



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



GABRIELE RIBEIRO GUEDES

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA EM UMA FÁBRICA DE
PÃES CONGELADOS EM BELO HORIZONTE-MG**

OURO PRETO - MG
2019

GABRIELE RIBEIRO GUEDES
gabriele.guedes@hotmail.com

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA EM UMA FÁBRICA DE
PÃES CONGELADOS EM BELO HORIZONTE-MG**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro
Preto como requisito para a obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador:DSc. Washington Luís Vieira da Silva

OURO PRETO – MG
2019

G924a Guedes, Gabriele Ribeiro.
Análise da aplicação da ferramenta FMEA em uma fábrica de pães congelados em Belo Horizonte-MG [manuscrito] / Gabriele Ribeiro Guedes. - 2019.

64f.: il.: color; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira da Silva.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Ferramenta - FMEA. 2. Manutenção. 3. Confiabilidade. 4. Panificadora. 5. Pães congelados - Fabricação. I. Silva, Washington Luís Vieira da . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 621

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA

Aos 05 dias do mês de Julho de 2019, às 13h 30min, na sala 01, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia da aluna Gabriele Ribeiro Guedes, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva, Prof^ª DSc. Luís Antônio Bortolaia e Prof^ª. DSc Elisângela Martins Leal. A candidata apresentou o trabalho intitulado: “**Análise da Aplicação da Ferramenta FMEA em uma fábrica de pães congelados em Belo Horizonte-MG**”, sob orientação do Prof. DSc Washington Luís Vieira da Silva. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o(a) aluno(a)

APROVADA

Ouro Preto, 05 de Julho de 2019.

Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva
Professor Orientador

Prof. DSc. Elisângela Martins Leal
Professor Avaliador

Prof^ª. DSc. Luís Antônio Bortolaia
Professor Avaliador

Gabriele Ribeiro Guedes

Aluna

AGRADECIMENTO

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

A Deus por tantas bênçãos e força para atingir essa conquista e a Nossa Senhora das Graças pela proteção.

A minha mãe por todo apoio, paciência e carinho. Ao meu pai por todos os ensinamentos e incentivos. Vocês são os principais responsáveis pela pessoa que me tornei.

A minha irmã por ser companheira nos momentos de dificuldades.

A minha família por sempre me apoiarem, em especial Silvana Ribeiro e Nilvion Ribeiro.

Aos meus amigos que contribuíram de alguma forma para essa conquista.

Ao professor Washington Luis, pela amizade e pela orientação. Aos professores da Escola de Minas por toda ajuda e ensinamentos, em especial aos professores LuisBortolaia, Elisângela Leal e Sávio Sade, que marcaram fortemente a minha formação.

A Fundação Gorceix pelas oportunidades oferecidas para o meu desenvolvimento profissional.

A todos vocês muito obrigado.

*“Enquanto houver vontade de lutar haverá
esperança de vencer.”*

Santo Agostinho

RESUMO

Guedes, Gabriele Ribeiro: **Análise da aplicação da ferramenta FMEA em uma fábrica de pães congelados em Belo Horizonte MG**, 2019. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

O setor de panificação tem grande importância para o país, dado que além de movimentar a economia, atende a necessidades das comunidades, desde grandes metrópoles a pequenos vilarejos. Além disso, as empresas desse setor são grandes geradoras de empregos, o que as coloca em lugar de destaque no mercado. Outra propriedade importante da panificação é que, por estar inserida no setor alimentício e fazer parte da cesta básica da população, mesmo em circunstâncias econômicas desfavoráveis tendem a continuar operando. O ambiente altamente competitivo do mercado atual preza por flexibilidade, rapidez e inovação. Sendo assim, empresas que apostam em ferramentas de acompanhamento dos processos produtivos, suporte as tomadas de decisões e inserção progressiva de melhorias atestam o progresso das organizações frente aos seus concorrentes. Uma forma de apoiar essas organizações é reconhecer os principais problemas enfrentados e recomendar estratégias para solucioná-los. Sendo, há uma grande importância em estudar a aplicação de ferramentas que possam identificar futuras falhas decorrentes do processo de fabricação, para depois poder evitá-las ou realizar um planejamento da manutenção. Neste contexto este estudo resume as principais conclusões obtidas pela aplicação do método FMEA de hierarquização de falhas em uma fábrica de pães congelados em Belo Horizonte MG. Esta pesquisa utilizou uma abordagem de estudo de caso. No decorrer do trabalho foi apresentado como aplicar a ferramenta de confiabilidade FMEA para o sistema de fabricação de pães congelados e essa análise permitiu o melhor conhecimento do processo de fabricação e da aplicação da fermenta. A análise de falhas viabilizou os possíveis modos de falhas, suas causas e consequências. Os resultados mostraram que os possíveis problemas que estão relacionados ao descuido do operador, com isso a ação recomendada para a empresa seria melhor treinamento dos operadores. Finalmente, a aplicação realizada nesse trabalho da ferramenta FMEA pode conduzir a uma detecção de e eliminação de possíveis falhas, diminuindo as perdas econômicas e aumentando a satisfação dos clientes.

Palavras-chave: *FMEA, manutenção, confiabilidade, panificadora, fabricação de pães congelados.*

ABSTRACT

The bakery sector has great importance for the country, since besides moving the economy, it meets the needs of the communities, from big metropolis to small villages. In addition, the companies in this sector are great generators of jobs, which puts them in a prominent place in the market. Another important property of baking is that, because it is inserted in the food sector and is part of the population's basic food basket, even in unfavorable economic circumstances, it tends to continue to operate. The highly competitive environment of today's market values flexibility, speed and innovation. Therefore, companies that rely on tools to monitor production processes, support decision-making and gradually insert improvements attest to the progress of organizations vis-à-vis their competitors. One way to support these organizations is to recognize the key issues facing them and recommend strategies to address them. Being, it is of great importance to study the application of tools that can identify future failures due to the manufacturing process, to then be able to avoid them or carry out maintenance planning. In this context, this study summarizes the main conclusions obtained by applying FMEA method of fault hierarchy in a frozen bread factory in Belo Horizonte MG. This research used a case study approach. In the course of the work, it was presented how to apply the FMEA reliability tool to the frozen breadmaking system, and this analysis allowed a better knowledge of the manufacturing process and the application of the fermentation. Fault analysis enabled the possible failure modes, their causes and consequences. The results showed that the possible problems that are related to the carelessness of the operator, with that the recommended action for the company would be better training of the operators. Finally, the application made in this work of the FMEA tool can lead to a detection and elimination of possible failures, reducing economic losses and increasing customer satisfaction.

Keywords: *FMEA, Maintenance, Reliability, bakery, frozen bread manufacturing.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de etapas do programa MCC.....	24
Figura 2: Formulário FMEA sugerido pela norma ISO 9004.	32
Figura 3: Materiais e Métodos.....	35
Figura 4: Foto da linha de produção do pão congelado.....	39
Figura 5: Fluxograma do processo de fabricação.....	40
Figura 6: Fluxograma do processo das máquinas na fabricação de pães congelados.	41
Figura 7: Foto das três batedeiras.	42
Figura 8: Foto do processo de compactação da massa no cilindro.....	43
Figura 9: Mesa de corte.	43
Figura 10: Modeladora.	44
Figura 11: Bandejas com os pães.	44
Figura 12: Exterior da câmara de congelamento.	45
Figura 13: Interior da câmara de congelamento.	45
Figura 14: Câmara de estocagem.....	46
Figura 15: Interior da câmara de estocagem.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis e Indicadores.	36
Tabela 2: aplicação da ferramenta FMEA no processo.	48
Tabela 3: Escala para avaliação dos efeitos dos modos de falha.	50
Tabela 4: Escala para avaliação da ocorrência de causa de falha nos processos.	51
Tabela 5: Escala para avaliação da detecção em processos.	51
Tabela 6: Valores referentes à severidade, ocorrência, detecção e risco do processo.	54
Tabela 7: Ações recomendadas para reduzir a severidade do efeito, a probabilidade de ocorrência ou não detecção dos modos potenciais de falha nos processos das máquinas.	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Formulação do Problema.....	12
1.2	Justificativa.....	13
1.3	Objetivos.....	13
1.3.1	Geral	13
1.3.2	Específicos.....	13
1.4	Estrutura do Trabalho	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Manutenção	15
2.2	Engenharia da manutenção.....	16
2.3	Gestão da manutenção	17
2.4	Qualidade na manutenção.....	18
2.5	Custos na manutenção	18
2.6	Manutenção Produtiva Total (MPT).....	19
2.7	Confiabilidade	20
2.8	Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).....	21
2.9	FMEA.....	25
2.9.1	Origem da FMEA	25
2.9.2	Conceito.....	26
2.9.3	FMEA de processo	27
2.9.4	Etapas de aplicação do FMEA.....	28
2.10	A manutenção no setor alimentício	32
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	Classificação da Pesquisa	34
3.2	Materiais e Métodos	34
3.3	Variáveis e Indicadores	36
3.4	Coleta de Dados.....	37
3.5	Tabulação de Dados.....	37
4	RESULTADOS	38
4.1	Delimitação do Trabalho	38
4.2	Características da Empresa no Processo de Fabricação de Pães	38

4.3	Descrição do Processo	41
4.4	Aplicação da Ferramenta FMEA no Processo de Fabricação de Pães Congelados...	47
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	56
5.1	Conclusões.....	56
5.2	Recomendações para trabalhos futuros	58
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	ANEXO - ROTEIRO DE ENTREVISTA.....	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

O setor de panificação tem grande importância para o país, visto que além de movimentar a economia atende a necessidade das comunidades, desde grandes metrópoles até pequenos vilarejos. O estudo da manutenção aplicado ao setor de panificação deseja garantir maior disponibilidade das máquinas, qualidade dos produtos e redução dos custos gerados pela falta da manutenção adequada, em um setor de tanta representatividade.

A manutenção tem grande importância na em sistemas produtivos. Ela é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (NBR 5462-1994).

A gestão da manutenção busca manter as condições originais dos equipamentos, além de introduzir melhorias e evitar novas falhas para que o equipamento possa exercer suas atividades o melhor possível. Equipamentos com falhas podem operar de forma mais lenta ou produzir produtos defeituosos. Além disso, esses equipamentos podem parar o funcionamento causando perdas na produção. A gestão da manutenção além de possibilitar a correção dessas falhas, podem melhorar os equipamentos e processos, melhorar a qualidade dos produtos produzidos, reduzir custos, aumentar a vida útil dos equipamentos e a redução de ocorrência de falhas.

Ainda segundo Fogliatto (2009), a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas. Devido a sua abordagem racional e sistemática, os programas de MCC têm sido reconhecidos como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção. Eles permitem que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições.

Para a realização de uma análise mais aprofundada de causas, efeitos e consequências das falhas podem ser utilizadas ferramentas de estudo, uma dessas ferramentas é a FMEA, que em português foi traduzida como Análise de Modos e Efeitos de Falha. O FMEA tem por objetivo identificar, delimitar e descrever os modos de falha gerados pelo processo e seus efeitos e causas, para através de ações de prevenção poder diminuí-los ou eliminá-los. A

utilização dessa ferramenta pode diminuir as chances do produto ou processo de falhar durante sua operação, ou seja, aumentar a confiabilidade, que é a probabilidade de falha do produto/processo.

As práticas da gestão da manutenção são conhecidas e adotadas em vários setores de fabricação de bens e serviços, porém ainda não é muito difundida na área da panificação, sobretudo em fábricas de pães de menor porte. Posto isso, o problema que conduz esse estudo é a introdução de práticas da manutenção centrada na confiabilidade em uma fábrica de pães congelados de pequeno porte e obter respostas para a seguinte questão:

Qual a contribuição da ferramenta FMEA para o processo de fabricação de pães congelados de uma panificadora?

1.2 Justificativa

A manutenção vem se tornando um pilar estratégico com o aumento da competitividade entre as empresas. Objetivando uma coordenação mais eficiente de seus ativos e custos, variadas ferramentas podem ser empregadas para impulsionar seus resultados. A aplicação de diferentes técnicas de manutenção em um mesmo ambiente organizacional pode ser considerada uma prática cada vez mais comum, onde a função manutenção é considerada estratégica para a redução de custos e aumento da competitividade das organizações.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar a contribuição da ferramenta FMEA para um sistema produtivo de pães congelados localizado em Belo Horizonte – MG.

1.3.2 Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre manutenção, MCC e FMEA.
- Identificar e classificar os equipamentos no sistema produtivo.

- Aplicar o método FMEA.
- Demonstrar a priorização e os riscos por meio do método FMEA de confiabilidade.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é dividido em cinco capítulos de modo que o capítulo 1 é uma introdução apresentando a formulação do problema, a justificativa, e os objetivos para este trabalho. O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica, com os conceitos de manutenção, engenharia da manutenção, gestão da manutenção, qualidade na manutenção, custos na manutenção, manutenção produtiva total, confiabilidade, manutenção centrada na confiabilidade (MCC) e FMEA. No capítulo 3 é apresentada a metodologia adotada no estudo, os processos produtivos da fabricação de pães congelados e aplicação da FMEA. No capítulo 4 apresentam-se os resultados e o capítulo 5 as conclusões e recomendações de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

Segundo Xenos (1998) a manutenção é agir de forma a garantir que os equipamentos executem as funções estabelecidas em seus projetos, com uma eficiência exigida e por determinado tempo de vida útil. Isto significa que as atividades de manutenção têm a finalidade de prevenir a degradação dos equipamentos, causada pelo próprio desgaste natural e pelo uso.

Para Xenos (1998), o conceito de manutenção pode ser aplicado na responsabilidade de implantar melhorias nos equipamentos para evitar a ocorrência da falha, reduzir custos e aumentar a confiabilidade e produtividade dos equipamentos.

Para Tavares (2005a), a manutenção tem vários objetivos que são: reduzir custos, evitar paradas inesperadas da produção, reduzir falhas, aumentar a segurança das atividades, prolongar a vida útil dos equipamentos e reduzir tempos de paradas dos equipamentos.

De acordo Xenos (1998), a manutenção pode ser dividida em três macro categorias:

- Manutenção Corretiva
- Manutenção Preventiva
- Manutenção Preditiva

Kardec e Nascif (2010) apresenta uma definição mais abrangente de manutenção corretiva. Segundo os autores, é uma manutenção atuada para corrigir a falha ou o mau desempenho, restaurando as condições de funcionamento do equipamento. Com isso, nem sempre a manutenção corretiva é uma manutenção de emergência.

A manutenção preventiva é aquela realizada em intervalos de tempo predeterminados, ou com critérios definidos, destinada a reduzir falhas e minimizar a degradação do funcionamento de algum item (NBR 5462, 1994).

A manutenção preventiva procura evitar a ocorrência de falhas. Ela será tanto mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição; quanto mais altos forem os custos de falhas; quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança pessoal e operacional (KARDEC; NASCIF, 2010).

A norma NBR5462 (1994) define a manutenção preditiva como a que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão, para reduzir outras manutenções como a preventiva e a corretiva.

De acordo com Xenos (1998), a manutenção preditiva é uma maneira de inspecionar equipamentos e suas tarefas e faz parte do planejamento da manutenção preventiva.

O objetivo da manutenção preditiva é aquilo de permitir a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível por meio da previsão das condições do sistema com base na medida de alguns parâmetros fundamentais (KARDEC; NASCIF, 2010).

2.2 Engenharia da manutenção

É a interpretação de uma quebra de paradigma da manutenção (a primeira quebra de paradigma ocorre quando muda-se de preventiva para preditiva. A segunda quebra de paradigma ocorre quando se começa a adotar a Engenharia de Manutenção). Significa uma mudança cultural, deixar de consertar continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver manutenibilidade, dar *feedback* ao projeto, perseguir *benchmarks* na manutenção (KARDEC; NASCIF, 2010).

A engenharia de manutenção desempenha um papel vital na eficiência dos processos industriais, no desenvolvimento e no progresso das indústrias transformadoras e de processamento. Pois os engenheiros de manutenção trabalham com outros profissionais, a fim de melhorar as instalações de produção, reduzir a incidência de avarias dispendiosas e desenvolver estratégias para melhorar a confiabilidade geral e segurança das instalações, pessoal e processos de produção. Além de ser uma prática de manutenção, a engenharia de manutenção torna-se uma cultura, caracterizada na utilização de dados para análise, estudos e buscas de melhorias nos padrões de operações e manutenções de equipamentos, por meio de técnicas modernas (RIBEIRO, 2004).

Caberá ao gerente ou gestor da manutenção, desenvolver nas equipes a filosofia e preocupação pelo zelo de conservação da indústria, no atendimento de máquinas e equipamentos, devendo antecipar-se aos problemas através de planejamento e contínuo serviço de observação desses bens, que devem ser mantidos em plena vida útil. O

gerenciamento dos planos de manutenção e a execução rigorosa desses planos irá permitir a fabricação permanente e confiável dos produtos. Importante saber que “não existe gerenciamento sem meta. Gerenciar é estabelecer metas e ter um plano de ação para atingi-las. Quem não tem metas é tudo, menos gerente” (FALCONI, 1994).

2.3 Gestão da manutenção

Em face das grandes mudanças ocorridas nos setores tecnológicos e de produção nos últimos anos, com complexidade cada vez maior dos equipamentos e, ao mesmo tempo, grande exigência de produtividade e qualidade, a função manutenção tem assumido grandes responsabilidades no sentido de garantir confiabilidade e disponibilidade, fatores refletidos diretamente no desempenho operacional da organização (NUNES; VALLADARES, 2008).

De acordo com Nunes e Valladares(2008), a função manutenção deve garantir atendimento a três clientes, sendo eles:

- 1) Os proprietários dos ativos físicos, ou seja, os empresários, que esperam que estes gerassem o retorno financeiro do investimento;
- 2) Os usuários dos ativos, que esperam que eles mantenham um padrão esperado de desempenho; A sociedade, que demanda por padrões de qualidade dos produtos, ao mesmo tempo, em que espera que os ativos não falhem, garantindo segurança e um cenário de riscos reduzidos para o meio ambiente;
- 3) A sociedade, que demanda por padrões de qualidade dos produtos, ao mesmo tempo, em que espera que os ativos não falhem, garantindo segurança e um cenário de riscos reduzidos para o meio ambiente.

Conforme afirma Pinto e Xavier (2001), as empresas atuais não têm mais dúvidas de que a Gestão pela Qualidade Total (GQT) é uma ferramenta eficaz para se alcançar competitividade empresarial. Além disto, a Manutenção tem um papel preponderante dentro do sistema de qualidade, decorrente de sua missão que é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um programa de produção ou de serviço com preservação do meio ambiente, confiabilidade, segurança e custos adequados.

2.4 Qualidade na manutenção

A qualidade é um sistema de gerenciamento baseado na participação de todos os empregados de uma Empresa, no estudo e na condução do Controle de Qualidade. Um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo, às necessidades do cliente, ou seja, a qualidade total abrange a qualidade do produto ou serviço, custo acessível ao cliente, entrega no prazo, hora e local certo, moral ou entusiasmo dos empregados e segurança dos empregados e usuários, conforme aborda Werkema (1995).

Segundo Xenos (1998), qualidade é a forma pelo qual os produtos e serviços são julgados pelos seus usuários. A qualidade está intimamente relacionada ao atendimento às necessidades dos clientes (sejam eles internos ou externos), ou mais ainda, as suas expectativas, buscando ultrapassá-las.

2.5 Custos na manutenção

Estimativas precisas dos custos de manutenção e reposições são muito importantes para a efetiva implementação do sistema de gestão da manutenção. Deve-se identificar e incluir os elementos de custos, tanto nos planejamentos estratégicos corporativos como no banco de dados do sistema de gestão de manutenção, pois os custos de manutenção influenciam diretamente no lucro, e o lucro é a razão de ser das empresas e por isso as atenções estão voltadas para os custos (PINTO; XAVIER, 2001).

Para ser definido e traçado um bom plano gestor de custos de manutenção, é preciso estabelecer um nível ótimo de intervenção, que seja estudado e avaliado para cada tipo de instalação ou equipamento, que prioritariamente não ocorram manutenções em excessos, que as intervenções sejam realizadas em intervalos muito pequenos de tempo, evite-se nos equipamentos a substituição de componentes desnecessariamente, ou seja, sem um planejamento ou estudo. Os custos de manutenção, para serem apurados, são necessários possuir uma sistemática muito bem conhecida por todos na empresa, e principalmente ser divulgada para todos os que trabalham na manutenção e ainda, para aqueles para os quais a manutenção presta os seus serviços (BRANCO, 2010).

2.6 Manutenção Produtiva Total (MPT)

A MPT surgiu no Japão, onde é considerada como a evolução natural da manutenção corretiva (reativa) para a manutenção preventiva (proativa). A MPT expandiu os conceitos tradicionais da manutenção, incorporando esforços para evitar defeitos de qualidade provocados pelo desgaste e mau funcionamento dos equipamentos. A MPT entende que as pessoas que utilizam o equipamento são aquelas que possuem os maiores conhecimentos referentes a ele. Assim, essas pessoas estão em posição ideal para contribuir nos reparos e modificações, visando melhorias de qualidade e produtividade (FOGLIATTO, 2009).

A metodologia de manutenção MPT é um sistema que foi desenvolvido inicialmente no Japão com o intuito de se reduzir paradas, eliminar as perdas, garantindo uma maior qualidade e buscar reduzir custos no processo produtivo. O MPT é um conjunto de atividades de gerenciamento voltadas para os equipamentos, e visando atingir sua utilização máxima. Para tanto, promovem a integração de todos os funcionários (TAKAHASHI, 1993).

Para a implementação da metodologia MPT, deve-se basear e construir um programa baseado nos cinco pilares que o fundamentam: eficiência, auto reparo, planejamento, treinamento e ciclo de vida. Esses cinco pilares da MPT são as bases sobre as quais se constrói um programa de TPM, para envolver toda a empresa e a mesma estar preparada para alcançar suas metas, tais como falha zero, defeito zero, aumento da disponibilidade de equipamento e disponibilidade de linhas. Assim o MPT não é apenas uma mera combinação de manutenção preventiva, manutenção corretiva e ações de prevenção da manutenção, mas sim uma promoção da manutenção através da “manutenção autônoma” pelos pequenos grupos de atividades, onde é buscada a máxima eficiência dos equipamentos e eliminando todas as perdas (NAKAJIMA, 1989).

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) a MPT apoia-se em alguns elementos gerais. Entre esses elementos, vale destacar: (i) mudança cultural, visando otimizar o rendimento geral dos equipamentos; (ii) estabelecimento de um sistema para prevenir as perdas associadas aos equipamento e local de trabalho (zero acidente, zero defeito de qualidade, zero quebra); (iii) implementação envolvendo todos os departamentos – manutenção, produção, engenharia, desenvolvimento de produtos, vendas, recursos humanos etc.; (iv) envolvimento de todos os colaboradores em atividades de melhoria contínua (kaizen), desde a alta direção até os operadores mais simples; e (v) educação e treinamento, visando aprimorar a consciência e competência dos colaboradores.

Esses elementos gerais, por sua vez, suportam a busca de perda zero, envolvendo ações mais específicas da manutenção, entre as quais se destacam: (i) atividades de manutenção autônoma conduzidas pela produção; (ii) planejamento das atividades de manutenção, apoiado em procedimentos padronizados próprios para cada equipamento, baseados em tempo de uso ou degradação observada; e (iii) prevenção de quebras já na fase de projeto dos equipamentos, desenvolvendo soluções que facilitem ou eliminem necessidade de manutenção.

2.7 Confiabilidade

Para Leemis (1995), a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas.

Conforme Fogliato e Ribeiro (2009), a confiabilidade é definida como uma probabilidade. Isso significa que todas as confiabilidades devem apresentar valores entre 0 e 1 e que os axiomas clássicos da probabilidade podem ser aplicados em cálculos de confiabilidade. Por exemplo, se dois componentes independentes apresentam confiabilidade, após 100 horas de uso, de p_1 e p_2 e a falha do sistema ocorre quando qualquer dos dois componentes falha, então a confiabilidade do sistema em uma missão de 100 horas é dada por $p_1 \times p_2$.

Confiabilidade, segundo a NASA (2000) é a probabilidade de que um item irá sobreviver a um determinado período de funcionamento, nos termos especificados de condições de funcionamento, sem falhas. A probabilidade condicional de falha mede a probabilidade de que um determinado item ao entrar numa determinada idade ou intervalo irá falhar durante esse período. Se a probabilidade condicional de falha aumenta com a idade, o item mostra características de desgaste. A probabilidade condicional de falha reflete o efeito negativo global da idade sobre a confiabilidade.

À manutenção interessa a probabilidade de que o item sobreviva a um dado intervalo (de tempo, ciclo, distância, etc.). Esta probabilidade de sobrevivência é denominada de confiabilidade (SIQUEIRA, 2005).

2.8 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

Siqueira (2005) afirma que a origem da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) está relacionada aos processos tecnológicos e sociais que se desenvolveram após a Segunda Guerra Mundial. No campo tecnológico, foram decisivas as pesquisas iniciadas pela indústria bélica americana, seguidas pela automação industrial em escala mundial, viabilizadas pela evolução da informática e telecomunicações, presentes em todos os aspectos da sociedade atual.

De acordo com a NASA (2000), a MCC é um processo alternativo de manutenção que é utilizado para definir a abordagem mais efetiva para a manutenção visando aumentar a operacionalidade dos equipamentos, melhorar a segurança e reduzir os custos de manutenção. Têm como base identificar as ações a serem tomadas para reduzir a probabilidade de falha dos equipamentos e identificar os custos mais efetivos. A MCC procura estabelecer uma combinação ótima das ações de manutenção a serem desenvolvidas com base na condição, no tempo ou ciclo de operação e na operação até a falha dos equipamentos. A MCC é um processo contínuo que reúne dados do desempenho operacional do sistema e utiliza estes dados para melhorar o projeto e a manutenção futura. Esta estratégia, ao invés de ser aplicada independentemente, ela é integrada para tirar vantagem de sua força de modo a otimizar a instalação, a operacionalidade e a eficiência dos equipamentos, ao mesmo tempo, minimizar o custo do ciclo de vida dos equipamentos.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a MCC pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas. Devido a sua abordagem racional e sistemática, os programas de MCC têm sido reconhecidos como a forma mais eficiente de trataras questões de manutenção. Eles permitem que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições.

Conforme Rausande Oien(1998), a MCC é uma técnica que foi criada para atingir o melhor custo-benefício na aplicação da manutenção preventiva. Para isso, é preciso identificar as consequências potenciais de cada falha e a probabilidade de que cada falha ocorra, tendo em vista que as tarefas de manutenção devem garantir uma redução de perdas associadas a lesões pessoais, danos ambientais, perdas na produção e danos nos materiais.

Fogliatto e Ribeiro (2009) ressaltam que a MCC, por possuir uma abordagem racional e sistemática, tem ganhado lugar e reconhecimento nos aspectos associados à manutenção, permitindo que as empresas alcancem excelentes resultados, tais como, o aumento da disponibilidade dos equipamentos e redução dos custos relacionados a defeitos, aumentando o tempo médio entre falhas (MTBF) e diminuindo o tempo médio necessário até a conclusão dos reparos (MTTR).

Rausande Oien(1998) indica 12 passos para aplicação da MCC:

- 1) Preparação do estudo: selecionar o grupo de pessoas que irá gerenciar a implantação da MCC, preferencialmente da área de manutenção, definir os objetivos e o escopo da análise;
- 2) Seleção e definição do sistema: eleger um sistema de análise que beneficie a implementação da MCC; é recomendado dividir os sistemas em subsistemas e selecionar aquele que realiza pelo menos uma função significativa quando considerado como um item isolado, permitindo a análise dos seus modos de falha;
- 3) Análise das funções e falhas funcionais: esse passo possui três objetivos principais: (i) identificar e descrever as funções esperadas do sistema; (ii) descrever as interfaces de entrada e saída do sistema; e (iii) identificar as formas como o sistema pode falhar;
- 4) Seleção dos itens críticos: esse passo é dedicado a identificar os itens de análise que são potencialmente críticos quanto às falhas funcionais identificadas no passo anterior;
- 5) Coleta e análise de dados: é essencial para a implementação da MCC e para a tomada de decisão nas próximas etapas; nesta etapa, os dados podem ser divididos em três categorias: (i) informações de projeto; (ii) informações operacionais; e (iii) informações de confiabilidade;
- 6) Análise de modos e efeitos de falha: o objetivo deste passo é de identificar os modos de falha dominantes dos itens de análise selecionados no passo 4, às causas das falhas, seus efeitos, consequências e criticidade;

- 7) Seleção das tarefas de manutenção: definir quando a aplicação de tarefas preventivas de manutenção são realmente necessárias, aplicáveis e eficazes; essa lógica de decisão orienta o analista quanto à seleção das tarefas;
- 8) Definição dos intervalos de manutenção: estabelecer a periodicidade das tarefas de manutenção com base no tempo, na taxa de falha e nas consequências de cada falha;
- 9) Comparação das práticas antigas e das propostas pela MCC: o intuito dessa etapa é que todos conheçam as diferenças entre as duas propostas e que os gerentes sintam-se motivados a trocar o programa de manutenção atual pelo de manutenção preventiva com base nas práticas da MCC;
- 10) Tratamento dos itens não críticos: sugere analisar os custos de manutenção associados aos itens não críticos para decidir se vale o esforço de analisá-los mais detalhadamente;
- 11) Implantação: para garantir a correta implantação da MCC é importante que as funções de suporte estejam disponíveis e que os riscos associados ao desempenho das tarefas de manutenção sejam considerados;
- 12) Recolhimento e atualização dos dados em serviço: a MCC estabelece que todos os dados associados às tarefas de manutenção devem ser revisados periodicamente, gerando um processo de realimentação constante da análise.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a eficácia da MCC está baseada em alguns pilares próprios desse programa. Entre esses pilares, podem ser destacados: (i) amplo envolvimento de engenheiros, operadores e técnicos de manutenção, caracterizando um ambiente de engenharia simultânea; (ii) ênfase no estudo das consequências das falhas, que direcionam todas as tarefas de manutenção; (iii) abrangência das análises, que consideram questões associadas à segurança, meio ambiente, operação e custos; (iv) ênfase nas atividades proativas, envolvendo tarefas preditivas e preventivas; (v) combate às falhas escondidas, que reduzem a confiabilidade do sistema.

Moubray (1997) *apud* Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 218) relata que existem sete questões básicas a serem contempladas pelos programas MCC. Essas questões são:

1. Quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos fabris?
2. De que modo os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções?
3. O que causa a falha funcional?
4. O que acontece quando cada falha ocorre?
5. De que forma cada falha interessa?
6. O que pode ser feito para prevenir ou impedir a falha?
7. O que deveria ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade pró-ativa pertinente?

Através de todo o estudo realizado ao responder as cinco primeiras questões, Raposo (2004) relata que as duas últimas questões guiam a uma avaliação sobre a estratégia de manutenção que deve ser adotada para cada modo de falha. O diagrama apresentado na Figura 1 evidencia as etapas de aplicação do programa MCC.

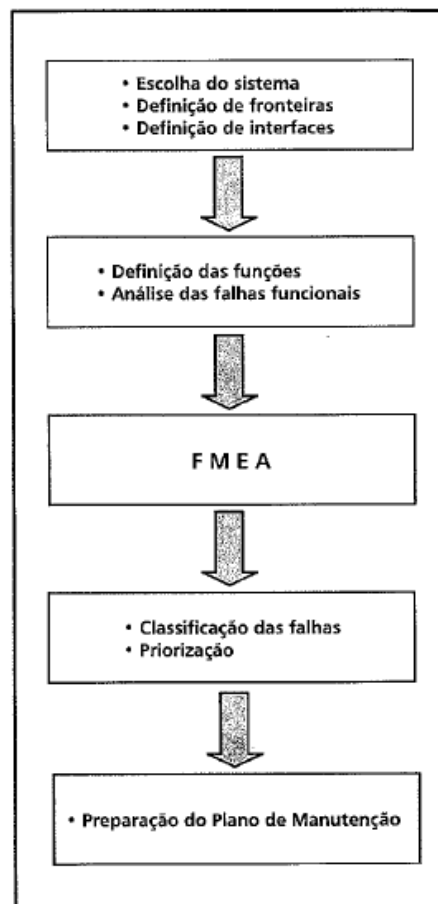


Figura 1: Diagrama de etapas do programa MCC.
Fonte: Kardec e Nascif (2009)

Observa-se através do diagrama apresentado na Figura 1 que as etapas do programa MCC contemplam desde a definição do sistema e o estudo de suas funções até a preparação de um plano de manutenção adequado aos modos de falhas que ele apresenta.

Após reunir uma equipe multidisciplinar, os documentos de suporte e planejar as etapas do processo, a análise das falhas será realizada através do preenchimento do FMEA, que é um formulário padronizado que dispõe e organiza todas as informações disponíveis (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

2.9 FMEA

2.9.1 Origem da FMEA

A Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (AMFE) é a tradução adotada pela Associação Brasileira de Norma Técnicas na norma NBR 5462 (1994), para a sigla originária do inglês FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), é importante entender que os engenheiros sempre analisaram os seus produtos e processos usando um raciocínio similar àquele da FMEA. Contudo, essas formas de raciocínio consolidaram-se como técnica a partir da década de 1960, quando ocorreram as primeiras aplicações na indústria aeroespacial.

Desenvolvido na década de 1960 pela agência norte-americana NASA (National Aeronautics and Space Administration) durante a missão Apollo, esse método tem por objetivo identificar falhas potenciais em sistemas, projetos, processos ou serviços, bem como seus efeitos e causas e a partir disso, definir ações para reduzir ou eliminar o risco associado a essas falhas (PUENTE et al., 2002).

Ainda segundo Gilchrist (1993) após 1977, passou a ser utilizada de forma mais abrangente na indústria automobilística, uma vez que a Ford Motors Company incorporou a FMEA em seu conceito de garantia da qualidade na fabricação de automóveis.

2.9.2 Conceito

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha) é uma técnica de confiabilidade utilizada para avaliar e conhecer as falhas potenciais de um produto ou processo, identificar ações que auxiliem a reduzir ou eliminar a chance de ocorrência de falhas, além de proporcionar documentos em forma de banco de dados para o monitoramento das falhas e o desenvolvimento de estudos futuros. Segundo os autores, devido às constantes inovações que caracterizam o mundo atual, a FMEA tem natureza cíclica e deve acompanhar as atividades de melhoria contínua de produtos e processos e é dividida em FMEA de produto e de processo.

A Análise de Modos de Falha e Efeitos é uma análise aprofundada que permite identificar e explorar os modos de falha individuais de equipamentos ou componentes de um sistema, ou seja, as maneiras pelas quais esses elementos podem falhar, além de propiciar um estudo das causas e os efeitos que poderão originar-se devido a tais falhas (MATOS, 2009).

Siqueira (2005) afirma que, na manutenção, a MCC utiliza a FMEA com o propósito de avaliar, documentar, e priorizar o impacto potencial de cada falha funcional, visando definir formas de prevenção ou correção. Um estudo de FMEA envolve a identificação sistemática dos seguintes aspectos, para cada função de uma instalação:

- Função – objetivo, com o nível desejado de desempenho;
- Falha funcional – perda da função ou desvio funcional;
- Modo de falha – o que pode falhar;
- Causa da falha – porque ocorre a falha;
- Efeito da falha – impacto resultante na função principal;
- Criticidade – severidade do efeito.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009) essas técnicas revelam os pontos fracos do sistema e, assim, fornecem subsídios para as atividades de melhoria contínua. FMEA tem a vantagem de sistematizarem o diagnóstico de produtos e processos. Essas técnicas auxiliam a detectar e eliminar possíveis ocorrências de falha e fornecem uma hierarquia de prioridades para as ações.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009) o desenvolvimento da FMEA de processos requer a definição do escopo, reunião da equipe de trabalho e verificação da documentação do processo, para então iniciar os passos da sua aplicação:

1. Elaboração do fluxograma do processo;
2. Identificação dos modos de falha;
3. Identificação dos efeitos dos modos de falha;
4. Determinação da severidade;
5. Identificação das causas das falhas;
6. Determinação da ocorrência;
7. Identificação dos controles de prevenção e detecção;
8. Determinação da detecção;
9. Cálculo do risco;
10. Recomendação de ações para reduzir os riscos.

2.9.3 FMEA de processo

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009) falha no processo é definida como toda a ocorrência que pode comprometer a qualidade do produto. O estudo de FMEA é um resumo dos pensamentos da equipe responsável pelo desenvolvimento do processo, e inclui a análise dos itens que podem dar errado, baseado na experiência acumulada pela equipe. A FMEA de processo é uma técnica analítica utilizada pela equipe de desenvolvimento do processo como um meio para assegurar que os modos potenciais de falha no processo e seus respectivos efeitos e causas serão considerados e suficientemente discutidos. Em estudos de FMEA de processo, todas as etapas, os procedimentos e as operações do processo são detalhadamente analisados em busca dos modos potenciais de falha.

Entre as vantagens do uso da FMEA de processo reportadas na literatura, encontram-se:

- Auxilia na identificação dos parâmetros do processo a serem controlados para reduzir ou detectar a condição de falha no processo.
- Ajuda a priorizar os modos potenciais de falha, estabelecendo uma ordem para as ações de melhoria no processo.
- Auxilia na avaliação objetiva de alternativas para a manufatura ou montagem.
- Documenta os resultados do estudo, facilitando análises futuras do processo de manufatura ou montagem.
- Aumenta o conhecimento de todos os engenheiros em relação aos aspectos importantes do processo, associados com a qualidade/confiabilidade do produto.
- Estabelece um referencial que auxilia na análise e melhoria de processos similares.

2.9.4 Etapas de aplicação do FMEA

Uma vez reunida a equipe, os documentos de suporte e o fluxograma das etapas do processo, a análise de FMEA de processo, fisicamente caracterizada pelo preenchimento da tabela de FMEA, pode iniciar. A tabela de FMEA é usada para facilitar documentar o estudo.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009) são as etapas do processo:

(1) Cabeçalho

O cabeçalho é particular de cada empresa, mas possui a função de identificar o número da FMEA, a identificação do processo, identificação dos itens associados ao processo, o modelo ao qual ele corresponde, o departamento responsável pelo estudo, entre outros dados. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(2) Item/função

As primeiras colunas compreendem a especificação do item e sua função. A descrição correta das funções do item auxilia nas etapas subsequentes de identificação de falha, uma vez que as falhas estão associadas ao não cumprimento das funções especificadas. Recomenda-se que as colunas referentes ao item ou função sejam completamente preenchidas antes de dar sequência ao estudo. Isso permite que a equipe de FMEA visualize todo o projeto em análise, facilitando seu entendimento e identificação das interfaces. Nesse sentido, a lista dos itens não deve ter uma sequência aleatória, mas sim a sequência estabelecida no diagrama de blocos,

em que os itens que estão conectados são apresentados um após o outro. Isso irá facilitar as discussões técnicas.(FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(3) Modos Potenciais de Falha

O modo potencial de falha é definido como a maneira com que um item pode falhar em atender aos requisitos do projeto. Devem ser listados todos os modos potenciais de falha pertinentes a cada item ou função. Qualquer modo de falha cuja probabilidade de ocorrência não for praticamente nula deve ser listado. A relação deve conter inclusive aqueles modos de falha que só ocorrem em certas situações. A lista de modos potenciais de falha é construída com base na experiência da equipe. Como ponto de partida,pode-se usar aquilo que deu errado no passado, em aplicações similares. Adicionalmente, dados da assistência técnica e reclamação de clientes costumam ser fontes importantes de informação. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(4) Efeitos Potenciais de Falhas

Os efeitos potenciais de falha são definidos como aqueles defeitos, resultantes dos modos de falha, conforme seriam percebidos pelo cliente. Em geral, a cada modo de falha corresponde um efeito. Contudo, pode haver exceções, em que um modo de falha provoca mais de um efeito. O efeito deve ser descrito em função daquilo que o cliente pode observar ou experimentar, lembrando que o cliente pode ser interno ou externo. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(5) Severidade (S)

Neste item é feita uma avaliação qualitativa da severidade do efeito listado na coluna anterior. A severidade é medida por uma escala de 1 a 10, onde 1 significa efeito pouco severo e 10 significa efeito muito severo. A severidade aplica-se exclusivamente ao efeito. A equipe de FMEA deve chegar a um consenso a respeito do critério a ser utilizado e, então, usá-lo consistentemente. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(6) Causas/Mecanismos potenciais de falhas

Esta é uma das etapas mais importantes do estudo, na qual se busca identificar a raiz do problema. Vale observar que a FMEA apoia-se no conhecimento da equipe, portanto, a qualidade da análise é proporcional ao conhecimento acumulado pela equipe. Dois aspectos contribuem para a FMEA gerar resultados consistentes: (i) o trabalho em equipe, que permite somar conhecimentos, e (ii) o trabalho sistemático, que contribui para garantir que todos os

elementos serão considerados. A causa potencial de falha pode ser entendida como uma deficiência no projeto, cuja consequência é o modo de falha. Na medida do possível, devem ser listadas todas as causas/mecanismos de falha cuja probabilidade de ocorrência não seja praticamente nula. É importante listar as causas/mecanismos de forma concisa e completa, de modo a facilitar os esforços de correção ou melhoria do projeto. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(7) Ocorrência (O)

A ocorrência relaciona-se com a probabilidade que uma causa ou mecanismo listado anteriormente venha a ocorrer. Em geral, para reduzir a probabilidade de ocorrência da causa ou mecanismo, é necessário que se façam alterações no projeto. A avaliação da ocorrência também é feita usando-se uma escala qualitativa de 1 a 10. O critério usado na definição da escala deve ser consistente, para assegurar continuidade nos estudos. A escala relaciona-se com a taxa de falha, mas não é diretamente proporcional a esta última. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A equipe deve avaliar qualitativamente a ocorrência. Para fazer essa avaliação, as seguintes questões são pertinentes:

- ⇒ Qual a experiência de campo com componentes ou subsistemas similares?
- ⇒ Quão pronunciadas são as alterações neste componente/subsistema comparado com a versão anterior?
- ⇒ Trata-se de um componente radicalmente diferente ou completamente novo?
- ⇒ Mudou a aplicação para o componente?
- ⇒ Mudaram as condições de uso?

Sempre que a resposta for positiva a alguma dessas questões, significa que há maiores incertezas envolvidas e, portanto, a equipe deve atribuir maiores valores para a possibilidade de ocorrência da causa do modo de falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(8) Controles de prevenção e detecção

Nesta etapa, a equipe deve listar as atividades de validação, verificação ou prevenção que estão planejadas. Devem ser consideradas as atividades que podem assegurar a robustez do projeto ao modo de falha ou a causa de falha em análise. É recomendado utilizar duas colunas para o registro dos controles atuais. Uma delas é para indicar eventuais controles de prevenção, que correspondem àqueles que podem efetivamente reduzir a ocorrência da causa ou modo de falha. A segunda coluna deve ser usada para indicar controles de detecção, que

não afetam a probabilidade de ocorrência, mas detectam o problema antes de o item ser liberado para produção. Vale observar que os controles de prevenção influenciam a ocorrência. Logo, os valores indicados para ocorrência deveriam ser confirmados após o preenchimento da coluna correspondente aos controles de prevenção (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(9) Detecção (D)

A detecção refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente ou subsistema ser liberado para produção. Também é usada uma escala qualitativa de 1 a 10, onde 1 representa uma situação favorável (modo de falha será detectado) e 10 representa uma situação desfavorável (modo de falha, caso existente, não será detectado) (PVP). Como sempre, o critério de avaliação deve ser definido por consenso e, então, utilizado com consistência. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(10) Riscos (R)

O risco (R) é calculado para priorizar as ações de correção e melhoria do projeto. No cálculo do risco leva-se em conta a severidade, ocorrência e detecção. A fórmula em geral empregada para a avaliação do risco é a multiplicação simples desses três itens, conforme segue:

$$R = S \times O \times D$$

Como pode ser visto, o risco cresce à medida que cresce a severidade, a probabilidade de ocorrência e a probabilidade de não detecção. O valor do risco pode variar entre 1 e 1.000, e a equipe deve deslocar sua atenção e concentrar seus esforços naqueles itens em que o risco é maior. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

(11) Ações recomendadas

As ações recomendadas devem se dirigir aos itens com maior risco. As ações recomendadas devem ser de tal natureza que reduzam a severidade do efeito, a probabilidade de ocorrência ou a probabilidade de não detecção. Alterações no projeto podem reduzir a severidade do efeito ou a probabilidade de ocorrência do modo de falha, enquanto ações dirigidas às etapas de verificação/ validação do projeto, em geral, podem reduzir somente a probabilidade de não detecção da causa ou modo de falha.

Se nenhuma ação é recomendada para uma causa específica, assinala-se na coluna de ações recomendadas “NENHUMA”. Isso evidencia que o problema foi analisado, mas, como

o risco resultou em um valor baixo, a equipe entendeu que não é necessária nenhuma alteração no projeto. Objetivamente, as ações recomendadas representam o que será corrigido e melhorado no projeto. Assim, elas constituem o principal resultado da FMEA. Elas são descritas sucintamente na planilha da FMEA, mas, sempre que necessário, devem ser detalhadas em documentos suplementares e devem receber acompanhamento para assegurar que sejam efetivas no esforço de melhoria do produto. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A figura 2 apresenta um modelo de formulário de aplicação de FMEA.

FORMULÁRIO DE FMEA - ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHAS														
() Processo () Produto		Data de confecção da FMEA:				Versão:			Número:					
Objeto de estudo:				Coordenador:				Setor:						
Equipe de estudo:														
Equipamento	Função	Modo Potencial de falha	Efeito Potencial de Falha	S	Cl	Causa Potencial de Falha	O	Controles Atuais	D	N P R	Ação Recomendada	Responsável e data	Ação efetuada	S O D N P R

Figura 2: Formulário FMEA sugerido pela norma ISO 9004.

Fonte: IQA, 1997 *apud* Ohta (2013, p.33)

2.10 A manutenção no setor alimentício

Leone (1998) explica que são as especificidades dessas empresas e, principalmente, o fato de serem grandes geradoras de empregos, que as colocam em lugar de destaque no mercado. Cada vez mais seus problemas devem ser conhecidos e solucionados para garantir o desenvolvimento e competitividade desse tipo de empreendimentos. Uma forma de auxiliar essas organizações seria identificar os principais problemas enfrentados por elas e propor métodos para solucioná-los.

Uma característica importante das pequenas e médias empresas é o fato de serem mais enxutas e com recursos mais limitados do que as grandes empresas. Soma-se a isso, o fato de que os responsáveis por gerenciar esse tipo de organização, mesmo sabendo que necessitam atender o maior número de clientes com criatividade e qualidade, acabam desempenhando muitas tarefas, obrigações e responsabilidades que culminam na falta de tempo desses responsáveis (SILVA, 2012).

A Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP) registrou que no ano de 2015 essas empresas tiveram um crescimento de 2,7% no país e um faturamento de R\$84,7 bilhões. Esses números representaram o menor patamar registrado nos

últimos anos, o que pode ter sido gerado, segundo ABIP (2016), pela redução no fluxo de cliente do ano de 2015. Mesmo assim, o setor apresentou um aumento no seu tíquete médio de vendas, tornando-o um dos setores que mais se desenvolveu no Brasil, evidenciando o seu potencial de crescimento.

O setor de panificação no Brasil gera em torno de 700 mil empregos diretos e 1,5 milhão de empregos indiretos. O número médio de postos de trabalho gerados por cada panificadora é de 12 a 19 funcionários/empresa e o faturamento mensal individual fica entre os R\$ 34.000,00 e R\$ 108.000,00 (FUNDIPAN, 2009). Segundo o Sistema Nacional de Emprego de Minas Gerais, o salário mensal de padeiros no Brasil em 2018 é em média R\$1.990,95e o de auxiliares de padeiros no preparo de massas, pães, salgados e doces é em média, R\$ 1.043,10 mensais, para o porte de pequenas empresas e nível profissional pleno.

Outra característica importante da panificação é que por estar inserida no setor alimentício e fazer parte da cesta básica da população, mesmo em situações econômicas desfavoráveis, tendem a continuar operando, com a diferença de que o enfoque dado à qualidade e preço deve ser ainda maior (POSSAMAI, 2002).

Vale destacar que, segundo Paschoal (2009), o ambiente altamente competitivo da atualidade preza por flexibilidade, rapidez e inovação, estes que são os alicerces de sustentação da vantagem competitiva. A consideração e aplicação desses alicerces acabam se tornando vital para as empresas que pretendem permanecer no negócio. Além disso, ferramentas de acompanhamento dos processos produtivos, apoio à tomada de decisão e introdução constante de melhorias que garantam o progresso das organizações frente aos seus concorrentes.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da Pesquisa

O trabalho objetiva a análise sobre a contribuição da ferramenta FMEA para um sistema produtivo de pães congelados localizado em Belo Horizonte - MG e a posterior implantação de práticas da MCC a serem incorporadas.

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, onde a investigação é a fonte direta de dados e é aplicada no ambiente natural de trabalho (BOGDAN; BIKLEN, 1994). O pesquisador coletou e examinou os dados vinculados à manutenção de equipamentos de uma fábrica de pães congelados em seu contexto natural.

A abordagem é descritiva, por identificar as práticas de manutenção utilizadas pela fábrica de pães congelados em Belo Horizonte e exploratória, pois objetiva a maior familiaridade com as dificuldades na implementação da ferramenta FMEA em fábricas de pães congelados (GIL, 2002). Para isso, foi aplicado um questionário em forma de entrevista para avaliar e compreender a situação atual da manutenção na empresa.

3.2 Materiais e Métodos

A pesquisa foi dividida em cinco passos que foram utilizados para auxiliar no sequenciamento lógico do estudo. As etapas da pesquisa são estão dispostas na figura 3.

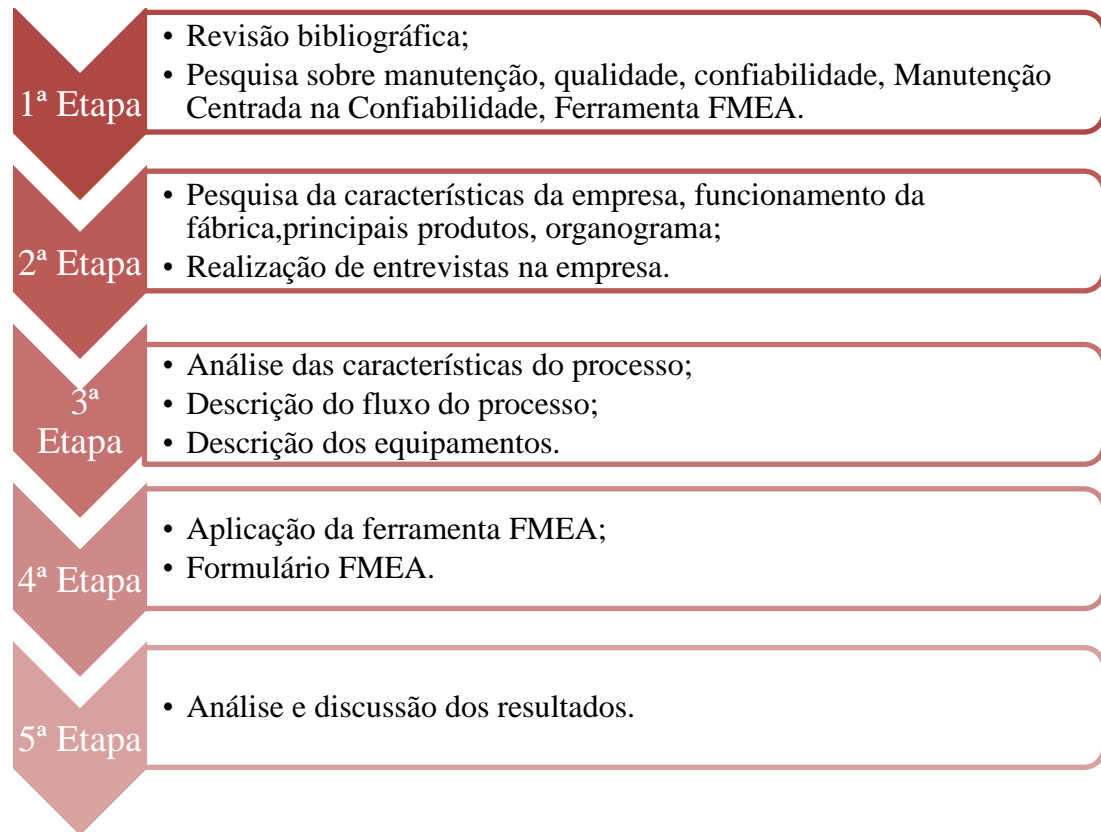


Figura 3: Materiais e Métodos.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

- Primeiro passo: revisão bibliográfica. Nesse passo são realizadas pesquisas em diferentes referências de diferentes autores para a contextualização do trabalho. São feitas pesquisas sobre Manutenção, Manutenção Centrada na confiabilidade, Qualidade, Confiabilidade, FMEA e indústria de panificação.
- Segundo passo: compreensão do contexto da pesquisa. Nesta etapa deseja-se o reconhecimento da realidade da fábrica de pães congelados. Identificação do nível de manutenção da fábrica estudada por meio de perguntas aplicadas aos funcionários do estabelecimento. São realizadas pesquisas das características da empresa, funcionamento da fábrica, principais produtos. Acontece a realização de entrevistas na empresa.
- Terceiro Passo: descrição do fluxo do processo. Análise das características do processo. Descrição dos equipamentos. Descrição do funcionamento e das atividades realizadas nos equipamentos.

- Quarto passo: Aplicação da ferramenta FMEA: Análise da adequação da FMEA para aplicação e introdução na rotina da fábrica. Para a realização dessa etapa foi importante levar em consideração a cultura da empresa, a região onde está inserida e as expectativas desta em relação à manutenção.
- Quinto passo: Identificar os fatores críticos para a introdução da FMEA. Avaliar a viabilidade de aplicação da ferramenta e identificar os fatores críticos para o seu sucesso.

3.3 Variáveis e Indicadores

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), para o gerenciamento do programa MCC devem ser definidos identificadores que envolvam métricas de tempo de parada, disponibilidade de equipamentos e confiabilidade. A Tabela 1 apresenta as variáveis e indicadores utilizados nesse trabalho.

O indicador é a unidade que permite medir o alcance de um objetivo específico. Os indicadores permitirão realizar inferências válidas, desde que consigam medir o conceito abstrato em análise. Na tabela 1 estão expostos as variáveis e os indicadores da pesquisa (COHEN; FRANCO, 2000).

Tabela 1: Variáveis e Indicadores.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

Variáveis	Indicadores
Paradas não programadas	FMEA
	Taxa de Falhas
	Número de Ocorrências
	Efeitos Potenciais de Falhas
	Deteção das Falhas
	Disponibilidade Física
	Modos Potenciais de Falha
	Confiabilidade

Observa-se pela Tabela 1 que as variáveis utilizadas são as paradas não programadas. Observa-se ainda que os identificadores adotados são: a ferramenta FMEA, a Taxa de Falhas, Número de Ocorrências, Efeitos Potenciais de Falhas, Disponibilidade Física, Modos Potenciais de Falha e Confiabilidade.

3.4 Coleta de Dados

As informações sobre a manutenção, planos de manutenção, fluxo de processo, funcionamento dos equipamentos e as falhas dos equipamentos são obtidas por meio de entrevistas com os funcionários da empresa.

3.5 Tabulação de Dados

Os dados são tabulados através do *software* Microsoft Excel. Essa tabulação permite uma melhor visualização das informações coletadas. Os registros dos resultados são realizados por meio do *software* Microsoft Word.

4 RESULTADOS

A análise da aplicação da ferramenta FMEA para um sistema de fabricação de pães congelados será apresentada neste capítulo.

4.1 Delimitação do Trabalho

Esse estudo foi desenvolvido a partir de dados relativos ao processo de fabricação de pães congelados, cedidos por uma fábrica de pães congelados cujo nome não será exposto. O trabalho foi focado basicamente na aplicação da ferramenta FMEA, desenvolvida para o processo de fabricação de pães congelados.

4.2 Características da Empresa no Processo de Fabricação de Pães

A empresa em questão é uma fábrica de pães congelados de Belo Horizonte e atua no segmento de panificação, fabricação de pães congelados, padaria e confeitaria. A fábrica possui hoje o completo domínio da técnica de congelamento em produtos de panificação, fornecendo os produtos para os diversos estabelecimentos no estado de Minas Gerais, que realizam a revenda para o consumidor final de forma extremamente satisfatória.

A empresa está no mercado há 30 anos e a mais de 20 anos trabalhando com a linha congelada de panificação. A empresa é uma das pioneiras do mercado na capital mineira. Após anos atendendo empresas com lanches, hoje trabalha somente com pães congelados, atendendo mercearias, supermercados, cozinhas industriais, hotéis, pousadas e consumidores finais de Belo Horizonte e diversas regiões interioranas do estado de Minas Gerais.

O pão congelado é uma excelente opção para locais que não tenham padarias em suas proximidades, como normalmente é o caso de sítios e fazendas, como também em qualquer estabelecimento que decida vender o pão. Devido à facilidade de armazenamento, conservação e preparação oferece em poucos minutos o pão assado e pronto para o consumo.

O carro chefe da empresa é o pão francês congelado. A panificadora possui opções de gramatura e quatro opções de fermentações para linha de pão francês, trazendo uma tranquilidade maior para o cliente adequar seu horário. Os tipos de gramatura são: mini pão com 30g, Pão com 40g, pão com 50g, baguete de 70g e 100g. O produto de maior demanda é

o pão francês de 50g. Para a melhor adaptação ao horário do cliente e de funcionamento de processos e estabelecimento deste, são oferecidos pães com variedades de fermentação. São oferecidos: pães de fermentação rápida(vermelha) de 6horas, fermentação normal (laranja) de 12 horas, fermentação lenta (verde) de 16horas e ultralenta (amarela) de 18 horas. A figura 4 apresenta a foto da linha de produção dos pães congelados.



Figura 4: Foto da linha de produção do pão congelado.
Fonte: Pesquisa direta. (2019).

O pão doce congelado é outro produto de bastante demanda da panificadora. São oferecidas para o cliente duas opções de gramaturas e sete opções de modelos para a linha de Pão Doce, onde o cliente desenvolve, em parceria com a panificadora, inúmeras formas de decoração do pão. Outros produtos também estão no portfólio como pão de queijo congelado, oferecido em duas opções de formas e quatro opções de tamanhos, além de também serem oferecido o pão 100% integral com a granulação de 50g, ideal para diabéticos e restritivos a glúten, pelo fato de não ter farinha branca em sua composição. Ademais existem

outros serviços disponíveis, como a disponibilização de um departamento técnico com o intuito de capacitar e sanar todas as dúvidas de clientes para assim ocorrer uma manipulação correta e um resultado final de excelência.

Para o entendimento da fabricação do pão congelado para aplicação do FMEA neste processo, apresenta-se na figura 5 a representação das etapas pelas quais as matérias primas devem passar sua transformação do pão, a obtenção da forma do pão e posterior embalagem.



Figura 5: Fluxograma do processo de fabricação.
Fonte: pesquisa direta (2019).

4.3 Descrição do Processo

O processo de fabricação de pães congelados consiste em: misturar a matéria prima, bater os ingredientes na batedeira, homogeneizar e compactar a massa nos cilindros, cortar as tiras na mesa de corte, modelação do pão na modeladora, congelamento dos pães na câmara frigorífica de congelamento, ensacamento dos pães congelados na ensacadeira manual e finalmente empilhamento dos sacos nas câmaras frigoríficas de estocagem. O fluxograma desse processo está representado na figura 6.

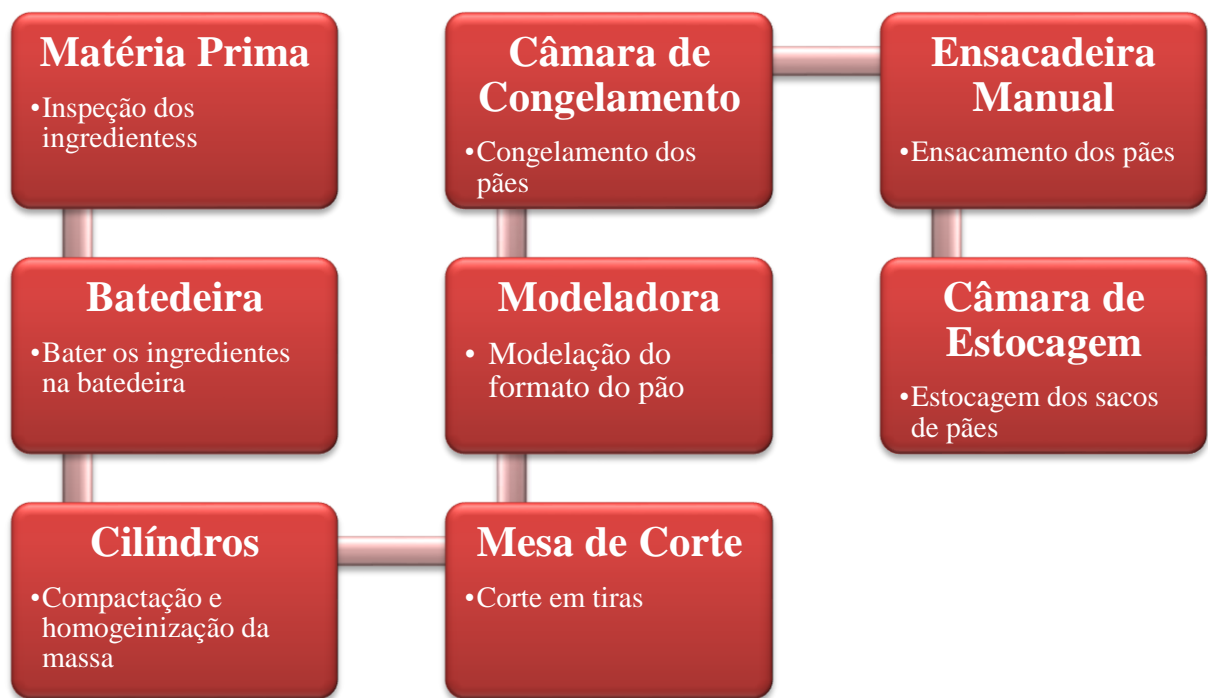


Figura 6: Fluxograma do processo das máquinas na fabricação de pães congelados.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

O processo inicia-se em dosar a matéria prima. Nesta etapa vão ser inspecionados os ingredientes, suas quantidades necessárias, sua qualidade e sua determinada validade. A matéria prima só é aprovada se estiver de acordo com as especificações.

A segunda etapa do processo é colocar esses ingredientes, misturá-los e bater na bateadeira. Na fábrica existem três bateadeiras. A figura 7 apresenta uma foto das três bateadeiras do processo.



Figura 7: Foto das três bateadeiras.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

A terceira etapa é feita nos cilindros. Nesse passo é onde ocorre a homogeneização e compactação da massa. A fábrica possui três cilindros. Um desses cilindros está apresentado na foto da figura 8.



Figura 8: Foto do processo de compactação da massa no cilindro.
. Fonte: Pesquisa direta (2019).

A quarta etapa consiste no corte das tiras. Esse passo é realizado na mesa de corte. O corte é realizado manualmente por um funcionário. A figura 9 apresenta o processo de corte.



Figura 9: Mesa de corte.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

A modelação é a quinta etapa do processo. Esta etapa consiste em modelar o pão no formato final que já será entregue ao cliente. A modelação é realizada na máquina modeladora. A modeladora pode ser vista na foto da figura 10. Os pães passam da modeladora diretamente para a esteira. Da esteira os pães são colocados em bandejas para passar para a próxima etapa. Os pães posicionados nas bandejas podem ser vistos na figura 11.



Figura 10: Modeladora.
Fonte: Pesquisa direta (2019).



Figura 11: Bandejas com os pães.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

Após a modelação, os pães são colocados na câmara de congelamento. Essa é a sexta etapa e nela as bandejas com os pães são recolhidas e colocadas na câmara frigorífica de congelamento. Cada bandeja possui 62 unidades de pães. A câmara frigorífica está a uma temperatura de -30°C . O pão permanece na câmara de congelamento por 2 horas. A câmara de congelamento está apresentada na figura 12, seu interior com as bandejas com os pães em congelamento pode ser visualizado na figura 13.



Figura 12: Exterior da câmara de congelamento.
Fonte: Pesquisa direta (2019).



Figura 13: Interior da câmara de congelamento.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

Na sétima etapa é realizado o ensacamento. Esse passo é realizado na ensacadeira manual. São colocados duas bandejas para cada saco, ou seja, cada saco possui 124 pães. Após o ensacamento dos pães os sacos são empilhados nas câmaras de estocagem. A temperatura dessas câmaras é de -20°C . A câmara de estocagem pode ser vista na figura 14 e seu interior com estoque pode ser visto na figura 15.



Figura 14: Câmara de estocagem.
Fonte: Pesquisa direta (2019).



Figura 15: Interior da câmara de estocagem.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

4.4 Aplicação da Ferramenta FMEA no Processo de Fabricação de Pães Congelados

A análise da ferramenta FMEA foi executada a partir do sistema de fabricação de pães congelados. Foi feita uma análise de cada etapa do processo. As informações foram obtidas através de entrevistas com os funcionários da fábrica.

A empresa não possui um plano de manutenção nem um sistema de anotação de dados. As manutenções são apenas corretivas. A empresa não utiliza planilhas da ferramenta FMEA para o registro dos dados. Não é possível encontrar descrições sobre as datas de início e fim da ocorrência de falhas.

Através de entrevistas foram obtidas informações que foram analisadas para a aplicação da ferramenta FMEA. Na tabela 2 foram registradas as informações da aplicação da FMEA no processo de fabricação de pães congelados.

Tabela 2: aplicação da ferramenta FMEA no processo.
 Fonte: pesquisa direta (2019).

posto	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controles de Prevenção	Controles de Detecção	D	R	Reco
Prima	Falta de algum item	Produto final fora da especificação	5	Descuido do operador	5	Treinamento do operadores	Revisão do procedimento	10	250	Implic
Prima	Menor tempo de mistura	Mistura heterogênea	3	Descuido do operador	2	Treinamento do operadores	Textura da massa	6	36	
Prima	Menor número de passagens pelo cilindro	Massa mal compactada	2	Descuido do operador	2	Treinamento do operadores	Inspecção visual	2	8	
Prima	Excesso de largura das tiras	Diferença no peso do pão, retrabalho	2	Descuido do operador	1	Treinamento do operadores	Inspecção visual	1	2	
Prima	Ajuste ruim da abertura de alimentação	Erro no dimensionamento do peso do pão	5	Máquina desregular por desgaste	4	Paradas programadas para amostragem	Plano de amostragem	3	60	Implic
Prima	Tempo de congelamento errado	Baixa rigidez do produto	3	Descuido do operador	2	Treinamento do operadores	Inspecção visual	2	12	
Prima	Temperatura de congelamento fora da especificação	Baixa rigidez do produto	4	Baixa pressão do fluido refrigerante	3	Instalação de manômetro	Inspecção visual	3	36	
Prima	Fechamento dos sacos	Abertura dos sacos durante o manuseio	5	Falta de habilidade	7	Treinamento do operadores	Inspecção visual	8	280	Treini

A tabela 2 em que são apresentados os resultados da aplicação da ferramenta FMEA primeiro foram descritos os processos que seriam analisados na ordem do fluxo do processo. Os processos são: dosar matéria prima, bater massa na batedeira, homogeneização e compactação da massa, corte das tiras na mesa de corte, modelação da massa na modeladora, congelamento na câmara de congelamento, ensacamento dos pães na ensacadeira e estocagem na câmara de estocagem.

Depois foram analisados os modos potenciais de falha. O modo potencial de falha é definido como a maneira na qual um determinado processo pode falhar em atingir os requerimentos ou especificações do projeto. Os modos de falhas analisados foram:

- Para o processo de dosagem de matéria prima: falta de algum item.
- Para processo de bater a massa: menor tempo de mistura.
- Para homogeneização e compactação da massa nos cilindros: menor número de passagens pelo cilindro.
- Para o processo de corte de tirar: excesso de largura das tiras
- Para a modelação: ajuste ruim da abertura de alimentação na modeladora.
- Para o congelamento na câmara frigorífica: tempo de congelamento errado ou temperatura de congelamento fora da especificação.
- Para o ensacamento na ensacadeira: fechamento dos sacos.

Os efeitos potenciais de falha são definidos como aqueles defeitos, resultantes dos modos de falha. No caso deste estudo foram detectados os seguintes efeitos.

- Produto final fora da especificação.
- Mistura heterogênea.
- Massa mal compactada
- Diferença no peso do pão, retrabalho.
- Erro no dimensionamento do peso do pão.
- Baixa rigidez do produto.
- Abertura dos sacos durante o manuseio.

A causa potencial de falha pode ser entendida como uma deficiência no processo, cuja consequência é o modo de falha. A causa potencial para os processos de dosar matéria prima, bater a massa, compactação, corte e congelamento é o descuido do operador. Outra causa para problemas no congelamento pode estar relacionada também ao fluido refrigerante.

Na etapa de controle de prevenção e detecção, devem-se listar os controles incorporados no processo que podem impedir ou detectar a causa e respectivo modo de falha. Dentre os controles estão:

- Treinamento de operadores;
- Instalação de manômetro;
- Inspeção visual;
- Plano de amostragem e
- Revisão do procedimento

Na severidade(S) é feita uma avaliação qualitativa da severidade do efeito listado na coluna anterior. A severidade é definida em termos do impacto que o efeito do modo potencial de falha tem sobre a operação do sistema. A avaliação é baseada na tabela 3.

Tabela 3: Escala para avaliação dos efeitos dos modos de falha.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

Escala Para Avaliação dos Efeitos de Modo de Falhas		
Severidade do Efeito		Escala
Muito Alta	Quando compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais	10 9
Alta	Quando provoca alta insatisfação do cliente, sem comprometer a segurança ou implicar infração.	8 7
Moderada	quando provocar alguma insatisfação, devido à queda do desempenho ou mal funcionamento de partes do sistema	6 5
Baixa	Os controles podem detectar o modo de falha	4 3
Mínima	Há uma alta probabilidade de os controles detectarem o modo de falha	2 1

A ocorrência (O) relaciona-se com a probabilidade que uma causa listada anteriormente venha a ocorrer. A tabela 4 apresenta a escala para avaliação da ocorrência de falhas.

Tabela 4: Escala para avaliação da ocorrência de causa de falha nos processos.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

Escala Para Avaliação da Ocorrência de Causa de Falha em Processos		
Ocorrência de Falhas		Escala
Muito Alta	Falhas quase inevitáveis	10 9
Alta	Falhas ocorrem com frequência	8 7
Moderada	Falhas ocasionais	6 5 4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	3 2
Mínima	Falhas muito improváveis	1

A detecção refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente passar para a operação subsequente. Para avaliar a detecção, foi assumido que o modo de falha tinha sido ocorrido e então foi verificada a capacidade dos controles atuais em detectá-lo. A tabela 5 apresenta a escala para avaliação da detecção em processos.

Tabela 5: Escala para avaliação da detecção em processos.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

Escala Para Avaliação da Detecção em Processos		
Possibilidade de Detecção		Escala
Muito Remota	Os controles não irão detectar esse modo de falha, ou não existem controles	10
Remota	Os controles provavelmente não irão detectar esse modo de falha	9 8
Baixa	Há uma baixa probabilidade de os controles detectarem esse modo de falha	7 6
Moderada	Os controles podem detectar o modo de falha	5 4
Alta	Há uma alta probabilidade de os controles detectarem o modo de falha	3 2
Muito Alta	É quase certo que os controles irão detectar esse modo de falha	1

O risco (R) é calculado para priorizar as ações de correção e melhoria do processo. No cálculo do risco levou-se em conta a severidade, ocorrência e detecção. A fórmula em geral empregada para a avaliação do risco é a multiplicação simples desses três itens, conforme segue:

$$R = S \times O \times D$$

Para processo de dosagem de matéria prima foram realizados os seguintes cálculos:

$$R = S \times O \times D$$

$$R_{dosagem} = S_{dosagem} \times O_{dosagem} \times D_{dosagem}$$

$$R_{dosagem} = 5 \times 5 \times 10$$

$$R_{dosagem} = 250$$

Assim, o risco do modo potencial de falha de faltar algum item no processo de dosagem de matéria prima é de 250 e foi considerada um risco alto necessitando portanto de uma ação recomendada.

Para processo de bater a massa na batedeira foram realizados os seguintes cálculos:

$$R = S \times O \times D$$

$$R_{batedeira} = S_{batedeira} \times O_{batedeira} \times D_{batedeira}$$

$$R_{batedeira} = 3 \times 2 \times 6$$

$$R_{batedeira} = 36$$

Assim sendo, para o modo potencial de falha de menor tempo de mistura no processo de bater a massa na máquina batedeira é de 36 e é considerado um baixo risco, não precisando de ação recomendada.

Para o processo de homogeneização e compactação da massa no cilindro:

$$R = S \times O \times D$$

$$R_{cilindro} = S_{cilindro} \times O_{cilindro} \times D_{cilindro}$$

$$R_{cilindro} = 2 \times 2 \times 2$$

$$R_{cilindro} = 8$$

Em vista disso, para o modo potencial de falha de menor número de passagens da massa pelo cilindro no processo de homogeneização e compactação da massa é de 8, sendo considerado um risco baixíssimo não sendo necessária ação recomendada.

Para o processo de corte das tiras na mesa de corte:

$$R = S \times O \times D$$

$$R_{\text{mesa de corte}} = S_{\text{mesa de corte}} \times O_{\text{mesa de corte}} \times D_{\text{mesa de corte}}$$

$$R_{\text{mesa de corte}} = 2 \times 1 \times 1$$

$$R_{\text{cilindro}} = 2$$

Portanto, para o modo potencial de falha para de excesso de largura das tiras no processo de corte de tiras na mesa de corte o risco é de 2, considerado um risco também baixíssimo sem necessidade de ação recomendada.

Para o processo de modelação da massa na modeladora:

$$R = S \times O \times D$$

$$R_{\text{modeladora}} = S_{\text{modeladora}} \times O_{\text{modeladora}} \times D_{\text{modeladora}}$$

$$R_{\text{modeladora}} = 5 \times 4 \times 3$$

$$R_{\text{modeladora}} = 60$$

Sendo assim, para o modo potencial de falha de ajuste ruim da abertura de alimentação no processo de modelação da massa na máquina modeladora o risco é de 60, considerado um risco alto. Para tanto, ação recomendada faz-se necessária.

Para o processo de congelamento dos pães na câmara de congelamento no caso de o modo potencial de falha ser tempo de congelamento errado são feitos os seguintes cálculos:

$$R = S \times O \times D$$

$$R_{\text{câmara congelamento}} = S_{\text{câmara congelamento}} \times O_{\text{câmara congelamento}} \times D_{\text{câmara congelamento}}$$

$$\begin{matrix} \text{tempo} & & \text{tempo} & & \text{tempo} \\ \text{tempo} & & \text{tempo} & & \text{tempo} \end{matrix}$$

$$R_{\text{câmara congelamento}} = 3 \times 2 \times 2$$

$$R_{\text{câmara congelamento}} = 12$$

$$\begin{matrix} \text{tempo} \\ \text{tempo} \end{matrix}$$

Assim, como o resultado para esse modo de falha é de 12, é considerado um risco baixíssimo, portanto não precisa de ação recomendada.

Já para o processo também de congelamento de pães na câmara de congelamento só que com o modo potencial de falha de temperatura de congelamento fora da especificação, são feitos os seguintes cálculos:

$$R = S \times O \times D$$

$$R_{\text{câmara congelamento}} = S_{\text{câmara congelamento}} \times O_{\text{câmara congelamento}} \times D_{\text{câmara congelamento}}$$

$$\begin{matrix} \text{temperatura} & & \text{temperatura} & & \text{temperatura} \\ \text{temperatura} & & \text{temperatura} & & \text{temperatura} \end{matrix}$$

$$R_{\text{câmara congelamento}} = 4 \times 3 \times 3$$

$$\begin{matrix} \text{temperatura} \\ \text{temperatura} \end{matrix}$$

$$R_{\text{câmara congelamento}} = 36$$

temperatura

Como o risco do potencial de modo de falha de temperatura de congelamento fora da especificação foi de 36, é considerado um risco baixo, por isso não é necessária ação recomendada.

Finalmente para o processo de ensacamento de pães na máquina ensacadeira:

$$R = S \times O \times D$$

$$R_{\text{ensacadeira}} = S_{\text{ensacadeira}} \times O_{\text{ensacadeira}} \times D_{\text{ensacadeira}}$$

$$R_{\text{ensacadeira}} = 5 \times 7 \times 8$$

$$R_{\text{modeladora}} = 280$$

Nesse caso, o modo potencial de falha no fechamento dos sacos na ensacadeira tem um risco de 280. Esse foi o maior risco encontrado e é considerado muito alto. Para esse modo potencial de falha é necessário uma ação recomendada.

Na tabela 6 são mostrados os valores da severidade, ocorrência, detecção e risco que foram analisados.

Tabela 6: Valores referentes à severidade, ocorrência, detecção e risco do processo.
Fonte: Pesquisa direta (2019).

Operação / Propósito	Modo Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	Risco
Dosagem Matéria Prima	Falta de algum item	5	5	10	250
Bater Massa na Batedeira	Menor tempo de mistura	3	2	6	36
Homogeneização e Compactação da Massa no Cilindro	Menor número de passagens pelo cilindro	2	2	2	8
Corte das tiras na mesa de corte	Excesso de largura das tiras	2	1	1	2
Modelação da massa na modeladora	Ajuste ruim da abertura de alimentação	5	4	3	60
Congelamento na Câmara de Congelamento	Tempo de congelamento errado	3	2	2	12
	Temperatura de congelamento fora da especificação	4	3	3	36
Ensacamento dos pães na ensacadeira manual	Fechamento dos sacos	5	7	8	280

Uma vez que os modos de falha foram priorizados através do risco, as ações recomendadas foram dirigidas aos itens com maior risco. Os itens de maior risco foram identificados nos processos de dosar matéria prima, modelação da massa na modeladora e ensacamento dos pães na ensacadeira manual.

Para o problema de falta de algum item no processo de dosagem de matéria prima foi recomendado a implantação de um *checklist* dos ingredientes e quantidades. Para um possível problema na modelagem da massa na modeladora foi proposto a introdução de um plano de amostragem. Para o problema no fechamento dos sacos na ensacadeira manual foi proposto treinamento dos operadores. As ações recomendadas para reduzir a severidade do efeito, a probabilidade de ocorrência ou não detecção dos modos potenciais de falha nos processos das máquinas.

Tabela 7: Ações recomendadas para reduzir a severidade do efeito, a probabilidade de ocorrência ou não detecção dos modos potenciais de falha nos processos das máquinas.

Fonte: Pesquisa direta (2019).

Operação / Propósito	Modo Potencial de Falha	Efeito	R	Ação Recomendada
Dosar Matéria Prima	Falta de algum item	Produto final fora da especificação	250	Implantação de <i>checklist</i>
Modelação da Massa na Modeladora	Ajuste ruim da abertura de alimentação	Erro no dimensionamento do peso do pão	60	Introduzir plano de amostragem
Ensacamento dos Pães na Ensacadeira Manual	Fechamento dos sacos	Máquina desregular pelo desgaste	280	Treinamento

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009) a garantia da qualidade exige excelência em projeto e excelência em processos. A FMEA é uma técnica que auxilia na busca por excelência em projeto e processo. Essa técnica revela os pontos fracos do sistema e, assim, fornece subsídio para as atividades de melhoria contínua. FMEA tem a vantagem de sistematizar o diagnóstico de produtos e processos. Essas técnicas auxiliam a detectar e eliminar possíveis ocorrências de falha e fornecem uma hierarquia de prioridades para as ações.

Sendo assim o objetivo desse trabalho foi aplicar a ferramenta FMEA para um processo de fabricação de pães congelados em uma panificadora. Visto que as falhas que podem causar perdas econômicas devido à interrupção da produção, riscos de acidentes e baixa satisfação dos clientes.

O início da pesquisa se deu a partir de uma revisão bibliográfica sobre Manutenção Mecânica, Confiabilidade, Qualidade, Manutenção Centrada em Confiabilidade e FMEA. Essa fundamentação teórica possibilitou a análise e interpretação dos dados fornecidos pela empresa, a fim de esclarecer e justificar o problema em estudo, além de orientar quanto ao método mais adequado para os procedimentos de análise e coleta de dados.

Foi possível concluir, a partir da aplicação da ferramenta FMEA que a má dosagem de algum ingrediente para a preparação da massa, o tempo de mistura errado na batedeira, o número incorreto de passagens da massa pelo cilindro, o tamanho de corte errado, o desajuste da abertura na modeladora, o tempo e a temperatura incorretos de congelamento na câmara frigorífica e a falha no fechamento dos sacos são modos potenciais de falhas, ou seja, modos pelos quais o processo ou máquina podem falhar.

Logo, esses modos potenciais de falha têm como possíveis consequências os efeitos potenciais de falha. Os efeitos potenciais de falhas que poderiam ocorrer seriam produto final fora da especificação, mistura heterogênea, massa mal compactada, diferença no formato e peso dos pães, baixa rigidez dos pães e abertura dos sacos durante o manuseio dos operadores.

As severidades do impacto desses modos potenciais de falha têm sobre o sistema foram analisadas e os modos potenciais de falhas com possibilidade de detecção moderada, em que os controles podem detectar foram: falta de algum item, mau ajuste na abertura de alimentação da modeladora, temperatura de congelamento errada e fechamento incorreto dos sacos. Os demais modos potenciais de falha têm alta possibilidade de detecção, ou seja, há uma alta possibilidade de os controles detectarem os modos de falhas.

As ocorrências das causas potenciais de falha foram de alta para a falta de habilidade do operador com a ensacadeira. Já para o descuido do operador, as erradas dosagens dos ingredientes, o ajuste de modeladora e no controle de temperatura de congelamento foram de moderadas, ou seja, as causas potenciais de falhas nesses processos são falhas ocasionais. As demais falhas nos processos foram identificadas como mínimas e muito improváveis de ocorrerem.

Os controles de prevenção e detecção sugeridos para serem incorporados no processo podem impedir ou detectar a causa do respectivo modo de falha. Foram sugeridos principalmente treinamento dos operadores e paradas programadas para amostragem. Também foi sugerida a instalação de um manômetro para controle da pressão do refrigerante na câmara de congelamento, revisão do procedimento no caso da dosagem de matéria prima, plano de amostragem e maior ocorrência de inspeções visuais.

A estimativa de que estes controles podem detectar as causas ou modos potenciais de falha foram avaliadas e sugeridas juntamente com a equipe de gerência da empresa. No processo de dosagem de matéria prima a possibilidade de detecção do erro é muito remota durante todo o fluxo do processo, ou seja, os controles não irão detectar esse modo de falha. Isto ocorre porque o erro só será identificado no produto final. A possibilidade de detecção é de remota no caso do processo de ensacamento. Já no caso do processo de bater a massa na bateadeira há uma baixa probabilidade de os controles detectarem esse modo de falha. Para os processos realizados no cilindro, na modeladora e na câmara de congelamento há uma alta probabilidade de os controles detectarem o modo de falha. No corte de tiras da massa na mesa de corte a possibilidade de detecção é muito alta, ou seja, há uma alta probabilidade de os controles detectarem o modo de falha.

Os maiores riscos calculados ocorreram nos processos de dosagem da matéria prima, modelação da massa na modeladora e ensacamento dos pães na ensacadeira manual. As ações recomendadas foram a implantação de *checklist*, plano de paradas programadas para amostragem e treinamento dos operadores.

No decorrer desse trabalho foi apresentado como aplicar a ferramenta de confiabilidade FMEA para o sistema de fabricação de pães congelados e essa análise permitiu o melhor conhecimento do processo de fabricação e da aplicação da ferramenta. A análise de falhas viabilizou os possíveis modos de falha, suas causas e consequências. Desse modo, a aplicação da FMEA mostra-se como um significativo instrumento para o setor de manutenção.

Finalmente, a aplicação realizada nesse trabalho da ferramenta FMEA pode conduzir a uma redução das manutenções corretivas, consequentemente, nos custos de manutenção. Além disso, pode também melhorar o produto final e reduzir as falhas do processo. Portanto podem detectar e eliminar possíveis ocorrências de falha, diminuindo as perdas econômicas devido à interrupção da produção e aumentando a satisfação dos clientes.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

A partir do estudo realizado, recomenda-se para trabalhos futuros:

1. Estudo de melhoria do processo de manutenção preventivo do setor de panificação.
2. Estudo de melhorias para um plano de manutenção a partir do estudo do sistema de tratamento de falhas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: 2000. 5 p. Acesso em: 15 de setembro de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA (ABIP). **Performance do setor de panificação e confeitaria brasileiro em 2015**. Janeiro 2016. Disponível em: <<http://www.abip.org.br/site/sobre-o-setor-2015/>>. Acesso em: 2 de setembro de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT): **NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade**. Rio de Janeiro, 1994.
- BARAN, L. R. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada na Redução de Falhas: um estudo de caso**. 2011. 102f. Dissertação (Especialização em Gestão Industrial: Produção e Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 1994.
- BRANCO, R. **Sete ferramentas para controle da qualidade na produção e na manutenção**. Disponível em: <<http://www.manutençãoesuprimentos.com.br/Manutenção/>>2010. Acesso em: 15 setembro de 2018.
- CASTRO, C. M. **Estrutura e apresentação de publicações científicas**. São Paulo: McGraw-Hill, 1976.
- CHIAVENATO, I. A. S.; **Planejamento estratégico, fundamentos e Aplicações**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- COHEN, E.; FRANCO, R. **Avaliação de Projetos Sociais**. São Paulo: Vozes, 2000.
- COSTA, M. A. **Gestão Estratégica da Manutenção: Uma Oportunidade para Melhorar o Resultado Operacional**. 2013. 103f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.
- ERMENEGILDO, I. M. **Aplicação da Análise de Modos e Efeitos de Falha – FMEA – Para Avaliação de Situações de Risco no Projeto de prevenção de Incêndio da Casa do Estudante Universitário (Céu-PR)**. 2014. 61f. Dissertação (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- FALCONI, V. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho Dia a Dia**. 9ª ed. Falconi, 1994.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1ª ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009.
- FORD MOTOR COMPANY. **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**. Reference Manual, 1988.
- FORD. **Quality System Requirements - QS-9000**. USA, 1994
- FREITAS, C. P.; PRODANOV, C. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ªed. Novo Hamburgo: Universidade FEEVALE, 2013.

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA (FUNDIPAN). **Perfil do setor de panificação no Brasil**. Fev. 2009. Disponível em: <http://fundipan.org.br/pdf/2-Perfil-do-Sector-de-Panificacao-no-Brasil_2009.pdf>. Acesso em: 2 de setembro de 2018.

GERHART, T. E.; SILVEIRA, T. S. **Métodos de Pesquisa**. 1ª ed. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILCHRIST, W. **Modeling failure modes and effects analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, v. 10, n. 5, p. 16-24, 1993.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

KOMNINAKIS, D. **Análise de Confiabilidade para Formulação de Estratégia de Manutenção de Equipamentos em uma Empresa da Indústria Alimentícia**. 2017. 95f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara.

KOCH, R. **The 80/20 Principle: the secret of achieving more with less**. 1ª ed. London: Nicholas Brealey Publishing Limited, 1998.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos Metodologia Científica**. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.

LEEMIS, L. *Reability: probabilistic models and statistical methods*. Nova York. Prentice-Hall, 1995.

MARTINS, C.P. **Aplicação da Ferramenta FMEA no Desenvolvimento do Processo e Cadastro de um Produto Rodoviário**. 2012. 83f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Penambi.

MARTINEZ, C, C, M. **Estudo para Aplicação de Práticas da MCC em uma Panificadora de Santa Maria/RS**. 2016. 33f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MATOS, P. Z.; ZOTTI, D. M. **Análise de confiabilidade aplicada a indústria para estimativas de falhas e provisionamento de custos**. 2010. 59f. Dissertação (Graduação) – Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MOUBRAY, J. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade**. São Paulo: Aladon, 1996.

NAKAJIMA, S. **TPM: Total Productive Maintenance**. Productivity Pr, 1989.

NASA. **Nasa Reliability-Centered Maintenance Guide**. National Aeronautics and Space Administration. USA, 2008.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment**. Washington, 2000.

NUNES, E. N; VALLADARES, A. **Gestão da Manutenção com Estratégia na Instalação de unidades Geradoras de Energia Elétrica**. Disponível em: Acesso em 15 de novembro de 2018.

- OLIVEIRA, M. F. **Metodologia científica: Um Manual Para a Realização de Pesquisas em Administração**. 2011. 72f. Manual (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Goiás, Catalão.
- OHTA, R. **Gestão da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Pontes Rolantes**. 2014. 66f. Dissertação (Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro:Qualitymark, 2001.
- PLENTZ, M. **Estudo de Caso para Melhoria de Eficiência Produtiva de Linha de Produção em Uma Indústria de Alimentos**. 2013. 77f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado.
- POSSAMAI, R. J. **A implantação da metodologia TPM num equipamento piloto na Adria Alimentos do Brasil Ltda**. 173 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2002.
- PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FOUENTE, D de L. **A decision support system for applying failure mode and effects analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, v. 19, n. 2, p. 137-151, 2002.
- RAPOSO, J. **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.
- RAUSAND, M.; OIEN, K. **The basic concepts of failure analysis**. Reliability Engineering and System Safety, 1996.
- RIBEIRO, U; CRUZ, C. **Metodologia Científica: Teoria e Prática**. Axcel Books, 2003.
- RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3º ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- SAXER, P. **Aplicação da FMEA para Análise de Riscos na Qualidade do Processo de Embalagens em Uma Multinacional de Agroquímicos**. 2015. 84f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena.
- SILVA, M. F. de O.; COSTA, L. M. **A indústria de defensivos agrícolas**. BNDES Setorial, n. 35, mar. 2012, p. 233–276, 2012.
- SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- SOBRINHO, J. C, F. **Manutenção x Produtividade: A Importância da Gestão da Manutenção para o Aumento da Produtividade em Uma Indústria de Manufatura de Madeira**. 2012. 64f. Monografia de Especialização do Curso de Especialização em Gestão Industrial: Produção e Manutenção(Pós-graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA (SNA). **Desempenho do setor de panificação**. Mar. 2014. Disponível em: <<http://sna.agr.br/pesquisa-revela-o-desempenho-do-setor-de-panificacao/>>. Acesso em: 1º de outubro de 2018.
- TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: Instituto Iman, 1993.
- TATSCH, D. M. **Metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade Aplicada em uma Máquina de Montar Pneus**. 2010. 30f. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso) –

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna de Manutenção**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Novo Pólo, 2000.

TAVARES, L. A. **Manutenção centrada no negócio**. 1ª edição. Rio de Janeiro: NAT, 2005a.

TAVARES, M. C. **Gestão Estratégica**. 2ª ed. Atlas, 2005b.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa - ação**. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 1986.

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



VIEIRA, E. C. **S.FMEA – análise de modo e efeitos de falha e orientações estratégicas**, São Paulo, 2008, Universidade São Carlos.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Preventiva: O Caminho Para Eliminar Falhas Nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

WERKEMA, M. C. C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos**. Qfco, 1995.

ANEXO

ROTEIRO DE ENTREVISTA

	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO</p>	
QUESTIONÁRIO		
1 Que tipo de equipamento a empresa opera?		
2 Existe algum equipamento que esteja parado/estragado no momento?		
3 Qual a frequência de falha de cada máquina?		
4 Existe alguma máquina que falhe bem mais do que as outras? Cite quais.		
5 Qual é a causa destas falhas?		
6 Por que você acredita que as máquinas falhem?		
7 É feita alguma ação para evitar as falhas?		
8 Quais as práticas para aumentar a disponibilidade de máquinas?		
9 O conserto ocorre só quando quebra ou é realizado algum tipo de prevenção?		
10 Em que momento é realizado a manutenção?		
11 Caso a manutenção não seja realizada: Qual o motivo?		
12 A frequência de falhas equivale ao que foi previsto pelo fabricante?		