

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

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE – ESTUDO E APLICAÇÃO DE MÉTODO  
NO SISTEMA DE EXTRUSÃO DE UMA MÁQUINA DE NÃO TECIDOS.

por

Adejan Rahel Ticz

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

Porto Alegre, junho de 2018.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Mecânica

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE – ESTUDO E APLICAÇÃO DE MÉTODO  
NO SISTEMA DE EXTRUSÃO DE UMA MÁQUINA DE NÃOTECIDOS.

por

Adejan Rahel Ticz

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

Prof. Dr<sup>a</sup> Thamy Cristina Hayashi  
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Flávio José Lorini

Comissão de Avaliação:

Prof. Flávio José Lorini

Prof. Patric Daniel Neis

Prof. José Antônio E. Mazzaferro

Porto Alegre, junho de 2018.

TICZ, A. R. **MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE – ESTUDO E APLICAÇÃO DE MÉTODO NO SISTEMA DE EXTRUSÃO DE UMA MÁQUINA DE NÃOTECIDOS**. 2018.25 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

## RESUMO

As empresas de manufatura necessitam ampliar a capacidade e competitividade do setor produtivo visando ampliar seu *Market Share*. Esse aumento pode ocorrer de inúmeras maneiras e as principais são através da otimização dos processos de fabricação, bem como, uma melhoria na gestão de manutenção visando o aumento da disponibilidade dos recursos fabris. Esse trabalho trata de uma revisão bibliográfica sobre o modelo de manutenção denominada Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), para embasar a implementação desse sistema em uma extrusora de polipropileno, máquina essa que tem como objetivo final a produção de Nãotecidos para a indústria médica e de produtos de higiene pessoal. O resultado principal é um plano de manutenção robusto e assertivo, que permita com que a máquina consiga atender as demandas da produção, quando solicitada. Esse plano é composto principalmente por um Plano de Manutenção focado em sistemas operacionais da máquina e não em individualizar peças, onde as ferramentas que auxiliam a montagem desse plano são a manutenção preditiva com relatórios trimestrais, rotas técnicas feitas diariamente pelos técnicos da linha e análise de falhas (*Failure Mode and Effect Analysis- FMEA*) onde se levantaram todos os modos de falha possíveis para o equipamento e os efeitos causados no equipamento para cada uma dessas falhas. Através desse plano espera-se melhorar os indicadores de tempo de máquina parada para manutenção (*Downtime*), o tempo médio para efetuar os reparos (*MTTR*) e o tempo médio entre as falhas (*MTBF*) da máquina.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), Manutenção Industrial, Disponibilidade de Equipamentos.

**TICZ, A. R. RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE - STUDY AND APPLICATION OF METHOD IN THE EXTRUSION SYSTEM OF A NONWOVENS MACHINE** 2018.25 folhas.

Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

**ABSTRACT**

Manufacturing companies need to increase the capacity and competitiveness of the productive sector in order to expand their Market Share. This increase can occur in many ways and the main ones are through the optimization of manufacturing processes, as well as an improvement in maintenance management aimed at increasing the availability of manufacturing resources. This work deals with a bibliographic review on the maintenance model called Reliability Centered Maintenance (MCC), to support the implementation of this system in a polypropylene extruder, which has as its final objective the production of Nonwovens for the medical industry and personal hygiene products. The main result is a robust and assertive maintenance plan that allows the machine to meet the production demands when requested. This plan is mainly composed of a Maintenance Plan focused on machine operating systems and not on individual parts, where the tools that help set up this plan are the predictive maintenance with quarterly reports, technical routes made daily by line technicians and analysis of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) where all possible failure modes for the equipment and the effects caused on the equipment were raised for each of these faults. Through this plan, it is expected to improve downtime, the mean time to repair (MTTR) and the mean time between failures (MTBF) of the machine.

**KEYWORDS:** Reliability Centered Maintenance (RCM), Industrial Maintenance, Availability of Equipment

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	OBJETIVO DO TRABALHO .....	1
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
4.	MODALIDADES E EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.....	3
4.1	Manutenção no tempo .....	3
4.2	Tipos de Manutenção .....	4
4.2.1	Manutenção Corretiva.....	4
4.2.2	Manutenção Preventiva.....	4
4.2.3	Manutenção Preditiva.....	4
4.2.4	Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) .....	5
4.4	Modos de Falha .....	6
4.5	Análise de Modos e Efeitos de Falha - FMEA.....	7
5.	METODOLOGIA APLICADA PARA DESENVOLVIMENTO DO MCC .....	8
5.1	Montagem da equipe de trabalho. ....	8
5.2	Elaboração da tabela de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA). ....	9
5.3	Priorização dos itens da FMEA.....	10
5.3.1	Severidade (S) .....	10
5.3.2	Ocorrência (O) .....	11
5.3.3	Detecção (D) .....	11
5.4	Seleção de tarefas e definição de intervalo de tempo.....	12
6.	RESULTADOS .....	13
7.	CONCLUSÕES.....	14
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	14
	Anexo I.....	16
	Apêndice I .....	17



## 1. INTRODUÇÃO

Com o intuito de obter uma parcela cada vez maior no mercado atual, as indústrias vêm focando na implementação de métodos de gestão modernos e eficazes em todos seus setores. A manutenção, por ser um setor que tem impacto direto em praticamente toda a cadeia produtiva de um produto, como segurança, qualidade do produto, confiabilidade e custos operacionais, não deve ficar de fora dessa transformação de visão das indústrias. Com isso, fica evidente que a manutenção pode ser um importante diferencial de qualquer empresa, seja essa distinção para destaque frente aos concorrentes ou para a perda de confiança do cliente em relação aos prazos de entrega e qualidade do produto.

A evolução da manutenção pode ser dividida em três gerações. Na primeira geração, a atuação era apenas corretiva, ou seja, só era acionada após a quebra do ativo. Na segunda geração, iniciada após a segunda guerra, a preocupação com a disponibilidade dos equipamentos aumentou drasticamente e assim surgiu o conceito de manutenção preventiva, que foca em atuar no ativo antes que ele quebre, prevenindo a falha. No final dessa geração começam a surgir sistemas mais desenvolvidos de manutenção, como a Manutenção Produtiva Total (TPM). A terceira geração surge a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) que foi desenvolvida para auxiliar empresas aéreas a elaborar seus programas de manutenção. Nesse modelo de manutenção é feita uma análise e uma classificação dos modos de falha, seus danos potenciais para a máquina e suas possibilidades de ocorrência baseadas no histórico de falhas do equipamento. Esse estudo pode utilizar como auxílio à ferramenta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), focando sempre em garantir que o equipamento atinja a maior confiabilidade através de um plano de manutenção robusto e eficaz para que seja possível atender a demanda da produção sempre que necessário.

Mirshawka e Olmedo, 1993, afirmam que um dos objetivos principais da gestão da manutenção moderna é maximizar a produção, aumento da disponibilidade dos equipamentos, com menor custo e a mais alta qualidade, sem infringir as normas de segurança e causar danos ao meio ambiente. Segundo Zaions, 2003, a manutenção e sua gestão assumem importância crescente no contexto produtivo devido ao aumento da complexidade de sistemas físicos e de suas relações com o ambiente que os cerca. A respeito da MCC afirma que é um processo usado para manter e assegurar que qualquer ativo físico continue a desempenhar a função que lhe foi concebida, e que essa técnica assegura o aumento da confiabilidade e da disponibilidade desses itens físicos.

## 2. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo desse trabalho é propor, através do estudo do modelo de gestão de ativos “Manutenção Centrada em Confiabilidade”, um aprimoramento do plano de manutenção para o sistema de extrusão de uma máquina de Nãotecidos. Esse sistema de extrusão é composto pelos subconjuntos de:

- dosagem de matéria prima; (Figura A.1)
- máquina extrusora; (Figura A.3)
- canal de polímero. (Figura A.4)

A proposta é utilizar a ferramenta de análise de falhas, conhecida como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) para montar a matriz com todas possíveis falhas de componentes do sistema de extrusão. Definida a matriz de possíveis falhas, deverá ser realizada uma análise de priorização, propondo-se um fator de risco para cada falha. Pretende-se, após a montagem e classificação da matriz, propor uma alteração nas atividades do plano preventivo do sistema como um todo, buscando a obtenção de uma alta confiabilidade do ativo. As novas atividades do plano preventivo devem procurar sanar a maior parte das possibilidades de falha do sistema

apontadas durante o estudo. Também, propõem estabelecer um programa de capacitação para as pessoas que tem contato direto com a máquina através do conhecimento no método MCC.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

São apresentados a seguir alguns trabalhos importantes relativos à manutenção centrada em confiabilidade (MCC).

Nowlan e Heap, 1978, após um pedido do departamento de defesa dos Estados Unidos, escreveram um relatório denominado “*Reliability-Centered Maintenance*” (RCM), descrevendo quais condições devem existir para que a manutenção programada seja efetiva. A aplicação do método garantiu a certificação para operação comercial do primeiro Boeing 747-100, pela FAA (*Federal Aviation Authority*), no dia 30 de dezembro de 1969.

O termo manutenção foi definido como “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”, através de um “Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade” [Branco, 1996].

Em 1999, após uma solicitação do governo norte americano, a Sociedade Americana de Engenheiros Automotivos (SAE), publicou uma norma que descrevia os critérios mínimos que qualquer processo MCC deve atender. Em 2002, estes critérios foram detalhados através da publicação da norma 2 e sua última revisão foi em 2009 [SAE JA1011: *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes*, 1999]. Nesse mesmo ano, Fleming, et alli, 1999, discutiram lições aprendidas na aplicação da MCC na indústria brasileira analisando seis casos práticos e apontando dificuldades e benefícios alcançados nessas empresas.

Na segunda edição de seu livro *Reliability-centred Maintenance*, em 2001, Moubray, 2001, atribui à manutenção a função de “assegurar que os itens físicos continuem a fazer o que os seus usuários querem que façam”. Essa mudança de enfoque que passou para a função que o mesmo desempenha e não para o item em si foi de extrema importância para a manutenção

Lafracia, 2001, evidenciou que uma das principais funções da manutenção e, consequentemente, do plano de manutenção é aumentar a confiabilidade do item físico a qual é aplicada e Nunes, 2001, avaliou o impacto da aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade na Central Hidrelétrica de Itaipu, particularmente no Sistema de Operação e Manutenção (SOM) e concluiu que a MCC possibilita melhorias significativas no desempenho da função manutenção e ganhos para a confiabilidade e disponibilidade de equipamentos, ao apresentar uma forma estruturada para a definição do plano de manutenção.

Sellitto, et alli, 2002, aplicaram uma análise quantitativa da manutenção centrada em confiabilidade utilizando ferramentas como o *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) e a distribuição de *Weibull* em uma empresa de serviço de transporte urbano de passageiros.

Através do livro *Manutenção Centrada em Confiabilidade – Manual de Implementação*, Siqueira, 2005, apresentou um modelo de implementação do MCC consistente com as normas internacionais vigente, e com os requisitos documentais e organizacionais das normas ISO 9000, obra essa que pode ser utilizado como guia de implementação da MCC em qualquer empreendimento ou serviço.

Vaz, et alli, 2010, demonstraram a importância da aplicação da manutenção centrada em confiabilidade (MCC), com foco na redução de indisponibilidade do equipamento, reduções nos custos das manutenções, aumento da vida útil do equipamento, aumento na confiabilidade do processo, segurança e a garantia de qualidade do produto em um laminador desbastador que utiliza laminação a frio.

Nascimento, 2014, aplicou o método MCC através dos seguintes passos: *i*) escolher o processo a ser estudado e realizar levantamento de dados; *ii*) identificar os conjuntos e subconjuntos que impactam na confiabilidade; *iii*) levantar a taxa de falhas desses

subconjuntos; iv) desenvolver uma FMEA para levantamento dos maiores riscos associados ao equipamento em estudo e v) estabelecer planos de ação da manutenção mais adequado, visando a redução dos riscos levantados na FMEA. Dentre os resultados obtidos estão a ampliação do faturamento em cerca de um milhão por ano e redução de 10% no descarte de produtos não conformes.

## 4 MODALIDADES E EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

### 4.1 Manutenção no tempo

A visão como as empresas enxergam a manutenção foi se alterando com o passar das décadas. Essas mudanças foram ocorrendo devido a crescente aumento da complexibilidade das máquinas e da importância, cada vez maior, que a disponibilidade de um ativo tem para a empresa. A história da manutenção pode ser dividida em três gerações distintas, conforme descrito por Siqueira, 2005. A primeira geração prevaleceu durante a década de 40 e nessa geração a manutenção de forma planejada praticamente não existia, e se limitava em tarefas preventivas de serviço, como limpeza e lubrificação das máquinas. O que predominava nessa época eram as manutenções corretivas, que como o nome indica, aconteciam após a falha do equipamento, para sua correção. Com o avanço tecnológico pós Segunda Guerra Mundial, uma maior disponibilidade e vida útil, a um baixo custo, tornou-se um objetivo básico de avaliação dos ativos no ambiente industrial [Siqueira, 2005] e desta forma, começa a segunda geração (1950 – 1975) onde surge o conceito de manutenção preventiva para acompanhar essas expectativas cada vez maiores das indústrias em relação a manutenção. No final dessa geração foi criada a Manutenção Produtiva Total (TPM), exemplificada por Suzuki, 1994, como a alteração da frase “eu opero, você conserta” para “eu e você produzimos”. Uma terceira geração se inicia em 1975 e vai até os dias atuais, ela se fez necessária após diversas alterações nas indústrias que estão cada vez mais globalizadas, automatizadas e com preocupações ambientais e de segurança. O custo da manutenção ainda está crescendo, em algumas empresas esse valor é o segundo maior ou até mesmo o maior elemento nos custos de operação [Moubray, 2001]. Nessa geração surge o conceito de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). A figura 4.1 ilustra principais características das três gerações da manutenção [Moubray, 2001].

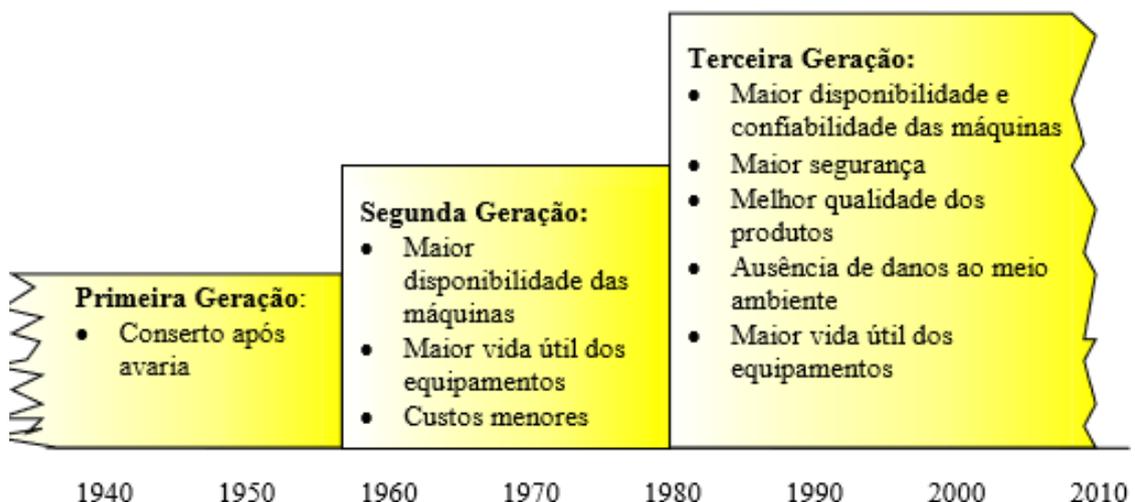


Figura 4.1 - Evolução da Manutenção.

## 4.2 Tipos de Manutenção

Existem algumas modalidades de manutenção caracterizadas pela forma como é realizada a intervenção nas máquinas, equipamentos e sistemas. Essas abordagens variam de autor para autor, porém quatro tipos de manutenção são comumente citados correspondendo aos que são descritos a seguir.

### 4.2.1 Manutenção Corretiva

Duas condições permitem a manutenção corretiva, a primeira é quando o processo está deficiente e é verificado pelas variáveis operacionais e a segunda é quando há ocorrência de falha, ou seja, interrupção da função. Na manutenção corretiva é muito importante identificar as causas raízes da falha para eliminá-las, evitando reincidência. Essa manutenção pode ser feita logo que a falha acontece ou pode ser programada e planejada para uma data posterior [Branco, 2008]. A manutenção corretiva não planejada pode acarretar em perdas de produção e de qualidade de produto. Esse tipo de manutenção é um importante indicador pois, se o seu volume é muito grande, isso demonstra a ineficiência da manutenção dentro da empresa. Esse tipo de manutenção não é desejado, porém irá sempre ocorrer uma vez que existem módulos de falha que não respondem adequadamente a outras formas de manutenções e que podem não ser detectados por inspeções ou monitoramentos

### 4.2.2 Manutenção Preventiva

Essa modalidade de manutenção consiste no planejamento e execução de atividades, objetivando manter as máquinas e equipamentos em estado de uso a fim de prevenir paradas no processo de funcionamento. Deve seguir um plano previamente elaborado e é baseada em intervalos definidos de tempo. Nunes, 2001 afirma que essa manutenção é feita de forma sistemática quando a evolução da degradação do equipamento é conhecida e que essa degradação ocorre de forma mais acelerada se o equipamento for operado de forma inadequada. Segundo Lafraia, 2001, essa manutenção deve ser realizada de forma obrigatória, e normalmente tem o maior custo do ponto de vista das outras formas de manutenção, porém garante uma maior disponibilidade e confiabilidade do equipamento em relação a manutenção corretiva. Nesse tipo de manutenção, os parâmetros de distribuição do tempo para a falha dos principais modos de falha e seus efeitos, devem ser considerados para a otimização da substituição preventiva. A manutenção preventiva é considerada como superior em relação a manutenção corretiva e tem como vantagem assegurar a continuidade do funcionamento do ativo, parando apenas para consertos programados, auxiliando dessa forma o cumprimento do plano de produção da máquina.

### 4.2.3 Manutenção Preditiva

Essa manutenção pode ser considerada como todo o trabalho de monitoramento, controle das condições de um equipamento, tarefas de inspeção e controle estatísticos para prever ou prever a proximidade da ocorrência de falha. Este tipo de manutenção está baseado em na análise da tendência das variáveis críticas de um equipamento, através de medições periódicas e contínuas evitando paradas inesperadas e substituição de peças desnecessárias. No processo de análise da falha são utilizados métodos não destrutivos. Após o diagnóstico, a correção da anomalia é planejada, de forma a evitar uma falha do equipamento. Existem várias análises

possíveis nesse tipo de manutenção, mas as mais comuns são: análise de termografia, análise de vibração e análise de ultrassom. Segundo Xavier, 2005, quando a intervenção, fruto do acompanhamento preditivo, é realizado, fazendo uma Manutenção Corretiva Planejada. Esse tipo de manutenção é conhecido como CBM (*Condition Based Maintenance*) ou manutenção baseada na condição. Essa abordagem de manutenção permite que os equipamentos operem por mais tempo e intervenções ocorram com base em dados e não em suposições.

#### 4.2.4 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

A primeira ocorrência que culminou com o modelo denominado Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), descrito posteriormente por Nowlan e Heap, 1978, foi devido a necessidade de certificação da linha de aeronaves Boeing 747 pela *Federal Aviation Authority* (FAA). Os modelos de manutenção até então existentes, não eram capazes de atender as exigências feitas pelo órgão regulador, uma vez que esse avião triplicou o número de assentos em comparação a maior aeronave existente na época e isso exigiu níveis de automação jamais vistos na aviação comercial. [Siqueira, 2005].

A MCC é uma ferramenta que visa racionalizar e sistematizar a determinação de tarefas adequadas a serem adotadas no plano de manutenção, além de garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações ao menor custo, como foi observado por Nunes, 2001. Esse tipo de manutenção está estruturado no princípio que toda tarefa de manutenção deve ser justificada antes de ser executada. Essa motivação pode corresponder a segurança, a disponibilidade e a economia em adiar ou prevenir um modo específico de falha. Para atingir seu objetivo, a MCC identifica os modos de falha que afetam as funções e determinar a importância de cada falha funcional a partir dos modos de falha e seleciona as tarefas aplicáveis e efetivas para a prevenção dessas falhas. [Zaions, 2003].

Para Fogliatto e Ribeiro, 2009, os programas de MCC têm se mostrado um método eficiente na função manutenção das empresas, contribuindo para o alcance da excelência nas atividades de manutenção. Nascimento, 2014, demonstrou que utilizando como base os conceitos da MCC é possível estabelecer estratégias de manutenção que contribuem para melhorar indicadores, como a redução da incidência de falha e do período médio para reparo dessas falhas, além da otimização da manutenção preventiva e do uso abrangente da manutenção preditiva. O aperfeiçoamento desses indicadores culmina em um aumento da confiabilidade e da disponibilidade do equipamento. Esse método também atinge, através do trabalho em equipe, um maior conhecimento sobre o funcionamento do ativo, além de sempre buscar o aumento da segurança e a anulação dos danos ambientais.

No organograma da figura 4.2, conforme Branco, 2008, são demonstradas as três tradicionais formas de manutenção (preventiva, corretiva e preditiva) e suas ramificações.

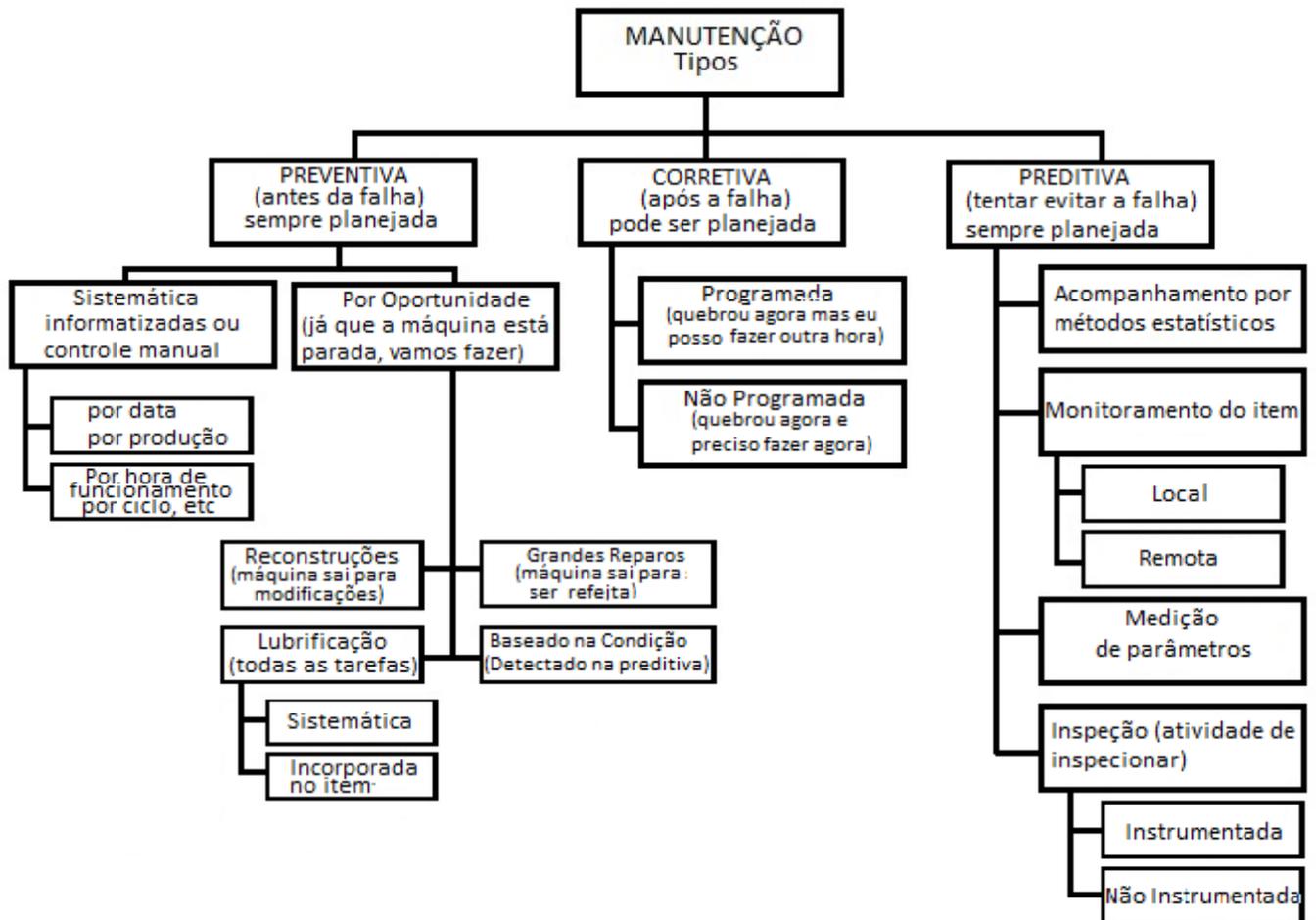


Figura 4.2 - Organograma demonstrativo de tipos de manutenção.

#### 4.4 Modos de Falha

Segundo a norma SAE JA1011 um modo de falha é um evento ou condição física, que causa uma falha funcional. O modo de falha está associado ao fenômeno físico que provoca a transição do estado normal para o estado anormal. Os modos de falha descrevem como as falhas funcionais acontecem, desta forma se tornam as chaves sobre as formas adequadas de combate à falha funcional [Siqueira, 2005]. O estudo desses modos de falha é de extrema importância para a manutenção, principalmente se o método que está sendo aplicado é a MCC. Nowlan e Heap desenvolveram um estudo onde definiram seis padrões de falha que foram demonstrados em forma de curvas em gráficos da taxa de falhas em relação ao tempo. Essas curvas são ilustradas na figura 4.3, adaptada de Siqueira, 2005.

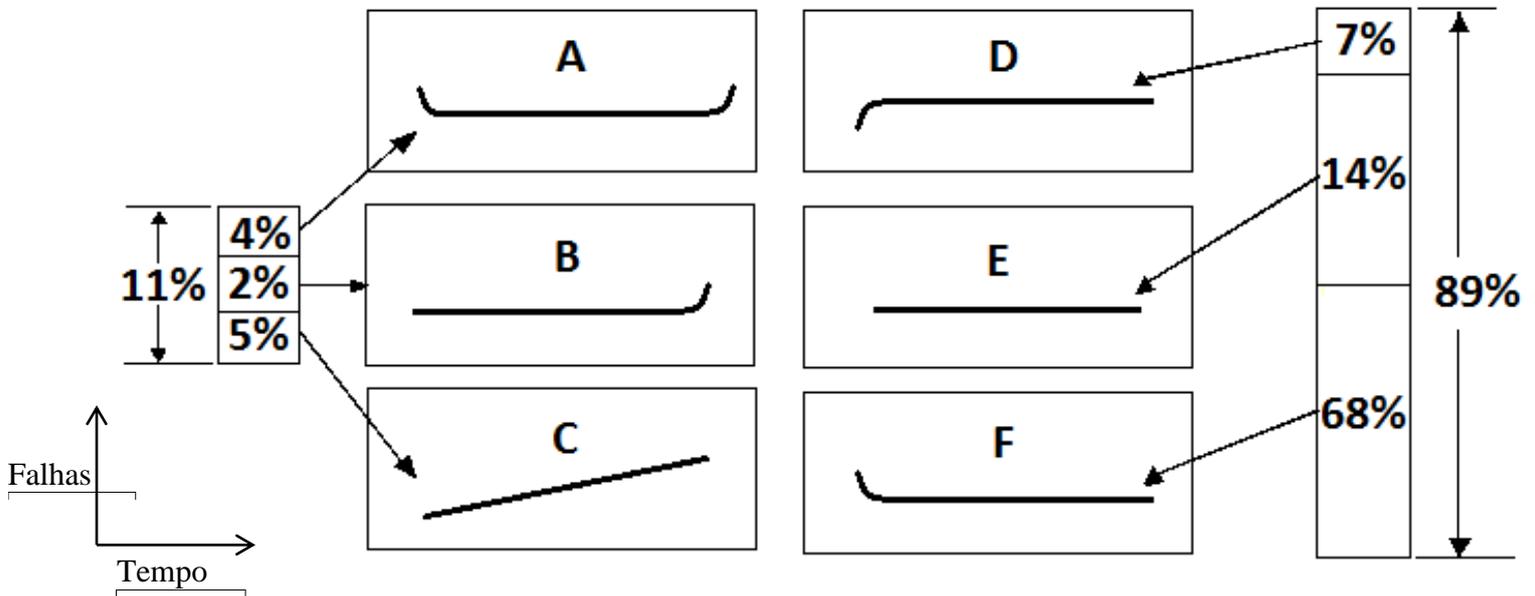


Figura 4.3 - Tipos de curvas de falhas.

Da análise da figura 4.3, cabe ressaltar os percentuais correspondentes a cada tipo de falha. Enquanto apenas 11% dos defeitos apresentam limite de idade, sendo apenas 4% desses obedecendo a clássica curva da banheira, 89% dos defeitos verificados não apresentam taxas de falhas crescentes. Outro fato relevante é de que, com exceção da curva C, todos os demais casos (95%) apresentam características de falha constante durante a maior parte da vida útil do equipamento. Isso significa que boa parte das substituições de peças que estão em funcionamento no ativo, se não foram determinadas por uma manutenção preditiva, tem grande chance de piorarem o desempenho do ativo, devido a introdução da falha por mortalidade infantil nesses componentes. Alguns exemplos para cada um dos tipos de falha são: motores elétricos e engrenagens (tipo A), máquinas a pistão e discos (tipo B), compressores e rolamentos (tipo C), flaps de turbinas e itens pré-testados (tipo D), lâmpadas (tipo E) e eletrônicos e *softwares* (tipo F). Ainda sobre as falhas, não se deve esquecer o fator humano como causador de tais falhas, citando dois tipos de erros: erros ativos e erros latentes. No primeiro, o erro pode ser observado assim que ocorre, enquanto que no segundo o erro demora em ser percebido.

#### 4.5 Análise de Modos e Efeitos de Falha - FMEA

A Análise de Modos e Efeitos de Falhas ou, em inglês, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), surgiu em 1960 em um programa espacial e mais tarde passou a ser utilizada nos padrões militares. Essa análise pode ser utilizada como procedimento estruturado para avaliar, conduzir e atualizar o desenvolvimento de projeto e processo dentro de uma organização, também é muito utilizada como forma de manter registros de qualquer alteração durante a vida útil do produto, e principalmente como ferramenta para prefinir problemas e identificar soluções eficazes e de baixo custo. De acordo com Pyzdek e Keller, 2011, a FMEA é uma forma de identificar as possíveis falhas, seus efeitos sobre o sistema, a probabilidade de ocorrência e a probabilidade de que a falha passe despercebida, tendo como objetivo orientar a aplicação dos

recursos para as oportunidades mais vantajosas. Um estudo FMEA envolve a identificação dos seguintes aspectos:

- função: objetivo, com o nível desejado de performance;
- falha funcional: perda da função ou desvio funcional;
- modo de falha: o que pode falhar;
- causa da falha: porque ocorre a falha;
- efeito da falha: impacto resultante na função principal;
- criticidade: severidade do efeito.

Para ser efetiva, a FMEA deve ser constantemente atualizada, devendo ser aplicada em todas as novas aquisições de equipamentos, após cada modificação em um sistema existente e a todos os itens operacionais submetidos ao processo MCC. Cada ocorrência de falha deve desencadear um processo de verificação e possível revisão do estudo FMEA correspondente [Siqueira, 2005].

## 5 METODOLOGIA APLICADA PARA DESENVOLVIMENTO DO MCC

Para a aplicação do método Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) alguns passos foram seguidos, como a busca pelas respostas das sete perguntas demonstradas em Moubray, 2001, que são:

- quais são as funções e padrões de desempenho associados ao ativo?
- de quais maneiras não cumpre as funções?
- o que causa cada falha funcional?
- o que acontece quando cada uma das falhas ocorre?
- de que forma cada falha impacta no processo?
- o que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- o que deve ser feito se nenhuma alternativa de prevenção for encontrada?

As definições das funções e padrões de desempenho do ativo são à base do MCC e todos os envolvidos na implementação devem compreender quais as funções o equipamento deve cumprir e qual o padrão dessas funções, além de saber como os equipamentos podem falhar em cumprir essas atividades. Como o foco do método são as ações preventivas para evitar as falhas, é importante identificar as causas de cada falha funcional e o que acontece quando cada falha ocorre e de que forma cada uma impacta no processo. Após conhecer as consequências das falhas, é possível fazer uma priorização, e identificar o que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha. Por fim, é necessário planejar o que deve ser feito quando nenhuma alternativa de prevenção for encontrada. A MCC está concentrada na definição de estratégias de manutenção preventiva, porém devem ser analisados outros parâmetros como a manutenção corretiva e gestão de peças sobressalentes [Fogliatto e Ribeiro, 2009].

### 5.1 Montagem da equipe de trabalho.

As respostas para essas perguntas são fundamentais para o desenvolvimento do método e devem ser respondidas por pessoas capacitadas e que têm um bom entendimento sobre o funcionamento e os padrões do ativo. Por esse motivo, foi estabelecida uma equipe dentro da empresa para a implementação do MCC. Esse grupo foi composto por engenheiros, técnicos eletrônicos, mecânicos e de segurança, operadores, líderes de produção e estudantes de engenharia. A primeira ação após a montagem da equipe foi a apresentação do método, mostrando o que pode ser alcançado através dele e quais as expectativas para o grupo. Para a resolução das questões o meio utilizado foi o proposto por Nascimento, 2014, que consiste em: escolher o processo a ser estudado e realizar o levantamento de dados; identificar os conjuntos

e subconjuntos que impactam na confiabilidade; levantar a taxa de falhas desses subconjuntos; desenvolver uma FMEA para levantamento dos maiores riscos associados ao equipamento em estudo; estabelecer planos de ação da manutenção mais adequado, visando a redução de riscos levantados na FMEA.

O processo escolhido foi o de extrusão de uma das linhas fabris da planta, onde os conjuntos (dosagem, extrusora e canal de polímero) e subconjuntos que impactam na confiabilidade foram identificados. A escolha dessa parte da máquina foi devido ao fato de ser considerada a parte vital do ativo, isso porque a maioria dos controles de processo, e consequentemente defeitos de qualidade, ocorrem nessa etapa da produção. Também, outro ponto relevante para essa determinação foi o alto percentual de falhas de manutenção que ocorreram de janeiro de 2016 até março de 2018, que representam quase metade da totalidade das falhas no período.

## 5.2 Elaboração da tabela de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA).

Para a montagem da tabela, foram apresentados a equipe os aspectos que deveriam ser identificados em cada um dos itens analisados. A tabela desenvolvida pode ser observada nas figuras 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 – FMEA desenvolvida para o sistema de dosagem do ativo.

Conjunto	Função	Modo(s) de Falha(s)	Nº	Tipo de Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Deteção (D)	Risco (O*S*D)	Tempo de Parada de Produção
D o s a g e m  d a m a t é r i a  p r i m a	D o s a g e m	Silo Principal - Falha Célula de carga	1	F	Falha na medição de quantidade de matéria prima no silo, gerando uma falta de controle na quantidade de PP naquele silo. Utilização do silo secundário	1	1	10	10	00:00
		Bomba de Vácuo - Queima do motor	2	A	Falha no motor, irá causar falta de matéria prima	5	1	5	25	01:00
		Bomba de Vácuo - Rompimento Correia	3	A	Falha na ligação motor- eixo, irá causar falta de matéria prima	5	1	5	25	00:30
		Tubulação - Vazamentos	4	E	Perda de material no transporte silo - dosador podendo gerar falta de matéria prima	6	3	5	90	00:30
		Conair (Silo 1) - Obstrução cilindro pneumático	5	E	Cilindro não irá atuar da forma desejada podendo gerar falta de matéria prima ou produto não-conforme	5	7	10	350	00:30
		Conair (Silo 1) - Vazamento cilindro pneumático	6	E	Cilindro não irá atuar da forma desejada podendo gerar falta de matéria prima ou produto não-conforme	5	3	2	30	00:30
		Conair (Silo 1) - Obstrução Mecânica porta	7	E	Travamento da porta que libera o material, podendo gerar falta de matéria prima.	5	1	10	50	01:00
		Conair (Silo 1) - Sensor de pressão	8	F	Não irá indicar o nível de matéria prima, podendo gerar falta de matéria prima.	5	2	10	100	00:30
		Conair (Silo 2) - Vazamento cilindro pneumático	9	E	Cilindro não irá atuar da forma desejada podendo gerar falta de matéria prima ou produto não-conforme	5	3	2	30	00:30
		Conair (Silo 2) - Obstrução cilindro pneumático	10	E	Cilindro não irá atuar da forma desejada podendo gerar falta de matéria prima ou produto não-conforme	5	7	10	350	00:30
		Conair (Silo 2) - Sensor de pressão	11	F	Não irá indicar o nível de matéria prima, podendo gerar falta de matéria prima.	5	2	10	100	00:30
		Conair - Cooler IHM	12	F	Aquecimento do IHM e desligamento do mesmo podendo gerar falta de material	5	7	5	175	01:00
		Conair - IHM	13	F	Problema na comunicação sensores - CLP - máquina, podendo gerar falta de matéria prima ou produto não conforme	7	7	10	490	03:00
		Misturador - Queima motor elétrico	14	A	Não irá misturar a matéria prima da forma correta gerando produto não conforme.	5	1	5	25	01:00
		Misturador - Falha mecânica motoredutor	15	A	Não irá misturar a matéria prima da forma correta gerando produto não conforme.	5	1	5	25	01:00
		Misturador - Falha nas pás de mistura	16	E	Não irá misturar a matéria prima da forma correta gerando produto não conforme.	5	1	9	45	00:00
		Balança - Células de carga	17	F	Falha no controle da quantidade de material que vai para a extrusão podendo gerar produto não conforme	8	1	10	80	00:00

Tabela 5.2 – FMEA desenvolvida para a máquina extrusora e para o canal de polímero do ativo.

Conjunto	Função	Modo(s) de Falha(s)	Nº	Tipo de Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Deteccção (D)	Risco (O*S*D)	Tempo de Parada de Produção
E x t r u s o r a	E x t r u s o r a  m a t r i z a  p r i m a	Motor - Queima	18	A	Falha no motor gerando a parada da linha	8	1	5	40	04:00
		Motor - Rolamento	19	A	Falha no rolamento podendo gerar a queima do motor e consequentemente parada de máquina	8	1	5	40	04:00
		Motor - rompimento Correia	20	A	Falha da comunicação motor - eixo gerando parada de linha	5	1	5	25	00:30
		Inversor - Queima	21	A	Falha no inversor podendo gerar produto não conforme	8	3	10	240	00:00
		Caixa de redução - Rolamento	22	A	Falha no rolamento gerando variação no torque do parafuso sem fim podendo gerar produto não conforme	8	1	5	40	00:00
		Caixa de redução - Falha no sistema de arrefecimento	23	C	Superaquecimento do sistema de redução podendo gerar quebra do mesmo e variação no torque do parafuso sem fim, pode gerar em produto não conforme.	8	1	7	56	00:00
		Parafuso sem fim - Sensor de Pressão	24	F	Falha no sistema de controle de pressão podendo gerar força excessiva no parafuso sem fim e produto não conforme	6	3	10	180	00:00
		Parafuso sem fim - Sensor de Temperatura	25	F	Falha no sistema de controle da temperatura do canhão de extrusão podendo gerar produto não conforme	10	3	3	90	04:00
		Parafuso sem fim - Resistências	26	F	Falha no aquecimento do canhão da extrusora podendo gerar parada de linha	10	8	3	240	04:00
		Troca Telas - Sensor de Pressão	27	F	Falha no sistema de controle de pressão podendo gerar parada de máquina	10	8	3	240	04:00
		Troca Telas - Resistências	28	F	Falha no sistema de aquecimento podendo gerar em parada de máquina	10	8	3	240	04:00
		Troca Telas - Sensor de Temperatura	29	F	Falha no sistema de controle da temperatura podendo gerar em parada de máquina	10	4	3	120	04:00
		Troca Telas - Comando Hidráulico	30	F	Falha no comando hidráulico podendo gerar produto não conforme ou parada de máquina	6	4	10	240	00:30
		Troca Telas - Sensor de fim de curso	31	F	Falha no sensor de fim de curso podendo gerar parada de máquina	5	4	7	140	00:30
Canal de Polímero	Direcionar o fluxo de matéria prima até a matriz	Resistências	32	F	Falha no aquecimento do canal de PP podendo gerar produto não conforme ou parada de máquina	10	8	3	240	04:00
		Sensores de Temperatura	33	F	Falha no sistema de controle de temperatura podendo gerar produto não conforme ou parada de máquina	10	4	3	120	04:00
		Bomba de PP - Queima	34	A	Queima da bomba de PP gerando parada de máquina	8	5	10	400	04:00
		Inversor Bomba de PP - Queima	35	A	Queima do inversor da bomba e PP podendo gerar produto não conforme ou parada de máquina	8	1	10	80	01:00

### 5.3 Priorização dos itens da FMEA

Após a elaboração da tabela da FMEA, foi necessário identificar quais itens eram prioritários na tabela. Para essa determinação foi utilizado um fator de risco que consiste em: Risco = Severidade (S) X Ocorrência (O) X Deteccção (D) [Fogliatto e Ribeiro, 2009]. Esse índice permite uma hierarquização dos modos de falha, que podem ser classificados da maior para a menor criticidade. A adaptação das tabelas A.1, A.2 e A.3 para a realidade da máquina, foram feitas em conjunto com toda a equipe através de reuniões.

#### 5.3.1 Severidade (S)

Esse multiplicador se baseia na consequência que a falha irá causar e utiliza como base os valores qualitativos da tabela A.1. Esse impacto pode ter uma severidade muito alta quando é referente à segurança de quem tem contato com a máquina ou ao meio ambiente. Também pode levar uma nota alta quando resultarem em grandes paradas de máquina ou em defeitos que chegam até o cliente e podem gerar multa, devolução do material ou desgaste da imagem

da empresa perante o público. O indicador é de nível moderado quando as falhas geram defeitos que são percebidas no controle de qualidade ou que podem resultar em pequenas paradas de máquina, e tem sua categorização considerada baixa quando os defeitos causados pela falha ficam dentro dos limites das especificações do produto. Quando a falha não irá implicar em nenhuma parada de máquina ou alteração do produto final ela é considerada mínima.

### 5.3.2 Ocorrência (O)

Esse item é quantitativo e é medido através do percentual de ocorrência da falha em relação ao número total de falhas da máquina no período analisado. A categorização desse item é muito alta quando as falhas são quase inevitáveis, alta quando as falhas ocorrem com frequência, moderada quando são ocasionais, baixa se raramente ocorrem ou mínima se são muito improváveis. A tabela A.2 foi utilizada como base para os valores de ocorrência e o percentual foi calculado através dos apontamentos de falhas nos livros de turno da linha no período de janeiro de 2016 até março de 2018.

### 5.3.3 Detecção (D)

A detecção refere-se à capacidade de a equipe conseguir detectar uma falha antes que ela ocorra. Esse monitoramento do ativo é feito de diversas maneiras e a principal delas é a manutenção preditiva, onde análises como a de vibração, termografia e ultrassom, são feitas com auxílio de ferramentas específicas. Outra técnica que colabora nessa detecção corresponde as rotas técnicas e a percepção dos operadores e demais envolvidos na máquina. O valor máximo desse multiplicador ocorre quando não existe possibilidade de detecção da falha naquele cenário e é mínimo quando é praticamente certo que a falha será descoberta antes de ocorrer através dos métodos disponíveis. A tabela A.3 foi utilizada como base para a obtenção dos valores qualitativos desse item.

O fator de risco não cresce de forma linear, e em casos de empate a priorização irá seguir a ordem de itens com maior severidade seguido de itens com menor possibilidade de detecção. Outro ponto importante é o fato de que quando o valor de severidade for igual a 10, esse item deve ser considerado prioritário uma vez que o que está em risco é a segurança ou o meio ambiente. Após a priorização dos itens mostrados nas figuras 5.1 e 5.2, as falhas com maior risco no sistema são as mostradas na tabela 5.1 e o valor de corte para foi de 100.

O sistema com maior número de modos de falha, após a priorização, foi a extrusora com nove itens, seguida da dosagem com seis e o canal de polímero foi o último com apenas dois.

Analisando-se os cinco primeiros itens, constata-se que três deles são referentes ao sistema de dosagem. Já os percentuais dos tipos de modo de falha nos dezessete itens críticos analisados ficaram em 76,4% para o tipo F, 11,8% para o tipo A e 11,8% para o tipo E. Cinco dos dezessete itens tiveram nota máxima no quesito severidade, o que faz com que esses componentes requeiram atenção especial uma vez que o que está em risco é a segurança dos operadores, técnicos de manutenção e demais pessoas que tem contato com o ativo.

Tabela 5.3 – Priorização das falhas.

Modo(s) de Falha(s)	Nº	Tipo de Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Deteção (D)	Risco (O*S*D)	Tempo de Parada de Produção
Conair - IHM	13	F	Problema na comunicação sensores - CLP - máquina, podendo gerar falta de matéria prima ou produto não conforme	7	7	10	490	03:00
Bomba de PP - Queima	34	A	Queima da bomba de PP gerando parada de máquina	8	5	10	400	04:00
Conair (Silo 1) - Obstrução cilindro pneumático	5	E	Cilindro não irá atuar da forma desejada podendo gerar falta de matéria prima ou produto não-conforme	5	7	10	350	00:30
Conair (Silo 2) - Obstrução cilindro pneumático	10	E	Cilindro não irá atuar da forma desejada podendo gerar falta de matéria prima ou produto não-conforme	5	7	10	350	00:30
Inversor - Queima	21	A	Falha no inversor podendo gerar produto não conforme	8	3	10	240	00:00
Parafuso sem fim - Resistências	26	F	Falha no aquecimento do canhão da extrusora podendo gerar parada de linha	10	8	3	240	04:00
Troca Telas - Sensor de Pressão	27	F	Falha no sistema de controle de pressão podendo gerar parada de máquina	10	8	3	240	04:00
Troca Telas - Resistências	28	F	Falha no sistema de aquecimento podendo gerar em parada de máquina	10	8	3	240	04:00
Troca Telas - Comando Hidráulico	30	F	Falha no comando hidráulico podendo gerar produto não conforme ou parada de máquina	6	4	10	240	00:30
Resistências	32	F	Falha no aquecimento do canal de PP podendo gerar produto não conforme ou parada de máquina	10	8	3	240	04:00
Parafuso sem fim - Sensor de Pressão	24	F	Falha no sistema de controle de pressão podendo gerar força excessiva no parafuso sem fim e produto não conforme	6	3	10	180	00:00
Conair - Cooler IHM	12	F	Aquecimento do IHM e desligamento do mesmo podendo gerar falta de material	5	7	5	175	01:00
Troca Telas - Sensor de fim de curso	31	F	Falha no sensor de fim de curso podendo gerar parada de máquina	5	4	7	140	00:30
Troca Telas - Sensor de Temperatura	29	F	Falha no sistema de controle da temperatura podendo gerar em parada de máquina	10	4	3	120	04:00
Sensores de Temperatura	33	F	Falha no sistema de controle de temperatura podendo gerar produto não conforme ou parada de máquina	10	4	3	120	04:00
Conair (Silo 1) - Sensor de pressão	8	F	Não irá indicar o nível de matéria prima, podendo gerar falta de matéria prima.	5	2	10	100	00:30
Conair (Silo 2) - Sensor de pressão	11	F	Não irá indicar o nível de matéria prima, podendo gerar falta de matéria prima.	5	2	10	100	00:30

#### 5.4 Seleção de tarefas e definição de intervalo de tempo

Dos trinta e cinco modos de falha analisados, após a priorização dos itens críticos esse número foi reduzido para dezessete. Posteriormente, foi analisado o antigo plano de manutenção para comparação com as tarefas que já estavam contempladas para cada uma dessas falhas, para aqueles que não têm nenhuma ação planejada, deve-se gerar uma, ou mais, atividades no plano preventivo do ativo para adiar, eliminar ou mitigar as consequências dessas falhas caso ocorram.

O primeiro critério a ser analisado no momento da determinação de uma tarefa de manutenção preventiva em um componente é se essa ação é aplicável e eficaz. Para a determinação do intervalo de tempo entre as atividades de manutenção deve-se analisar os indicadores de tempo médio entre falhas (MTBF) dos componentes. Moubray, 2001, menciona que há dois intervalos para execução das tarefas, o primeiro é denominado limite da vida segura do componente e deve ser considerado quando as falhas têm consequências na segurança humana ou ambiental, e o segundo é definido como limite da vida econômica e está associado com as consequências que interferem na eficiência do componente e na possibilidade de causar defeito no produto final. Normalmente, a periodicidade do primeiro é o

valor do MTBF dividido por um fator de segurança entre 2 e 3, enquanto o segundo é usualmente um valor inferior a vida útil histórica do componente, que é o MTBF.

## 6 RESULTADOS

Como parte referente ao estudo do método de gerenciamento de manutenção denominado Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), vários autores foram consultados e suas principais ideias foram agrupadas de forma a definir a metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo. Como resultado do trabalho desenvolvido, foi proposto um novo plano preventivo para o sistema de extrusão do ativo, tabela 6.1, com ações para cada uma das dezessete falhas críticas levantadas pela FMEA. Comparando com o plano antigo, tabela A.4, percebe-se que não haviam atividades previstas para nenhum item crítico da dosagem. Na parte da extrusora foram alteradas as datas de calibração dos sensores de temperatura e de pressão do sistema de troca telas com base no tempo médio entre falhas (MTBF) desses componentes e, também foram adicionadas ações de calibração nos sensores de temperatura da extrusora que não estavam previstos no plano antigo, além de atividades referentes ao comando hidráulico e ao sensor de fim de curso do troca telas. No canal de PP foi adicionado uma manutenção mensal de verificação da integridade dos cabos e medição das correntes das resistências. Para esses dois componentes faz-se necessário adicionar peças reservas no almoxarifado para assegurar uma maior confiabilidade ao ativo.

Tabela 6.1 – Alterações feitas no plano de manutenção do sistema de extrusão.

Nº Falha	Modo de falha	Ação	Período
<b>Dosagem</b>			
13	Conair - IHM	Limpeza e revisão geral do sistema (soldas, reaperto bornes, integridade dos cabos e conexões) e adição de peças reservas para o sistema no almoxarifado	Trimestral
5	Obstrução Cilindro Pneumático (Silo 1)	Verificação de folgas no curso do pistão	Trimestral
10	Obstrução Cilindro Pneumático (Silo 2)	Verificação de folgas no curso do pistão	Trimestral
12	Conair - Cooler IHM	Verificação do funcionamento do cooler	Rota
8	Conair (Silo 1) - Sensor de pressão	Revisão da integridade dos cabos e aferimento dos sensores	Trimestral
11	Conair (Silo 2) - Sensor de pressão	Revisão da integridade dos cabos e aferimento dos sensores	Trimestral
<b>Extrusora</b>			
21	Inversor - Queima	Limpeza os componentes eletrônicos e troca do IGBT	Anual
26	Parafuso sem fim - Resistências	Verificar a integridade dos cabos e fazer a medição das correntes	Mensal
27	Troca Telas - Sensor de Pressão	Revisão da integridade dos cabos e efetuar aferimento dos sensores	Trimestral
28	Troca Telas - Resistências	Verificar a integridade dos cabos e fazer a medição das correntes	Mensal
30	Troca Telas - Comando Hidráulico	Verificar se não existem folgas no pistão hidráulico e verificar a integridade do sistema pneumático	Trimestral
24	Parafuso sem fim - Sensor de Pressão	Revisão da integridade dos cabos e efetuar aferimento dos sensores	Trimestral
31	Troca Telas - Sensor de fim de curso	Revisão da integridade dos cabos e efetuar aferimento dos sensores	Trimestral
29	Troca Telas - Sensor de Temperatura	Revisão da integridade dos cabos e efetuar aferimento dos sensores	Trimestral
33	Sensores de Temperatura	Revisão da integridade dos cabos e efetuar aferimento dos sensores	Trimestral
<b>Canal de PP</b>			
34	Bomba de PP - Queima	Efetuar a troca da bomba	Semestral
32	Resistências	Verificar a integridade dos cabos e fazer a medição das correntes	Mensal

Durante o estudo foi observada a inexistência de rotas técnicas de manutenção para o ativo. Essa ferramenta de manutenção é de extrema importância pois determina pontos que devem ser observados com uma maior periodicidade do que o tempo entre paradas preventivas que normalmente é mensal. Foram desenvolvidos, juntamente com a equipe de trabalho, duas rotas, uma mecânica e outra eletrônica. Essas rotas são executadas pelos técnicos responsáveis pela manutenção da linha com o uso de instrumental adequado ou por meio do contato manual ou visual, analisando princípios de avarias, vazamentos, ruídos,

vibrações, desgastes de engrenagens, correias e outros elementos dos equipamentos e tem como objetivo principal a manutenção preventiva da máquina. Para as falhas críticas determinadas via FMEA, foi adicionada na rota eletrônica a verificação diária do funcionamento do cooler do IHM (interface homem-máquina) do sistema de dosagem denominado Conair. Também, foi estipulado a inspeção diária das temperaturas das resistências de todo o sistema via supervisor, uma vez que a falha (superaquecimento) desses componentes põem em risco a segurança dos operadores e demais envolvidos com a máquina. Outro resultado alcançado foi o aumento do conhecimento da equipe sobre o ativo, com a análise de quais atividades cada sistema deve executar para entregar o produto final de forma satisfatória e quais as causas raízes dos defeitos que podem impedir a máquina de fazer sua função.

## 7 CONCLUSÕES

O novo plano de manutenção, gerado após as análises, contemplou ações para cada uma das dezessete atividades críticas, entre elas todas as falhas que colocam em risco a segurança dos envolvidos com o ativo. A implementação desse plano em conjunto com as rotas técnicas que foram criadas, espera-se que irão assegurar uma maior confiabilidade no ativo, e visam uma minimização do impacto negativo das atividades de manutenção na disponibilidade dos equipamentos, além de uma maximização dos recursos humanos e materiais disponíveis. Esse plano deve ser encarado como um documento vivo, o qual deverá ser revisto e atualizado periodicamente, de modo a refletir a evolução do conhecimento do comportamento do sistema e de alterações no contexto operacional. Este conhecimento é obtido a partir da análise contínua dos dados de falha e dos resultados dos indicadores de desempenho dos sistemas. A revisão periódica é também de grande importância para acompanhar novas técnicas de inspeção e monitoramento dos componentes do sistema, fazendo com que as técnicas utilizadas na manutenção preditiva propostas no plano sejam sempre as mais eficazes dentre as opções disponíveis no mercado.

Após o término do trabalho, ficou evidente o aumento do conhecimento da equipe em relação ao ativo através da grande quantidade de informações levantadas e organizadas sobre o mesmo. Em comparação com o plano antigo, o plano atual ficou mais robusto, com maior detalhamento das atividades a serem feitas e com as periodicidades determinadas através de análises e não apenas dos manuais dos fabricantes.

De modo geral, os objetivos do trabalho foram atingidos e satisfatórios uma vez que foi possível desenvolver um estudo sobre Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), montar e apresentar esse método para uma equipe de trabalho, e através da análise FMEA propor ações de manutenção que contemplaram um novo plano de manutenção, além do desenvolvimento de atividades de rotina, como as rotas técnicas, que irão auxiliar a equipe a manter o ativo desempenhando sua função. Além disso, todos os dados levantados sobre o sistema e os resultados obtidos foram documentados para auditoria e revisões futuras. A consolidação desses resultados nos indicadores de manutenção como o tempo de máquina parada (*downtime*), o tempo médio entre falhas (*MTBF*) e o tempo médio de reparo (*MTTR*) só será possível em longo prazo. Por ser um método de gestão de manutenção bem estruturado para o qual se esperam resultados satisfatórios, o mesmo estudo deverá ser expandido para o restante da máquina.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Branco, G. F.; **“A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção”**, Rio de Janeiro, 1ª Ed., Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.

Fogliatto, F. S.; Ribeiro, J. L.; **“Confiabilidade e Manutenção Industrial”**, Elsevier, 2ª reimpressão, 2009.

Fleming, V. P.; Silva, F. M; França, R S.; **“Aplicando Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em Indústrias Brasileiras: Lições Aprendidas”**, 1999.

Lafraia, J.; **“Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade”**. Rio de Janeiro: Qualitymark/Petrobras, 2001.

Mirshawka, V.; Olmedo, N. L.; **“Manutenção – Combate aos custos da não-eficácia – a vez do Brasil”**. MAKRON Books: McGraw-Hill, 1993.

Moubray, J.; **“Manutenção Centrada em Confiabilidade – RCM”**, 1ª (edição brasileira). Editora Aladon Ltda., 2001.

Moura, F. L.; Santos, R. G.; Santos, J. M.; **“Proposta de Metodologia de Trabalho com técnicas de Manutenção Preditiva e Preventiva”**, 2011.

Nascimento, J. C. R.; **“Plano de manutenção baseado nos preceitos da MCC em um processo de produção de refrigerantes”**, Dissertação de Mestrado Engenharia de Produção, UFRGS, 2014.

Nowlan, F. S.; Heap, H. F.; **“Reliability-Centered Maintenance”**, Report Number AD-A066579, United States Department of Defense, 1978.

Nunes, E. L.; **“Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise da Implementação em uma Sistemática de Manutenção Preventiva Consolidada”**, Dissertação de Mestrado Engenharia de Produção, UFSC, 2001.

Pyzdek, T.; Keller, P. A.; **“Seis Sigma: Guia Profissional, um guia completo para Green Belts, Black Belts e gerentes de todos os níveis”**. 3ª ed. Rio de Janeiro. Editora Alta Books, 2001.

SAE JA1011, Society of Automotive Engineers; **“Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes”**. Warrendale, 1999, 10 p.

Siqueira, I. P.; **“Manutenção Centrada em Confiabilidade – Manual de Implementação”**. Rio de Janeiro, 1ª ed., Editora Qualitymark Ltda., 2005.

Sellitto, M. A.; Borchardt, M.; Araújo, D. R.; **“Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicando uma Abordagem Quantitativa”**, 2002.

Suzuki, T. **TPM for Process Industries**. Portland: Productivity Press, 1994. 388 p.

Vaz, A. P.; Carazas, F. J.; Souza, G. F.; **“Aplicação das Ferramentas de Gestão de Manutenção Baseadas em Manutenção Centrada em Confiabilidade em um Laminador desbastador”**, 2010.

Xavier, N. J.; **“Manutenção Preditiva: Caminho para a Excelência”**, 2005.

Zaions, D. R.; **“Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de Celulose e Papel”**, Dissertação de Mestrado Engenharia de Produção, UFRGS, 2003.

## Anexo I

Tabela A.1 - Escala de severidade

Severidade	Efeito	Escala
Muito Alta	Quando compromete a segurança pessoal dos usuários e/ou meio ambiente	10
Alta	Quando causa defeitos que podem chegar até o cliente Quando provoca grandes paradas de máquina	9
		8
		7
Moderada	Quando causa pequenas paradas de máquina Quando provoca defeitos que são percebidos pelo controle de qualidade	6
		5
		4
Baixa	A falha pode ser corrigida antes de afetar o produto A falha causa defeitos que ficam dentro dos limites de especificações do produto	3
		2
Mínima	A falha não tem impacto no produto final e não causa parada de máquina	1

Tabela A.2 - Escala de ocorrência

Ocorrência	Falhas	Percentual	Escala
Muito Alta	Falhas quase inevitáveis	10%	10
		5%	9
Alta	Falhas ocorrem com frequência	2%	8
		1%	7
Moderada	Falhas ocasionais	0,5%	6
		0,2%	5
		0,1%	4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	0,05%	3
		0,01%	2
Mínima	Falhas muito improváveis	0,001%	1

Tabela A.3 - Escala de detecção

Deteção da falha		Escala
Muito Remota	Não existe possibilidade de detecção no cenário atual	10
Remota	As análises provavelmente não irão detectar esse modo de falha	9
		8
Baixa	Há uma baixa probabilidade das análises detectarem o modo de falha	7
		6
Moderada	As análises podem detectar o modo de falha	5
		4
Alta	Há uma alta probabilidade das análises detectarem o modo de falha	3
		2
Muito Alta	É quase certo que as análises irão detectar esse modo de falha	1

## Apêndice I



Figura A.1 – Sistema de dosagem (Conair)



Figura A.2 – Sistema de dosagem (Conair) instalado no ativo.

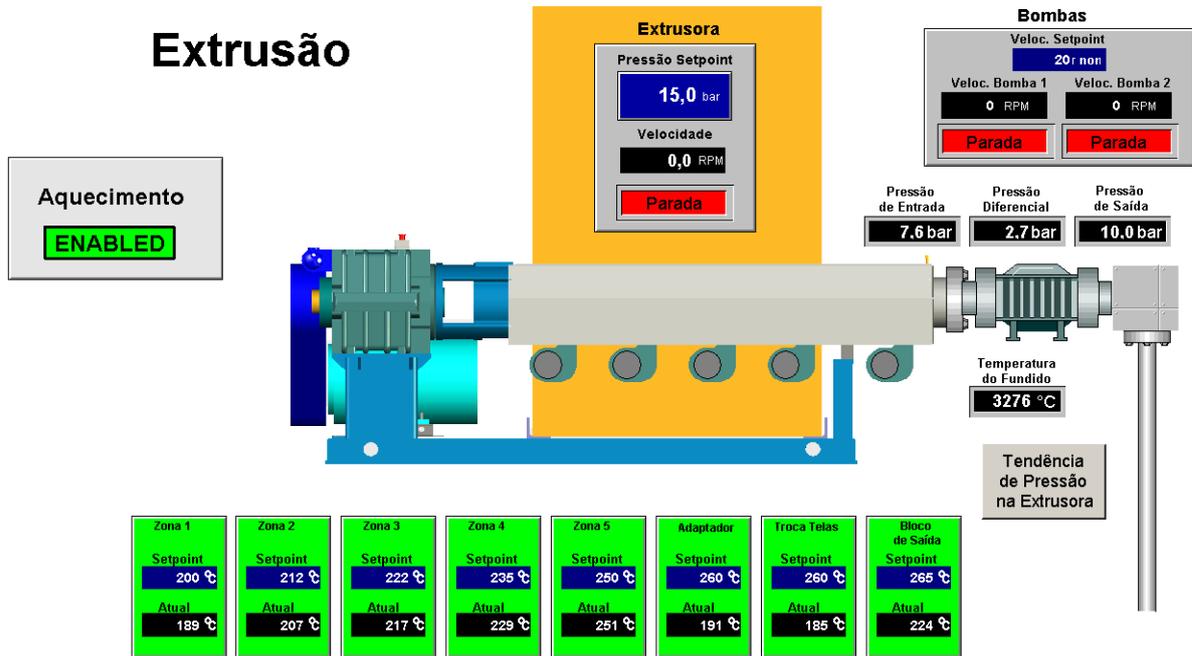


Figura A.3 – Extrusora

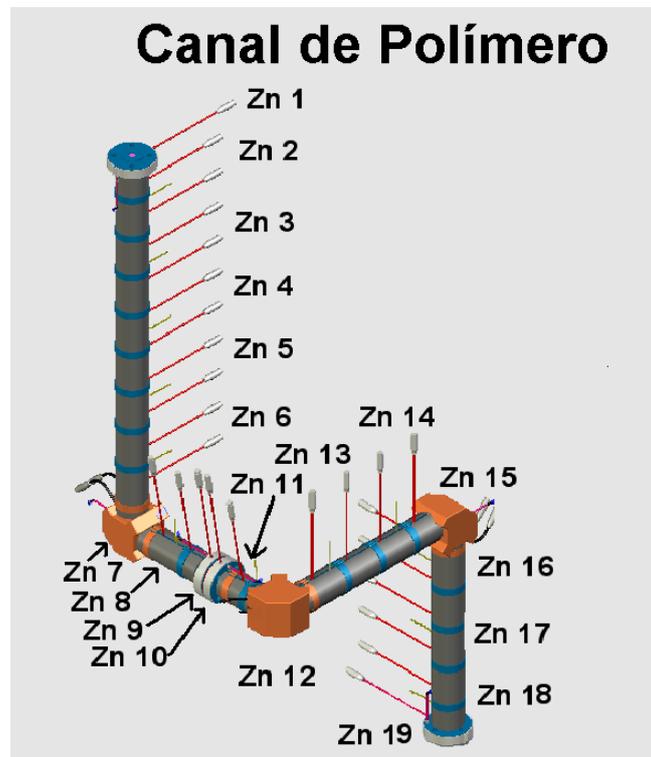


Figura A.4 – Canal de PP

Tabela A.4 Plano antigo para o sistema de extrusão da máquina.

Nº Atividade		Ação	Período
<b>Dosagem</b>			
1	Bomba de Vácuo	Limpeza dos filtros	Mensal
2	Balança Conair	Limpeza	Mensal
<b>Extrusora</b>			
3	Extrusora	Limpeza	Mensal
4	Extrusora	Verificar redutor	Mensal
5	Troca Telas	Limpar Filtro	Mensal
6	Troca Telas	Limpar troca telas	Mensal
7	Troca Telas - Sensor de Temperatura	Calibração	Semestral
8	Troca Telas - Sensor de Pressão	Calibração	Semestral
<b>Canal de PP</b>			
9	Bomba de PP	Verificar vazamentos	Mensal
10	Bomba de PP	Verificar Motor	Bimensal
11	Canal de PP - Sensores de temperatura	Calibração	Semestral