



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE**

**NÚCLEO DE TECNOLOGIA**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM  
CONFIABILIDADE (MCC) UTILIZANDO ANALISE  
MULTICRITÉRIO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA  
EMPRESA DO SETOR ALIMENTÍCIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

POR

ANA PAULA DE BARROS ARAÚJO

Orientador: PROF. Dr. THALLES VITELLI GARCEZ

CARUARU, 2017

**ANA PAULA DE BARROS ARAÚJO**

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM  
CONFIABILIDADE (MCC) UTILIZANDO ANALISE  
MULTICRITÉRIO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA  
EMPRESA DO SETOR ALIMENTÍCIO**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Pesquisa Operacional  
Orientador: Prof.Dr.ThallesVitelli Garcez

Caruaru, Dezembro/2017

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

A663a Araújo, Ana Paula de Barros.  
Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) utilizando análise multicritério: um estudo de caso em uma empresa do setor alimentício. / Ana Paula de Barros Araújo. – 2017  
56f. il.: 30cm

Orientador: Thalles Vitelli Garcez.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, Engenharia de produção, 2017.  
Inclui Referências.

1. Multicritério. 2. Confiabilidade. 3. Falhas - análise. I. Garcez, Thalles Vitelli (Orientador). II. Título.

658.8 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-358)

**ANA PAULA DE BARROS ARAÚJO**

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM  
CONFIABILIDADE (MCC) UTILIZANDO ANALISE  
MULTICRITÉRIO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA  
EMPRESA DO SETOR ALIMENTÍCIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia de Produção  
do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como  
requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Pesquisa Operacional

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato  
ALUNO APROVADO COM NOTA\_\_\_\_\_.

Caruaru, 12 de Dezembro de 2017.

Banca examinadora:

Prof. Drº Thalles Vitelli Garcez \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Drº Rodrigo Sampaio Lopes \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Drª Maísa Mendonça Silva \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Drº Thalles Vitelli Garcez \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Aos meus pais Ana Maria e Paulo Araújo por sempre estarem comigo em todos os momentos me dando o apoio que necessitava e nunca medindo esforços para realizar meus sonhos e aos meus irmãos Paulo César e André por serem meus melhores amigos e meus conselheiros.

Ao meu noivo, amigo e fortaleza, Abraão, por todo o amor, cuidado e companheirismo e por me apoiar em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Thalles pelo suporte, por suas correções e pela paciência.

Aos meus amigos da graduação, Jonhantam, Aline, Igor e Emílio pelas alegrias e dificuldades compartilhadas, mas que sempre estiveram ao meu lado, em especial a Jefferson.

A todos o meu sincero obrigado.

## RESUMO

Diante da crescente importância da Gestão da Manutenção para o aumento da competitividade nas empresas e o aumento das exigências por sistemas de melhor desenvolvimento a custos competitivos, o tema desse trabalho consiste em aplicar a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em uma empresa do setor alimentício, que permite determinar o que deve ser feito para assegurar que um equipamento continue executando suas funções, e é fundamentada em uma abordagem sistêmica focada na confiabilidade do equipamento. Também foi utilizada uma análise multicritério com ênfase na escolha dos equipamentos críticos para o processo produtivo do biscoito *wafers*, utilizando o método *FITradeoff* que possui uma estrutura flexível, e busca diminuir o esforço cognitivo do decisor para minimizar as inconsistências. O trabalho aborda a ferramenta de análise dos modos de falha e efeito (FMEA) para identificar os modos de falhas que possa resultar em falhas funcionais do equipamento priorizando em função da severidade, ocorrência e detectabilidade. Como resultado foi visto que os equipamentos mais críticos do setor em que foi aplicada a metodologia foram o Forno e o Embalador Flow Pack e por conseguinte foi elaborado um plano de manutenção com intuito de reduzir as perdas de performance ou desgastes prematuros com o aumento de confiabilidade e da disponibilidade dos equipamentos.

**Palavras Chaves:** Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), Análise Multicritério, FMEA

## ABSTRACT

In view of the growing importance of Maintenance management to increase competitiveness in companies and increase the requirements for better development systems at competitive costs, the theme of this work is to apply the methodology Reliability Centred Maintenance (RCM) in a company in the food sector, which allows determining what should be done to ensure that a equipment continues to perform its functions, and is based on a systemic approach focused on the reliability of the equipment. It also used a multicriteria analysis with emphasis on the selection of the critical equipment for the *wafer* production process, using the *FITradeoff* method that has a flexible structure, and seeks to reduce the decision makers cognitive effort to minimize inconsistencies. The work approaches the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to identify the failures modes that may result in functional failures of the equipment prioritizing due to the severity, occurrence and detectability. As result, it was seen that the most critical equipment in the sector in which the methodology was applied were the Oven and Flow Packer and a maintenance plan was elaborated to reduce performance losses or premature wear with increased reliability and the availability of equipment.

Keyword: Reliability Centred Maintenance (RCM); multicriteria analysis; FMEA

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1-Etapas da Metodologia Proposta. ....	14
Figura 3-1- Tipos de Manutenção. ....	18
Figura 3-2- Síntese das três gerações da manutenção. ....	19
Figura 3-3- Diagrama de implantação da MCC. ....	20
Figura 3-4- Correlação entre os elementos de análise do FMEA.....	22
Figura 3-5- Diagrama de Processo de Decisão da MCC.....	26
Figura 3-6- Fluxograma de apoio a decisão do método FITradeoff.....	29
Figura 4-1- Fluxograma do Processo Produtivo.....	34
Figura 4-2- Limite superior e inferior das constantes de escala para a Linha B. ....	38
Figura 4-3- Constantes de escala associada a cada critério para a Linha B. ....	39
Figura 4-4- Interface da ordem de preferência dos critérios.. ....	42
Figura 4-5- Interface da preferência entre consequências.. ....	42
Figura 5-1- Limite superior e inferior das constantes de escala para o Forno.....	44
Figura 5-2 - Constantes de escala associada a cada critério para o Forno.....	44
Figura 5-3- Limite superior e inferior das constantes de escala para o Embalador.....	46
Figura 5-4- Constantes de escala associada a cada critério para o Embalador.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1- Escala detalhada de classificação de severidade dos efeitos de falhas. ....	23
Tabela 3-2- Escala detalhada de classificação da ocorrência de falhas. ....	23
Tabela 3-3- Escala detalhada de classificação da detecção de falhas. ....	24
Tabela 4-1- Dados das linhas do setor. ....	36
Tabela 4-2- Dados utilizados como input no Software para escolha da linha. ....	38
Tabela 4-3- Outputs do Software para a Linha B. ....	39
Tabela 4-4- Critérios analisados. ....	39
Tabela 4-5- Dados dos critérios. ....	40
Tabela 4-6- Dados utilizados como input para o Software.. ....	41
Tabela 5-1- Outputs do Software para o Forno ....	45
Tabela 5-2 - Dados utilizados como novo input para o Software. ....	45
Tabela 5-3- Outputs do Software para o Embalador ....	46
Tabela 5-4- FMEA do Forno ....	47
Tabela 5-5- FMEA do Flow Pack ....	49
Tabela 5-6- Plano de manutenção para o Forno ....	51
Tabela 5-7- Plano de manutenção para o Flow Pack. ....	52

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	11
<b>1.2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	11
<b>1.3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	11
1.3.1	Objetivo Geral .....	11
1.3.2	Objetivos Específicos.....	12
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>3.1</b>	<b>MANUTENÇÃO</b> .....	15
3.1.1	Evolução da Manutenção.....	15
3.1.2	Tipos de Manutenção .....	16
<b>3.2</b>	<b>MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE(MCC)</b> .....	18
3.2.1	Metodologia da MCC .....	19
<b>3.3</b>	<b>FERRAMENTAS DA MCC</b> .....	21
3.3.1	Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA).....	21
3.3.2	Diagrama de decisão do MCC .....	24
<b>3.4</b>	<b>ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO</b> .....	27
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	31
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da empresa</b> .....	31
<b>4.2</b>	<b>Escolha do setor</b> .....	31
<b>4.3</b>	<b>Descrição do Processo Produtivo</b> .....	31
<b>4.4</b>	<b>Aplicação da MCC</b> .....	35
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	53
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, devido ao acirramento da concorrência presente no ambiente empresarial, organizações dependem de vários fatores para garantir a sobrevivência, como a habilidade e rapidez de inovar e efetuar melhorias contínuas. Como resultado, as organizações vêm buscando obstinadamente novas ferramentas de gerenciamento, que as direcionem para uma maior competitividade através da qualidade e produtividade de seus produtos, processos e serviços (KARDEC, 2004). As empresas têm ampliado sobre a maneira do uso de novas tecnologias. Em vista disso, a modernização dos equipamentos, a automação dos sistemas e processos, a diversidade, a quantidade de componentes e acessórios utilizados têm crescido nas instalações industriais impactando no aumento da probabilidade de ocorrência de falhas.

Com essa busca de maior produtividade e modernização de equipamentos também existe o acréscimo ao custo envolvido, pois a manutenção tem uma grande importância no capital, e atuam proporcionalmente com a eficiência na empresa. Segundo a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos - ABRAMAN (2013), o Brasil obteve um custo de manutenção por faturamento bruto de 4,69% do PIB (Produto Interno Bruto) o que representa R\$206.500,7 milhões com custo relacionado a manutenção.

Para minimizar os efeitos do aumento de falhas foi desenvolvida a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) para auxiliar as empresas a elaborar seus programas de manutenção e aumentar a disponibilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, otimizar a produtividade.

Mesmo a MCC trazendo diversos benefícios, de acordo com dados estatísticos da ABRAMAN (2013), apenas 19,25% das empresas brasileiras utilizam a MCC para promover a qualidade, mesmo sendo um número baixo pode ser observado um crescimento com relação aos últimos anos, da utilização de métodos alternativos para o melhoramento da manutenção. Vale ressaltar que cerca de 16% das empresas utilizam a ferramenta FMEA para Análise de Modos de Falhas e seus efeitos.

No entanto, para proporcionar que o decisor tenha uma visão ampla, o seguinte trabalho propõe a utilização de uma abordagem multicritério para classificação dos equipamentos críticos e para estabelecer uma conexão quantitativa entre a manutenção e seu impacto na confiabilidade, proporcionando uma melhor organização da manutenção, indicando um melhor direcionamento dos recursos para os equipamentos considerados críticos e evitando assim atividades desnecessárias, utilizando a MCC com apoio de uma análise envolvendo multicritérios.

## 1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho tem como base uma indústria de produtos alimentícios situada na cidade de Caruaru-PE que produz biscoitos, massas, café, mistura para bolo e salgadinhos, e a problemática consiste na análise de criticidade dos equipamentos e máquinas do processo produtivo utilizando a metodologia da manutenção centrada em confiabilidade e suas ferramentas visando a melhoria no fluxo da produção e utilizando análise multicritério para o auxílio na tomada de decisão.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A manutenção tem adquirido um posicionamento estratégico nas empresas, em virtude do impacto que esta desempenha sobre a competitividade das organizações empresariais e os resultados e objetivos que elas almejam alcançar. Para alcançar tais objetivos, as organizações podem utilizar diversos tipos de estratégias para desenvolver o planejamento da manutenção.

O trabalho em questão é justificável, pois apesar da Manutenção Centrada em Confiabilidade ser hoje um conceito essencial de suporte à manutenção que resulta em diversas melhorias, como o aumento de confiabilidade e da disponibilidade, ela é ainda pouco valorizada no ambiente industrial. Além disso, o uso de metodologias de suporte à decisão também são pouco utilizados frente às demandas de urgência dentro do setor de manutenção.

O tema apresenta uma aplicação de uma ferramenta de cunho prático como a FMEA, que é capaz de fornecer um enquadramento estruturado para analisar as funções e potenciais falhas do processo produtivo. Além disso, este trabalho apresenta uma abordagem multicritério de apoio à decisão para escolha dos equipamentos considerados críticos, que determina as decisões referentes à seleção da melhor alternativa dentro de um conjunto com várias alternativas potenciais para solução do problema, sujeitas a vários atributos ou “critérios” tangíveis ou intangíveis, com a capacidade de fornecer um tratamento específico às particularidades do problema (CHO, 2003).

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é aplicar a Análise de Multicritério como metodologia para a escolha de equipamentos críticos em um processo produtivo e utilizar a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) combinada com a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) para demonstrar a aplicabilidade desses métodos na identificação de falhas e a

contribuição gerada na confiabilidade de equipamentos, com finalidade de elaborar um plano de manutenção preventiva.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para que possa atingir o objetivo geral, deve-se cumprir os seguintes objetivos específicos:

- 1) Propor uma abordagem multicritério de apoio à decisão para seleção dos equipamentos considerados críticos ao sistema através do método FITradeoff;
- 2) Aplicar a metodologia e as etapas da MCC nos equipamentos críticos que compõem o sistema de produção;
- 3) Selecionar atividades de Manutenção;
- 4) Propor um Plano de Manutenção Preventiva para o setor crítico.

## 2 METODOLOGIA

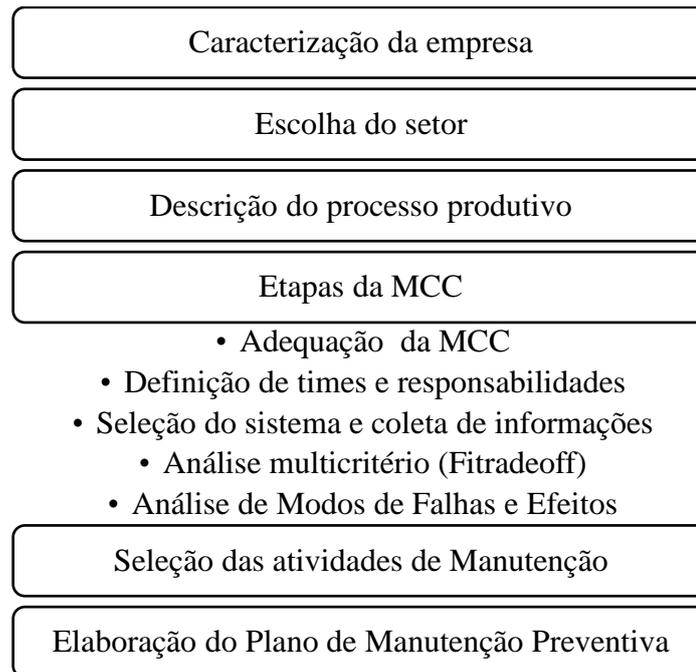
A pesquisa a ser realizada neste trabalho pode ser classificada como estudo de caso de natureza descritiva, pois de acordo com GIL (2002) um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. E segundo Mattar (1999) uma pesquisa descritiva é usada quando já se tem algum conhecimento do assunto e se quer descrever um fenômeno. Algumas hipóteses podem ser formuladas com base em conhecimentos prévios. Nesse tipo de estudo é extremamente importante a exatidão e precisão dos dados coletados.

Quanto à metodologia, o trabalho faz a opção pelo método “quali-quantitativo”, pois engloba tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos, ou seja, faz-se uso de uma abordagem combinada que possibilita um entendimento melhor dos problemas de pesquisa que cada uma das abordagens permitiria isoladamente. Assim, qualquer viés inerente a um método pode ser amenizado com o uso combinado de outros métodos (Miguel, 2012). Sendo que uma pesquisa de aspecto quantitativa tem suas raízes no pensamento positivista lógico, e tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana (Fonseca, 2002). Já uma pesquisa de aspecto qualitativo, para Minayo (2001), trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis.

Foi utilizada a técnica de observação direta que é um instrumento de pesquisa utilizada para coleta de dados subjetivos, sendo considerada uma das melhores técnicas para entender o comportamento humano. Nela o investigador tem que imergir como sujeito na pesquisa. (GIL2002).

A coleta de dados foi feita com auxílio dos relatórios gerenciais da empresa preenchidos diariamente, do sistema de informação do setor de Programação e Controle da Produção (PCP) e das requisições de atendimento do setor de Programação e Controle da Produção (PCM) da empresa em questão.

A sequência de etapas seguidas para o desenvolvimento do estudo pode ser sintetizada na Figura 2.1.



*Figura 2-1-Etapas da Metodologia Proposta.*

*Fonte: O autor (2017)*

### 3 REVISÃO DA LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico será abordado os conceitos teóricos que baseiam o desenvolvimento do tema abordado, tais como: conceitos sobre manutenção, tipos de manutenção, metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), análise dos modos de falhas e seus efeitos(FMEA), metodologia de apoio à decisão multicritério, especificamente, sobre o método FITradeoff.

#### 3.1 MANUTENÇÃO

A expressão manutenção tem origem no latim “*manus tenere*” e significa manter o que se tem. O conceito de manutenção é bastante difundido e vários autores descrevem manutenção de maneiras diferentes, porém todas elas levam ao mesmo objetivo, “manter e/ou realocar um equipamento ou instalação em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (OLIVEIRA, 2003).

Xenos (1998) define manutenção como o conjunto de atividades desenvolvidas com o objetivo de manter a função original de equipamentos e evitar a degradação destes causada pelo desgaste natural ou pelo uso, e também ressalta que as atividades de manutenção compreendem modificações nas condições originais do equipamento, a fim de evitar a ocorrência ou reincidência de falhas, reduzir o custo e aumentar a produtividade.

Para Monks (1989), “A manutenção é uma atividade desenvolvida para manter o equipamento ou outros bens em condições que irão melhor apoiar as metas organizacionais. As decisões de manutenção devem refletir a viabilidade do sistema a longo prazo”.

Se tratando de manutenção, alguns indicadores estão diretamente relacionados: segurança, qualidade, custo e disponibilidade. De uma forma geral, a missão da manutenção está na maximização da disponibilidade a um menor custo, mantendo a qualidade, segurança e respeitando normas e o meio ambiente (MIRSHAWA & OLMEDO, 1993).

##### 3.1.1 Evolução da Manutenção

Procedimentos simples de manutenção, como limpeza, conservação de objetos e ferramentas de trabalho, e algumas simples atividades de reparo, podem ser observadas desde os primórdios das civilizações. No entanto, foi apenas com as primeiras máquinas têxteis, a vapor, na Revolução Industrial do século XVIII, aliada a um grande avanço tecnológico, que a função manutenção emergiu na indústria, como forma de garantir a continuidade do trabalho. (WIREBSK, 1997).

A Manutenção tem sua história dividida em três principais ciclos: a primeira geração é vista como aquela manutenção baseada apenas na corretiva, na qual espera a falha ocorrer para depois efetuar a ação de manutenção sobre a mesma, portanto é vista como algo dispendioso e é dada até meados da década de 40; a segunda fase (1945 a 1970) ocorre um aumento da complexidade das instalações industriais, levando-se em conta o tempo de falha, aparecendo os conceitos de manutenção preventiva e preditiva; e a terceira e última geração, compreendendo dos anos 70 até os dias atuais, no qual a manutenção é vista como um fator de ganhos na competitividade, destacando-se dentro da função estratégica na organização (SILVA et.al, 2015; MOUBRAY, 1992).

### 3.1.2 Tipos de Manutenção

#### 3.1.2.1 Manutenção Corretiva

É o tipo de manutenção mais comum e apenas é realizada após a falha do equipamento, ela pode ser de forma planejada ou não planejada e também é um tipo de manutenção que representa um custo alto e paradas não programadas na produção. Segundo Araújo (2010), a manutenção corretiva é classificada como sendo “processamento de ações de manutenção como uma resposta após defeitos inesperados”.

A manutenção corretiva se subdivide em duas categorias:

1. Manutenção corretiva não planejada: a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, de forma aleatória (OTANI & MACHADO, 2008);
2. Manutenção corretiva planejada: quando a manutenção é preparada. Ocorre, por exemplo, pela decisão gerencial de operar até a falha ou em função de um acompanhamento preditivo. OTANI & MACHADO (2008, p. 4).

Podemos citar entre as principais vantagens e desvantagens da Manutenção Corretiva:

- Vantagens: - não exige acompanhamentos e inspeções nas máquinas.
- Desvantagens: As máquinas podem quebrar-se durante os horários de produção; - as empresas utilizam máquinas de reserva; - há necessidade de se trabalhar com estoques de peças de reposição; - Acarretam em paradas não programadas da produção, que resulta em baixa confiabilidade da produção.

#### 3.1.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva teve origem nos Estados Unidos e foi introduzida no Japão em 1950. Ela visa a correção de falhas em equipamentos e máquinas mesmo antes que elas

aconteçam evitando assim prejuízos e riscos de interrupção da produção. Araújo (2010) considera a manutenção preventiva como uma evolução do conceito anterior, e a divide em dois momentos:

- 1º período: Substituição de componentes da máquina antes da quebra, baseado em acompanhamentos históricos.
- 2º período: Inspeção, onde se desmonta o equipamento e inspeciona empiricamente os componentes e dependendo do estado deste, decide-se pela sua substituição ou não.

A ABNT (1994), por sua vez, trata a manutenção preventiva como sendo “a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item”.

As principais vantagens e desvantagens atreladas a Manutenção Preventiva são:

- Vantagens: Reduz a degradação dos equipamentos, prolonga a vida dos equipamentos, melhora o estado técnico e operacional dos equipamentos.
- Desvantagens: Introdução de falhas e defeitos nos equipamentos, aspecto financeiro, substituição precoce de componentes e ações desnecessárias de manutenção (KARDEC e NASFIC, 2009)

### **3.1.2.3 Manutenção Preditiva**

A manutenção preditiva é o acompanhamento de forma periódica de máquinas, através de dados coletados por meio de monitoramento ou inspeções. As técnicas mais comuns utilizadas para manutenção preditiva podem ser: análise de vibração, ultrassom, inspeção visual e outras técnicas de análise não destrutivas.

Segundo Oliveira (2014), a antecipação do estado do equipamento por meio de estudos não invasivos (medições e análises que não causam paradas no funcionamento da máquina ou equipamento), gera uma grande vantagem e favorece o planejamento de preventivas relativas ao tratamento de algum desvio indicado por seus resultados como também evita a realização de paradas desnecessárias por preventivas programadas em resultados de preditivas, dispensando tratamento.

As principais vantagens e desvantagens associadas a Manutenção Preditiva são:

- Vantagens: Detecção de eventuais falhas, antecipação de problemas, aumento de segurança dos equipamentos e vida útil dos componentes.
- Desvantagens: Necessidade de contratar profissionais especializados que entendam dos instrumentos de precisão, alto investimento na manutenção

periódica, os equipamentos utilizados para realizar a medição geralmente possuem um alto custo de aquisição.

Para sintetizar, a Associação Brasileira de Manutenção - ABRAMAN (2005), apresenta conforme Figura 3.1, uma conceituação mais abrangente, procurando atender as expectativas de confiabilidade e manutenibilidade da terceira geração da manutenção.



Figura 3-1- Tipos de Manutenção.

Fonte: Adaptado de Abramam (2013)

### 3.2 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE(MCC)

A MCC foi inicialmente estruturada na indústria da aviação comercial internacional, impulsionada pela necessidade de aperfeiçoar a confiabilidade esta indústria desenvolveu um amplo processo para decidir qual trabalho de manutenção é necessário para manter um avião voando. Este processo tem evoluído permanentemente desde seus primórdios em 1960, (Smith e Hinchcliffe, 2004).

Para Carretero et al. (2003), a MCC é uma abordagem sistemática para a funcionalidade do sistema, falhas desta funcionalidade, causas e efeitos das falhas, além da infraestrutura pelas falhas.

Segundo Niu et al. (2010), MCC é uma abordagem de melhoria para a indústria com ênfase em identificar e estabelecer políticas de melhoria de manutenção, operacionais e financeiro, as quais irão gerenciar os riscos de falha do equipamento de maneira mais eficaz.

Johnston (2002) define a MCC como “um processo de análise e decisão que busca otimizar tarefas de manutenção”.

Todas as definições acima contêm características complementares que podem ser resumidas em (1) Enfoque sistemático, (2) planejamento de manutenção, (3) confiabilidade e (4) contexto operacional.

O principal objetivo da metodologia do MCC, segundo Siqueira (2009), é o de reduzir o custo de manutenção priorizando as funções mais importantes do sistema e evitando ou reduzindo ações de manutenção desnecessárias e também como auxílio para determinar os serviços de manutenção mais adequados para os ativos físicos nos sistemas e processos produtivos, buscando maximizar a disponibilidade e confiabilidade operacional.

A Figura 3.2 apresenta uma síntese das três gerações da manutenção, ilustra a evolução dos tipos de Manutenção e em que horizonte a MCC começou a ser estudada.

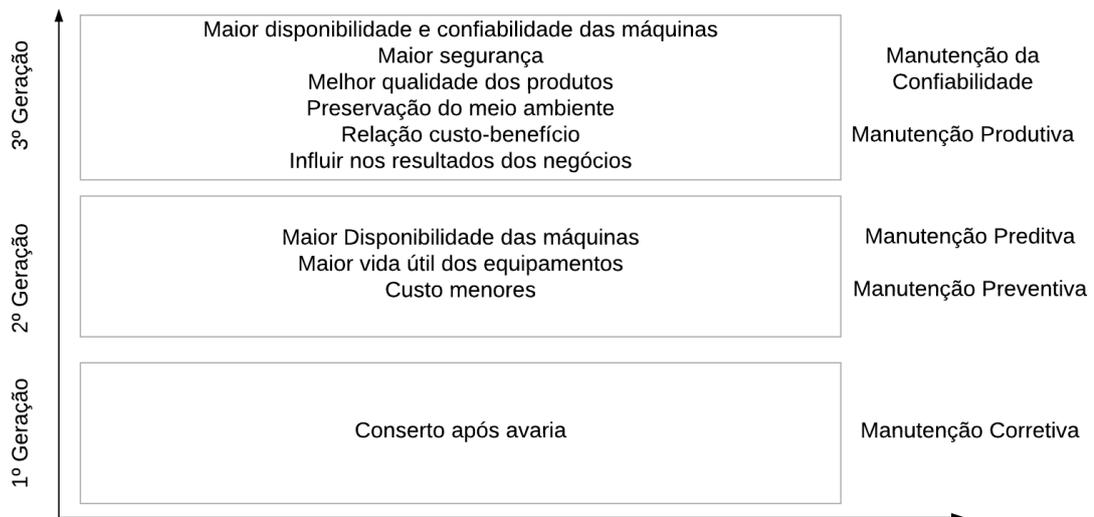


Figura 3-2- Síntese das três gerações da manutenção.

Fonte: Adaptado de Moubray (1997); Siqueira (2009)

### 3.2.1 Metodologia da MCC

O processo da MCC pode ser sintetizado em sete questões sobre o item, equipamento ou sistema e elas abordam os passos que devem ser seguidos para a utilização da sistemática da MCC sobre um componente, equipamento ou sistema (MOUBRAY, 2000). São elas:

- (1) Quais são as funções e padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual?
- (2) De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- (3) O que causa cada falha operacional?
- (4) O que acontece quando ocorre cada falha?

(5) De que forma cada falha tem importância?

(6) O que pode ser feito para prevenir cada falha?

(7) O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva?

As etapas do processo de implantação da MCC envolvem uma série de passos e de atividades de forma sequencial, as quais (MOUBRAY, 1997; SMITH e HUNCHCLIFFE, 2004):

- Definição do sistema e coleta de dados e informações;
- Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) – determinação da consequência das falhas funcionais do sistema associadas à falha de cada um dos componentes;
- Identificação dos componentes críticos;
- Seleção das políticas de manutenção para os componentes críticos;
- Avaliação dos resultados da implementação destas políticas.

Os processos de análise e possíveis relacionamentos presentes em cada etapa da implantação são ilustrados na Figura 3.3.

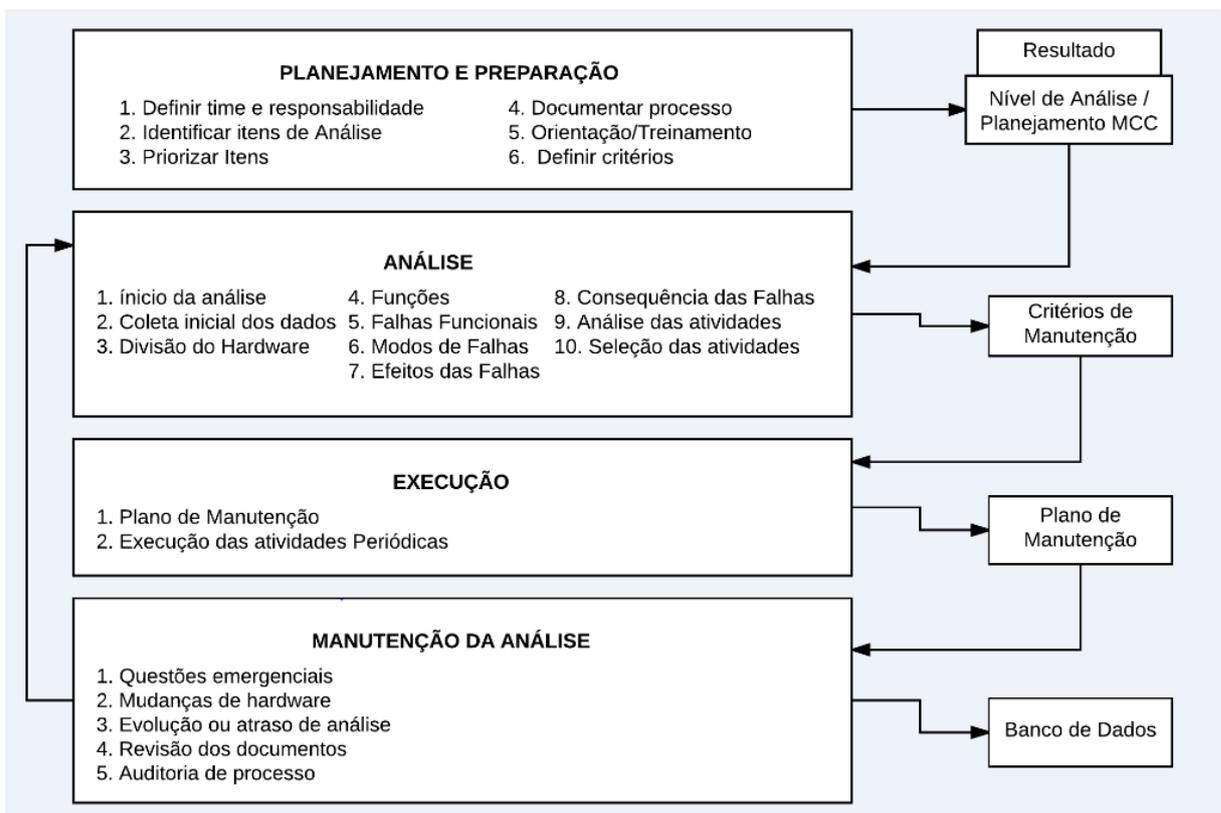


Figura 3-3- Diagrama de implantação da MCC.

Fonte: Adaptado de Levrete (2006)

### 3.3 FERRAMENTAS DA MCC

A metodologia da MCC apresentada neste trabalho segue a linha de adoção da Análise de Modos e Efeitos de Falhas, traduzido do inglês FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) evoluindo para uma Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falhas, também provinda do inglês FMECA (*Failure Mode ,Effects and Criticality Analysis*), como ferramenta principal de suporte a sua implantação.

#### 3.3.1 Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

Segundo Laurenti et al. (2012), a origem do FMEA não é um consenso. Alguns autores citam que o método surgiu em meados de 1949, desenvolvido pelo exército dos Estados Unidos. Carlson (2014) afirma que a metodologia foi formalizada no procedimento MIL-P-1629, em 1949, pelo exército dos EUA. Ainda, acrescenta que com a adoção no programa espacial Apollo, para mitigar o risco devido a pequenos tamanhos de amostra, o FMEA ganhou impulso significativo durante a década de 1960 quando ocorreu o conjunto de missões espaciais coordenados pela Agência Espacial dos EUA (NASA).

A Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) é considerada uma técnica destinada para elaboração de diagnósticos sobre uma determinada problemática, através da composição de um procedimento aplicado no desenvolvimento e execução de projetos e serviços, permitindo assim, mapear a atividade, identificar particularidades e atuar na causa raiz, as quais possam afetar seu desempenho, enfatiza Palady (1997).

A falha é classificada de acordo com a criticidade de seus efeitos e de sua probabilidade de ocorrência, sendo o ponto crítico focado a partir da causa, raciocinando na direção do efeito. A partir deste ponto, pode-se determinar por meio de análise do modo de falha, o efeito de cada falha e identificar os pontos críticos.

A FMEA fornece apenas informações qualitativas servindo basicamente para chamar a atenção relativamente aos modos de falha com efeitos importantes ao nível da severidade, capacidade de detecção, manutenibilidade e segurança. Por outro lado, a FMECA além das mesmas informações, proporciona ainda informações quantitativas ou dados capazes de serem mensuráveis. Basicamente a FMECA é efetivamente uma extensão da FMEA, uma vez que além da análise do modo de falha de um produto ou processo e os seus efeitos, é realizada uma análise de criticidade da falha (Pedrosa, 2014).

Deste modo, tem-se a análise dos modos, efeitos e criticidade da falha (FMECA) que é resultado de duas metodologias:

- *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*;
- *Criticality Analysis (CA)*

O processo genérico para condução da FMEA é resumido da seguinte forma (Ebrahimipour et al., 2010): i) descrever o produto ou processo; ii) definir funções; iii) descrever os potenciais modos de falha; iv) descrever os efeitos de falhas; v) determinar as causas; vi) métodos de controles ou controles atuais; vii) calcular os riscos; viii) ações; e ix) avaliar/estimar os resultados.

Para se estimar a severidade, a ocorrência e o nível de detecção podem ser usadas diversas escalas apresentadas na literatura e Carpinetti (2010) apresenta uma estrutura de como os elementos do FMEA se relacionam, conforme mostrado pela Figura 3.4.

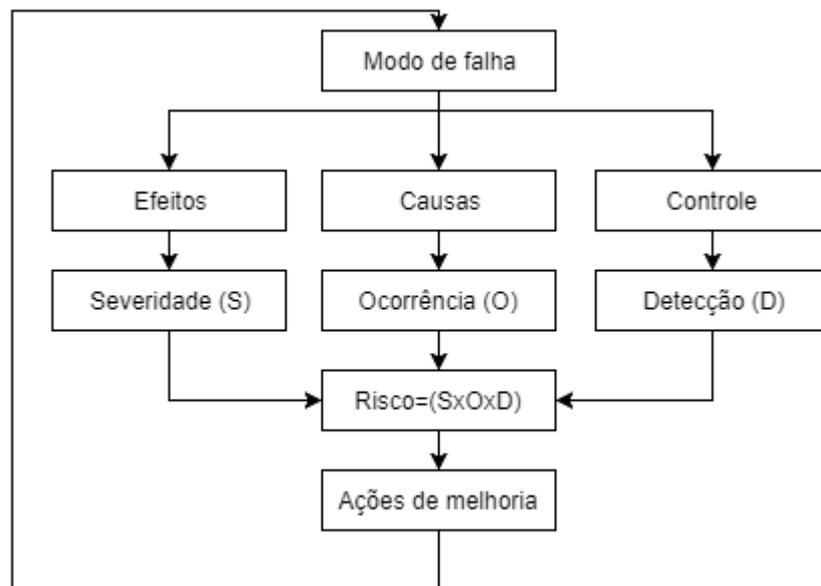


Figura 3-4- Correlação entre os elementos de análise do FMEA.

Fonte: Adaptado de Carpinetti (2010)

A seguir são apresentadas adaptações de escalas em dez níveis qualitativos. A Tabela 3.1 apresenta uma escala detalhada de severidade dos efeitos de falhas, levando em consideração o quão a falha impacta no processo produtivo, assim como a Tabela 3.2 apresenta uma escala de ocorrência e a Tabela 3.3 apresenta uma escala de detecção.

Tabela 3-1- Escala detalhada de classificação de severidade dos efeitos de falhas.

Fonte: Adaptado de Wheelwright e Clark (1996)

Índice	Descrição	Definição
10	Extremamente impactante	A falha pode causar falha total do sistema sem aviso prévio e/ou causar dano severo para o operador.
9 8	Muito impactante	A falha pode causar grande impacto no processo produtivo, e/ou falhas sérias do sistema com interrupção no serviço, com aviso prévio, e/ou causar dano para o operador.
7	Impactante	A falha causa um alto grau de insatisfação do cliente e/ou problemas importantes do sistema que requerem grandes reparos ou retrabalho significativo, e/ou causar dano leve para o operador.
6 5	Moderadamente Impactante	A falha causa um impacto menor com alguma insatisfação do cliente e/ou problemas importante do sistema.
4 3	Baixo para moderado impacto	A falha causa uma menor ou nenhum impacto no processo, mas irrita os clientes e/ou resulta em problemas menores do sistema que podem ser superados com pequenas modificações no sistema ou no processo.
2	Levemente impactante	A falha não causa impacto no processo produto, porém o potencial de parada menor existe; pouco ou nenhum efeito no sistema.
1	Sem impacto	A falha não causa impacto no processo produtivo.

Tabela 3-2- Escala detalhada de classificação da ocorrência de falhas.

Fonte: Adaptado de Wheelwright e Clark (1996)

Índice	Descrição	Definição
10	Certeza na probabilidade de ocorrência	A falha ocorre pelo menos uma vez por dia; ou, a falha ocorre quase sempre.
9	A falha é quase inevitável	A falha ocorre previsivelmente; ou, a falha ocorre a cada 3 ou 4 dias.
8 7	Probabilidade muito alta de ocorrência	A falha ocorre com frequência; ou, a falha ocorre uma vez por semana.
6 5	Probabilidade de ocorrência moderadamente alta	A falha ocorre aproximadamente uma vez por mês.
4 3	Probabilidade moderada de ocorrência	A falha ocorre ocasionalmente; ou, falha uma vez a cada 3 meses.
2	Baixa probabilidade de ocorrência	A falha ocorre raramente; ou, a falha ocorre aproximadamente uma vez por ano.
1	Probabilidade remota de ocorrência	A falha quase nunca ocorre; ninguém se lembra do último fracasso.

Tabela 3-3- Escala detalhada de classificação da detecção de falhas

Fonte: Adaptado de Wheelwright e Clark (1996)

Índice	Descrição	Definição
10	Nenhuma chance de detecção	Não existe nenhum mecanismo conhecido para detectar a falha.
9 8	Muito remoto/não confiável	A falha só pode ser detectada com uma inspeção minuciosa e isso não é viável ou não pode ser feito facilmente.
7 6	Remoto	O erro pode ser detectado com inspeção manual, mas nenhum processo está instalado, de modo que a detecção é deixada ao acaso.
5	Possibilidade moderada de detecção	Existe um processo para <i>double-checks</i> ou inspeção, mas não é automatizado e/ou é aplicado somente a uma amostra e/ou depende da vigilância.
4 3	Alta detecção	Há 100% de inspeção ou revisão do processo, mas não é automatizado.
2	Detecção muito alta	Há 100% de inspeção do processo e é automatizado.
1	Detecção quase certa	Existem "interrupções" automáticas ou restrições que impedem a falha.

### 3.3.2 Diagrama de decisão do MCC

O diagrama de decisão elaborado por Moubray (1997) é composto perguntas que identificam a visibilidade(H), consequência (S, E, O, N) e a aplicabilidade de tarefa de manutenção (H1/H4;S1/S4; O1/O3 e N1/N3), conforme mostrado na Figura 3.5. Primeiramente é necessário analisar se a falha é ou não evidente para a operação (H). As falhas evidentes devem ser classificadas em função do impacto de sua consequência na Segurança (S), Meio Ambiente (E), Operacional (O) ou Econômico (N). Por conseguinte, deve-se seguir o fluxo das perguntas com intuito de selecionar a atividade de manutenção, tendo em vista que Moubray(1997) padroniza as atividades de manutenção como: (i) inspeção preditiva; (ii) restauração preventiva; (iii) substituição preventiva; (iv) detecção da falha; e (v) reparo funcional.

- i. Inspeção Preditiva: Consiste em detectar falhas funcionais, e de acordo com Smith (1993) inspeção preditiva é toda tarefa de inspeção programada, realizada de forma não intrusiva, que detecta uma condição de falha através da correlação de um parâmetro mensurável com o início desta condição. Pode ser utilizado o monitoramento de um parâmetro como a temperatura, espessura, vibração e análise de óleo.
- ii. Restauração Preventiva: Recuperar antes da falha. Os critérios para aplicação das ações de restauração são de acordo com Dhillon (2002): - A degradação do item é em função do tempo ou da última tarefa de reparação; -O item apresenta uma idade definida no qual há um aumento da probabilidade condicional do modo de falha em consideração; - A ação de restauração previne a ocorrência do modo de falha a um nível aceitável para

o usuário do sistema. Moubrey (1997) destaca que ações de reparo dirigem-se a modos de falha previsíveis, nos quais se utilizam técnicas de: alinhamento, balanceamento, filtragem, lubrificação, limpeza, desmagnetização, etc.

- iii. Substituição Preventiva: É uma atividade de descarte ou substituição programada de um item em função de um certo limite da sua vida útil com objetivo de prevenir uma falha (MOBLEY, 2008). Deve-se observar os critérios de segurança, se o equipamento apresenta uma vida útil fixa. Essa atividade de manutenção apresenta um menor custo em relação a restauração preventiva.
- iv. Detecção de Falha: Substituir antes da falha. É uma atividade que busca identificar falhas funcionais que já tenham ocorrido, entretanto estejam ocultas, evitando sua evolução para falhas múltiplas (DHILLON apud SMITH, 1993). Os critérios para a aplicação da detecção de falhas são: A ação de inspeção de falha deve mostrar falhas latentes; as falhas não são visíveis durante operação normal do sistema; A falha se torna visível apenas quando é combinada a outros modos de falhas.
- v. Reparo Funcional: Recuperar ou substituir após a falha. É ação que indica à decisão de permitir que o sistema opere sem nenhuma tarefa de manutenção, até que ocorra a falha, pois não foi possível aplicar outros métodos de manutenção ou decisão econômica (KOBACZY e MURTHY, 2008).

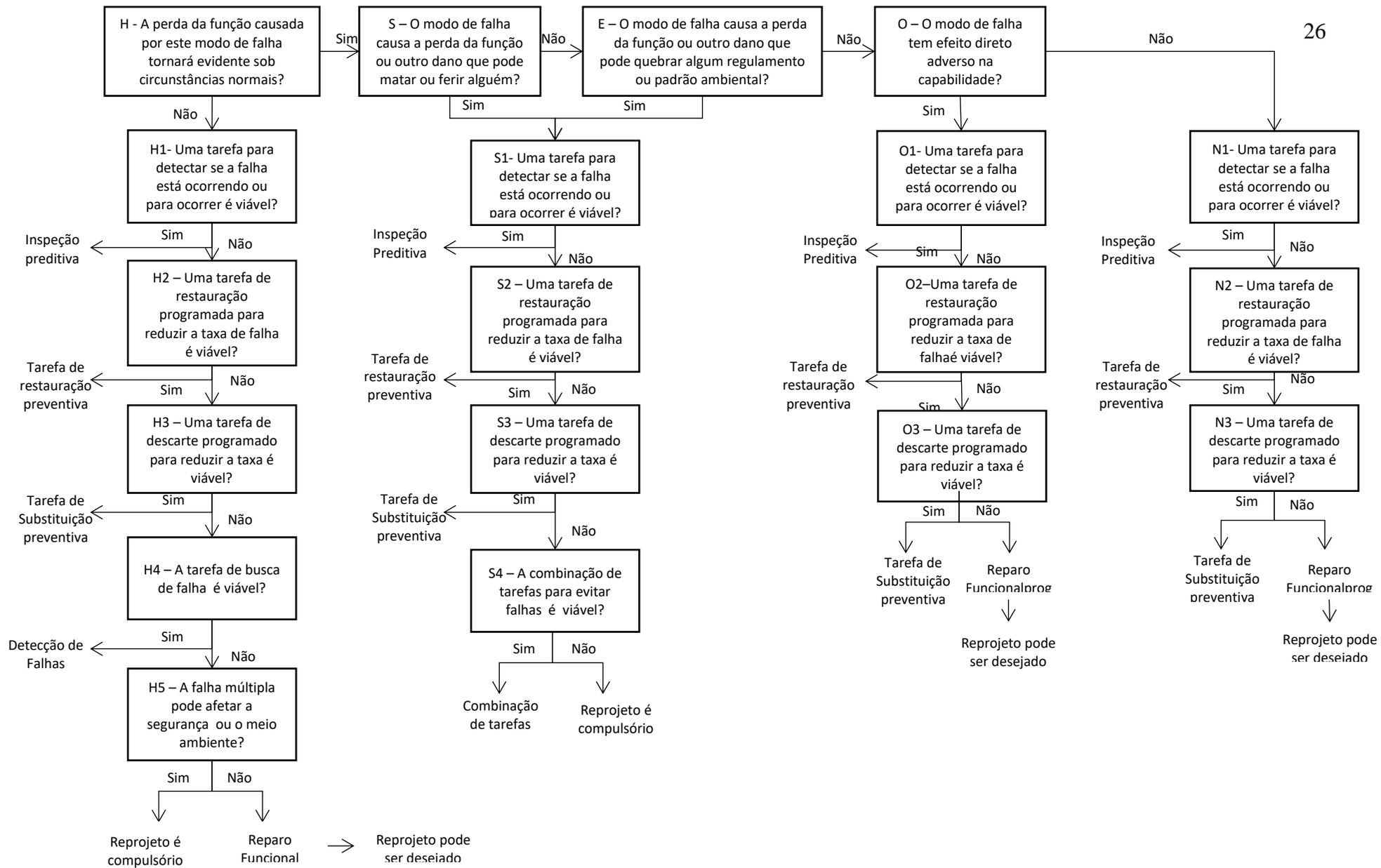


Figura 3-5- Diagrama de Processo de Decisão da MCC.

Fonte: Adaptado de Moubray (1997)

### 3.4 ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Segundo Almeida (2013), um problema de decisão multicritério consiste numa situação onde há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher e esta escolha é governada pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si. Estas situações são muitas vezes representadas a partir de modelos de decisão que utilizam métodos de apoio à decisão (MCDA).

Os Métodos Multicritério de Apoio à Decisão, segundo Gomes e Freitas Júnior (2000), de um modo geral são problemas de decisão que podem ser discreto, quando se trata de um número finito de alternativas, ou contínuo, quando tal número pode ser pensado como sendo infinitamente grande. Os métodos contínuos são também denominados métodos de otimização de critério ou métodos interativos, compreendendo de forma geral, os métodos de programação matemática multiobjetivo. A utilização desses métodos, tanto discretos como contínuos, pode ser facilitada através de softwares especializados.

Na literatura podem ser encontrados métodos distintos para tratamento de problemas multicritério. Uma das classificações mais comuns é a apresentada por Roy (1996):

1. Métodos de critério único: Relaciona os critérios em um único critério de síntese, como o valor da alternativa ou sua utilidade;
2. Métodos de sobreclassificação: se baseiam na relação de preferência de sobreclassificação;
3. Métodos interativos: Sem baseiam em julgamentos que são realizados pelo decisor ao longo do processo de elicitação sobre as diferenças de atratividade e por seguinte é construída uma escala cardinal de valor sobre o conjunto de alternativas. O método não se baseia em uma regra explícita.

Dentre os métodos de critério único de síntese os mais conhecidos são a teoria da utilidade multiatributo e o modelo aditivo, sendo o segundo o mais utilizado (de Almeida 2013). O modelo aditivo se relaciona a uma suposição de certeza que para cada alternativa serão obtidas consequências e cada critério  $j$  passa a ser representado por uma função valor  $v_j(a)$ , representada pela Equação 3.1 e deste modo obtém-se uma função global chamada  $v(a)$ , onde:

$$v(a) = \sum_{j=1}^n K_j \cdot v_j(a) \quad (3.1)$$

Sendo  $K_j$  definido como a constante de escala para o critério  $j$ , ilustrada pela Equação 3.2.

$$\sum_{j=1}^n K_j = 1 \quad (3.2)$$

Vale ressaltar uma hipótese fundamental quando se está trabalhando com o modelo aditivo, que é a necessidade de provar a condição de independência mútua dos critérios em função das preferências. Uma característica importante do método aditivo é o processo de modelagem de preferências. Na literatura são encontradas diversas propostas para elicitación das constantes de escala utilizadas no modelo aditivo, tais como o *Tradeoff* (KEENEY; RAIFFA, 1976), entretanto o método de elicitación por *tradeoff* requer um esforço cognitivo muito grande por parte do decisor na hora de fazer comparações entre as consequências, pois o decisor deve estabelecer o valor exato de determinado critério que causa indiferença entre duas consequências (de Almeida et al. 2016).

Segundo Macedo e Mota (2016), o *FITradeoff* possui uma estrutura flexível, e busca diminuir o esforço cognitivo do decisor para minimizar as inconsistências. O método regula a informação dada pelo decisor, sendo que não é necessário realizar ajustes quanto a indiferença entre duas consequências. O processo de decisão é baseado em declarações de preferências estritas, tornando a elicitación mais fácil sob o aspecto cognitivo e assegurando que o procedimento seja menos longo e tedioso.

O método *FITradeoff* oferece dois benefícios principais: as informações exigidas do decisor são reduzidas e o mesmo não precisa fazer ajustes para a indiferença entre duas consequências (*trade off*), que é um problema crítico no procedimento de *trade off* tradicional. É mais fácil para fazer comparações de consequências (ou resultados) com base em preferências rígidas e não em indiferença (de Almeida et al. 2015).

O sistema de apoio a decisão do método em questão é ilustrado na Figura 3.6 que apresenta o procedimento de como funciona o principal problema levantado neste método, associado à sua flexibilidade.

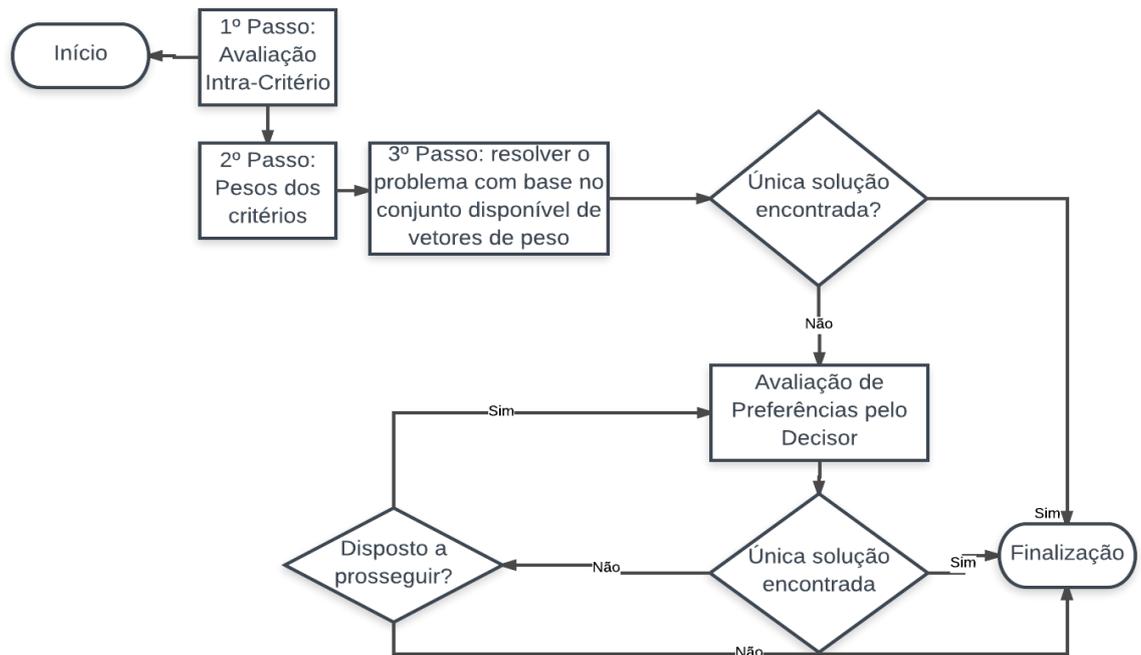


Figura 3-6- Fluxograma de apoio a decisão do método FITradeoff

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2015)

De acordo com Almeida et.al (2016) o procedimento de elicitação flexível de pesos através do *FITradeoff* ordena os critérios através dos pesos do maior para o menor e em seguida é estabelecida uma relação entre os critérios adjacentes, com o intuito de buscar uma indiferença de acordo com a Equação 3.3. Por meio da Equação 3.4 é possível encontrar a relação entre  $k_1$  com qualquer outro  $k_i$ .

$$k_i v_i(x_i) = k_{i+1} \quad (3.3)$$

$$k_i v_i(x_i) v_2(x_2) v_3(x_3) \dots v_{i-2}(x_{i-2}) v_{i-1}(x_{i-1}) = k_i \quad (3.4)$$

sendo,  $k_i$  o peso do critério  $i$ , e  $v_i(x_i)$  o valor do desempenho  $x$  para o critério  $i$  em sua função intracritério dentro do intervalo entre 0 e 1.

Encontrando um intervalo dentro do qual a indiferença se encontra não é necessário encontrar a indiferença entre os critérios adjacentes. De forma é feita uma redução da quantidade de alternativas que podem ser consideradas a melhor e eventualmente apenas uma alternativa poderá ser considerada a melhor, levando em consideração que vai sendo feita a alteração dos limites e diminuindo o intervalo  $[0;1]$ . Após isso, é feita uma programação linear associada a cada alternativa, de acordo com o conjunto de Equações abaixo.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}), j = 1, 2, \dots, m \\
 & \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}) \geq k_i v_i(x_{iz}); z = 1, 2, \dots, z \neq j \\
 & k_{i+1} \leq k_i v_i(x_i') - \varepsilon \quad \text{for } i = 1 \text{ to } n - 1 \\
 & k_{i+1} \geq k_i v_i(x_i'') + \varepsilon \quad \text{for } i = 1 \text{ to } n - 1 \\
 & \sum_{i=1}^n k_i = 1 \\
 & k_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}$$

Se for encontrada solução para o Problema de Programação Linear (PPL) de mais de uma alternativa, significa que mais uma pergunta deve ser feita ao decisor, seguindo assim o fluxograma mostrado na Figura 3.6 citada anteriormente.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 Caracterização da empresa

Fundada em 1937 a empresa em questão está inserida no setor alimentício situado em Caruaru, no agreste Pernambucano. Ela produz biscoitos, massas, café, mistura para bolos e salgadinhos. A empresa possui a unidade produtora situada em Caruaru-PE e unidade filial que funciona apenas como setor de vendas e Administrativo em Queimadas-PB e possui cerca de 600 colaboradores, o que a caracteriza como uma empresa de grande porte.

A identidade organizacional da empresa é composta por:

- Missão: Oferecer alimentos aos consumidores com segurança e sustentabilidade.
- Visão: expandir a participação no mercado e ser reconhecida como marca de qualidade
- Valores: São sustentados por cinco pilares, a sustentabilidade, as pessoas, a responsabilidade, a ética e o comprometimento.

### 4.2 Escolha do setor

O setor em questão foi escolhido para a aplicação da metodologia, pois trespassou por uma recente mudança no horário de funcionamento, onde começou a produzir 24 horas por dia, e todos os dias da semana, levando a necessidade de aumentar os precauções com a manutenção.

De todos os setores da empresa, o setor em questão é o que apresenta um plano de manutenção preventiva mais estruturado e alto custos diretos e indiretos aplicados à manutenção, e também possui uma coleta de dados mais precisa e documentada. Também é o produto que possui maior valor agregado para empresa.

### 4.3 Descrição do Processo Produtivo

O início do processo produtivo começa com a chegada das matérias primas no almoxarifado, assim que elas chegam é feito um *checklist* com todas as informações e também um controle de estoque. Após disso é feita uma análise da qualidade para saber se os produtos estão em conformidade, se estiverem recebem uma etiqueta verde com a descrição do produto e já pode ser encaminhado para o laboratório de pesagem de micro ingredientes, caso não esteja dentro dos conformes os materiais vão para uma área de segregação dentro do almoxarifado e lá é feita uma análise para saber se todo o lote está defeituoso ou apenas alguns, caso o lote

inteiro esteja defeituoso é devolvido ao fornecedor, se for apenas alguns itens é feito um levantamento de custo associado a esses produtos e depois informado ao fornecedor.

As matérias primas necessárias para a produção do biscoito Wafer liberadas pelo setor de Qualidade são encaminhadas para o laboratório onde é feita a pesagem de cada matéria prima para a fabricação do biscoito Wafer e em seguida encaminhadas para o setor de acordo com o planejamento da produção e os sabores que serão produzidos no dia. Quando chegam ao setor é feito em paralelo a preparação da massa da casquinha e do recheio.

Quando a massa está pronta ela vai para um reservatório por onde passa por um PC (Ponto de Controle) que é uma peneira para evitar que passe algum material que não foi homogeneizado totalmente, nesse momento também é feita a medição da viscosidade da massa, onde é medido através do tempo de escoamento. Em paralelo é feito o batimento do recheio o mesmo é transferido aos poucos por uma bomba para um reservatório.

A massa que está no reservatório é transportada através de uma bomba e é inserida pelos injetores nas placas do forno, a quantidade de massa disposta nas placas é regulada pela velocidade da bomba, em seguida as placas se fecham e percorrem uma distância dentro do forno para serem assadas, durante esse procedimento é sempre gerado uma quantidade de pelotas que é uma quantidade de massa que vai sendo acumulada durante o período que as casquinhas passam no forno. Quando as casquinhas saem do forno para a esteira elas passam por duas escovas que limpam as pelotas e que ajudam para eles ganharem mais velocidade, elas passam por um arco de resfriamento e seguem para o aplicador de creme onde há outro PC, o rolo de pinos, que é responsável por segurar a casquinha e perfurar a camada de recheio para melhor fixação e formação dos blocos e em seguida a casquinha passa pelo aplicador de creme que recebe o recheio que estava no reservatório.

Um bloco é formado por três casquinhas, onde a primeira não recebe recheio e as outras duas recebem, por conseguinte os blocos seguem para o resfriamento em um refrigerador vertical que contém um arco de resfriamento.

Após o processo de resfriamento, os blocos seguem para uma região do setor que é climatizada e passam por uma esteira que os transportam até o corte, nesse percurso é feita uma inspeção, onde uma colaboradora fica observando se os blocos estão quebrados ou com outras deformidades, posteriormente os blocos seguem para a mesa do corte onde caem de dois em dois e são divididos entre duas esteiras, uma para o biscoito de 130g e outra para o biscoito de 35g. Passando por essa etapa continuam na esteira e atravessam pelo detector de metal que é um PCC (Ponto crítico de controle) que são pontos críticos que impactam na saúde e segurança

alimentar dos consumidores, os PCs são fundamentais do andamento e funcionamento do processo produtivo.

Posteriormente os biscoitos são direcionados para a Máquina Embaladora, onde é feita uma inspeção por uma colaboradora para que todos os biscoitos estejam alinhados e em conformidade e são conduzidos para um transferidor de esteiras já na quantidade correta que deve ter em cada embalagem e seguem para serem empacotadas.

Quando as caixas estão com a quantidade pré-determinadas de biscoitos são conduzidas para a seladeira e prosseguem para a paletização. Após serem paletizados é feita uma análise da qualidade onde é verificado se a data de validade está impressa certa, se o sabor descrito na caixa confere com o produto que está sendo empacotado, se elas estão rasgadas ou danificadas e a forma como o palite está organizado. A Figura 4.1 ilustra o fluxograma do processo produtivo.

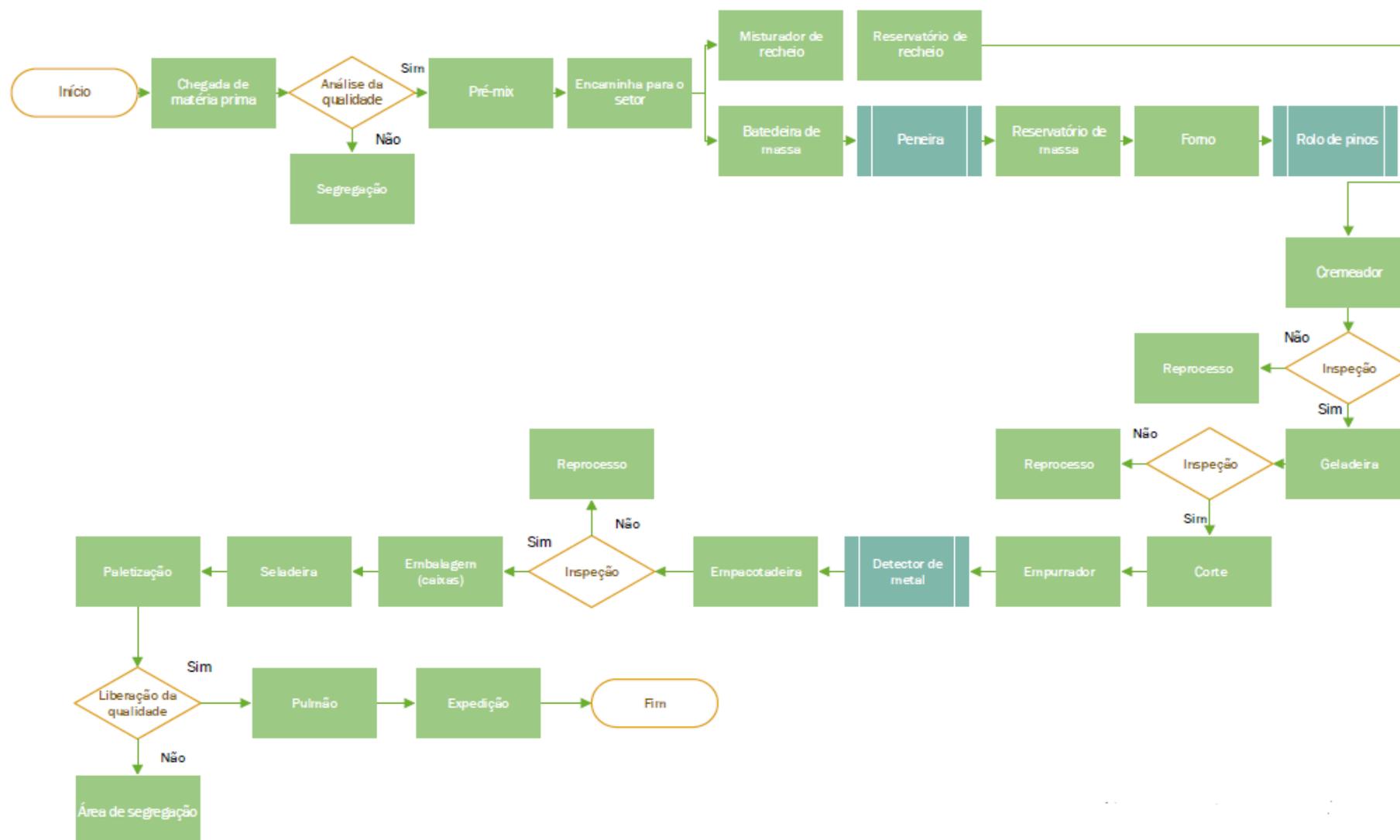


Figura 4-1- Fluxograma do Processo Produtivo

.Fonte: O Autor(2017)

#### 4.4 Aplicação da MCC

Nesta etapa, é realizada a análise das condições iniciais antes de iniciar a implantação da MCC, ou seja, trata-se basicamente do mapeamento das condições iniciais para verificar se realmente a empresa está preparada para iniciar um trabalho de implantação de MCC. Esta etapa auxilia também na identificação dos pontos a serem melhorados antes da implantação da MCC.

Foi visto que o setor de manutenção em questão registra suas ações de forma suficientemente detalhada para suportar uma análise estatística de tais ações e que a manutenção tem função estratégica dentro da empresa e ocupa um lugar de destaque na estrutura organizacional. Os profissionais são motivados, cooperativos e conscientes de seu papel estratégico dentro de empresa. Existe uma documentação consistente das ações de manutenção. E a níveis gerenciais a manutenção é vista como investimento e não como um custo.

O segundo passo é definição de times e responsabilidades. Foi feita a definição da equipe técnica responsável pela execução da metodologia, sendo constituída por profissionais da área de manutenção (Mantenedores do Setor, Analista de PCM e eletricitas), operação (Operadores dos Equipamentos, Supervisor do Setor), com forte conhecimento do processo produtivo de *Wafer*.

A próxima etapa da MCC é a seleção do sistema e coleta de informações. O setor escolhido para aplicar a metodologia possui duas linhas de produção de biscoito *Wafer*, e a primeira etapa para selecionar o subsistema é escolher qual linha de produção atuar e em seguida selecionar quais os equipamentos mais críticos do processo produtivo.

Dado complexidade do sistema e quantidade de subsistemas/equipamento, a próxima etapa é definir quais desses subsistemas é o mais crítico para aplicação da MCC. Para tal, tem-se diversas ferramentas e metodologias, tais como: gráfico de Pareto, a classificação ABC e Método de Análise e Solução de Problemas (MASP). Essas ferramentas, normalmente, analisam somente numa única dimensão de criticidade. Por exemplo, o gráfico de Pareto que expõe que 80% das consequências provem de 20% das causas. No caso da manutenção, essas consequências podem ser avaliadas pela disponibilidade do sistema ou o número de paradas, etc.

A classificação ABC, também conhecida como Curva ABC, é um método de classificação de informações que separa os itens de maior importância ou impacto é feito mediante a utilização de um fluxograma orientado para a decisão, e classifica em três classes, a classe A que são equipamentos altamente críticos para o processo, classe B que são

equipamentos importantes para o processo e a classe C que são equipamentos com baixo impacto no processo.

O MASP é um processo dinâmico na busca de soluções para uma determinada situação, onde é necessário analisar e priorizar os problemas, identificar situações incertas, estabelecer um controle e planejar as ações necessárias.

No entanto, percebe-se que na prática essas consequências não devem ser analisadas individualmente em cada dimensão de consequências, conforme mostrado nas diferentes abordagens mostradas anteriormente, pois cada dimensão de consequência impacta diferentemente no processo e, normalmente, elas são conflitantes.

Diferentemente, a abordagem de análise de decisão multicritério atende as necessidades da avaliação das consequências sob um olhar multidimensional. Além disso, é importante destacar que as ferramentas/metodologias anteriormente mencionadas não consideram o papel do decisor.

Para escolher a linha em que será aplicada a metodologia foram analisados alguns critérios, como a quantidade de paradas de linha, o tempo em que a linha ficou parada, a quantidade de Pelotas (rebarbas da produção de casquinha) de cada linha, a quantidade de reprocesso que cada linha gerou, a quantidade de Requisição de Atendimento (RA) do setor de Manutenção e o tempo que o equipamento passou por algum tipo de manutenção:

Os dados foram analisados em um intervalo de Janeiro de 2017 a Junho de 2017 das duas linhas, o resultado pode ser observado na Tabela 4.1

*Tabela 4-1- Dados das linhas do setor.*

*Fonte: O autor(2017)*

	Qnt de paradas	Horas Paradas	Qnt de RA's	Tempo em manutenção	Retrabalho	Pelotas
Linha A	212	154,75	512	656	109925,8	87944,95
Linha B	344	340	489	535	146823,3	112706,2

Neste estudo foi utilizada a análise multicritério para escolher tanto a linha que atuar quanto os equipamentos mais críticos do processo. O método utilizado foi o *Flexfit and Interactive Tradeoff* (FITradeoff) com o intuito de escolher o sistema mais crítico, dado que foi verificado que o decisor possui o comportamento compensatório, além de diminuir o esforço cognitivo do decisor para definir as constantes de escala e minimiza as inconsistências do processo decisório. Foi utilizado o auxílio do software desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento em Sistema de Informação e Decisão (CDSID) da Universidade Federal de Pernambuco.

Os inputs necessários para a aplicação do método *Flexfit and Interactive Tradeoff* (FITradeoff) foram:

- Critérios e alternativas: Onde os critérios utilizados foram escolhidos pelo decisor e as alternativas são os equipamentos que compõe a linha de produção.
- Tipo dos critérios: Onde o software utiliza a seguinte nomenclatura:
  - 0: Cont Min: Implica que estamos lidando com um critério contínuo, ou seja, qualquer valor dentro do intervalo limitado pelos valores mínimos e máximos de desempenho no critério pode ser assumido e a função de valor para o critério em questão é diminuindo monotonicamente contra a escala natural, isto é, quanto menor o valor no critério, mais preferido e o mais alto, menos preferido.
  - 1: Cont Max : Implica que estamos lidando com um critério contínuo, ou seja, qualquer valor dentro do intervalo limitado pelos valores mínimos e máximos de desempenho no critério pode ser assumido e a função de valor para o critério em questão é monotonicamente aumentando em relação à escala natural, o que significa que quanto maior o valor no critério, mais preferido e menor, menos preferido.
  - 2: Disc Min: Ao lidar com critério discreto, apenas valores em uma escala de pontos podem ser assumidos e a função de valor para o critério em questão é diminuindo monotonicamente contra a escala natural, isto é, quanto menor o valor no critério, mais preferido e o mais alto, menos preferido.
  - 3: Disc Max: Ao lidar com critério discreto, apenas valores em uma escala de pontos podem ser assumidos e a função de valor para o critério em questão é monotonicamente aumentando em relação à escala natural, o que significa que quanto maior o valor no critério

Na problemática apresentada todos os critérios são contínuos e possuem o objetivo de maximização, pois o objetivo é que o software escolha o equipamento mais crítico.

- Tipos de Funções e Parâmetros: Essa versão do software trabalha apenas com valores de funções lineares, então na linha com “*TYPE*” deve-se colocar o número 1 para indicar que estamos trabalhando com funções lineares. Os parâmetros a e b não devem ser preenchidos nessa versão do software, já o parâmetro c deve ser preenchido se alguns dos critérios forem discretos.

Depois de colocar a tabela de *inputs* no software (vide Tabela 4.2), a linha escolhida como mais crítica foi a Linha B. A Figura 4.2 mostra o gráfico que contém o limite superior e inferior das constantes de escala para cada critério que maximizam o problema de escolha. A Figura 4.3 mostra qual constante de escala foi escolhida para cada critério para se obter o valor da alternativa selecionada. Para melhor visualização dos dados o software gera uma tabela com os valores dos limites inferiores e superiores e a constante de escala que maximiza o problema, que pode ser visualizadas na Tabela 4.3.

Tabela 4-2- Dados utilizados como input no Software para escolha da linha

Fonte: Autor (2017)

<i>Criteria:</i>	<b>Qnt de paradas</b>	<b>Horas Paradas</b>	<b>Qnt de RA's</b>	<b>Tempo em manutenção</b>	<b>Retrabalho</b>	<b>Pelotas</b>
<i>0-Cont Min; 1-Cont Max; 2-Disc Min; 3-Disc Max:</i>	1	1	1	1	1	
<i>Weights</i>						
<i>Type:</i>	1	1	1	1	1	
<i>a:</i>						
<i>b:</i>						
<i>c:</i>						
<i>Alternatives:</i>	<i>Consequences Matrix:</i>					
<b>Linha A</b>	212	154,75	512	656	109925,8	87944,95
<b>Linha B</b>	344	340	489	535	146823,3	112706,2

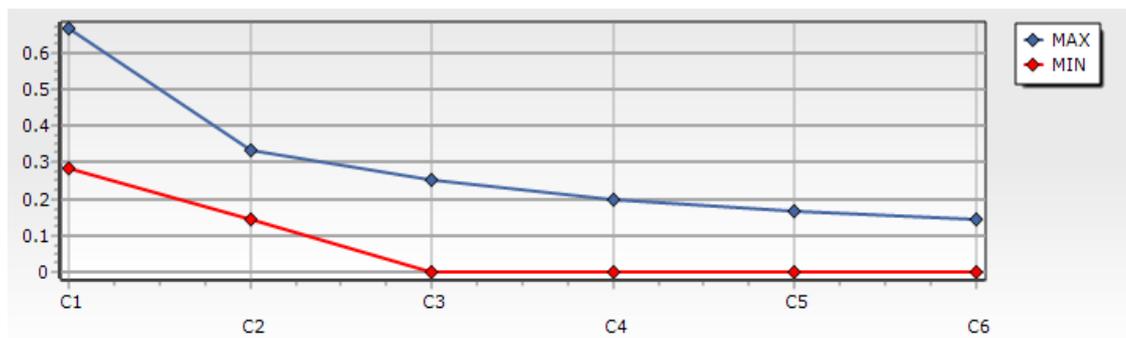


Figura 4-2- Limite superior e inferior das constantes de escala para a Linha B.

Fonte: O autor (2017)

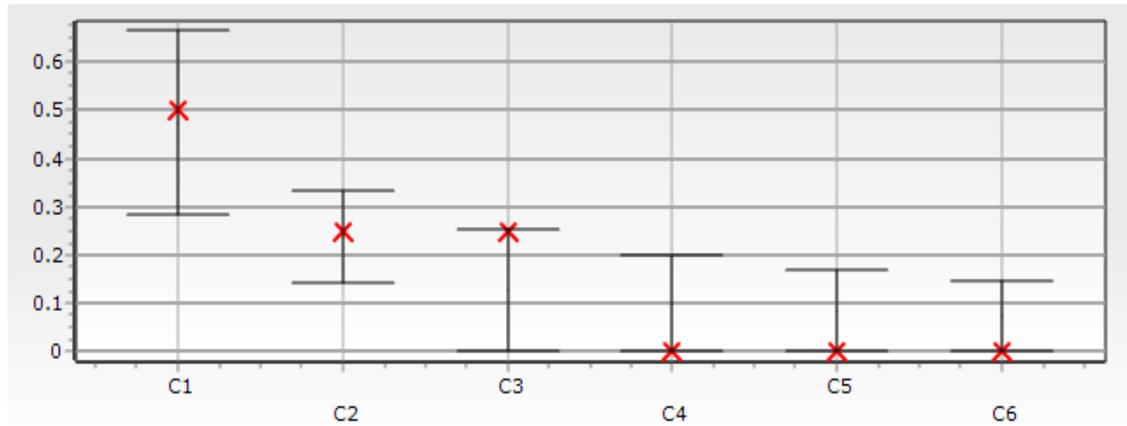


Figura 4-3- Constantes de escala associada a cada critério para a Linha B.

Fonte: O autor (2017)

Tabela 4-3- Outputs do Software para a Linha B.

Fonte: O autor (2017)

	K(Horas paradas)	K(Tempo em manutenção)	K(Qnt de paradas)	K(Qnt de RA's)	K(Pelotas)	K(Retrabalho)	Maximum Value
<b>Linha B</b>	0,5	0,25	0,25	0	0	0	0,75
<i>Maximum Limit</i>	0,666667	0,333333	0,25	0,2	0,166667	0,142857	
<i>Minimum Limit</i>	0,285714	0,142857	0	0	0	0	

Depois de escolhida a Linha B, foi utilizado o software novamente como intuito de analisar os equipamentos mais críticos do processo, foram usados os seguintes critérios: quantidade de paradas de linha, tempo em que o equipamento esteve indisponível, tempo que o equipamento passou por algum tipo de manutenção, quantidade de requisição de atendimentos dos mantenedores, retrabalho e parada sistemática (vide Tabela 4.4).

A linha B é composta por os seguintes subsistemas/equipamentos: Forno; Aplicador de Creme; Refrigerador Vertical; Corte; Embalador Flow Pack; Maseira; Recheadeira; Detectores de Metais; e, Seladeira.

Para aplicar a metodologia proposta o decisor foi a supervisora do setor, que possui vários anos de experiência e verificou-se que o decisor possui uma racionalidade compensatória. Além disso, é suposta a independência mútua dos critérios em função das preferências.

Tabela 4-4- Critérios analisados.

Fonte: O autor (2017)

Critério	Detalhamento
A quantidade de paradas que cada equipamento obteve	Foram analisadas as paradas de linhas registradas nos controles da produção de cada turno, durante um intervalo de seis meses, de Janeiro de 2017 a Junho de 2017
O tempo em que cada equipamento apresentou indisponibilidade	
A quantidade de Requisição de Atendimento (RA) do setor de Manutenção;	Foram utilizadas as RAs do setor, no período de Janeiro de 2017 a Junho de 2017, que contem as seguintes informações: Linha, Equipamento, Turno, Data, Setor, se a falha acarretou em uma parada de linha, e se sim, quanto tempo a linha esteve indisponível, o tempo em que o mantenedor atuou na falha e a descrição do serviço executado.
O tempo que o equipamento passou por algum tipo de manutenção;	
Preço de Equipamento;	Valor de Aquisição dos equipamentos que compõe a linha produtiva.
Parada Sistemática;	Foi analisado junto com o time o impacto que cada equipamento resulta no processo produtivo, ou seja, foi mensurado em uma escala de 1 a 10 como a parada no processo deriva da parada do equipamento.
Retrabalho;	Para mensurar o retrabalho, foi analisado em um horizonte de um mês, como é distribuída a quantidade em quilos de reprocesso (produto destinado a retrabalho) que cada equipamento é responsável por produzir e foi feito uma normalização seguindo a seguinte equação $R=Xi/\Sigma Xi$

A Tabela 4.5 contém o resumo dos dados de cada critério relacionado com os equipamentos que compõe a linha de produção.

Tabela 4-5- Dados dos critérios.

Fonte: O autor(2017)

LinhaB	Qnt. de Paradas	Horas Paradas (horas)	Qnt. de RA's	Tempo em Manutenção (horas)	Preço do Equipamento (R\$)	Parada Sistemática	Retrabalho
<b>Forno</b>	268	265:35:00	132	174:38:00	2220734,00	10,00	4,32
<b>Aplicador de Creme</b>	18	19:00	33	41:04:00	330746,00	9,00	27,09
<b>Refrigerador Vertical</b>	7	11:30	11	3:45:00	475061,00	9,00	2,10
<b>Corte</b>	3	02:00	36	31:49:00	906269,00	7,00	22,80
<b>Embalador Flow Pack</b>	17	12:10	159	192:10:00	1332440,40	7,00	37,80
<b>Masseira</b>	26	02:02	39	28:36:00	92290,00	8,00	2,88
<b>Recheadeira</b>	3	01:30	23	15:07:00	106133,50	8,00	3,01
<b>Detectores de Metais</b>	2	02:30	25	15:17:00	92290,00	8,00	0,00
<b>Seladeira</b>	0	00:00	16	12:15:00	6999,00	2,00	0,00

A Tabela 4.6 mostra os dados que foram utilizados como inputs no software, sendo que nos critérios de Horas Paradas e Tempo em Manutenção foi feita uma normalização afim de melhor manusear os dados, a normalização foi feita baseado na Equação 4.1:

$$N = \frac{X_i}{\sum X_n} \quad (4.1)$$

Tabela 4-6- Dados utilizados como input para o Software..

Fonte: O autor(2017)

<i>Criteria:</i>	<b>Qnt. de Paradas</b>	<b>Horas Paradas (horas)</b>	<b>Qnt. de RA's</b>	<b>Tempo em Manutenção (horas)</b>	<b>Preço do Equipamento</b>	<b>Parada Sistemática</b>	<b>Retrabalho</b>
<i>0-Cont Min; 1-Cont Max; 2-Disc Min; 3-Disc Max:</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Weights</i>							
<i>Type:</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>a:</i>							
<i>b:</i>							
<i>c:</i>							
<i>Alternatives:</i>	<i>Consequences Matrix:</i>						
<b>Forno</b>	268	0,78	132	0,339	2220734,0	10,00	4,32
<b>Aplicador de Creme</b>	18	0,056	33	0,080	330746,00	9,00	27,09
<b>Refrigerador Vertical</b>	7	0,034	11	0,007	475061,00	9,00	2,10
<b>Corte</b>	3	0,006	36	0,062	906269,00	7,00	22,80
<b>Embalador Flow Pack</b>	17	0,036	159	0,373	1332440,4	7,00	37,80
<b>Masseira</b>	26	0,077	39	0,056	92290,00	8,00	2,88
<b>Recheadeira</b>	3	0,004	23	0,029	106133,50	8,00	3,01
<b>Detectores de Metais</b>	2	0,007	25	0,030	92290,00	8,00	0,00
<b>Seladeira</b>	0	0	16	0,024	6999,00	2,00	0,00

Depois de importar a tabela de inputs com todas as informações é necessário ordenar as constantes de escala de critérios. De acordo com o decisor foi feita a elicitação da ordem dos pesos dos critérios, onde foi escolhida a seguinte ordem de preferência:

1. C4 - Tempo em Manutenção
2. C2 – Horas Paradas
3. C1 – Quantidade de Paradas
4. C3 – Quantidade de RA's
5. C6 - Parada Sistemática
6. C7 - Retrabalho
7. C5 – Preço do Equipamento

A Figura 4.4 mostra a interface do software pela qual o decisor irá indicar a escolha da ordem de preferência dos critérios.

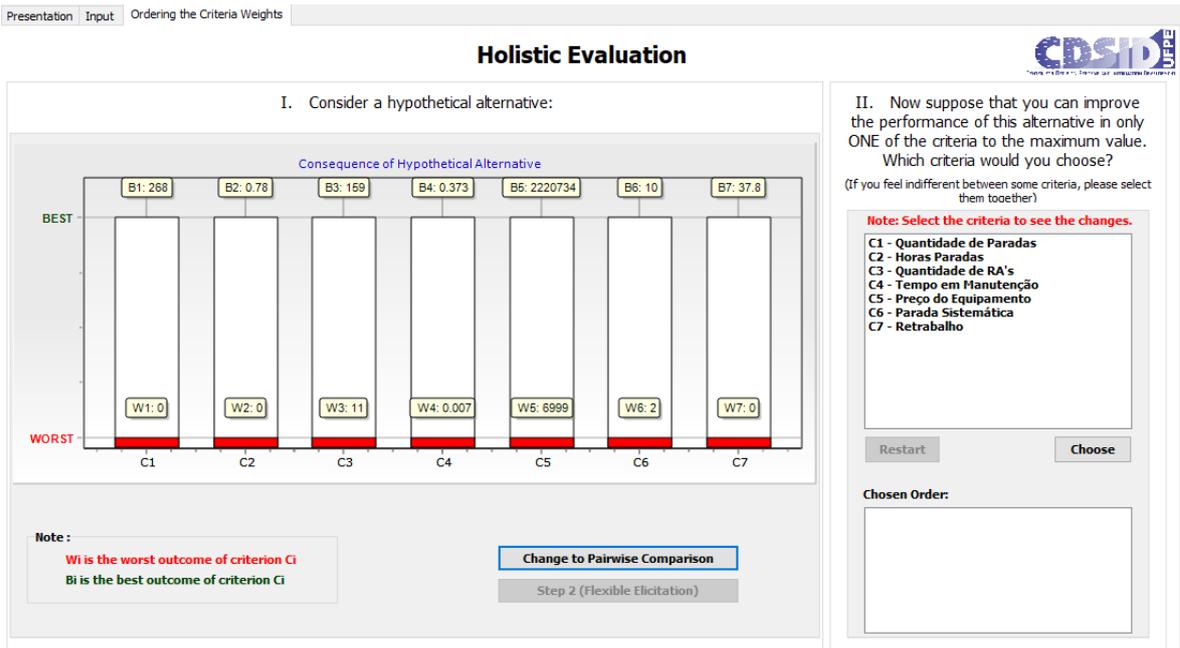


Figura 4-4- Interface da ordem de preferência dos critérios..

Fonte: O autor(2017)

Por conseguinte, foi feita a elicitación flexível, onde nessa etapa o decisor se mostrou indiferente entre as consequências apresentadas. A Figura 4.5 mostra à interface que ilustra uma situação onde se pergunta a preferência entre a Consequência A e a Consequência B.

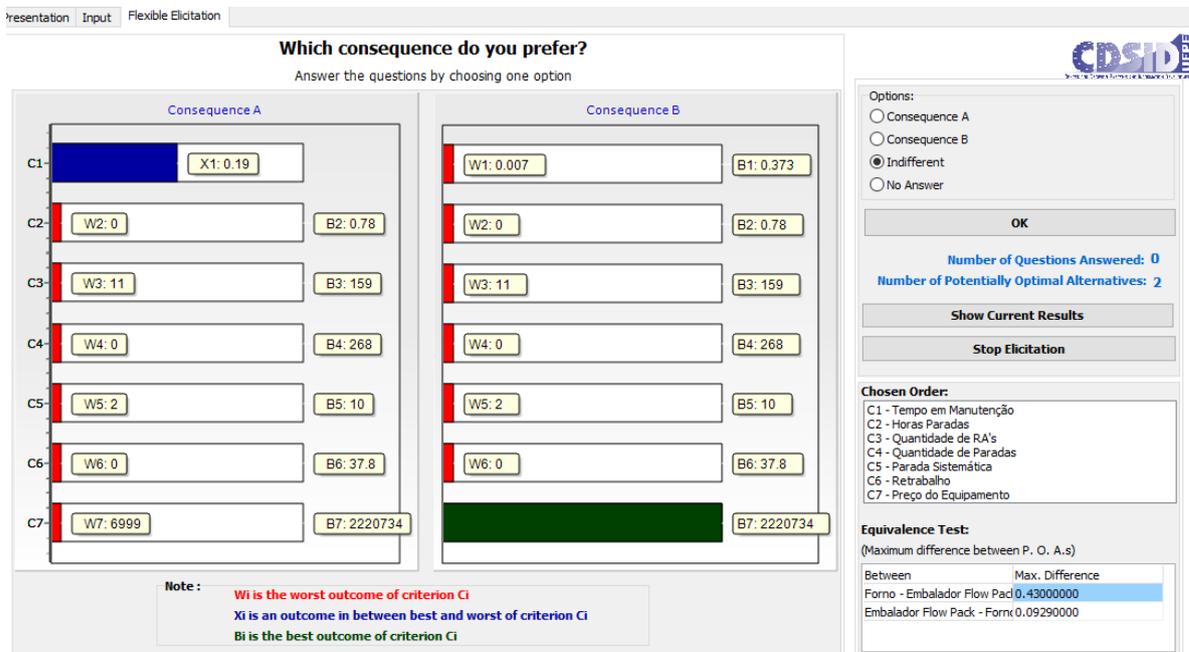


Figura 4-5- Interface da preferência entre consequências..

Fonte: O autor (2017)

Os resultados obtidos através do software serão descritos no item intitulado de Resultados e Discussões.

Uma vez selecionado o sistema e, posteriormente, definido os equipamentos mais críticos, é aplicado a metodologia FMEA nos equipamentos mais críticos do processo, sendo analisado os modos de falhas, as causas e os efeitos desses modos de falhas. Além disso, foi estimados os índices de Ocorrência, Severidade e Detectabilidade de cada modo de falha. A obtenção desses dados foi possível através do intermédio da equipe, do manual do equipamento, como também observações diárias (histórico).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o auxílio do software FITradeoff e após o decisor se mostrar indiferente em algumas alternativas o resultado obtido foi o Forno com Valor Máximo de: 0,9386. A Figura 5.1 mostra o gráfico que contém o limite superior e inferior das constantes de escala para cada critério que maximizam o problema de escolha. A Figura 5.2 mostra qual constante de escala foi escolhida para cada critério para se obter o valor da alternativa selecionada. Para melhor visualização dos dados o software gera uma tabela com os valores dos limites inferiores e superiores e a constante de escala que maximiza o problema, que pode ser visualizadas na Tabela 5.1.

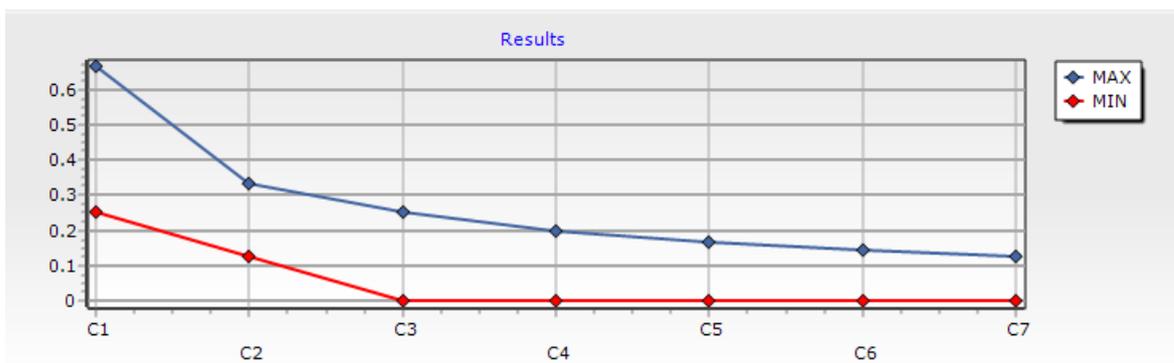


Figura 5-1- Limite superior e inferior das constantes de escala para o Forno..

Fonte: O autor (2017)

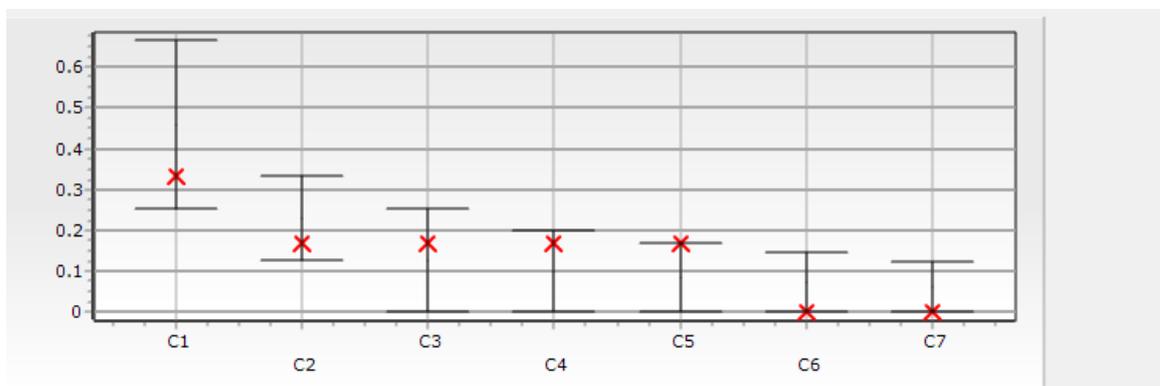


Figura 5-2 - Constantes de escala associada a cada critério para o Forno.

Fonte: O autor(2017)

Tabela 5-1- Outputs do Software para o Forno  
Fonte: O autor(2017)

	K (Tempo em Manutenção)	K(Horas Paradas)	K(Qnt. de RA's)	K(Quantidade de Paradas)	K(Parada Sistemática)	K (Retrabalho)	K (Preço do Equipamento)	Max Value
Forno	0,3333	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0	0	0,9386
Maximum Limit	0,66667	0,33333	0,25	0,2	0,16667	0,14286	0,125	
Minimum Limit	0,25	0,125	0	0	0	0	0	

Após o resultado obtido foi feito uma nova planilha no Excel sem os dados do forno com o intuito de escolher qual seria o segundo equipamento mais crítico do processo, com a finalidade de realizar um plano de manutenção para os dois equipamentos que mais impactam no processo produtivo. A Tabela 5.2 expõe os inputs que foram utilizados para obter a informação. Foi levada em consideração a mesma ordem de preferência dos critérios, citada anteriormente, como também o decisor de mostrou indiferente entre as consequências que o software informou.

Tabela 5-2 - Dados utilizados como novo input para o Software.  
Fonte: O autor (2017)

Criteria:	Qnt. de Paradas	Horas Paradas (horas)	Qnt. de RA's	Tempo em Manutenção (horas)	Preço do Equipamento	Parada Sistemática	Retrabalho
<b>0-Cont Min; 1-Cont Max; 2-Disc Min; 3- Disc Max:</b>	1	1	1	1	1	1	1
<b>Weights</b>							
<b>Type:</b>	1	1	1	1	1	1	1
<b>a:</b>							
<b>b:</b>							
<b>c:</b>							
<b>Alternatives:</b>	<b>Consequences Matrix:</b>						
<b>Aplicador de Creme</b>	18	0,056	33	0,080	330746,00	9,00	27,09
<b>Refrigerador Vertical</b>	7	0,034	11	0,007	475061,00	9,00	2,10
<b>Corte</b>	3	0,006	36	0,062	906269,00	7,00	22,80
<b>Embalador Flow Pack</b>	17	0,036	159	0,373	1332440,40	7,00	37,80
<b>Masseira</b>	26	0,077	39	0,056	92290,00	8,00	2,88
<b>Recheadeira</b>	3	0,004	23	0,029	106133,50	8,00	3,01
<b>Detectores de Metais</b>	2	0,007	25	0,030	92290,00	8,00	0,00
<b>Seladeira</b>	0	0	16	0,024	6999,00	2,00	0,00

O Equipamento escolhido com o mais crítico foi o Embalador Flow Pack com o valor Máximo de: 1 A Figura 5.3 mostra o gráfico que mostra o limite superior e inferior das constantes de escala para cada critério que maximizam o problema de escolha. A Figura 5.4

mostra qual constante de escala foi escolhida para cada critério para se obter o valor da alternativa selecionada. Para melhor visualização dos dados o software gera uma tabela com os valores dos limites inferiores e superiores e a constante de escala que maximiza o problema, que pode ser visualizadas na Tabela 5.3.

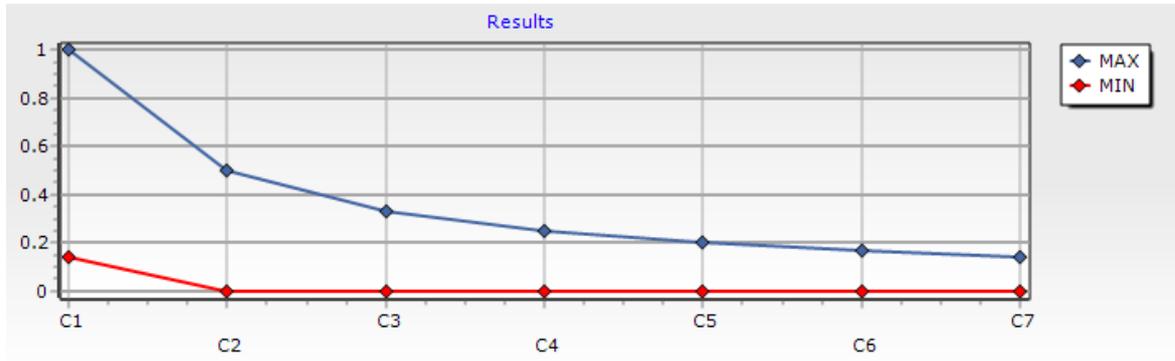


Figura 5-3- Limite superior e inferior das constantes de escala para o Embalador.  
Fonte: O autor(2017)

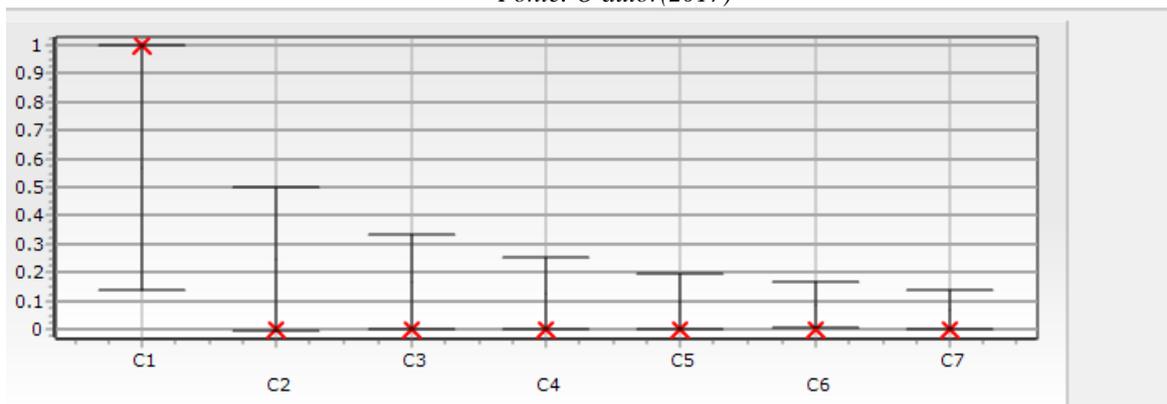


Figura 5-4- Constantes de escala associada a cada critério para o Embalador.  
Fonte: O autor (2017)

Tabela 5-3- Outputs do Software para o Embalador  
Fonte: O autor (2017)

	K (Tempo em Manutenção)	K(Horas Paradas)	K(Qnt. de RA's)	K(Quantidade e de Paradas)	K(Parada Sistemática)	K (Retrabalho)	K (Preço do Equipamento)	Max Valu e
Embalador Flow Pack	1	0	0	0	0	0	0	1
Maximum Limit	1	0,5	0,333	0,25	0,2	0,1666	0,142857	
Minimum Limit	0,14286	0	0	0	0	0	0	

De acordo com o resultado obtido pelo Software Fitradeoff os dois primeiros equipamentos críticos do sistema produtivo são o Forno e o Embalador Flow Pack. Dando continuidade as etapas da metodologia proposta, a Tabela 5.4 mostra o FMEA para o Forno e a Tabela 5.5 mostra o FMEA para o Embalador Flow Pack.

Tabela 5-4- FMEA do Forno

Fonte: O autor (2017)

Item	Modo de falha	Causa	Efeito	S	O	D	RPN	Ação Corretiva
1. Forno	A. Aquecimento não pode ser ligado ou desliga-se durante a operação	A1. Eletrodo de ionização não registra a chama devido a sensor sujo	Parada automática de segurança	10	3	4	120	Limpar os queimadores
		A2. Forno superaquecido	Queima de casquinha	7	6	4	168	Verificar se o sensor e o exaustor estão em conformidade e regular a temperatura
		A3. Ventilador fornece pouca quantidade de ar	Aumento indevido da temperatura interna	6	5	5	150	Verificar se o ventilador apresenta sujidades ou mal contato
		A4. Regulador de pressão defeituoso ou desajustado	Acionamento do pressostato e consequentemente provoca a parada do equipamento	9	4	5	180	Ajustar os parâmetros do regulador e substituir se necessário
		A5. Problema na pressão do gás	Irregularidades na cor da casquinha	5	4	4	80	Verificar a pressão da rede externa ao forno
								Verificar o regulador de pressão GBF ou VGBF
	Limpar o filtro de gás							
	A6. Excesso de temperatura dos gases de exaustão	Superaquecimento do forno e placas abertas	6	3	6	108	Verificar a exaustão	
							Evitar o aquecimento de gás funcionando sem a injeção de massa	
	B. Sistema exaustor não pode ser ligado ou desliga-se durante a operação	B1. Disjuntor desarmado	Aumento indevido da temperatura interna	7	3	2	42	Rearmar disjuntor
								Procurar uma eventual falha mecânica do motor e consertar
		B2. Elevada deposição de detritos nos dutos de exaustão	Aumento na geração de rebarbas de cozimento (Pelotas)	3	4	2	24	Limpar os detritos
		B3. Baixa potência do ventilador	Placa Aberta	6	5	4	120	Verificar o ventilador de exaustão
								Utilizar um ventilador de exaustão mais potente
	B4. Valor muito baixo da pressão negativa no sistema de exaustão	Temperatura elevada	5	5	4	100	Reajustar o valor da pressão	
B5. Falha no exaustor relé térmico	Superaquecimento no forno	6	3	2	36	Não tentar nova partida		
						Rearmar o relé térmico no quadro de comando		

Tabela 5-4- FMEA do Forno (Continuação)

Item	Modo de falha	Causa	Efeito	S	O	D	RPN	Ação Corretiva
I. Forno	C. Injeção irregular de massa	C1. Furos do injetor de massa entupidos	Casquinhas com falha	6	7	2	84	Montar o injetor de massa reserva Limpar o injetor entupido e mantê-lo em banho-maria
		C2. Defeito na bomba de massa	Aumento na geração de rebarbas de cozimento (Pelotas)	3	4	2	24	Realizar ajuste na bomba de massa
	D. Bomba de massa não funciona	D1. Defeito no acionamento da bomba de massa	Parada no Equipamento	10	4	2	80	Verificar o sensor de retorno de massa e se necessário substituí-lo
		D2. Injeção de massa mal ajustada	Gera maior quantidade de pelotas (rebarbas de cozimento)	4	5	2	40	Regular bomba de massa para operação mais lenta
	Casquinhas apresentando falhas							Reajustar Início/Fim da injeção de massa
	E. Bicos de sopros funcionam permanentemente ou não funcionam	E1. Parâmetro “soprar” mal ajustado	Congestionamento e queima de casquinhas	8	7	2	112	Regular o soprador e o ar comprimido e se necessário substituir
		E2. Sistema pneumático com defeito	Gera maior quantidade de pelotas (rebarbas de cozimento)	3	4	3	36	Verificar válvulas magnéticas e unidade de manutenção, se necessário, substituir bobina magnética
	F. Placas apresentando sujidades	F1. Falta de cromo nas placas	Casquinha Dupla	7	8	1	56	Colocar um solvente específico da Haas por 8 horas e limpar as placas com auxílio de uma escova de aço
			Casquinhas Queimadas					
		F2. Irregularidades na massa	Irregularidades na cor da casquinha	6	5	3	90	Analisar se a massa esta conforme o padrão pre-estabelecido, caso contrario, adequar a massa
Falha na casquinha								

Tabela 5-5- FMEA do Flow Pack

Fonte: O autor (2017)

Item	Modo de falha	Causa	Efeito	S	O	D	RPN	Ação Corretiva
2. Embalador Flow Pack	G. Falta de ar comprimido	G1. Pressostato com defeito, desajustado ou configurado errado	Pacotes de biscoito apresentando excesso de ar	6	5	2	60	Verificar as conexões entre o pressostato e o CLP
								Ajustar a sensibilidade do pressostato
	H. Proteção do mordente aberta	H1. Sensor de segurança da porta desconectado	Parada no Equipamento	10	2	1	20	Verificar se a distância entre o sensor e a porta de segurança é suficiente para ativar o sensor
		H2. Problema elétrico	Parada no Equipamento	10	6	1	60	Verificar cabos e mal contato no equipamento
	I. Proteções da corrente alimentação abertas	I1. Sensor de segurança da porta desconectado	Gera maior quantidade de refugo	5	2	2	20	Verificar se o sensor esta bem fixado em seu suporte
		I2. Abertura da porta durante o ciclo de máquina	Parada no Equipamento	10	3	1	30	Fechar a porta de segurança com uma trava
	J. Falha na fotocélula	J1. Desalinhamento do filme	Gera maior quantidade de refugo	5	6	2	60	Verificar alinhamento e distância da fotocélula
		J2. Fotocélula não ajustada	Parada no Equipamento	10	6	1	60	Realizar ajuste de sensibilidade da fotocélula
		J3. Filme com defeito	Desperdício de embalagem	3	5	3	45	Solicitar a troca de Bobina
	K. Falha no datador	K1. Erro na configuração do sinal de falha	Datação ilegível	5	7	3	105	Verificar a configuração do datador
		K2. Problema de conexão elétrica		5	6	3	90	Verificar a conexão do sinal de falha entre o datador e o CLP
	L. Temperatura fora da tolerância	L1. Termopar(termometro) danificado	Pacotes de biscoito abertos	7	4	3	84	Verificar fiação do termopar e se necessário substituí-lo
		L2. Dispositivo que liga a resistência de aquecimento com defeito	Parada no Equipamento	10	2	1	20	Verificar se a tensão na resistência, se sim, trocar o dispositivo
	M. Erro do posicionamento do Motor Tração do filme	M1. Eixos mecânicos obstruídos	Parada no Equipamento	10	3	1	30	Verificar os parâmetros do servodrives e os cabos e desobstruir

Por conseguinte foi feita a seleção de atividades de Manutenção e Plano de Manutenção para cada Modo de Falha obtido no FMEA, as Tabelas 5.6 e 5.7 mostram o plano de manutenção para o Forno e para o Embalador Flow Pack respectivamente, e foram obtidas seguindo o fluxo do Diagrama de Decisão ilustrado anteriormente pela Figura 3.5, e mostra o item analisado (I), o modo de falha (MF), as causas (C), a consequência, sendo verificado se A perda da função causada por este modo de falha é evidente (H), se o modo de falha causa uma perda de função ou dano que poderia matar ou ferir alguém (S), se o modo de falha causa uma perda de função que leva a infração de padrões ou leis ambientais (O) ou se o modo de falha tem efeito de redução da capacidade operacional ou alto custo de reparo (N). Após isso foi analisado qual atividade de manutenção é mais adequada para cada modo de falha, levando em consideração as ações corretivas de cada causa que foi citado no FMEA.

Das trinta de duas atividades de Manutenção, doze são Restauração Preventiva que utilizam técnicas de: alinhamento, balanceamento, filtragem, lubrificação, limpeza, desmagnetização, como citados anteriormente, quatro são atividades de Substituição Preventiva, três de detecção de falhas e treze consistem em Reparos Funcionais.

Tabela 5-6- Plano de manutenção para o Forno  
Fonte: O autor (2017)

Referência			Consequência				Ação						Plano de Manutenção	Responsável	
							H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3						
I	MF	C	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	A1	S	N	N	S		X					Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável	
		A2	S	N	N	S		X					Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável	
		A3	N	N	N	S		X					Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável	
		A4	S	S	N	S			X				Substituição Preventiva	Mantenedor Responsável	
		A5	S	S	N	S		X						Restauração Preventiva	Operador Treinado
		A6	N	N	S	S				X				Detecção de Falha	Operador Treinado
	B	B1	N	N	N	S				X				Detecção de Falha	Mantenedor Responsável
		B2	S	N	N	N					X			Reparo Funcional	Operador Treinado
		B3	N	N	N	S			X					Substituição Preventiva	Mantenedor Responsável
		B4	S	N	N	N		X						Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável
		B5	S	N	N	S						X		Reparo Funcional	Operador Treinado
	C	C1	S	N	N	S		X						Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável
		C2	S	N	N	S		X						Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável
	D	D1	S	N	N	S			X					Substituição Preventiva	Mantenedor Responsável
		D2	S	N	N	N					X			Reparo Funcional	Operador Treinado
	E	E1	S	S	N	S		X						Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável
		E2	S	S	N	S		X						Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável
	F	F1	S	N	N	S		X						Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável
F2		S	N	N	S					X			Reparo Funcional	Operador Treinado	

Tabela 5-7- Plano de manutenção para o Flow Pack  
 Fonte: O autor(2017)

Referência			Consequência				Ação						Plano de Manutenção	Responsável
							H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3					
I	MF	C	H	S	E	O				H4	H5	S4		
2	G	G1	S	N	N	S		X					Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável
	H	H1	S	N	N	S					X		Reparo Funcional	Mantenedor Responsável
		H2	S	N	N	S					X		Reparo Funcional	Mantenedor Responsável
	I	I1	S	N	N	S					X		Reparo Funcional	Mantenedor Responsável
		I2	S	N	N	S					X		Reparo Funcional	Operador Treinado
	J	J1	S	N	N	S					X		Reparo Funcional	Operador Treinado
		J2	S	N	N	S					X		Reparo Funcional	Mantenedor Responsável
		J3	S	N	N	S					X		Reparo Funcional	Controle de Qualidade
	K	K1	S	N	N	N					X		Reparo Funcional	Mantenedor Responsável
		K2	N	N	N	N				X			Deteção de Falha	Mantenedor Responsável
L	L1	S	N	N	S			X				Substituição Preventiva	Mantenedor Responsável	
	L2	S	N	S	S					X		Reparo Funcional	Mantenedor Responsável	
M	M1	S	N	N	S		X					Restauração Preventiva	Mantenedor Responsável	

## 6 CONCLUSÃO

Esse trabalho propôs a análise da função manutenção utilizando a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Dentre as etapas da MCC é preciso definir quais são os subsistemas/equipamentos mais críticos. Para isso, foi utilizado uma análise multicritério para escolher quais os equipamentos mais críticos do processo usando critérios como quantidade de paradas de linha, tempo em que o equipamento esteve indisponível, tempo que o equipamento passou por algum tipo de manutenção, quantidade de requisição de atendimentos dos mantenedores, retrabalho e parada sistemática. Foi utilizado o método FITradeoff para escolher o sistema mais crítico, dado que foi verificado que o decisor possui o comportamento compensatório, além de diminuir o esforço cognitivo do decisor para definir as constantes de escala e minimiza as inconsistências do processo decisório.

Foi concluído que o equipamento mais crítico é o Forno, seguido pelo Embalador Flow Pack. Diante desses resultados, foi aplicado as demais etapas do MCC, tais como a análise de modo de falhas e efeitos (FMEA) com o propósito de obter um plano de manutenção baseada no diagrama de decisão da metodologia proposta, onde deseja-se que haja um aumento na confiabilidade do equipamento e diminuição dos custos envolvidos.

Foi possível observar como a manutenção tem um impacto fundamental em um planejamento estratégico de uma empresa e como a MCC e ferramentas com o FMEA permitem uma oportunidade de otimização de sistemas produtivos envolvendo estratégia de crescimento e desenvolvimento empresarial.

Como sugestões para trabalho futuro indica-se aplicar o plano de manutenção proposto e analisar o comportamento dos indicadores de manutenção, como também a aplicação da metodologia em todos os equipamentos do setor e nos outros setores da empresa.

## REFERÊNCIAS

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**, Rio de Janeiro. 1994.
- ABRAMAN- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Documento Nacional de Manutenção: A Situação da manutenção no Brasil, 2013**. Disponível em <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/403/403.pdf>> (Acessado em outubro 2017).
- De ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo, Atlas, 2013.
- De ALMEIDA, A.T.; ALMEIDA, J.A.; COSTA, A.P.C.S; ALMEIDA-FILHO, A.T; **A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff**. European Journal of Operational Research, 2015.
- ALMEIDA, J.A; FREJ, E.A; ALMEIDA, A.T; **Heurísticas aplicadas ao método FITradeoff para reduzir número de perguntas do procedimento de elicitação de pesos**. Anais do XLVIII SBPO , Vitória, 2016.
- De Almeida, A. T.; Almeida, J. A.; Costa, A. P. C. S.; De Almeida Filho, A. T. (2016). **Software FITradeoff**. Disponível em: <<http://fitradeoff.org/>>. Acessado: novembro de 2017.
- ARAÚJO, R. **Aumento da confiabilidade em correias transportadoras por manutenção preventiva e corretiva**. Monografia de Pós graduação em Eng. Mineral, Ouro Preto, 2010.
- CARLSON, C.S. **Undertanding and Applying the Fundamentals FMEAs**, 2014.
- CARPINETTI, L. C.R. **Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas**. 1ª edição, São Paulo. 2010.
- CARRETERO J. el al. **Applying RCM in largescale systems: a case study with railway networks**. Reliability Engineering and System Safety, vol 82, 2003.
- CHO, Keun Tae. **Multicriteria decision methods: An attempt evaluate and unify. Mathematical and Computer Modelling**, v. 37, n. 9–10, p. 1099-1119, may. 2003.
- DHILON, B.S. **Engineering maintenance: a modern approach**. CRC Press LLC. Washington, D.C. 2002.
- EBRAHIMPOUR, V.; REZAIE, K. & SHOKRAVI, S. **An Ontology Approach to Support FMEA Studies. Expert Systems with Applications**. Vol. 37, n. 1, pp. 671-677, 2010.
- ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisas**. São Paulo: Atlas, 2002.

- GOMES, L.F.A.M. e FREITAS JÚNIOR, A. de Araujo F. **A Importância do Apoio Multicritério na Decisão na Formação do Administrador**. Revista ANGRAD, vol.1 no. 2000.
- JOHNSTON, D, C. **Measuring RCM implementation. In: Annual Reliability and Maintainability Symposium**. 2002.
- KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção Função Estratégica**, 2a edição, 1a Reimpressão. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 2004.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs**. John Wiley & Sons, 1976.
- KOBBACY, A. H.; MURTHY, P. **Complex System Maintenance Handbook**. 1ª. ed. Manchester: Springer, 2008.
- LAURENTI, R.; VILLARI, B. D.; ROZENFELD, H. **Problemas e Melhorias do Método FMEA: uma Revisão Sistemática da Literatura**, 2012.
- MACEDO, P. P., MOTA, C. M. M.; **Aplicação do método FITradeoff no apoio à tomada de decisão: Adequação a lei de eficiência energética Brasileira**, Anais do XLVIII SBPO, Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Vitória/ES, 2016.
- MATTAR, Fauze Nagib. **Pesquisa de marketing**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005
- MIGUEL, Paulo Augusto Cauchik (organizador). **Metodologia de pesquisa para engenharia de produção e gestão de operações [recurso eletrônico]**, Rio de Janeiro, Elsevier: ABEPRO, 2012.
- MINAYO, M. C. S.; MINAYO-GOMÉZ, C. **Difíceis e possíveis relações entre métodos quantitativos e qualitativos nos estudos de problemas de saúde**. 2001.
- MIRSHAWKA, V. OLMEDO, N.L. **Manutenção – combate aos custos da não eficácia – a vez do Brasil**. São Paulo: Makron Books do Brasil Ed. 1993
- MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, **Maintenance Engineering Handbook**. 7ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2008
- MONKS, Joseph G. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora McGraw Hill, 1989.
- MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade**. 3ª ed. Aum. Lutterworth: Aladon, 2000.
- MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance II**. Industrial Press: New York, 1992
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. 2ª ed. Industrial Press: New York, 1997

- NIU, G., YANG, B.S. E PECHT, M. **Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance.** Reliability Engineering and System Safety, 95, 786-796. 2010
- OLIVEIRA, M.M. **Análise de métodos estatísticos em planejamento e controle de manutenção.** Monografia de graduação, Rio de Janeiro, 2014.
- OLIVEIRA, R.P. **Dicionário Técnico de Manutenção e Engenharia Industrial.** 2003. Disponível em: <<http://www.datastream.net/latinamerica/libro/policarpo.aps?lang=POR>>. Acesso em março 2017.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial.** Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.
- PALADY, Paul. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: Instituto IMAM, 1997.
- PEDROSA, B.M.N; **Análise dos Modos de Falha e seus efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial.** Lisboa 2014.
- ROY B. (1996), **Multicriteria methodology for decision aiding,** Kluwer Academic, Dordrecht.
- SILVA, D, M. **Modelo de decisão multicritério em contratos de manutenção em meio ao conceito de delaytime.** Recife, 2015
- SIQUEIRA, I., **Manutenção centrada em confiabilidade.** 2º edição, Recife, Qualimark, 2009.
- SMITH , A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: gateway to world class maintenance.** 2ª. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, v. 1, 2004.
- SMITH, Anthony M. **Reliability-Centered Maintenance.** 1ª.ed. Boston: McGraw, 1993.
- STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis from Theory to Execution.** ASQ Quality Press, (2 RevExp) EUA. 1995.
- WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado.** 1997. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva.** Belo Horizonte: Editora Desenvolvimento Gerencial, 1998.
- WHEELWRIGHT, S.C.; CLARK, K.B., **Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality,** The Free Press; **Potential Failure Modes and Effects Analysis,** Automotive Industry Action Group. Harvard Business School, February 2, 1996.