



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ALINE MARIA DA SILVA

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO
APLICADO EM UMA INDÚSTRIA DO SEGMENTO ALIMENTÍCIO**

Caruaru

2018

ALINE MARIA DA SILVA

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO
APLICADO EM UMA INDÚSTRIA DO SEGMENTO ALIMENTÍCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de graduada em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão da Produção.

Orientador: Prof^o. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes.

Caruaru

2018

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

S586m

Silva, Aline Maria da.

Manutenção centrada na confiabilidade: um estudo de caso aplicado em uma indústria do segmento alimentício. / Aline Maria da Silva. - 2018.
51 f. ; il. : 30 cm.

Orientador: Rodrigo Lopes Sampaio
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2018.
Inclui Referências.

1. Falhas - Análise. 2. Confiabilidade. 3. Gestão da produção. I. Sampaio, Rodrigo Lopes (Orientador). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-267)

ALINE MARIA DA SILVA

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO
APLICADO EM UMA INDÚSTRIA DO SEGMENTO ALIMENTÍCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de graduada em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 12/12/2018.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Lucimário Gois de Oliveira Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. José Leão e Silva Filho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

Devido ao aumento da complexibilidade dos processos e prováveis implicações decorrentes de circunstanciais falhas em equipamentos, a análise de falhas tem recebido uma atenção especial nas últimas décadas. Nesse contexto, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) caracteriza-se como uma ferramenta primordial para a minimização de falhas em equipamentos. O objetivo desse estudo é apresentar e aplicar a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) para gestão de manutenção de um equipamento em uma empresa do setor alimentício, e proporcionar melhorias por meio de um plano de manutenção preventiva visando aumentar sua confiabilidade e disponibilidade. Utilizando a lógica multiobjetivo da Fronteira de Pareto foi possível determinar a linha e o equipamento mais crítico do setor, na qual os percentuais de reprocesso e o número de abertura de ordem de manutenção (RA's) foram escolhidos como variáveis de decisão. Os passos utilizados para a aplicação do método são: preparação do estudo, seleção do sistema e coleta de informações, análises de modo de falhas, seleção de funções significantes, seleção de atividades aplicáveis, seleções das tarefas aplicáveis e efetivas, e definição da periodicidade das atividades. Os resultados indicaram uma diminuição de cerca de 50% nos percentuais de reprocesso e no número de abertura de ordem de manutenção.

Palavras Chaves: MCC. Componente Crítico. Análise de Falhas. Seleção Multiobjetivo.

ABSTRACT

Due to the increasing complexity of processes and the likely implications of circumstantial equipment failures, fault analysis has received special attention in recent decades. In this context, the Reliability Centered Maintenance (MCC) is characterized as a primordial tool for the minimization of equipment failures. The objective of this study is to present and apply the Reliability Centered Maintenance (MCC) methodology for maintenance management of equipment in a food company, and to provide improvements through a preventive maintenance plan to increase its reliability and availability. Using the Pareto Frontier multi-objective logic, it was possible to determine the most critical line and equipment in the industry, in which reprocessing percentages and maintenance order opening numbers (RA's) were chosen as decision variables. The steps used to apply the method are: preparation of the study, selection of the system and collection of information, analysis of failure mode, selection of applicable activities, selection of applicable and effective tasks, and definition of the periodicity of activities. The results indicated a decrease of about 50% in reprocessing percentages and in the number of maintenance openings.

Keywords: RCM. Critical Component. Failure Analysis. Multiobjective Selection.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – FLUXO DE ETAPAS DA METODOLOGIA.....	24
FIGURA 4.1 – FRONTEIRA DE PARETO PARA SELEÇÃO DA LINHA CRÍTICA.....	28
FIGURA 4.2 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO	28
FIGURA 4.3 – FRONTEIRA DE PARETO PARA SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO CRÍTICO.....	30
FIGURA 4.4 – ETAPAS HÍBRIDAS DA MCC	31
FIGURA 4.5 – VISÃO LATERAL DO EQUIPAMENTO GS90.....	33
FIGURA 4.6 – VISÃO FRONTAL DO EQUIPAMENTO GS90	34
FIGURA 4.7 – DIAGRAMA LÓGICO DE DETERMINAÇÃO DE SIGNIFICÂNCIA DAS FUNÇÕES	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – ESCALA DETALHADA DA SEVERIDADE DOS EFEITOS DE FALHAS	20
TABELA 2.2 – ESCALA DETALHADA DA OCORRÊNCIA DOS EFEITOS DE FALHAS	21
TABELA 2.3 – ESCALA DETALHADA DA OCORRÊNCIA DOS EFEITOS DE FALHAS	22
TABELA 4.1 – PERCENTUAL DE REPROCESSO E NÚMERO DE RA'S	27
TABELA 4.2 – FREQUÊNCIA E QUANTIDADE DE HORAS PARADAS.....	29
TABELA 5.1 – DADOS APÓS A APLICAÇÃO DA MCC	45

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – VISÃO GERAL DO PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DA MCC.....	18
QUADRO 4.1 – LEGENDA DOS COMPONENTES DA GS90	34
QUADRO 4.2 – COMPONENTES E SUAS RESPECTIVAS FUNÇÕES.....	35
QUADRO 4.3 – COMPONENTES, MODOS DE FALHA E CAUSAS	36
QUADRO 4.4 – COMPONENTES, MODOS DE FALHA E EFEITOS.....	37
QUADRO 4.5 – COMPONENTE, MODOS DE FALHA E NPR	38
QUADRO 4.6 – CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS	41
QUADRO 4.7 – COMPONENTES, MODOS DE FALHA E ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	42
QUADRO 4.8 – AÇÕES ESTABELECIDAS PARA CADA MODO DE FALHA	42
QUADRO 4.9 – COMPONENTES, MODOS DE FALHA, AÇÕES E FREQUÊNCIAS.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa	11
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos.....	11
2	REVISÃO DA LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Manutenção	12
2.1.1	Breve Histórico da Manutenção e sua evolução	13
2.1.2	Tipos de Manutenção	14
2.2	Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	15
2.2.1	Implantação da MCC.....	17
2.3	Análise de Modos de Falhas e Efeitos – FMEA	19
2.3.1	Aplicação da FMEA	20
3	METODOLOGIA	23
4	ESTUDO DE CASO	25
4.1	Descrição da Empresa	25
4.2	Descrição do processo produtivo	25
4.3	Seleção da linha de produção crítica	26
4.4	Seleção do equipamento crítico	28
4.5	Modelo de aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade	30
4.5.1	Preparação do estudo.....	31
4.5.2	Seleção do sistema e coleta de informações.....	32
4.5.3	Análise de Modos de Falhas e Efeitos.....	34
4.5.4	Seleção de funções significantes.....	39
4.5.5	Seleção de atividades aplicáveis	41
4.5.6	Seleção das tarefas aplicáveis e efetivas	42
4.5.7	Definição da periodicidade das atividades.....	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A – DIAGRAMA LÓGICO DE MOUBRAY	51

1 INTRODUÇÃO

Com a constante transformação do cenário organizacional em termos de concorrência, exigência do consumidor e adaptação estratégica, as empresas precisam concentrar esforços em técnicas e/ou metodologias que aperfeiçoem seus processos, trazendo vantagem competitiva para a mesma por meio do aumento da produtividade e redução de custos. De acordo com Zaions (2003) a produção de forma automatizada está sendo cada vez mais procurada entre as indústrias com o objetivo de aumentar a produtividade diante a concorrência.

A falta de um gerenciamento de manutenção dos equipamentos/sistemas dentro das indústrias possivelmente aumentam falhas, diminuem a confiabilidade e a disponibilidade, ocasionam um acréscimo no custo e diminuição da qualidade do processo/produto. Para Kardec e Nascif (2012) o cenário mostra que as empresas necessitam de aplicações de programas eficazes de gestão da manutenção, na qual cada vez mais possam buscar as melhores práticas para resolução de seus problemas relacionada à manutenção.

Novas estratégias e ferramentas vêm surgindo no intuito de desenvolver uma moderna gestão da manutenção. Entretanto, considerações importantes como custos elevados, baixa qualidade e questões relacionadas à segurança e problemas ambientais podem ser tratadas como temas vitais a serem levados em conta no que diz respeito a uma nova e moderna gestão da manutenção.

Segundo Kardec e Nascif (2012), a MCC é uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhe, analisando como o mesmo pode falhar e definindo a melhor estratégia de manutenção, com intuito de evitar falhas e reduzir as perdas. Por tudo isso, essa ferramenta oferece benefícios que vão a encontro das necessidades e os objetivos desse trabalho.

1.1 Justificativa

O setor de alimentos brasileiro é internacionalmente conhecido pelo seu desenvolvimento e estrutura, representando aproximadamente 10% do total do PIB do país (CAMPOS, 2016), o que o faz apresentar grande destaque também no mercado nacional. No entanto, devido à ausência de uma efetiva gestão da manutenção em algumas empresas, elas acabam estagnadas no mercado de forma a não garantir um destaque competitivo no setor em questão. Não obstante disso, a empresa analisada é de fundamental importância na economia do Agreste Pernambucano e não apresenta uma gestão de manutenção eficiente. Por isso, a aplicação da MCC é de extrema importância para apoiar e melhorar a eficiência da operação, de forma a reduzir a quantidade de reprocesso, diminuir custos, e aumentar a confiabilidade de atendimento da demanda.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar e aplicar a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) para gestão de manutenção de um equipamento em uma empresa do setor alimentício, a fim de entender seus mecanismos, modos de falhas, e proporcionar melhorias através de um plano de manutenção preventiva visando aumentar a confiabilidade e disponibilidade do equipamento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Selecionar um equipamento crítico dentro de um setor que apresenta a maior necessidade de uma gestão de manutenção;
- Aplicar a metodologia da MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) no equipamento selecionado;
- Elaborar um plano de manutenção preventiva;
- Analisar os resultados da implantação da metodologia no item selecionado.

2 REVISÃO DA LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manutenção

Ao longo da história, a literatura apresentou e continua a apresentar várias maneiras de definir a manutenção. É possível defini-la não apenas como uma ferramenta que desenvolve métodos preventivos, mas como uma metodologia que impacta diretamente na segurança, qualidade, custo e disponibilidade de sistemas/equipamentos de empresas, respeitando normas e o meio ambiente (MIRSHAWA; OLMEDO, 1993).

Faria (1994) conceituou manutenção como a função de manter os equipamentos em funcionamento da maneira como foram projetados. Podendo a mesma, também, ser definida como a combinação de ações técnicas e administrativas com o intuito de manter ou realocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (NBR 5462, 1994).

Slack (2000) definiu manutenção como um termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas ao cuidar de suas instalações físicas. Já Stevenson (2001), diz que o objetivo principal da manutenção é conservar o sistema de produção em boas condições de operação incorrendo no menor custo possível.

Recentemente, Kardec e Nascif (2012) afirmaram que a manutenção tem função de garantir a disponibilidade de equipamentos e instalações, de forma a atender os processos de produção ou de serviço.

Nesse cenário, a manutenção se torna um fator decisivo para o sucesso do processo produtivo, fazendo com que as organizações busquem soluções que minimizem aspectos de custos em suas atividades de operações.

2.1.1 Breve Histórico da Manutenção e sua evolução

De origem militar o termo “manutenção” tem o sentido de ter à mão, nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante, que na filosofia contemporânea quer dizer garantir a disponibilidade (KARDEC; NASCIF, 2012).

Antes da criação de fábricas e divisão das tarefas nos processos produtivos, a manutenção dentro das indústrias não detinha de importância. Algumas correções necessárias eram feitas pelos próprios operadores, sem nenhuma orientação ou mensuração nas intervenções. Foi só em meados de 1950, nos Estados Unidos, que as indústrias começavam a utilizar a expressão “manutenção” como um termo de conservação (WIREBSK, 1997).

Fernández e Márquez (2012) afirmam que a manutenção passou por uma evolução lenta, porém constante ao longo dos anos. Segundo Kardec e Nascif (2012) as alterações nos estágios de evolução são consequências da importância da manutenção como função estratégica para melhorar os resultados do negócio e aumentar a competitividade das organizações. Os mesmos ainda afirmam que a evolução da manutenção pode ser dividida em cinco ciclos.

O primeiro ciclo ocorreu entre 1940 e 1950, na qual as indústrias nessa época eram pouco mecanizadas, os equipamentos eram simples e necessitavam apenas de serviços de limpezas, lubrificações e reparos após quebras; nessa geração a manutenção era definida como corretiva não planejada. Falhas era um fator “normal” que ocorriam devido ao passar do tempo, visto necessário apenas a realizações de reparos.

O segundo ciclo (entre 1960 e 1970) foi marcado pelo aumento da mecanização e o aumento das demandas dos produtos com consequente redução da mão de obra industrial. Nessa época, observava-se a necessidade de disponibilidades dos equipamentos, falhas deveriam e poderiam ser evitadas, intervenções em intervalos fixos eram realizadas; tudo isso resultou no conceito de manutenção preventiva. Esforços científicos de pesquisa e desenvolvimento de técnicas de manutenção preventivas foram sempre orientados para a minimização dos impactos de falhas nos processos e meios de produção (SIQUEIRA, 2005).

No terceiro ciclo (entre 1980-1990), o crescimento da automação, confiabilidade e disponibilidade de equipamentos se tornaram fatores chaves nos ambientes industriais. Começou a existir preocupações com a segurança e meio ambiente para os usuários de produtos e processos industriais, além da exigência da sociedade por melhores qualidades dos produtos.

Entre 2000 e 2005, o quarto ciclo se direcionou a redução de falhas prematuras dos equipamentos utilizando técnicas de manutenção dirigidas ao aumento da manutenção preditiva e ao monitoramento da condição, com posterior redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejada, análise de falhas, técnicas de confiabilidade, disponibilidade e preservação do ambiente.

Já o quinto ciclo começou a partir de 2005 até os dias atuais e manteve práticas utilizadas na geração anterior, trazendo cada vez mais enfoque na gestão de ativos, planejando o ciclo de vida de equipamentos com a utilização de manutenção para redução de falhas, aumento de técnicas preditivas através monitoramento da condição.

2.1.2 Tipos de Manutenção

2.1.2.1 Manutenção corretiva

É o tipo de manutenção não planejada, entendida como uma manutenção de reparos logo após a quebra ou falha, na qual um conjunto de procedimentos é aplicado em equipamentos fora de ação ou danificado com o objetivo de fazer o equipamento voltar ao trabalho no menor espaço de tempo e custo possível (ARAÚJO, 2010). A manutenção corretiva é a atuação para correção de falha em sistemas que apresentem desempenho inferior ao esperado. Os ambientes industriais ainda fazem muito o uso deste tipo de manutenção, alegando a limitação devido à incapacidade de prever e planejar outros tipos de manutenções, considerando ser quase impossível (STEVENSON, 2001).

Segundo Moraes (2010), a manutenção corretiva pode ser do tipo não planejado quando ocorre a correção da falha de maneira aleatória, e a planejada que se faz

em função do acompanhamento preditivo, ou pela decisão gerencial de se operar até a ocorrência de paradas ou falhas.

2.1.2.2 Manutenção Preventiva

Algumas questões relacionadas a riscos e prejuízos levaram ao desenvolvimento de alguns métodos de manutenção; sendo um desses métodos a manutenção preventiva, que surgiu com o objetivo de reduzir ou evitar falhas em equipamentos que obedecem a um planejamento de manutenção baseado em períodos de tempos, ou seja, o seu intuito é evitar prejuízos e riscos de interrupção (CARRETERO, 2003). Mas segundo Xavier (2010), um dos segredos preventivos está na determinação da periodicidade, pois é perceptível uma tendência conservadora nessas ações, os intervalos normalmente são menores que o necessário, o que pode implicar em paradas e troca de peças desnecessárias.

2.1.2.3 Manutenção Preditiva

Este tipo de manutenção consegue garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática e técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva. Algumas variáveis como temperatura, vibrações, verificações de trincas e deformações, emitidas pelo equipamento, são acompanhadas a partir de monitores ou inspeções, possibilitando a coletar de dados, que servem para intervir ou corrigir a falha que causou algum tipo de mudanças nas variáveis (RIGONI, 2009).

2.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

A manutenção centrada em confiabilidade surgiu com a visão da inserção de um processo racional e sistemático de análise, que com o menor custo possível, definisse os procedimentos para a manutenção de equipamentos (FLEMING; FRANÇA, 1997). Segundo a *Naval Sea Systems Command* (1983), antes de 1960, não existiu nenhum registro de qualquer esforço para examinar a eficácia da manutenção. Foi apenas em 1967 que as companhias aéreas começaram a aplicar lógicas

de árvore de decisão para identificar e avaliar os métodos de manutenção em suas operações e propor alternativas para o incremento da confiabilidade. Em meados dos anos 70, ampliou-se a análise das políticas de manutenção na indústria aérea americana, desenvolvendo-se conceitos associados a MCC (NASA, 2000). A partir disso, várias indústrias começaram a utilizar a MCC com o objetivo de determinar as melhores políticas para gerenciamento dos itens físicos e consequências de suas falhas.

São vários os estudos e interpretações em torno da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Carretero et al. (2003) define a metodologia como uma sistemática que mantém o equilíbrio entre a manutenção preventiva e a corretiva, escolhendo atividades de manutenção preventiva certas para os componentes, no momento certo, atingindo assim soluções e custos eficientes. Já Igba et al. (2013) ressalta que a mesma é uma abordagem de práticas e estratégias de manutenção reativa, preventiva e proativa de forma integrada para aumentar a probabilidade de vida de equipamentos.. Kardec e Nascif (2012) afirmam que a MCC estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisam como ele pode falhar e definem a melhor forma de executar a manutenção de modo a prevenir falhas ou minimizar as perdas decorrentes das falhas. Arno et al. (2015) complementa que a manutenção centrada na confiabilidade garante a operacionalidade do item ou sistema e mantém a prevenção da função. Os mesmos ainda ressaltam que a principal visão da MCC é centrada no sistema como um todo e preocupa-se mais com a manutenção da função primária do sistema do que nos componentes individuais.

Torna-se possível observar que o conceito de MCC é baseado em abordagens eficientes de políticas de manutenção; essa eficiência pode ser determinada através da confiabilidade do sistema/equipamento. Sendo que a confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um equipamento desempenhar satisfatoriamente a sua função durante um intervalo de tempo e a cerca de certas condições pré-definidas (SMITH, 1993). Percebe-se que o objetivo da metodologia está na preservação do sistema/equipamento e não na restauração do item para a condição ideal. Moubray (2000) afirma que preservar a função não é o mesmo que preservar a operação de um item.

Conforme Moubray (2001), entre os resultados que são buscados a alcançar com a aplicação da MCC estão:

- Segurança humana e ambiental;
- Melhoria do desempenho operacional;
- Redução de custos de manutenção;
- Aumento da vida útil dos itens físicos;
- Preservação da função do sistema.

2.2.1 Implantação da MCC

Na literatura, diversos autores apresentaram suas versões para a aplicação da MCC. Suas variações estão associadas ao número de etapas, ferramentas utilizadas, ordem das etapas (movida pelas características da empresa) e experiência do autor. Nowlan e Heap (1978) afirmam que a lógica de implantação da MCC é baseada em três questões, expostas a seguir:

1. Como pode ocorrer uma falha?
2. Quais as consequências das falhas para segurança ou operabilidade?
3. O que a manutenção preventiva pode fazer?

Nowlan e Heap (1978) ainda enfatizam que na MCC as consequências das falhas no equipamento como um todo é considerado o fator mais importante na tomada de decisões. Na sua obra, Siqueira (2005) ressalta a necessidade de responder tais perguntas:

- Quais as funções a se preservar?
- Quais as falhas funcionais?
- Quais os modos de falha?
- Quais os efeitos das falhas?
- Quais as consequências das falhas?
- Quais as tarefas aplicáveis e efetivas?
- Quais as alternativas restantes?
- Quais as frequências ideais das tarefas?

No Quadro 2.1 é demonstrado a visão geral do processo de implantação da MCC sugerida por Smith (1993), Rausand et al. (1998), Moubroy (2000), Siqueira (2009). Contudo, vale ressaltar a existência de outros autores de extrema importância na literatura, como: Lafraia (2001); Hinchcliffe (2004); Siqueira (2005); e Fogliatto e Ribeiro (2009).

*Quadro 2.1 – Visão geral do processo de implementação da MCC
Fonte: O autor (2018)*

Etapas	Smith(1993)	Moubroy(2000)	Siqueira (2009)	Rausand et al.(1998)
1	Seleção do sistema e coleta de informações.	Definições das funções e padrões de desempenho.	Seleção do sistema e coleta de informações	Preparação do estudo.
2	Definição das fronteiras do sistema.	Definição da forma como item falha ao cumprir suas funções.	Análise de modos de falhas e efeitos	Seleção do sistema
3	Descrição do sistema.	Descrição da causa de cada falha funcional.	Seleção de funções significantes	Análise das funções de falhas funcionais-AFF.
4	Funções e falhas funcionais.	Descrição das consequências de cada falha.	Seleção de atividades aplicáveis	Seleção dos itens críticos.
5	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas.	Definição da importância de cada falha.	Avaliação da efetividade das atividades	Coleta e análise de informações.
6	Análise da árvore lógica.	Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha.	Seleção das tarefas aplicáveis e efetivas	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas.

7	Seleção das tarefas preventivas.	Seleção de tarefas alternativas.	Definição	Seleção das tarefas de manutenção.
8				Determinação da frequência das tarefas de manutenção e comparação das tarefas antigas e propostas.

2.3 Análise de Modos de Falhas e Efeitos – FMEA

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a MCC refere-se à identificação dos modos de falha, sendo este considerado uma forma como o sistema pode vir a falhar. Wikoff et al. (2008), explanam que no processo de implementação da metodologia uns dos seus principais objetivos é identificar sistematicamente todas as falhas funcionais de ativos, todas as causas prováveis para essas falhas e os efeitos prováveis desses modos de falha.

Para identificar as principais funções do equipamento e seus modos de falhas será utilizada a análise de modos de falhas e efeitos (FMEA). Segundo Kardec e Nascif (2012), a FMEA é uma ferramenta que busca analisar as falhas potenciais em equipamentos, sistema ou processo para propor recomendações de melhorias. Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque de novos produtos e processos, sua metodologia passou a ser aplicada de diversas maneiras.

Sainz e Sebastián (2013) definem a FMEA como uma metodologia destinada a identificar, analisar e quantificar os efeitos das falhas no funcionamento normal do sistema. Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), a FMEA reconhece e avalia as falhas potenciais; identifica ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas; diminuir custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas e documenta o estudo para auxiliar em revisões para projetos futuros.

2.3.1 Aplicação da FMEA

A FMEA é aplicada inicialmente de forma qualitativa, levantando informações a respeito do sistema. Quanto mais conhecer as características e funcionalidades do processo/produto, mais fácil será identificar os modos potenciais de falha e suas possíveis ações corretivas. Durante o planejamento, para implantação da metodologia, a equipe ficará responsável por compreender e descrever os objetivos e abrangência da análise, devendo identificar qual(ais) produto(s)/processo(s) será(ão) analisado(s) usando fluxograma, estatísticas de falhas, manuais de fabricações, planos de inspeções, assim como suportes para auxílio (PEDROSA, 2014).

De acordo com Lafraia (2001) a análise quantitativa é aplicada para estabelecer uma probabilidade de falha ou confiabilidade do sistema através do cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR), que é obtido por meio da multiplicação dos valores definidos para os critérios de severidade, ocorrência e detecção (equação 1):

$$\text{NPR} = \text{severidade} \times \text{ocorrência} \times \text{detecção} \quad (1)$$

A severidade é considerada como o resultado do efeito potencial das falhas de cada componente em um sistema produtivo. A mesma é medida por uma escala qualitativa, com o intuito de classificar a gravidade dos efeitos das falhas. A classificação é feita por meio de uma escala que varia de um a dez, sendo atribuída a nota um para o menos grave e nota dez para o perigosamente grave (TOZZI, 2004). Na tabela 2.1 é apresentada uma escala detalhada de severidade dos efeitos de falhas, baseada na descrição clara e objetiva da consequência do modo de falha.

*Tabela 2.1 – Escala detalhada da severidade dos efeitos de falhas
Fonte: Adaptado de Fernandes e Rebelato (2006)*

Pontuação	Descrição da severidade do modo de falha	Consequência do modo de falha com essas severidades
10	Impacto perigosamente alto	A falha pode causar falha total no sistema e pessoas podem ficar gravemente feridas.
9	Impacto extremamente alto	As falhas que não atendem as normas legais
8	Impacto muito alto	A falha faz com que o cliente final perceba o defeito no produto.

7	Impacto alto	A falha causa rejeição de produtos produzidos
6	Impacto moderado	A falha causa longo atraso no processo devido a realizações de reparos.
5	Impacto baixo	A falha causa um moderado atraso no processo.
4	Impacto muito baixo	A falha causa nenhum ou muito pouco efeito, dessa forma um curto atraso no processo pode acontecer.
3	Impacto extremamente baixo	A falha causa um menor efeito, exigirá esforços extras para produzir sem atrasos.
2	Quase nenhum impacto	A falha causa nenhum ou pouco efeito.
1	Nenhum impacto	A falha não causa nenhum efeito impactante

Depois de reconhecer o resultado do efeito potencial das falhas de cada componente no sistema produtivo, inicia-se a identificação da probabilidade de ocorrências das possíveis causas. Para Liuet al. (2015) a causa potencial pode ser interpretada como um ponto fraco do processo que resulta no modo de falha. Já Feiliet et al. (2013) ressaltam que a ocorrência é a probabilidade de surgimento desta causa. Cada causa será classificada por uma pontuação de ocorrência, assim como a severidade a causa da ocorrência é estimada em uma escala de ocorrência de um a dez. É apresentada na Tabela 2.2, disposta abaixo, uma escala de probabilidade dentro de um período de tempo, onde a pontuação varia de 1 a 10, sendo 1 uma baixa probabilidade e 10 uma probabilidade muito alta.

*Tabela 2.2 – Escala detalhada da ocorrência dos efeitos de falhas
Fonte: Adaptado de Fernandes e Rebelato (2006)*

Pontuação	Descrição da escala de ocorrência	Probabilidade de ocorrência (critério)
10	Probabilidade Muito Alta	Muitas vezes por turno
9-7	Probabilidade alta	Muitas vezes por semana
6-4	Moderada	Uma vez por semana
3	Probabilidade baixa	Uma vez por mês
2	Probabilidade muito baixa	Uma vez por trimestre
1	Probabilidade remota	Uma vez por ano

Por conseguinte, teremos a detecção que tem como função detectar os modos de falha. Segundo Feiliet al. (2013) a detecção está relacionada com a probabilidade de detectar falhas. A capacidade dos mantenedores e o pessoal de manutenção de detectar uma falha são fatores cruciais. Na Tabela 2.3 pode ser visualizada a pontuação que é atribuída à detecção, no nível um existe quase a certeza que essa falha será detectada, enquanto que no nível dez a manutenção não detecta a causa da falha.

Tabela 2.3 – Escala detalhada da ocorrência dos efeitos de falhas
Fonte: Adaptado de Fernandes e Rebelato (2006)

Pontuação	Detecção	Probabilidade de Detecção da causa da falha
10	Absolutamente incerta	A manutenção não detecta a causa da falha
9	Muito remota	Chance muito remota de se detectar a causa da falha
8	Remota	Chance remota de se detectar a causa da falha
7	Muito baixa	Chance muito baixa de se detectar a causa da falha
6	Baixa	Chance baixa de se detectar a causa da falha
5	Moderada	Moderada chance de se detectar a causa da falha
4	Moderalmente alta	Moderadamente alta a chance de se detectar a causa da falha
3	Alta	Chance alta de se detectar a causa da falha
2	Muito alta	Chance muito alta de se detectar a causa da falha
1	Quase certa	A manutenção quase certamente detectará a causa da falha

3 METODOLOGIA

O presente estudo pode ser considerado como um estudo de caso por investigar um determinado fenômeno dentro de um contexto real com o objetivo de estimular a compreensão acerca de tomadas de decisões. Estudos de caso são caracterizados por tentar esclarecer o motivo pelo qual uma decisão ou conjunto de decisões foram tomados, como foram implementadas e com quais resultados alcançados (YIN, 2001 apud. MIGUEL, 2007, p.219).

O instrumento de coleta de dados se deu através de relatórios periódicos, registro de dados e informações dos equipamentos pelo do setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), manual do equipamento e informações advindas da experiência dos analistas, gestores e mantenedores.

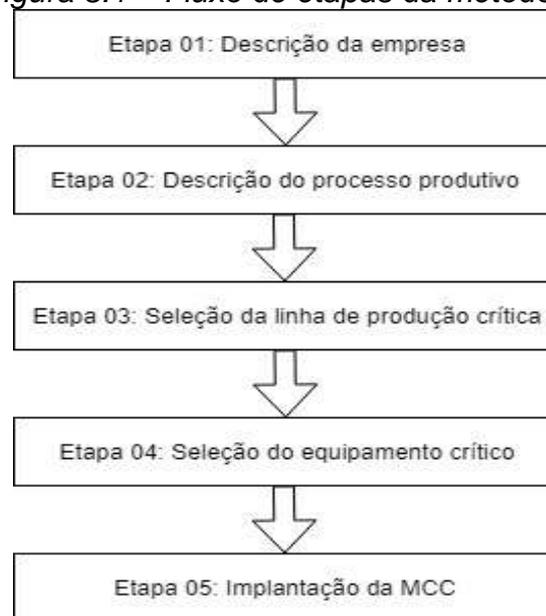
Visando expressar de forma ordenada e objetiva as etapas seguidas no estudo, segue abaixo uma breve descrição a respeito:

1. Descrição da empresa: nessa etapa foi realizada uma breve descrição da empresa em estudo levando em consideração o ramo que ela está inserida e suas características gerais.
2. Descrição do processo produtivo: em seguida, foi realizada a descrição do processo de fabricação de biscoitos. Na qual é possível visualizar o passo a passo do processo em si, com sua devida descrição.
3. Seleção da linha de produção considerada crítica: a partir do percentual de reprocesso e dos números de requerimento de atendimento ao pessoal de manutenção (RA) foi possível utilizar a lógica multiobjetivo da Fronteira de Pareto para selecionar a linha considerada crítica no setor de produção.
4. Seleção do equipamento considerado crítico: nessa etapa foi realizada a seleção do equipamento que apresentou comportamento mais crítico, através de uma análise, também, feita a partir da Fronteira de Pareto, onde foi possível perceber a dominância dos vetores de um dos equipamentos da linha previamente selecionada, baseado na frequência de paradas de linhas e no quantitativo de horas paradas.

5. Implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC): nessa última etapa foi realizada a aplicação da MCC, constituída por cinco passos, sendo eles: preparação do estudo, seleção do sistema e coleta de informações, análises de modo de falhas, seleção de atividades aplicáveis, seleções das tarefas aplicáveis e efetivas e definição da periodicidade das atividades.

Abaixo, na Figura 3.1, pode ser visualizado o fluxo de etapas seguidas no presente estudo.

Figura 3.1 – Fluxo de etapas da metodologia



Fonte: O autor (2018)

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição da Empresa

O modelo de implantação proposto foi aplicado em uma empresa do ramo alimentício, situada na cidade de Caruaru-PE. A empresa produz cerca de 90 tipos de produtos, dentre eles: biscoitos *wafers*, recheados, crackers, maisena, bolachas coquinho, rosquinhas, bolinhos de goma, massas de macarrões, cafés, misturas de bolos e salgadinhos. O SEBRAE (2013) classifica a empresa como de grande porte, em virtude da sua quantidade de funcionários (mais de 600) e sua receita anual bruta (cerca de R\$ 200.000.000,00). Ela distribui seus produtos em mais de seis mil pontos de venda do estado de Pernambuco, além de outros estados como: Paraíba, Alagoas, Rio Grande do Norte e parte da Bahia.

Na sua produção, o seu espaço físico é dividido em cinco setores destinados a produção de biscoitos em geral, biscoitos tipo *wafers*, salgadinhos, macarrões e cafés. O estudo foi concentrado no setor de produção de biscoitos, pois, é um dos setores que mais gera receita para empresa e recentemente produz em uma escala de 24 horas por dia, nos setes dias da semana. Esse fato, fez com que a manutenção preventiva, existente apenas aos sábados, fosse extinta, ocasionando diversas paradas imprevistas nas linhas. Com o efeito da constante indisponibilidade e falta de confiabilidade dos equipamentos, a produção de biscoitos é cotidianamente afetada e com isso as metas que são previamente estabelecidas, dificilmente são atingidas.

4.2 Descrição do processo produtivo

O processo básico de fabricação de biscoitos é iniciado com a chegada das matérias-primas no setor, onde o recebimento é acompanhado por um responsável do setor de qualidade que realiza a inspeção; caso seja percebida alguma não conformidade, o material é destinado para a área de segregação. Após as análises, realiza-se a separação e a pesagem das matérias-primas de acordo com o planejamento estabelecido pelo setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP). Logo em seguida, a massa é preparada. Caso o biscoito seja do tipo recheado, em paralelo é

preparada à mistura do recheio e é inserindo na recheadeira. Após o batimento, a massa será levada até a linha, na qual passará por um moldador que irá cortar e dar formato aos biscoitos. Os biscoitos ainda crus passaram pelo forno e por lonas transportadoras serão levados ao túnel resfriamento (evitando as quebras de biscoitos). Por fim, seguirão para as embaladoras, assim finalizando com o empacotamento e paletização.

4.3 Seleção da linha de produção crítica

O setor de produção de biscoito é composto por três linhas:

- Primeira linha: produz biscoitos do tipo Maria, Maisena, Crackers e outros que não serão citados neste trabalho devido à associação com nome da empresa.
- Segunda linha: produz bolinhos de goma, bolachas coquinho, rosquinhas e biscoitos integrais.
- Terceira linha: produz biscoitos recheados de diversos sabores.

Para a escolha da linha ao qual será aplicada a metodologia, foi analisado o percentual de reprocesso e a quantidade de Requisição de Atendimento ao pessoal de manutenção (RA), do período de janeiro a junho de 2018 das linhas presentes. O reprocesso é caracterizado como toda a produção que precisa voltar ao processo devido a falhas nos equipamentos, falhas operacionais e falhas advindas de condições ambientais. Já as RA's são documentos solicitados pelo líder de produção do setor quando ocorre interrupção no processo devido a problemas de produção, elétricos e/ou mecânicos. Nelas são encontradas informações como tipo de falha, linha de produção, nome do equipamento, se houve parada somente do equipamento ou da linha completa e por quanto tempo ocorreu essa parada. Dessa forma, para a seleção da linha de produção do setor de biscoitos, foi estabelecido como crítica aquela que possuir o maior percentual de reprocesso e a maior quantidade de RA's. Na Tabela 4.1 é apresentado o percentual de reprocesso e o número de RA's do período de janeiro a junho de 2018.

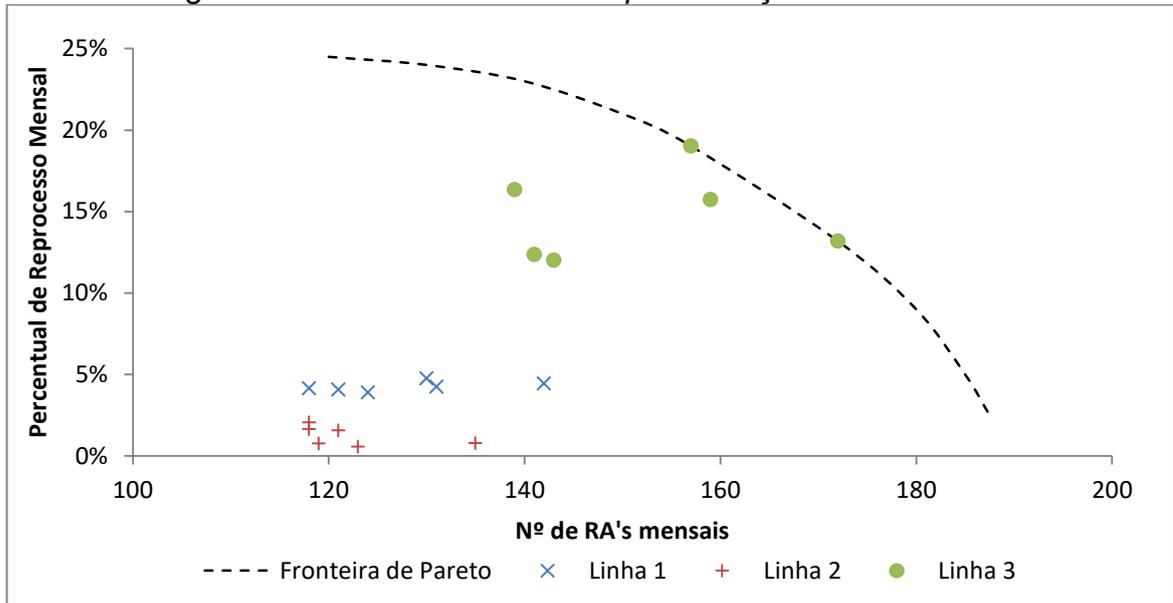
*Tabela 4.1 – Percentual de reprocesso e número de RA's
Fonte: O autor (2018)*

Mês	Linha 1		Linha 2		Linha 3	
	Reprocesso	Nº de RA	Reprocesso	Nº de RA	Reprocesso	Nº de RA
Janeiro	4,26%	131	1,56%	121	12,01%	143
Fevereiro	3,90%	124	0,76%	119	19,02%	157
Março	4,45%	142	0,79%	135	16,34%	139
Abril	4,76%	130	2,05%	118	15,72%	159
Maio	4,15%	118	0,57%	123	13,19%	172
Junho	4,08%	121	1,64%	118	12,37%	141

Na empresa são apresentadas metas para o reprocesso, sendo elas de 4%, 1% e 8%, para a primeira, segunda e terceira linha, respectivamente. A partir da Tabela 4.1, podemos perceber a discrepância dos percentuais de reprocesso da linha 3 em relação a meta exigida pela indústria, onde ela não obteve nenhum valor próximo ao objetivo da empresa. Em alguns casos, a linha chegou a apresentar percentual de reprocesso com o dobro da meta estabelecida, o que não ocorre na primeira e segunda linha, das quais apresentam valores bem próximos, alguns até abaixo, da meta.

A fim de obter uma demonstração gráfica, foi utilizada a lógica multiobjetivo para tomada de decisão da Fronteira de Pareto, na qual foram comparados vetores contendo o percentual de reprocesso e o número de RA's das três linhas no período de janeiro a junho de 2018, como pode ser visto na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Fronteira de Pareto para seleção da linha crítica



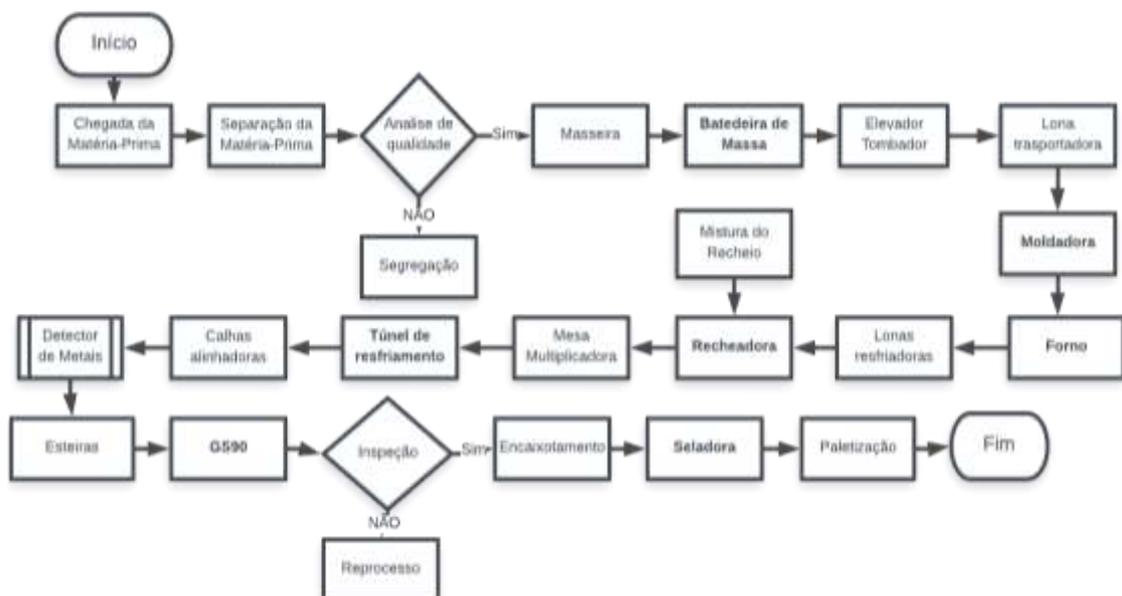
Fonte: O autor (2018)

Podemos perceber a dominância dos dois vetores, (157;19,02%) e (172; 13,19%), da Linha 3 perante os demais vetores, sendo estes o conjunto de pontos que delimitam a Fronteira de Pareto. Além disso, visualmente podemos perceber que os valores da terceira linha, tanto em percentual de reprocesso quanto em quantidade de RA's, apresentam-se superiores às outras linhas. Portanto, a Linha 3 será a escolhida para a implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade.

4.4 Seleção do equipamento crítico

A partir da seleção da linha crítica e conhecimento do processo produtivo desta, disposto na Figura 4.2, podemos observar os respectivos equipamentos que a

Figura 4.2 – Fluxograma do processo produtivo



compõem.

Fonte: O autor (2018)

Com base na frequência de paradas de linhas e quantidade de horas paradas foi possível perceber o comportamento dos equipamentos. Na Tabela 4.2 têm-se os dados a respeito das frequências e quantidades de horas paradas, num horizonte de seis meses, de janeiro a junho de 2018.

*Tabela 4.2 – Frequência e quantidade de horas paradas
Fonte: O autor (2018)*

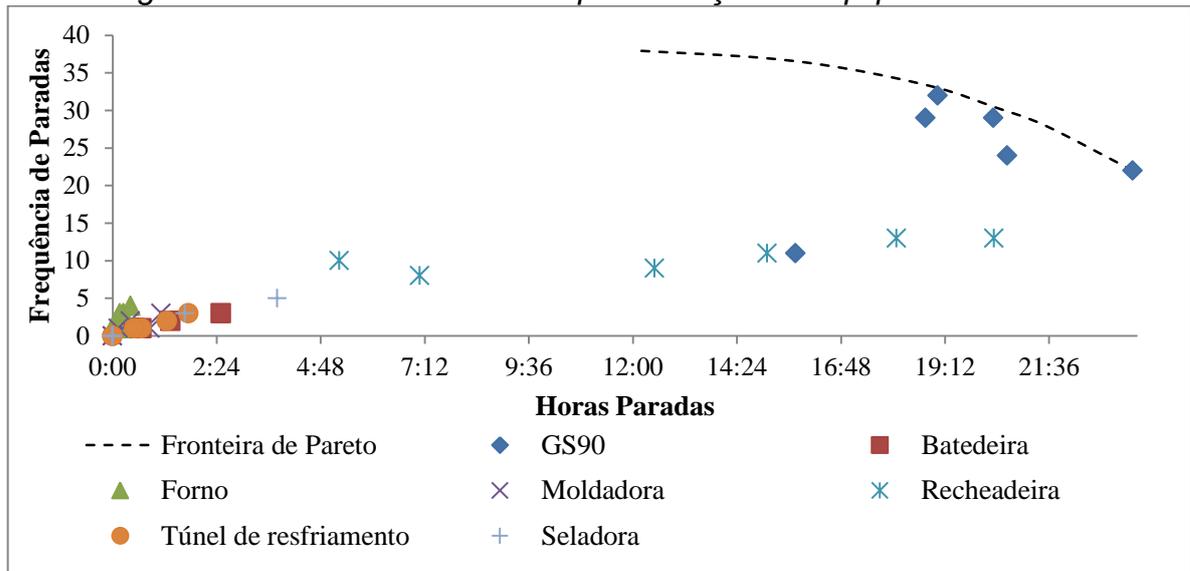
Mês	GS90		Batedeira		Forno		Moldadora		Recheadeira		Túnel de resfriamento		Seladora de caixa	
	PL	HP	PL	HP	PL	HP	PL	HP	PL	HP	PL	HP	PL	HP
Jan	24	20:38:00	1	00:40:00	1	00:05:00	2	00:25:00	9	12:30:00	1	00:40:00	0	00:00:00
Fev	11	15:45:00	2	01:20:00	3	00:15:00	0	00:00:00	13	18:05:00	2	01:15:00	0	00:00:00
Mar	22	23:32:00	1	00:30:00	1	00:10:00	1	00:08:00	11	15:06:00	0	00:00:00	0	00:00:00
Abr	29	20:19:00	1	00:25:00	2	00:05:00	1	00:52:00	8	07:05:00	1	00:30:00	0	00:00:00
Mai	32	19:02:00	3	02:30:00	3	00:10:00	3	01:07:00	10	05:14:00	3	01:45:00	5	03:48:00
Jun	29	18:45:00	1	00:30:00	4	00:25:00	0	00:00:00	13	20:20:00	0	00:00:00	3	01:40:00
Total	147	118:01:00	9	05:55:00	14	01:10:00	7	02:40:00	64	78:20:00	7	04:10:00	8	05:28:00

PL = frequência de paradas de linha; HP = horas paradas.

Pode-se perceber a discrepância das frequências e o total de horas das paradas de linha do equipamento GS90 em relação aos demais, aonde os indicadores chegam a ser até maior que 50% do total dos outros equipamentos.

De modo análogo ao utilizado na escolha da linha mais crítica, foi utilizado à lógica multiobjetivo da Fronteira de Pareto para demonstrar graficamente o equipamento com a situação mais crítica. O requisito desejado para essa seleção foi a maior frequência de paradas e a maior quantidade de horas paradas.

Figura 4.3 – Fronteira de Pareto para seleção do equipamento crítico



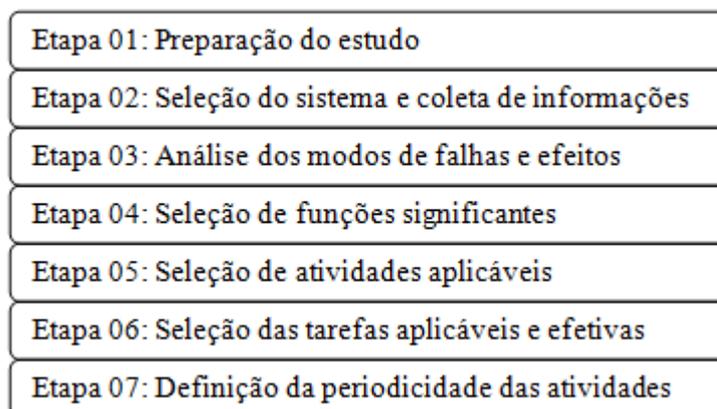
Fonte: Autor (2018)

Na Figura 4.3, podemos perceber a dominância dos vetores (19:02:00;29); (20:19:00;29) e (23:32:00;22) da GS90 perante os demais vetores, sendo estes o conjunto de pontos que delimitam a Fronteira de Pareto. Logo, a GS90 será a escolhida para a implantação da manutenção centrada na confiabilidade.

4.5 Modelo de aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade

Respeitando as limitações e as características da empresa, o estudo mostra a aplicação da MCC. Para isso, adotou-se uma estrutura de implantação híbrida, sendo a primeira etapa de preparação do estudo fundamentada na metodologia de Rousand et al. (1998), já as demais se basearam no estudo de Siqueira (2009). Na Figura 4.4 são apresentadas as etapas estabelecidas em sua ordem.

Figura 4.4 – Etapas híbridas da MCC



Fonte: O autor (2018)

4.5.1 Preparação do estudo

A primeira etapa consiste em conhecer o ambiente de aplicação, suas disponibilidades e limitações para a elaboração de um planejamento de implantação adequado às características da empresa. Segundo Rausand et al. (1998) é necessário que as necessidades, políticas e critérios aceitáveis (com relação à segurança e a proteção da empresa) sejam analisadas como condições limitantes. Dessa forma, serão elaboradas estratégias dentro das limitações da empresa.

Primeiramente, é necessário selecionar os profissionais que participarão e se responsabilizarão pela implantação do procedimento. Caberá a equipe às responsabilidades de análises, execuções e administração da filosofia, exigindo disciplina e interesse de todos na propagação da MCC. Por intermédio do organograma dos setores de manutenção e produção foi possível selecionar a comissão da Manutenção Centrada na Confiabilidade, que será constituída por: um facilitador (engenheiro de produção supervisor, que têm como função fornecer a toda equipe treinamentos e esclarecimento a respeito da filosofia); a coordenadora de Produção; o supervisor da masseria; o supervisor das embalagens; o supervisor de manutenção mecânica do setor de biscoitos; técnicos de manutenção mecânica e elétrica; operadores com experiência do setor; representantes da segurança; e os estagiários de engenharia de produção.

Rigoni (2009) afirma que um dos pressupostos para obter êxito na implantação da MCC está relacionado ao levantamento de dados e informações a respeito do

equipamento. A empresa forneceu o suporte e acesso suficiente a informações. Através do manual do equipamento, requisição de atendimento de manutenção, tempo de parada de linha/equipamento, percentuais de reprocesso e informações empíricas dos mantenedores a aplicação da metodologia obteve um robusto suporte. Mesmo com vários problemas devido à ausência da manutenção planejada no setor de biscoito, a empresa apresenta requisitos suficientes para obter sucesso na aplicação da metodologia, devido à competência da equipe de manutenção.

4.5.2 Seleção do sistema e coleta de informações

Pode-se ter uma justificativa ainda mais consolidada da criticidade da linha e do equipamento selecionados, a partir do argumento de que a indisponibilidade de produtos que são produzidos nesse setor, mais precisamente nessa linha, tem grande influência na imagem da organização. Além disso, a indisponibilidade está atrelada a conjuntura de custos, como custo da perda de clientes por atraso na entrega, custo da ociosidade, custo da queda na produção, entre outros, que impactam fortemente de maneira negativa o lucro organizacional.

Os biscoitos recheados são considerados os produtos de maior contribuição financeira pela alta taxa de demanda em relação aos demais, e com base nisso, torna-se crucial que a empresa disponha de um sistema de manutenção efetivo para garantir uma oferta que supra a demanda.

A seleção do sistema foi realizada por meio do levantamento quantitativo das paradas e tempo de paralização, visto a necessidade de aumentar a disponibilidade do equipamento dado que houve uma significativa frequência de falhas durante o período de captação de dados. A partir das análises, foi definido que a embaladora GS90 se apresentou como o equipamento com a maior necessidade da aplicação da MCC.

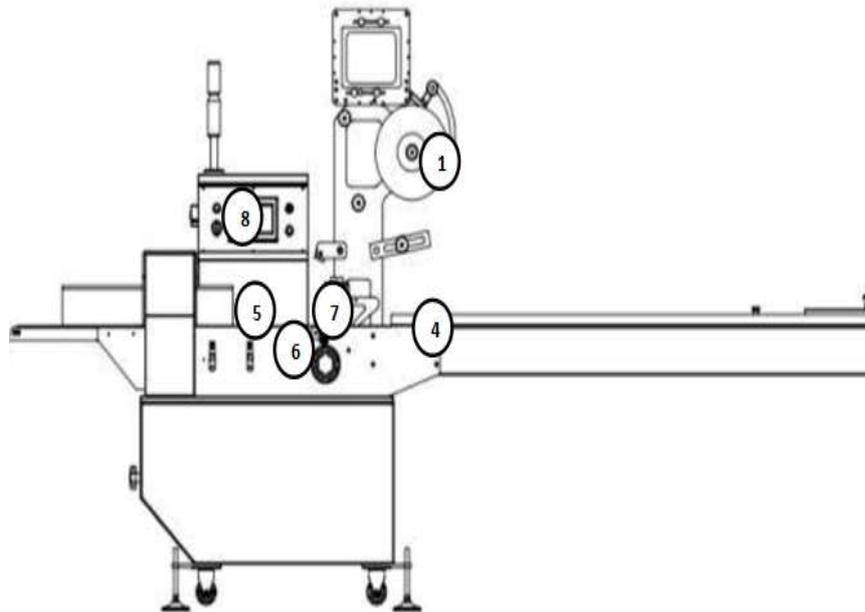
Neste contexto, foi identificada a conveniência de se realizar um estudo aprofundado do equipamento, analisando os modos de falhas e desenvolvendo atividades de manutenção com o objetivo de reduzir a descontinuidade do processo. A coleta das informações foi realizada através de planilhas disponibilizadas pelo setor de PCM, sendo essas alimentadas por dados diários (quantidade de reprocesso, para-

das da linha, horas paradas, produção e etc.) do setor de produção. Também, utilizaram-se informações retiradas do manual do sistema em estudo.

4.5.2.1 Descrição do equipamento

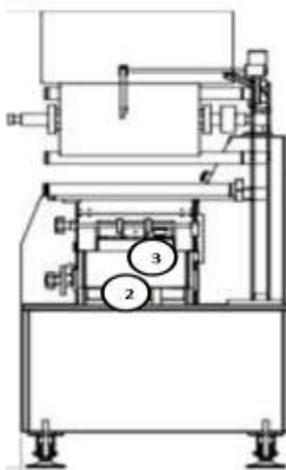
A embaladora GS90, disposta nas Figuras 4.5 e 4.6, é um equipamento totalmente automático que serve especialmente para embalar biscoito de diversos tipos. A máquina tem uma estrutura sólida e resistente, confeccionada em placas de aço e preparada para trabalhar em jornadas contínuas. Seu projeto permite um fácil acesso a todos os componentes, é capacitada com comandos e controles acionados através de controles lógicos programáveis (CLP), além de possuir micros interruptores que garantem a segurança do operador, visto que tais interruptores provocam parada da máquina em caso de abertura de portas ou proteções. Produz embalagens com comprimento máximo de 190 mm e tem uma capacidade de embalar 85 pacotes por minuto para biscoitos quadrados, retangulares e redondos. Para um melhor entendimento dos componentes e de sua localização no equipamento é apresentado no Quadro 4.1 uma legenda.

Figura 4.5 – Visão lateral do equipamento GS90



Fonte: Adaptado Bosch Pharma (2016)

Figura 4.6 – Visão frontal do equipamento GS90



Fonte: Adaptado Bosch Pharma (2016)

Quadro 4.1 – Legenda dos componentes da GS90

Fonte: O autor (2018)

Número	Componentes
1	Desbobinador
2	Pinça
3	Lâmina
4	Carregador
5	Cabeçote
6	Dobrador
7	Seladora
8	Datador

4.5.3 Análise de Modos de Falhas e Efeitos

A MCC é um método que tem a capacidade de analisar quando e se a manutenção é tecnicamente factível e efetiva (XENOS, 1998). A partir da utilização da

técnica de FMEA é possível a geração de um plano integrado de manutenção, dessa maneira a produtividade de uma empresa pode ser elevada e seu sistema de manutenção receber relativo aumento na eficiência (ZAIONS, 2003; XENOS, 1998).

Essa seção, através da aplicação da técnica FMEA, tem como objetivo identificar e documentar todas as funções do sistema, modos de falhas, efeitos opostos as reais funções do sistema, suas causas e avaliação da criticidade associada. Para isso, foram utilizadas informações, em um horizonte de seis meses, oriundas dos históricos de falhas, do manual do fabricante do equipamento e do conhecimento tácito dos mantenedores.

4.5.3.1 Componentes e suas respectivas funções

Após a descrição do equipamento, torna-se necessário detalhar a composição deste. No Quadro 4.2 estão dispostos todos os componentes do sistema selecionado e suas respectivas funções.

*Quadro 4.2 – Componentes e suas respectivas funções
Fonte: O autor (2018)*

Componentes	Função
Desbobinador	Extrair o material de filme da bobina por meio do cilindro alimentador e alavanca.
Pinça	Lançar a fileira de material de filme sobre a esteira que passará os biscoitos.
Lâmina	Cortar a folha de material de filme com comprimento especificado.
Carregador	Transportar a porção de biscoitos recebida do alimentador.
Cabeçote	Fazer pequeno corte no fitilho (marcação para abertura do pacote), para facilitar abertura do pacote.
Dobrador	Durante o transporte do pacote, a dobra superior frontal do pacote é efetuada.
Seladora	Selar as laterais longitudinais e frontais do pacote.
Datador	Datar validade e número de lotes.

4.5.3.2 Componentes, modos de falha e suas respectivas causas.

Uma vez identificados todos os componentes do sistema, a equipe de implantação do MCC reuniu-se e foi possível identificar as falhas e suas causas que estavam associadas a cada componente. No Quadro 4.3 é possível observar todos os componentes com seus devidos modos de falhas e suas respectivas causas.

*Quadro 4.3 – Componentes, modos de falha e causas
Fonte: O autor (2018)*

Componente	Modo de Falha	Causa da Falha
Desbobinador	Desalinhamento da bobina	Deslocamento do cilindro Eixo do cilindro folgado
	Falha no freio da bobina	Velocidade desregulada Falta de ajuste na sincronização de tempo Parafusos folgados
	Falha no motor de tração	Eixos mecânicos obstruídos
	Trava na bobina	Rolamento travado
Pinça	Pinça empenada	Falta de ajustes na angulação Falta de limpeza
	Molas de torção sem pressão	Desgaste das molas
Lâmina	Faca descalibrada	Desgaste na faca
	Faca sem pressão	Molas de pressão desgastada
Carregador	Falha na corrente de alimentação	Trava na corrente por falta de lubrificação Abertura da porta de segurança Falta de uma rotina de limpeza Falta de ajustes
	Falha no guia do carregador	Pinos folgados Velocidade não padronizada
Cabeçote	Falha na pressão da faca	Molas de pressão desgastada
	Falha na fotocélula	Desalinhamento do filme Fotocélula não ajustada Filme não conforme
Seladora	Falha na selagem	Queima de resistência Dispositivo que liga a resistência de aquecimento defeituoso
Dobrador	Falha no dobrador	Desalinhamento dos dobradores

Datador	Falha na datação	Falta de ajustes de padronização do posicionamento do datador Velocidade má configurada
	Falha elétrica	Cabo para alimentação do datador desgastado

4.5.3.3 Componentes, modos de falhas e seus respectivos efeitos

Visto que um componente pode apresentar mais de um modo de falha e diferentes causas podem estar associadas a esses modos, faz-se também necessário identificar quais os efeitos destas, representando assim às consequências associadas. No Quadro 4.4 são apresentados os efeitos associados a cada um dos modos de falhas.

Quadro 4.4 – Componentes, modos de falha e efeitos

Fonte: O autor (2018)

Componente	Modo de Falha	Efeito da Falha
Desbobinador	Desalinhamento da bobina	Grande quantidade de retrabalho Grande quantidade de refugos
	Falha no freio da bobina	Desperdício de embalagem Parada no equipamento
	Falha no Motor de tração	Parada no equipamento
	Trava na bobina	Parada no equipamento
Pinça	Pinça empenada	Geração de refugo
	Molas de torção sem pressão	Parada no equipamento
Lâmina	Faca descalibrada	Desalinhamento no corte Desperdício de filme Parada de equipamento
	Faca sem pressão	
Carregador	Falha na corrente de alimentação	Parada no equipamento
	Falha no guia do carregador	Desorganização no equipamento
Cabeçote	Falha na pressão da faca	Pacotes abertos Desperdício de embalagem
	Falha na fotocélula	Grande quantidade de refugos Desperdício de embalagem
Seladora	Falha na selagem	Pacotes abertos Selagem errada Parada no equipamento

Dobrador	Falha no dobrador	Pacotes abertos Grande quantidade de refugos Desperdício de embalagem
Datador	Falha na datação	Datação ilegível Impressão errônea no local da data Perda de embalagem
	Falha elétrica	Queima do aparelho de impressão Parada no equipamento

4.5.3.4 Efeito da falha versus severidade

Moubray (2000) argumenta que a combinação dos padrões de desempenhos, dos efeitos e contexto operacional indica que cada falha tem um grupo específico de consequências a elas associadas. Dado que as consequências sejam muito severas para a empresa, significativos esforços deverão ser dispendidos para evitar ou reduzir a falha. Ele, ainda comenta que falhas que provocam pequenas consequências não requerem que medidas proativas sejam tomadas.

A partir de uma avaliação realizada pelo grupo preestabelecido, foi calculado o número de prioridade de risco de cada modo de falha. Este número, que pode ser visto no Quadro 4.5, estabelece a probabilidade de falha ou confiabilidade do sistema e ele é caracterizado como o resultado da multiplicação entre as pontuações dadas para severidade, ocorrência e detecção de cada modo de falha.

*Quadro 4.5 – Componente, modos de falha e NPR
Fonte: O autor (2018)*

Componente	Modo de Falha	S	O	D	NPR
Desbobinador	Desalinhamento da bobina	9	5	1	45
	Falha no freio da bobina	9	7	5	315
	Falha no Motor de tração	10	4	4	160
	Trava na bobina	9	3	2	54
Pinça	Pinça empenada	7	4	1	28
	Molas de torção sem pressão	9	4	5	180
Lâmina	Faca descalibrada	9	8	1	72

	Faca sem pressão	9	6	1	54
Carregador	Falha na corrente de alimentação	10	3	4	120
	Falha no guia do carregador	3	4	1	12
Cabeçote	Falha na pressão da faca	9	6	1	54
	Falha na fotocélula	8	10	1	80
Seladora	Falha na selagem	8	5	2	80
Dobrador	Falha no dobrador	8	9	1	72
Datador	Falha na datação	10	8	1	80
	Falha elétrica	9	4	3	108

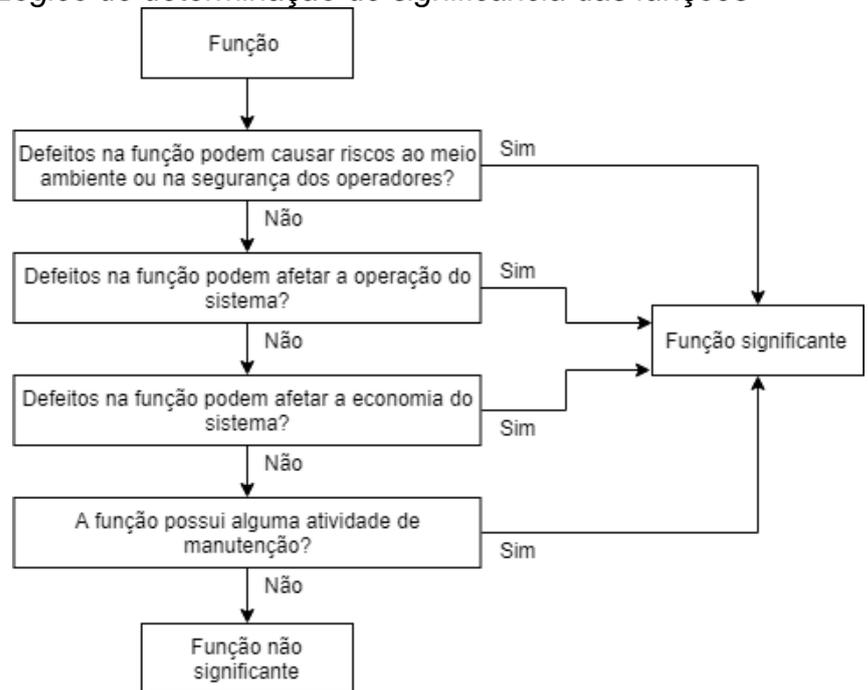
Paranhos et al. (2016) argumentam que cada empresa avalia, com base nos requisitos dos seus clientes, o valor mínimo para o risco. Para as análises em que o valor de risco for igual ou maior do que o mínimo definido, ações devem ser propostas na tentativa de diminuir o risco global e a probabilidade de que o modo de falha venha a ocorrer.

Na presente empresa, a equipe da MCC, estabeleceu como risco mínimo o valor de 80, através da observação de que NPR iguais ou maiores que este valor apresenta um risco que já pode ser considerado alto e, conseqüentemente, crítico. Portanto, os valores de NPR destacados no Quadro 4.5 são os considerados críticos.

4.5.4 Seleção de funções significantes

Nessa seção é utilizado um processo estruturado, baseado em Siqueira (2009), para analisar cada função identificada na etapa anterior, e determinar se uma falha tem efeito significativo, ao considerar o impacto nos pilares da MCC, sendo eles: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo.

Figura 4.7 – Diagrama Lógico de determinação de significância das funções



Fonte: Adaptado de Siqueira (2009)

O diagrama lógico, disposto acima na Figura 4.7, proposto por Siqueira (2009), realiza uma sequência de questionamentos a fim de determinar se a função é caracterizada como significativa ou não. Além disso, o devido autor sugere a seguinte forma de classificação das falhas significativas:

- 1.**ESA**: Segurança/Ambiental Evidente;
- 2.**OSA**: Segurança/Ambiental Oculta;
- 3.**EEO**: Operacional/Econômico Evidente;
- 4.**OEO**: Operacional/Econômico Oculta.

De acordo com Souza (2008), uma falha pode ser dita evidente quando a mesma é detectada pela equipe de operação durante um trabalho normal, já uma falha é dita oculta quando não há essa possibilidade. Além disso, uma falha funcional pode ter consequências relacionadas à segurança humana e ambiental e/ou relacionadas ao econômico e operacional. No Quadro 4.6 abaixo pode ser visualizado a classificação das devidas falhas funcionais consideradas críticas, onde as regiões

sombreadas dizem respeito à resposta positiva referente à visibilidade da falha e possíveis consequências derivadas desta.

*Quadro 4.6 – Classificação das falhas
Fonte: O autor (2018)*

Componente	Modo de Falha	Visível/ Evidente	Seguran- ça/ Ambiental	Econômi- co/ Operacio- nal	Catego- ria
Desbobina- dor	Falha no freio da bobina				OSA/OE O
	Falha no motor de tração				OEO
Pinça	Molas de torção sem pressão				OEO
Carregador	Falha na corrente de alimentação				OEO
Cabeçote	Falha na fotocélula				ESA/EEO
Seladora	Falha na selagem				ESA/EEO
Datador	Falha na datação				ESA/EEO
	Falha elétrica				OSA/OE O

4.5.5; Seleção de atividades aplicáveis

A fim de estabelecer as atividades aplicáveis foi utilizado um diagrama lógico proposto por Moubray (1997), Apêndice 1, que inclui uma série de questionamentos, que foram respondidos em conjunto pela equipe da MCC. O diagrama segue uma sequência lógica de perguntas com respostas objetivas, o que torna possível estabelecer a definição das atividades aplicáveis a cada modo de falha. Dentre os oito modo de falhas crítico foi sugerido à atividade de restauração preventiva para três deles, substituição preventiva para outros três e inspeção preditiva para os demais. No Quadro 4.7 estão expostos os modos de falhas e suas respectivas atividades de manutenção.

Quadro 4.7 – Componentes, modos de falha e atividade de manutenção
Fonte: O autor (2018)

Componente	Modo de Falha	Atividade de manutenção
Desbobinador	Falha no freio da bobina	Restauração preventiva
	Falha no Motor de tração	Restauração preventiva
Pinça	Molas de torção sem pressão	Substituição preventiva
Carregador	Falha na corrente de alimentação	Restauração preventiva
Cabeçote	Falha na fotocélula	Inspeção preditiva
Seladora	Falha na selagem	Substituição preventiva
Datador	Falha na datação	Inspeção preditiva
	Falha elétrica	Substituição preventiva

4.5.6 Seleção das tarefas aplicáveis e efetivas

Nessa etapa deve ser dada relativa atenção às atividades que refletem os pilares da MCC de forma que aumentem a produtividade no que diz respeito à economia e operação, além de atender questões relacionadas à segurança e ao meio ambiente. No Quadro 4.8 são apresentadas as ações que foram estabelecidas para cada modo de falha considerado crítico.

Quadro 4.8 – Ações estabelecidas para cada modo de falha
Fonte: O autor (2018)

Componente	Modo de Falha	Ação destinada aos operadores	Ação destinada ao pessoal de manutenção
Desbobinador	Falha no freio da bobina	Verificar sincronizações toda vez que realizarem setup.	Verificar integridade (se necessário substituir) e reapertar parafusos
	Falha no Motor de tração	-	Realizar limpeza e lubrificação dos eixos
Pinça	Molas de torção sem pressão	-	Realizar substituição
Carregador	Falha na corrente de alimentação	Verificar as proteções, portas e painéis para garantir que estão fechadas	Checar e revisar tensões da correia Realizar lubrificação e limpeza

			da corrente
Cabeçote	Falha na fotocélula	Verificar conformidade do filme antes de colocar no equipamento	Verificar alinhamento e realizar ajustes de sensibilidade
Seladora	Falha na selagem	-	Verificar dispositivo de aquecimento e tensão da resistência (ou substituir)
Datador	Falha na datação	Verificar especificações do datador nos pacotes ao embalar	Verificar configuração do datador
	Falha elétrica	-	Verificar desgaste do cabo, se necessário substituir

As ações destinadas aos operadores foram estabelecidas devido ao fato da percepção acerca da aplicabilidade da manutenção preventiva em alguns modos de falhas, além de serem tarefas relativamente simples na qual os operadores podem executá-las e com isso o modo de falha ser possivelmente evitado. Já as ações destinadas aos mantenedores são baseadas nas atividades estabelecidas pelo diagrama lógico de Moubray (1997), sendo elas: restauração preventiva, substituição preventiva e inspeção preditiva.

4.5.7 Definição da periodicidade das atividades

Ao destinar as ações ao pessoal de manutenção é importante definir a frequência de tais atividades, visto que com o estabelecimento de uma periodicidade adequada faz com que o plano de manutenção torne-se mais efetivo. No Quadro 4.9 são apresentadas as frequências referentes a cada ação que foi destinada aos mantenedores em relação a cada modo de falha.

Para as atividades de verificação do alinhamento e realização de ajustes de sensibilidade, além das atividades de verificação da configuração do datador foi sugerida uma frequência diária de atuação devido às modificações necessárias que são realizadas, diariamente, na linha de produção ao se realizar os setup's.

No caso da atividade de realização de limpeza dos eixos foi estabelecido que seja realizada uma frequência semanal de atuação, devido a sua necessidade e

tempo decorrido. Já para as atividades de verificação da integridade e reajustes dos parafusos, fechamento de portas e painéis, checagem e revisões de tensão das correias, realização de lubrificação e limpeza da corrente, verificação do dispositivo de aquecimento e tensão da resistência foi definido uma frequência quinzenal de atuação. Por fim, para a tarefa de realização de substituição foi definida uma frequência trimestral e para a tarefa de verificação do desgaste do cabo, uma frequência mensal.

*Quadro 4.9 – Componentes, modos de falha, ações e frequências
Fonte: O autor (2018)*

Componente	Modo de Falha	Ação destinada ao pessoal de manutenção	Frequência
Desbobinador	Falha no freio da bobina	Verificar integridade (se necessário substituir) e reajustar parafusos	Quinzenal
	Falha no Motor de tração	Realizar limpeza dos eixos	Semanal
Pinça	Molas de torção sem pressão	Realizar substituição	Trimestral
Carregador	Falha na corrente de alimentação	Fechar portas e painéis com trava Checar e revisar tensões da correia Realizar lubrificação e limpeza da corrente	Quinzenal
Cabeçote	Falha na fotocélula	Verificar alinhamento e realizar ajustes de sensibilidade	Diariamente
Seladora	Falha na selagem	Verificar dispositivo de aquecimento e tensão da resistência, se necessário substituir	Quinzenal
Datador	Falha na datação	Verificar configuração do datador	Diariamente
	Falha elétrica	Verificar desgaste do cabo, se necessário substituir	Mensal

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto visou à implantação da manutenção centrada em confiabilidade em uma empresa do setor alimentício e após o plano estabelecido na empresa foram obtidos alguns resultados.

Na Tabela 5.1 são apresentados os dados de percentual de reprocesso e quantitativo de requerimento de atendimento ao pessoal de manutenção dos dois meses após a aplicação da MCC. Mesmo com um período curto de análise, foi possível observar resultados extremamente satisfatórios no setor quando comparados com os meses de fevereiro, março e abril, vistos na seção 4.4.

*Tabela 5.1 – Dados após a aplicação da MCC
Fonte: O autor (2018)*

Período	Linha 3	
Mês	Reprocesso	Nº de RA's
Agosto	7,63%	56
Setembro	8,49%	78

A linha de produção em estudo havia uma meta máxima de 8% de reprocesso e, após a aplicação da metodologia, no primeiro mês foi atingida uma taxa de 7,63% e no segundo uma taxa de 8,49%. Pode-se perceber o ganho significativo que foi obtido, atingindo diretamente na redução de custos associados. De acordo com o supervisor da manutenção, no setor de produção de biscoitos as atividades de manutenções preventivas destinadas aos colaboradores foram de grande relevância, pois, durante os turnos de trabalho, ajudaram a evitar e minimizar problemas oriundos de alguns modos de falhas devido à falta de atividades de rotinas.

6 CONCLUSÃO

Para a aplicação da MCC, foi selecionado o setor da produção de biscoito devido à alta contribuição para a geração de lucro da empresa, por trabalhar intermitentemente e apresentar uma gestão de manutenção ineficiente. Dentro desse setor foi escolhida a Linha 3, da qual apresentou o dobro do reprocesso e RA's das metas estabelecidas na empresa. E nessa linha, a máquina priorizada para implantação da MCC foi a GS90, dado a quantidade de horas em que ela apresentou indisponibilidade e a quantidade das paradas de linha que foram aproximadamente 50% maior que os outros equipamentos.

Por meio do FMEA foi possível identificar oito modos de falhas considerados críticos, as causas e seus efeitos, e seguindo as etapas da metodologia proposta foi possível elaborar um plano de manutenção.

Para trabalhos futuros é sugerida uma medição maior após implantação a fim de minimizar os possíveis erros; realizar uma análise profunda sobre os índices de manutenção, como o tempo médio entre as falhas e o tempo médio para reparo, de modo a auxiliar e aperfeiçoar a periodicidade da execução das atividades propostas; e expandir a metodologia nas outras linhas do setor de biscoitos e nos demais setores da empresa.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. **Aumento da confiabilidade em correias transportadoras por manutenção preventiva e corretiva**. Monografia de Pós graduação em Eng. Mineral, Ouro Preto, 2010
- ARNO, R.; DOWLING, N.; FAIRFAX, S.; SCHUERGE, R. J. WEBER, J. **What is RCM and how could it be applied to the Critical Loads?** IEEE Transactions on Industry App tons, v. 51, n. 3, p. 2045–2053, 2015.
- ARRETERO J. et al. **Applying RCM in largescale systems: a case study with railway networks**. Reliability Engineering and System Safety, vol 82, 2003
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.
- BARENDS, D. M. et al. **Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA**. Journalofpharmaceuticalandbiomedicalanalysis, v. 64-65, p. 82–6, maio 2012.
- BOSCH PHARMA. **Bosch Track & Trace and Serialization Solutions offers FREE product demonstrations in New Jersey**, 2016. Disponível em: <<http://boschpharma-blog.com/2016/07/19/cps-2/>>. Acesso em 06/12/2018.
- CAMPOS, C. C. **A Indústria de Alimentos no Brasil e na América do Sul**. FGV Projetos, Nº27, 2016.
- CARMO, P. F. B. **Modelos e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multi-critério- Aplicação em Avaliações de Imóveis**. XIXCongresso Brasileiro de Avaliações e Perícias. Paraná, 2017.
- CARRETERO J. et al. **Applying RCM in largescale systems: a case study with railway networks**. Reliability Engineering and System Safety, vol 82, 2003.
- FARIA, J. G. A. **Administração da Manutenção: Sistema P.I.S.** São Paulo. Editor Edgard Blucher, 1994.
- FEILI, H. R. et al. **Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique**.Energy Conversionand Management, v. 72, p. 69–76, 2013.
- FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G. **Proposta de um Método para Integração entre QFD e FMEA**. Gestão&Produção, v. 13, n. 2, p. 245 – 259, 2006.
- FERNÁNDEZ, J; MÁRQUEZ, A. **Maintenance Management in Network Utilities: Framework and Practical Implementation**. London: Springer, 2012.

FLEMING, P. V. & FRANÇA, S. R. R. **Considerações Sobre a Implementação Conjunta de TPM e MCC na Indústria de Processos**. TT044, In: Anais CD Rom do XII Congresso Brasileiro de Manutenção. São Paulo – São Paulo, 1997.

FOGLIATTO, F; RIBEIRO, J. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 2ª Ed. Porto Alegre: Campus, 2009.

HORN, J.; NAFPLIOTIS, N.; GOLDBERG, D.E. **A Niche Pareto Genetic Algorithm For Multiobjective Optimization**. In: Conference on Evolutionary Computation (ICEC'94), Piscataway, NJ: IEEE Service Center; p. 82-7, 1994.

IGBA, J; ALEMZADEHA K.; ANYANWU-EBOB I., GIBBONSA P., FRIISB
J. Conference on Systems Engineering Research (CSER'13) Eds: C.J.J. Paredis, C. Bishop, D. Bodner, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, March 19-22, 2013.

JOHNSTON, D, C. Measuring RCM implementation. In: **Annual Reliability and Maintainability Symposium**. 2002

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.

LAFRAIA, J, R, B. A Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro. Qualitmark, Petrobras, 2001.

LIU, H.-C. et al. **Improving risk evaluation in FMEA with a hybrid multiple criteria decision making method**. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 32, n. 7, p. 763–782, 2015.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na Engenharia de Produção: estruturação e recomendações para sua condução. Production, vol. 17, núm.1, 2007, pp.216-229. Associação Brasileira de Engenharia de Produção, São Paulo.

MIRSHAWKA, V. OLMEDO, N.L. **Manutenção – combate aos custos da não eficácia – a vez do Brasil**. São Paulo: Makron Books do Brasil Ed. 1993

MORAES, G. Sistema de gestão de riscos – Princípios e Diretrizes. 1ª Ed. Rio de Janeiro, 2010.

MOUBRAY, J. **Reliability centered maintenance**. 2 ed. Nova York: Editora Industrial Press, 2001.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**, 2ed. Lutterworth, Inglaterra: Aladon Ltd, 2000.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION **Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment**. Disponível em <<http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx> > Acesso em 13 novembro de 2018.

NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND. **Reliability Centered Maintenance handbook: Report AD-A199 053**, Disponível em: <<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a199053.pdf>>. Acesso em 25 de março de 2018.

NOWLAN, F. S.; HEAP, H. F. **Reliability Centered Maintenance**. National Technical Information Service, USA, Report n.AD/A066-579, 1978.

PEDROSA, B.M.N; Análise dos Modos de Falha e seus efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial. Lisboa, 2014.

RIGONI, Emerson. **Metodologia para implantação da manutenção centrada na confiabilidade: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Fuzzy**. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SAINZ J.; SEBASTIÁN M. **Methodology for the Maintenance Centered on the Reliability on facilities of low accessibility**. Department of Manufacturing Engineering, National Distance University of Spain (UNED), Madrid, Spain. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813014926>> Acesso em: 12 agosto. 2018.

SEBRAE, 2013. **ANUÁRIO DO TRABALHO NA MICRO E PEQUENA EMPRESA**. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf> Acesso em: 12 agosto. 2018.

SILVA, A,V; RIBEIRO, J, L,D. **Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade para desenvolvimento de um plano de manutenção em uma distribuidora de combustíveis**. XXIX ENEGEP, Salvador, 2009.

SIQUEIRA, I. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SMITH, A.M.; HINCHCLIFFE, G.R. **Four features used to define RCM**. Maintenance Connection in PlantEngineering, 2006.

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

STEVENSON, J. Planejamento de Manutenção. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

TAVARES, Lourival Augusto. CALIXTO, Marcos. POYDO, Paulo R. **Manutenção Centrada no Negócio**, 1 ed. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 2005.

TAY, K. M.; LIM, C. P. **Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures**. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 23, n. 8, p. 1047–1066, 2006.

TOZZI, A. R. Desenvolvimento de um programa de verificação de im processo de lançamento de cabos com o auxílio da FMEA. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

VIZZONI, E. Manutenção centrada em confiabilidade – **Avaliação de sua aplicabilidade e adaptação a subestações de energia elétrica**. Dissertação apresentada ao Departamento de Eng. Elétrica da PUC-Rio de Janeiro, 1998.

WIKOF, D. **Reliability-Centered-Maintenance**. Maintenance Engineering Handbook. United States of America. Editora McGraw-Hill Companies, 2008.

WYREBSK, J. Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado. 1997. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

XAVIER, J. 13 – **Indicadores de Manutenção**. 2010. 14 f. Disponível em: <<http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/15%20-%20Cap%EDtulo%2013.pdf>>. Acesso em: 12 agosto 2018.

YIN, R. K. Estudo de Caso – Planejamento e Método. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

ZAIONS, R. D. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel**. 2003. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção) Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

APÊNDICE A – DIAGRAMA LÓGICO DE MOUBRAY (1997)

