falha devido a rompimentos dos cabos elétricos	2	2	4	1	16
Bomba de vácuo	9	Mangueiras sanfonadas	Vazamentos de matéria prima devido a furos	6	1	1	2	12
Bomba de vácuo	9	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a furos	6	1	1	2	12
Bomba de vácuo	9	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a vazamentos nos encaixes das mangueiras	6	1	1	2	12
Dosador	10	Mangueiras sanfonadas	Perda de vácuo no sistema devido a vazamentos nos encaixes das mangueiras	6	1	1	2	12
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos pneumáticos no corpo do cilindro	1	2	1	4	8
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Vazamentos pneumáticos devido a desgaste das vedações	1	2	2	2	8
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Travamento da válvula devido a sujeira	2	2	2	1	8
Dosador	6	Sensores capacitivos	Falha devido a mal contato nos conectores elétricos	2	2	2	1	8
Bomba de vácuo	3	Filtro principal	Saturação devido a sujeira	6	1	1	1	6
Dosador	5	Flaps de dosagem	Perda de vácuo no sistema devido a desgastes nas vedações	1	1	3	2	6
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos pneumáticos devido a desgastes nas vedações	1	2	1	2	4
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos de ar nas mangueiras pneumáticas	4	1	1	1	4
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Falha devido a mal contato nos conectores elétricos	1	2	2	1	4
Dosador	6	Sensores capacitivos	Queima do sensor	1	1	2	2	4
Extrusora	12	Tubulação do pé da rosca	Vazamentos de água devido a furos na tubulação, ocasionados pela oxidação da mesma	1	2	1	2	4
Extrusora	13	Registros da tubulação	Vazamentos de água devido a desgaste nas vedações dos registros	1	2	1	2	4
Extrusora	13	Registros da tubulação	Travamento da válvula de devido a sujeira no sistema	1	2	1	2	4
Dosador	6	Sensores capacitivos	Sensor com falha devido a acúmulo de sujeira	3	1	1	1	3
Dosador	3	Cilindro pneumático entrada	Vazamentos de ar nos conectores de ar	1	1	1	1	1
Dosador	4	Válvula eletropneumática	Vazamentos pneumáticos nos conectores	1	1	1	1	1

