



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

BRUNO BARBOSA CAVALCANTE DE SOUSA

**PRIORIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO ATRAVÉS DE
INDICADORES E DA ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA):
estudo de caso em uma indústria de alimentos**

Recife

2021

BRUNO BARBOSA CAVALCANTE DE SOUSA

**PRIORIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO ATRAVÉS DE
INDICADORES E DA ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA):
estudo de caso em uma indústria de alimentos**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hazin Alencar.

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S725p

Sousa, Bruno Barbosa Cavalcante de.

Priorização das atividades de manutenção através de indicadores e da Análise dos Efeitos e Modos de Falha (FMEA): estudo de caso em uma indústria de alimentos / Bruno Barbosa Cavalcante de Sousa. – 2021.

50 f.: il., figs., gráfs., tabs., abrev. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hazin Alencar.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia de Produção, Recife, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de produção. 2. Indicadores de manutenção. 3. MTBF. 4. Disponibilidade. 5. FMEA. I. Alencar, Marcelo Hazin (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-93

BRUNO BARBOSA CAVALCANTE DE SOUSA

**PRIORIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO ATRAVÉS DE
INDICADORES E DA ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA):
estudo de caso em uma indústria de alimentos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em: 14/12/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Hazin Alencar (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Alexandre Ramalho Alberti (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pois sem ele nada disso seria possível. E também aos meus pais, José Esmeraldo e Maria Lúcia, por sempre me apoiar e me incentivar a alcançar meus sonhos e por me proporcionar uma ótima estrutura para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço também aos meus familiares por acreditarem no meu potencial e torcerem para o meu sucesso. E aos meus colegas de turma que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Não poderia deixar de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Hazin, pelo seu grande apoio, atenção e disponibilidade e por me dar as condições necessárias para poder realizar este trabalho com êxito. Finalmente, deixo meus agradecimentos a todos os professores do DEP/UFPE pelo acompanhamento e compromisso durante toda essa jornada e por transmitirem conhecimentos valiosos de forma competente.

RESUMO

Com o passar dos anos e a geração de novas tecnologias para melhoria de desempenho dos equipamentos está se tornando cada vez mais complexa a gestão dos ativos de uma indústria. Por isso os setores de uma organização precisam de indicadores que gerem informações relevantes e úteis para auxiliar na tomada de decisão. Na manutenção não é diferente, a gestão do setor deve trabalhar para atender as demandas de serviço contando com recursos limitados para sua realização. Por isso é de suma importância distinguir aqueles serviços que devem ser atendidos com prioridade, daqueles que podem ser tratados com menor urgência. É nesse sentido que esta pesquisa vem dar sua contribuição, apresentando um modelo proposto, para um estudo de caso em uma indústria de alimentos, com o objetivo de auxiliar na resolução dos problemas de priorização dos serviços de manutenção na empresa. Para atingir tal objetivo, o estudo utiliza os indicadores de manutenção: MTBF, MTTR e disponibilidade para selecionar um equipamento mais crítico para a planta. Uma vez determinado o equipamento a ser estudado foi aplicada a ferramenta FMEA para realizar uma análise dos modos de falha da máquina, sugerindo ações corretivas para as falhas e gerando um número de prioridade para direcionar o atendimento das não conformidades. Como resultado da aplicação do modelo na empresa estudada foi elaborada uma política de manutenção preventiva para o equipamento visando atacar as anomalias encontradas e, conseqüentemente, diminuir as quebras inesperadas durante a sua operação e aumentar a disponibilidade do equipamento para produção.

Palavras-chave: indicadores de manutenção; MTBF; disponibilidade; FMEA.

ABSTRACT

The technology's evolution over the years has been improving the equipment performance and it's becoming strongly complex the asset's management of an industry. Because of that, the sectors of an organization require the use of indicators that gives useful and relevant information to support the decision-making. Into the maintenance environment isn't different, the sector management needs to guarantee the correct delivery of its demands and take care that the limitation of resources isn't being extrapolated. Therefore, it's crucial to distinguish the activities that needs to be done in a priority way, from that which could be done without the same urgency. In this way, this research shows its contribution presenting a model, a case study in a food industry, to support the enterprise on its decision-making process of the prioritization of its maintenance activities. To reach that goal, this research used the maintenance indicators: MTBF, MTTR and Availability to select the most critical equipment for the facility. Once the equipment was chosen, the researcher applied the FMEA analysis to obtain the failure modes of the equipment, suggesting counter measures to the failures and determining a risk priority number to prioritize the treatment of the non-conformities. As a result of the model application in that enterprise, it was created a preventive maintenance politic for the equipment with the goal to mitigate the anomalies and, consequently, reduce the unexpected breaks during the equipment's operation and increase the equipment's availability for production.

Keywords: maintenance indicators; MTBF; availability; FMEA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Organograma de organização de uma fábrica	19
Figura 2 –	Etapas para elaboração do modelo proposto	31
Gráfico 1 –	Tempo médio entre falhas para os equipamentos no ano de 2020	34
Gráfico 2 –	Tempo médio entre falhas para os equipamentos no ano de 2021	34
Gráfico 3 –	Tempo médio para reparo para os equipamentos no ano de 2020	35
Gráfico 4 –	Tempo médio para reparo para os equipamentos no ano de 2021	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Tabela do FMEA	23
Tabela 2 –	Dados dos equipamentos para o ano de 2020	36
Tabela 3 –	Dados dos equipamentos para o ano de 2021	36
Tabela 4 –	Escala de avaliação para o cálculo do RPN	38
Tabela 5 –	Tabela do FMEA para o multiplicador	40
Tabela 6 –	Plano de ação sugerido para o multiplicador	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	12
1.2	OBJETIVOS	12
1.3	METODOLOGIA	13
1.4	ESTRUTURA DA PESQUISA	14
2	PROBLEMÁTICA	15
2.1	CONTEXTO DO PROBLEMA	15
2.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO	17
3.1.1	MTBF	17
3.1.2	MTTR	17
3.1.3	Disponibilidade Física	18
3.2	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO	18
3.3	TIPOS DE MANUTENÇÃO	19
3.3.1	Manutenção Corretiva	19
3.3.2	Manutenção Preventiva	20
3.3.3	Manutenção Preditiva	20
3.4	FMEA – ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DA FALHA	22
3.5	O PAPEL DA MANUTENÇÃO	23
3.6	REVISÃO DA LITERATURA	24
3.6.1	Potencial de Inovação	29
4	MODELO PROPOSTO	30
5	ESTUDO DE CASO	32
5.1	ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DO ESTUDO DE CASO	32
5.1.1	Dados da Produção Diária	33
5.1.2	Cálculo dos Indicadores MTBF, MTTR e Disponibilidade	33
5.1.3	Seleção do Equipamento Mais Crítico	36
5.1.4	Aplicação do FMEA	37

5.1.5	Priorização das Atividades	41
5.1.6	Criação do Plano de Ação	41
5.1.7	Elaboração de uma Política de Manutenção	45
6	CONCLUSÕES	46
6.1	LIMITAÇÕES DO ESTUDO E TRABALHOS FUTUROS	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas modernos de manufatura consistem em um avançado projeto de engenharia com tecnologia de ponta que devem operar 24 horas por dia, 7 dias por semana, 365 dias por ano (Gupta *et al.*, 1988; Windmark *et al.*, 2012). Embora a busca por resultado seja incessante, é necessário prever paradas para manutenção visando o maior tempo de vida útil do maquinário e a não interrupção por falhas inesperadas. Em uma indústria de alimentos é muito importante que não ocorram interrupções fora do período planejado, pois certamente irá acarretar em grande perda de produto devido ao fato de que ele não será reaproveitado pelo processo de modo a garantir que a qualidade alimentar seja atendida (Wu & Hsiao, 2021).

Algumas definições e trabalhos publicados à respeito da melhoria da manutenção citam que as ações de melhoria devem estar focadas na aparição de falhas anormais e no atendimento dos objetivos de performance: qualidade, custo, segurança e meio ambiente (Ben-Daya *et al.*, 2009; Ahuja & Khamba, 2008). Por sua vez, Koussaimi, Bouami & Elfezazi (2016) acrescentam que a melhoria dos processos de manutenção está centrada nas seguintes atividades: erradicação das causas raízes das falhas, adaptação e modernização dos projetos de engenharia e o aumento da vida útil dos equipamentos através de melhorias.

Neste sentido, a utilização do FMEA (Análise dos Efeitos e Modos de Falha) como instrumento para gerar uma avaliação aprofundada das falhas que ocorrem durante o processo produtivo pode ser um grande aliado para contribuir com as melhorias da área de manutenção. O seu uso em conjunto ao acompanhamento do desempenho dos equipamentos por meio dos indicadores de manutenção pode auxiliar na determinação das causas que levaram aos resultados de performance. Assim, esses dois temas, ao se complementarem, propiciam à gestão da manutenção o alcance de informações completas para identificar, atuar e controlar os males que afligem os equipamentos de uma planta industrial e poder gerar resultados positivos para o setor.

Nesse contexto, esse trabalho vai tratar da utilização de indicadores de manutenção em uma indústria de alimentos a partir da obtenção e monitoramento de indicadores como: MTBF (Tempo Médio Entre Falhas), MTTR (Tempo Médio Para Reparo) e disponibilidade. Em conjunto com a utilização dos indicadores de manutenção é feita uma análise dos modos de falha de um equipamento da empresa através da ferramenta FMEA, com a proposta de elaborar uma plano de ação que servirá como base para criação de uma política de manutenção preventiva para o equipamento escolhido.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

As empresas devem estar sempre buscando a melhoria dos seus processos afim de obter maior eficiência, qualidade e lucro. No setor de manutenção, a utilização de indicadores é um passo importante rumo à melhoria da qualidade de gestão dos ativos e à condução das atividades de forma sistemática. Verifica-se que ao garantir uma gestão eficiente da manutenção, ou seja, adotar uma estrutura que atenda as demandas com recursos limitados, é possível melhorar os serviços da manutenção, a eficácia das operações e reduzir os custos provenientes de perdas (Daniewski, Kosicka & Mazurkiewicz, 2018).

Nesse estudo, a utilização do FMEA serviu como suporte para complementar os *insights* gerados pela avaliação dos indicadores de manutenção. O FMEA é comumente indicado para situações onde é necessário fazer uma avaliação de riscos ou uma análise detalhada de um determinado evento (Kumamoto & Henley, 1996). E a análise que é obtida através do FMEA pode ser feita baseada tanto na opinião de especialistas, quanto na coleta de dados históricos que mostrem como determinado sistema pode falhar (Arvanitoyannis & Varzakas, 2008). Então, o que justificou a realização deste trabalho foi a observação diária do pesquisador de falhas no tratamento das ações e priorização das atividades e a oportunidade de trazer uma ferramenta que não é utilizada na empresa, integrando-a com o estudo dos indicadores de manutenção.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é utilizar uma metodologia para priorização das atividades de manutenção de uma indústria de alimentos através do uso dos indicadores de manutenção aliado a aplicação do FMEA.

Objetivos específicos:

- Realizar revisão da literatura sobre o tema da pesquisa;
- Selecionar os indicadores de manutenção que servirão de base para apoiar a escolha do equipamento mais crítico de uma empresa;
- Utilizar a ferramenta FMEA para determinar os modos de falhas para um equipamento escolhido, elaborar um plano de ação e priorizar a realização de ações de combate às falhas;

- Aplicar a metodologia proposta por meio de um estudo de caso em uma indústria de alimentos com a finalidade de obter uma política de manutenção preventiva para o equipamento analisado.

1.3 METODOLOGIA

Esta pesquisa utiliza o método dedutivo na sua investigação, pois, como afirma Gil (2008), esse método parte da abordagem do ambiente geral para o específico, isto é, parte de leis e teorias consideradas como verdade para poder chegar a conclusões através da lógica. Assim, esta pesquisa vai se basear em conceitos da engenharia de manutenção para utilizá-los no estudo de caso a fim de obter resultados que possam responder às teorias.

Quanto à finalidade, a pesquisa é definida como aplicada, pois de acordo com Gil (2008), a pesquisa aplicada apresenta como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos. Por se tratar de um estudo de caso e a sua condução buscar elementos práticos para resolver um determinado problema de uma empresa, pode-se considerar esta pesquisa como aplicada.

Quanto à natureza, a pesquisa é combinada. Para Cauchick (2011) a abordagem quantitativa deve mensurar as variáveis para obter as evidências da pesquisa, de forma que não seja aplicada subjetividade alguma na observação dos fatos. Já a abordagem qualitativa abriga uma série de técnicas de interpretação que procuram descrever e traduzir determinados fenômenos. Portanto, como a intenção deste estudo é explicar os resultados da pesquisa quantitativa através das explicações obtidas pelos indivíduos envolvidos no problema, ela se caracteriza como explanatória.

Segundo Gil (2008), as pesquisas descritivas têm como objetivo principal a descrição das características de um determinado fenômeno ou o estabelecimento de associações entre variáveis. Por se tratar da aplicação de uma ferramenta de gestão, a pesquisa busca descrever como um método detalhado para priorização das atividades contribui tanto para o alcance das metas do setor de manutenção, quanto para a realização do planejamento das atividades de manutenção.

Gil (2008) afirma que o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de forma que permita o seu conhecimento amplo e detalhado. Então, quanto aos dados, a pesquisa é classificada como um estudo de caso, pois procura-se trazer uma abordagem mais detalhada das causas das falhas de um equipamento dentro de uma

indústria de alimentos e os seus impactos para o setor de manutenção, assim como para a empresa como um todo.

Para Lakatos & Marconi (2007) a documentação direta constitui-se, em geral, no levantamento de dados no próprio local onde os fenômenos ocorrem. Além disso, pode-se dizer que é uma pesquisa de campo, pois o objetivo é buscar informações a respeito de um problema que se quer solucionar. E essa busca é feita a partir da observação do fenômeno como ele acontece, isto é, baseado em como as etapas do processo se sucedem, sendo que existe um modelo de referência inicial que vai auxiliar na elaboração da pesquisa.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este trabalho está dividido em seis capítulos. No Capítulo 1 foi feita uma introdução sobre o tema que será estudado, foram também apresentados a justificativa para realização desta pesquisa, os objetivos e a metodologia utilizada nesse estudo. No Capítulo 2 será exposta a problemática, primeiro discutindo o contexto do problema e como esta pesquisa está inserida neste contexto, e em seguida, é feita a descrição do problema, mostrando o cenário atual da empresa estudada. No capítulo 3 será apresentada a fundamentação teórica com todos os conceitos utilizados para embasar a pesquisa, juntamente com a revisão da literatura de estudos recentes, que contribuem para o fortalecimento e importância da realização desta pesquisa, e com o potencial de inovação que este trabalho apresenta. O Capítulo 4 irá demonstrar como foi pensada a metodologia para melhoria do problema encontrado. Já no Capítulo 5, é descrito o estudo de caso realizado em uma indústria de alimentos, a aplicação do modelo proposto e a discussão dos resultados obtidos. Por fim, o Capítulo 6 traz as conclusões provenientes da aplicação do modelo no estudo de caso, apresentando suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2 PROBLEMÁTICA

Nesta seção será feita uma contextualização do tema, com um viés mais voltado para a área de manutenção da empresa em estudo. Feito isso será gerada uma discussão para corroborar com a decisão da escolha pelo tema e explicar as oportunidades encontradas para a realização deste trabalho.

2.1 CONTEXTO DO PROBLEMA

Cada vez mais a competitividade está presente na rotina das empresas e a forma como lidar com os processos, pessoas, informações e produtos podem gerar vantagens competitivas frente à concorrência. Com a crescente complexidade de equipamentos e tarefas e a dinamicidade no fluxo de informações fica evidente a necessidade de ter o controle daquilo que está sendo gerido.

No setor de manutenção não é diferente, uma indústria que queira gerir seus processos de forma padronizada e sistemática precisa utilizar indicadores de desempenho para medir o que está sendo feito. Uma empresa que não adota essas métricas, sofre com as consequências da falta de planejamento para as tratativas que estão sendo abordadas. Portanto, nesses casos, informações preciosas podem se perder, pois não são registradas e acompanhadas da forma correta. Também pode haver um desvio quanto ao foco principal dos problemas que surgem, por conta de equívocos na priorização das tarefas. Se tratando da área de manutenção, as informações precisam estar alinhadas e disseminadas por todas as pessoas, pois ao realizar uma atividade de forma errada são gerados custos provenientes da falta de produção, além do custo da manutenção em si.

Na empresa em estudo, o setor de manutenção tem suas metas específicas e o principal objetivo que o setor deve alcançar é o aumento da disponibilidade dos equipamentos para produção. Sendo assim, é de suma importância mensurar o tempo que cada equipamento não se encontra disponível para operação por motivos de atuação da equipe de manutenção, assim como a quantidade de falhas apresentadas em um dado período, e dessa forma, agir no gargalo da produção, aumentando assim, a eficiência global do processo. Do ponto de vista gerencial, essa é uma atividade crucial para obter um direcionamento dos esforços da área técnica/operacional para entregar o resultado desejado pela empresa.

2.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema que esse estudo irá abordar trata da priorização das atividades de manutenção para um determinado equipamento crítico de uma indústria do ramo alimentício. Atualmente o setor de manutenção da empresa se encontra com o controle de indicadores em desenvolvimento, e portanto, suas atividades, em alguns casos, não obedecem critérios para escolha dos serviços de manutenção que são mais urgentes. Dessa forma as ações para correção não estão sendo tomadas de forma assertiva.

Para elaboração dos indicadores, são utilizados os dados provenientes do apontamento da produção para obter informações sobre as paradas de linha que ocorrem diariamente, assim como as horas programadas para produção. A partir deles, o setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) realiza uma organização e tratamento para poder gerar informações dos tempos entre as falhas e o tempo para reparo. Com essas informações em mãos, é possível mensurar o tempo em que cada equipamento se encontra disponível para produção, e assim poder atacar aquele equipamento cujas paradas causam maior impacto para a produção.

Por isso, o conteúdo das paradas precisa estar descrito e detalhado de forma que qualquer pessoa na empresa possa identificar de forma indubitável alguns elementos, como: as horas de início e fim da parada, o motivo da parada, a descrição daquilo que foi executado para retornar o equipamento à condição de uso, o nome do equipamento e a sua respectiva linha de produção. Todos esses dados devem ser preenchidos e acompanhados diariamente para que possam gerar um banco de dados robustos que ajude o gestor a programar suas atividades. Além disso, as contra medidas vão ser facilitadoras de atuações futuras em desvios similares, minimizando assim as chances de ocorrerem quebras maiores.

Contudo existe uma grande lacuna quanto à execução desse processo, o que acarreta em uma gestão pouco eficaz da priorização das atividades mitigadoras da quebra. Por conta da falta de estruturação nesse processo, é comum que a tomada de decisão, por muitas vezes, leve em consideração critérios subjetivos, que não se mostram consistentes no longo prazo. Além de que, do ponto de vista operacional, existe um grande retrabalho para atacar problemas recorrentes que poderiam ser eliminados com uma atuação eficaz na causa fundamental. Então, de fato, a aplicação de um método para priorização de ações que vão atuar nos modos de falha é essencial para alavancar a melhoria na entrega da manutenção para o resultado da empresa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados alguns conceitos importantes para a engenharia de manutenção e confiabilidade. Em seguida será feita uma revisão da literatura para mostrar pesquisas que já foram realizadas sobre o tema e que embasam a teoria deste trabalho. Por fim, será mostrado o potencial de inovação que indica a diferenciação do trabalho.

3.1 INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO

Os indicadores de desempenho na manutenção são ferramentas de extrema importância para o funcionamento eficiente e eficaz do setor. Dentre os inúmeros indicadores que podem ser utilizados para o acompanhamento dos serviços de manutenção, estão listados abaixo aqueles mais usuais e que serão utilizados neste estudo.

3.1.1 MTBF

Sigla em inglês, *Mean Time Between Failures*, que traduzido para o português significa Tempo Médio Entre Falhas. Conforme Cabral (2006), “este índice mostra, para determinado equipamento, o tempo médio de bom funcionamento, ou seja, o tempo que decorre, em média, entre duas falhas consecutivas, ou ainda o tempo médio entre manutenções corretivas”. O tempo médio entre falhas é definido como a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para a operação (HD), pelo número de intervenções corretivas neste equipamento no período (NC).

$$MTBF = \frac{HD}{NC} \quad (3.1)$$

De acordo com Viana (2014), o objetivo deste índice é mostrar como as máquinas reagem às ações de manutenção. Isto é, se o valor do MTBF aumenta é um indicativo que as ações manutentoras tiveram um resultado positivo e, portanto, será necessário um número menor de intervenções corretivas, aumentando assim as horas disponíveis de maquinário para produção.

3.1.2 MTTR

Sigla em inglês, *Mean Time To Repair*, que traduzido para o português significa Tempo Médio Para Reparo. Este índice, segundo Cabral (2006), “mostra o tempo médio necessário para reparar uma avaria, ou ainda a média dos tempos de intervenção corretiva”. O tempo médio

para reparo é dado como sendo a divisão entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção (HIM) pelo número de intervenções corretivas no período (NC).

$$MTTR = \frac{HIM}{NC} \quad (3.2)$$

Assim, percebe-se que, ao diminuir o MTTR o que está acontecendo é a redução do tempo de atendimento a uma falha ou quebra. Esta eficiência na manutenção significa uma diminuição do tempo de inatividade da máquina para a produção.

3.1.3 Disponibilidade Física

De acordo com a NBR 5462:1994, “disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado”. Ainda, de acordo com Branco Filho (2006), a disponibilidade é a capacidade que um equipamento tem para realizar sua função em um determinado momento, nas condições esperadas e rendimento definidos. Por sua vez, Viana (2014) enxerga a disponibilidade física como um percentual entre as horas de operação de um equipamento pelas horas totais do período. Uma das formas de realizar o cálculo da disponibilidade é a seguinte:

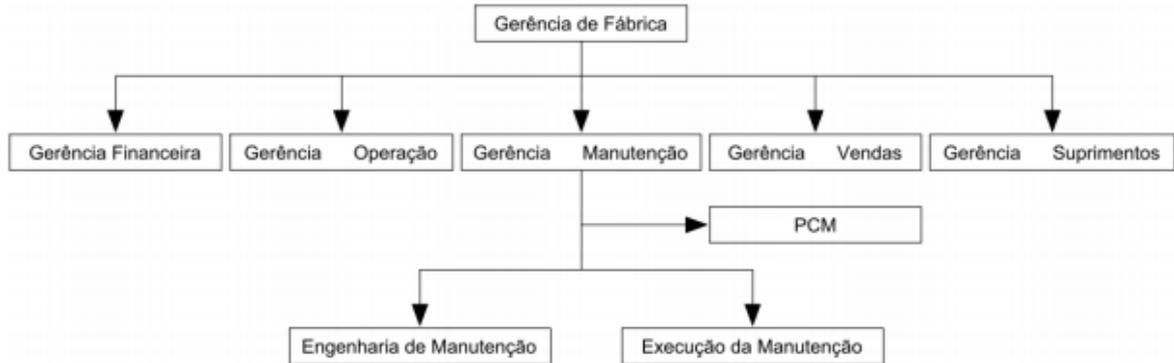
$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.3)$$

A disponibilidade de um item representa o percentual do tempo em que o mesmo ficou à disposição da operação para desempenhar sua atividade. Para Tavares (1999), o índice de disponibilidade é de grande importância para a gestão de manutenção, porque, é através dele que pode ser feita uma análise dos equipamentos cujo comportamento operacional está aquém de padrões aceitáveis.

3.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO

Inserido na área de manutenção, o planejamento e controle da manutenção, ou simplesmente PCM, segundo Viana (2014), é um setor capaz de organizar e melhorar as atividades de manutenção que são realizadas em uma organização, tendo como finalidade gerar recursos e facilitar o atendimento das demandas do setor. O PCM tem um papel independente na hierarquia da manutenção, sendo uma área de apoio que responde diretamente à gerência.

Figura 1 – Organograma de organização de uma fábrica



Fonte: Adaptado de Viana (2014, p.20)

É de responsabilidade do PCM o gerenciamento e controle de todos os dados relativos à manutenção, como: custos, paradas de manutenção, disponibilidade dos equipamentos, tempo para reparo, tempo médio entre falhas, entre outros. Também fazem parte das atribuições do setor: a elaboração de planos de manutenção, a programação das atividades de manutenção e o controle das atividades por meio de indicadores. Tudo isso é feito para atingir o objetivo principal, que é a garantia da confiabilidade e disponibilidade dos ativos.

3.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Na literatura é fácil encontrar autores que falam sobre os diferentes tipos ou políticas de manutenção. Apesar de existirem várias nomenclaturas e do surgimento de novos tipos de manutenção, aqueles tipos de manutenção que são mais disseminados e conhecidos no ambiente fabril são: a corretiva, a preventiva e a preditiva.

3.3.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva, segundo a NBR 5462:1994, é aquela realizada após a ocorrência de uma falha em um determinado item e que tem por objetivo recolocar este item em condições de realizar a sua devida função. Mesmo sendo uma intervenção que ocorre apenas após a quebra, a manutenção corretiva pode ser de dois tipos:

- Manutenção corretiva planejada – quando é determinado por uma decisão gerencial que não será realizada uma intervenção até que o componente entre em falha. Isso pode ocorrer em casos que a realização da manutenção antes da quebra

é muito custosa, quando é inviável manter as peças de reposição em estoque ou quando a parada do equipamento pouco impacta nos resultados do negócio.

- Manutenção corretiva não planejada – quando a atuação para reparo da falha ocorre aleatoriamente, sem planejamento prévio ou acompanhamento. Consequentemente, serão gerados custos mais elevados para reestabelecer a condição padrão.

3.3.2 Manutenção Preventiva

É considerado como manutenção preventiva todo serviço de manutenção realizado em equipamentos que estejam em condições de operação. Além disso, de acordo com a NBR 5462:1994, a manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos predeterminados, ou obedecendo critérios prescritos. O seu objetivo é reduzir a probabilidade de falha de um item atuando no mesmo de forma antecipada a quebra, portanto este tipo de manutenção ao ser comparado a manutenção corretiva, apresenta uma tendência para o aumento da disponibilidade dos equipamentos para execução do trabalho.

Quando a frequência de falhas de determinado equipamento é conhecida, é possível utilizar a manutenção preventiva de forma sistemática. Dessa forma, pode-se: prever o momento ótimo para realizar uma parada para manutenção; preparar as peças que serão utilizadas; programar a produção para aumentar o estoque a fim de evitar rupturas durante a parada de manutenção. Assim, com a introdução de um programa de manutenção preventiva bem planejado e executado tem-se um ganho na qualidade do serviço, além de reduzir a necessidade de manutenções corretivas.

3.3.3 Manutenção Preditiva

De acordo com Viana (2014), a manutenção preditiva consiste nas tarefas, realizadas antes da ocorrência de falhas, que buscam acompanhar as máquinas e/ou peças por monitoramento, por medições ou por controle estatístico, com a finalidade de prever a próxima ocorrência de falhas. Ainda, segundo a NBR 5462:1994, a manutenção preditiva é aquela que permite garantir a qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem.

A manutenção preditiva se assemelha à manutenção preventiva quanto ao momento de atuação, antes da ocorrência de falhas. Porém o tipo preditivo se diferencia na forma de atuação. A preventiva busca agir, geralmente, com base no tempo para impedir interrupções no

funcionamento das máquinas, entretanto as condições do equipamento podem ser suficientes para operar de forma satisfatória por um período de tempo maior. Por sua vez, a preditiva tem como objetivo determinar o tempo correto no qual é necessária a intervenção no equipamento, otimizando assim, o tempo de vida útil dos componentes e a disponibilidade do equipamento.

Existem quatro técnicas preditivas, que conforme Viana (2014), são bastante utilizadas nas indústrias brasileira, são elas: ensaio por ultrassom, análise de vibrações mecânicas, análise de óleos lubrificantes e termografia.

- Ensaio por ultrassom – caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou formas de materiais. Esse método tem como característica alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades internas nos materiais, por isso é de grande utilidade na aplicação em peças de grande espessura ou com geometria complexa.
- Análise de vibrações mecânicas – a vibração mecânica consiste em um processo destrutivo que ocasiona falhas nos componentes de uma máquina por fadiga. Ao utilizar equipamentos para captar as vibrações emitidas pelos componentes das máquinas, é possível obter a evolução dos níveis de vibração no tempo e gerar uma série de dados sobre o estado de funcionamento dos componentes, prevendo a vida útil dos mesmos.
- Análise de óleos lubrificantes – consiste no monitoramento quantitativo de partículas sólidas presentes no fluido, aliado a análise de suas características físicas e químicas, como por exemplo: viscosidade do óleo, nível de contaminação de água, ponto de congelamento e ponto de fulgor. A utilização desta técnica tem como objetivo a determinação do momento exato da troca do lubrificante e a identificação de sintomas de desgaste de um componente.
- Termografia – é uma técnica de ensaio não destrutivo que permite o sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha. Por ser uma técnica que permite a realização das medições sem contato físico com os equipamentos, ela é bastante utilizada em instalações elétrica, fornos e caldeiras.

3.4 FMEA - ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA

Sigla em inglês, *Failure Modes and Effects Analysis*, que traduzido para o português significa Análise dos Efeitos e Modos de Falha. Conforme a NBR 5462:1994, consiste em um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, além da determinação dos efeitos de cada modo de falha de um item sobre os outros subitens e sobre a função requerida do item. Para Carpinetti (2016), o FMEA é um método que pode ser utilizado no desenvolvimento de produtos e processos com o intuito de criar ações de melhoria para a minimização ou eliminação de falhas consideradas críticas segundo alguns critérios.

Assim, a partir da aplicação do FMEA, determinam-se todos os possíveis modos de falhas, suas causas e seus efeitos sobre o desempenho do produto ou processo. Daí, podem ser feitas análises quanto à priorização das ações propostas levando em consideração os seguintes critérios:

- Gravidade ou Severidade do efeito: qual a gravidade do efeito da falha sobre o cliente;
- Ocorrência da falha: qual a frequência de ocorrência das falhas;
- Detecção da falha: qual a chance de se detectar a ocorrência da falha antes que ela gere o efeito indesejável no cliente.

De acordo com Carpinetti (2016), o método FMEA pode ser dividido em três etapas, Tabela 1, são elas:

- **Etapa 1:** nessa etapa ocorre a identificação das falhas, as possíveis causas e os meios existentes capazes de detectar as falhas. Com base nessa análise, são atribuídos valores para a gravidade, ocorrência e detectabilidade que vão servir de *input* para determinação do RPN (*Risk Priority Number*). O RPN é o indicador que vai priorizar as ações que foram propostas, ele é calculado a partir dos valores atribuídos para os critérios acima, da seguinte forma:

$$\text{RPN} = \text{Gravidade} * \text{Ocorrência} * \text{Detectabilidade}$$

- **Etapa 2:** tendo em vista a análise feita na etapa anterior e a ordem na qual as falhas foram priorizadas, essa etapa irá definir os planos de ações a serem adotados para minimizar ou eliminar as falhas prioritárias.
- **Etapa 3:** após a implementação das ações propostas, a equipe que está realizando o FMEA deve fazer uma nova análise das falhas, ocorrências e detecção para

avaliar se as ações tomadas foram suficientes para minimizar ou eliminar as causas das falhas.

Tabela 1 – Tabela do FMEA

Função do produto ou Requisitos do processo	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Causa potencial da falha	Controles atuais do processo	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN	Ações recomendadas	Responsável e Prazo	Resultado das ações				
											Ações tomadas	Índices revisitos			
												S	O	D	RPN

Fonte: Adaptado de Carpinetti (2016, p.132)

3.5 O PAPEL DA MANUTENÇÃO

Devido à série de evoluções que a indústria passou, desde o advento da Revolução Industrial no final do século XVIII até os dias atuais, o conceito que se tinha sobre o papel da manutenção deixou de ser apenas o de manter aquilo que se tem e reestabelecer o equipamento às suas condições originais. Por conta da presença de equipamentos cada vez mais sofisticados e com o aumento da produtividade, as indústrias se viram na obrigação de entregar uma maior disponibilidade ao processo, visto que os custos pela falta de produção estavam cada vez mais altos. Então, de acordo com Kardec & Nascif (2009, p.23), o atual papel da manutenção é o de “garantir a confiabilidade e disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados”.

Para conseguir obter sucesso nos seus objetivos, a manutenção deve, necessariamente, reduzir a sua demanda de serviços. Portanto, é preciso ter uma gestão estratégica da manutenção para agir nas causas básicas que irão gerar novas demandas de serviço, são elas: a qualidade da manutenção, a qualidade da operação, problemas crônicos do projeto ou do próprio equipamento, problemas tecnológicos e serviços desnecessários. Ao atacar essas causas, o time de manutenção é capaz de evitar retrabalhos devido falhas prematuras, avaliar corretamente e agir na causa fundamental das falhas, e além disso evitar a execução em excesso de ações preventivas nos equipamentos devido à falta de confiabilidade nos mesmos.

3.6 REVISÃO DA LITERATURA

Na literatura existe uma vasta gama de indicadores que podemos utilizar para medir a qualidade da manutenção. Sendo assim é preciso agir na implementação daqueles que vão trazer

um retorno mais positivo e auxiliar na gestão da área de manutenção. Tendo isso em mente, é pertinente apresentar um estudo feito na indústria de alimentos por Maduekwe & Oke (2021) para determinação dos indicadores que possuem mais relevância para o processo. Para isso, foi realizado um estudo dos indicadores de manutenção auxiliado pelo método de apoio a decisão DEMATEL. Esse método levou em consideração as relações existentes entre alguns indicadores de manutenção como: frequência de falhas, tempo de inatividade, MTBF, MTTR, MTTF (Mean Time To Failure) e disponibilidade. O estudo avaliou as relações de causa e efeito entre os indicadores, sendo que o tempo de inatividade e disponibilidade apresentam maiores relações causais com outros indicadores e a frequência de falhas é o aspecto mais influenciado pelos outros KPI's.

O acompanhamento dos indicadores de manutenção para a gestão é de suma importância para a determinação de uma abordagem mais adequada no tratamento da manutenção, conforme mostrou Shahin, Aminsabouri & Kianfar (2018) em seu estudo de caso feito na indústria de aço com o objetivo de determinar as melhores táticas para realização da manutenção proativa, baseando-se nos indicadores MTBF e MTTR. O estudo foi conduzido com o auxílio de um método de apoio a decisão para assistir na escolha de uma dentre algumas táticas de manutenção (TPM, RCM, entre outras). A aplicação do estudo levou à algumas conclusões, sendo uma delas a indicação de que uma determinada tática pode ser mais apropriada do que outras para determinado equipamento, haja vista as condições do MTBF e MTTR para cada equipamento.

O MTBF e o MTTR são dois KPI's (Key Performance Indicator) críticos para o conhecimento da disponibilidade de um sistema, equipamento ou processo. Em um estudo realizado por Ben, Mohamed & Muduli (2021) em uma planta da Heineken do pacífico sul, percebeu-se que, apesar de existir um programa de manutenção preventiva estabelecido existiam muitos atrasos devido à frequentes quebras dos equipamentos e do crescente tempo para reparar o componente ou o equipamento danificado. Com base em dados históricos de alguns indicadores, entre eles o MTBF e o MTTR, chegou-se ao equipamento com o maior número de quebras e o maior tempo de indisponibilidade. A partir disso, concluiu-se que seria necessária uma melhoria no programa de manutenção preventiva do equipamento, através da adoção do pilar de AM (manutenção autônoma). Os resultados mostraram que a confiabilidade do equipamento, ou seja, a probabilidade do equipamento performar como desejado, saltou de 55% para cerca de 70%.

A gestão de equipamentos em uma fábrica é um aspecto importante para o bom desempenho dos mesmos, assim sendo, o processo produtivo flui de forma satisfatória. Essa gestão passa pelo conhecimento da confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade dos equipamentos. Para obter essas informações, Nurrahman & Atmaji (2020) utilizaram os indicadores MTTR e MTTF no seu estudo em uma indústria de processamento de borracha. Por conta da alta exigência dos seus clientes, a empresa na qual foi realizada o estudo de caso é solicitada a entregar produtos confiáveis e padronizados. Assim, os dados obtidos do MTTF e do MTTR foram utilizados para determinar o nível para confiabilidade da máquina, o valor da manutenibilidade e disponibilidade do equipamento. Como resultado, obteve-se um índice de confiabilidade em torno de 91% para um período de observação $t=120$ horas, enquanto a manutenibilidade e a disponibilidade tiveram resultados próximos de 100%.

Corroborando com os achados citados acima, um outro estudo feito por Zeng, Shao & Hao (2021), em uma indústria de bebidas, buscou através das informações vindas do MTBF, MTTR e disponibilidade dos equipamentos da linha de produção, selecionar o equipamento mais crítico para o processo tendo como base o número de quebras e o tempo de indisponibilidade. Para o equipamento escolhido foi feita uma análise por meio do PFMEA para tratar de forma adequada os modos de falha. Os resultados da aplicação desta pesquisa geraram uma redução significativa das intervenções de manutenção e dos custos de produção da linha, além de diminuir a probabilidade de falhas e o tempo de inatividade do equipamento.

Na indústria aeronáutica um estudo feito por Li *et al.* (2020) teve como objetivo a otimização do MTBF do sistema de abastecimento hidráulico das aeronaves. Por ser um sistema onde existem muitas restrições por questões de confiabilidade e segurança, o método utilizado adotou uma análise sensitiva global para apontar aquelas restrições que tem pouco ou nenhum impacto na forma dos tubos hidráulicos. A partir da realização da análise de otimização das variáveis identificadas como essenciais, o método se mostrou eficaz ao obter como resultado um aumento de cerca de 60% do MTBF dos tubos hidráulicos de uma aeronave, trazendo assim, maior confiabilidade e um intervalo maior entre as intervenções de manutenção.

Uma abordagem no setor de transportes foi feita por Raposo *et al.* (2018) para dimensionar a frota reserva de ônibus necessária para atender a demanda, ao ponto que é realizada a manutenção planejada na frota principal. Baseado no MTBF e no MTTR, o estudo avaliou o tempo de degradação do óleo do motor para prever a disponibilidade da frota. Concluiu-se que a disponibilidade da frota varia de acordo com o intervalo entre as trocas de

óleo dos veículos, portanto o MTTR é o indicador mais apropriado para se chegar no dimensionamento ideal da frota reserva.

O estudo realizado por Panchal & Kumar (2016) mostra, através do uso de uma metodologia fuzzy, o comportamento de uma unidade de força em uma planta de abastecimento de energia. O modelo considerado para a análise da dinâmica de falhas do sistema em estudo é construído a partir de vários parâmetros de confiabilidade, entre eles: taxa de falhas, tempo de reparo, MTBF, número esperado de falhas e disponibilidade. Tendo os dados computados, parte-se para segunda fase da pesquisa onde é aplicado o FMEA para ranquear as causas das falhas por meio da prioridade de risco de cada causa. Como resultado pode-se destacar a eficácia na análise do comportamento das falhas e a sistematização no processo de decisão por meio da análise combinada de todos os parâmetros que influenciam o processo.

Na pesquisa de Bhangu, Pahuja & Singh (2017), os pesquisadores apresentam a implementação da política de manutenção centrada na confiabilidade em uma indústria termelétrica para resolver problemas como: interrupções forçadas, longos tempos de inatividade e baixa confiabilidade. Com base nos dados obtidos de MTBF dos equipamentos que geram maiores tempos de inatividade foi calculada a confiabilidade para cada unidade da planta e para todo o sistema. A partir daí, foi realizado um FMEA para priorizar as atividades do plano de ação dentro do calendário da manutenção, com o objetivo de atuar na melhoria da confiabilidade do processo. Este estudo apresentou como resultado uma diminuição de 30% no tempo das interrupções dos componentes vitais durante o primeiro ano de aplicação, sendo que nos anos seguintes houve uma redução, em horas, de 10% das interrupções desses componentes.

Wu & Hsiao (2021) avaliaram em sua pesquisa, os riscos associados ao manejo de comidas congeladas por toda sua cadeia de distribuição por meio da utilização do FMEA. Para tanto, foi utilizado um questionário com empresas processadoras de produtos congelados, revendedores e distribuidores logísticos para compreender os riscos envolvidos na cadeia de suprimentos desses produtos. A partir daí, foi realizado o cálculo do RPN para os modos de falha encontrados e pôde-se observar que boa parte dos riscos priorizados estavam na etapa de recebimento do produto, indicando assim uma possível fonte dos riscos de toda a cadeia. No segundo momento, foi realizado um estudo de caso com duas empresas do ramo para promover as estratégias de melhoria para o processo. Baseado nas fragilidades de cada empresa foram propostas melhorias, como: treinamento dos funcionários, medição da temperatura do produto antes do carregamento e alarmes de temperatura em tempo real. O resultado da atuação na

detecção dos modos de falha foi a redução do RPN dos maiores riscos apontados para cada empresa.

Na área médica, o estudo de Jain (2017) mostra a importância da utilização do FMEA para a melhoria do gerenciamento de medicações para os pacientes de um hospital. O estudo de caso monitorou o processo de administração das medicações e com os registros dos pacientes juntamente ao apoio de funcionários chegou aos possíveis modos de falha que podem gerar erros na administração das medicações. Em sua maioria, os modos de falhas estavam relacionados com erros de transcrição das prescrições médicas para o sistema de registros de medicação e erros relacionados a administração dos medicamentos pelas enfermeiras. Dentre as medidas corretivas adotadas, as principais foram: a alimentação das informações no sistema de registros de medicação sendo feitas pelo próprio médico que prescreveu a receita, eliminando assim divergências na transcrição; e o uso de pastas com as medicações necessárias para cada paciente, evitando que seja ministrada uma dose errada. Após a implementação dessas ações foi obtido como resultado a diminuição de cerca de 50% do RPN desses modos de falha.

Seguindo na área da medicina, Askari *et al.* (2017) apresenta em seu estudo uma proposta para elaboração de um FMEA para examinar os perigos relacionados ao processo de prestação de serviços médicos em uma unidade de tratamento intensivo (UTI). Uma vez identificados os modos de falha, ou seja, as falhas nos procedimentos que podem levar a eventos desastrosos e irreversíveis, o grupo de pesquisadores elaborou o cálculo do RPN para elencar as falhas que precisam de prioridade na tomada de ação. Então, chegou-se à conclusão que deve-se atuar prioritariamente no aumento da detecção das falhas, e para isso, foi proposto um treinamento entre todos os integrantes do staff dessa UTI, que foi o objeto de estudo, para gerar mais conhecimento sobre os sintomas dos apresentados pelos pacientes e habilidades para minimizar as consequências. Após a implementação das ações e do acompanhamento dos procedimentos foi constatada uma melhora de mais de 50% no atendimento das principais falhas.

Em uma abordagem no setor mecânico, Piatkowski & Kaminski (2017) utilizaram o FMEA para definir a relação de causa e efeito para a geração de defeitos no processo de fundição de pistões do motor. Primeiramente, os autores realizaram um levantamento dos defeitos mais frequentes que são vistos no processo, e com o apoio da análise de Pareto foi detectada uma série de defeitos que juntos representam 80% das ocorrências das falhas no processo produtivo. A partir daí, foi realizado o FMEA naqueles defeitos mais recorrentes, e as ações propostas tomaram 3 direcionamentos distintos: a melhoria na tecnologia dos

equipamentos utilizados nos postos de trabalho; treinamento das novas tecnologias e qualificação dos operadores; e melhor organização do trabalho, no que diz respeito aos controles de qualidade dos equipamentos e do processo. Ao final do estudo, os resultados mostram melhorias de até 66% do RPN dos defeitos mais frequentes.

Popielarski (2021) aplicou o FMEA em sua pesquisa para avaliar a qualidade do processo de manufatura de uma espuma composta por metal e cerâmica fundidos. Para aqueles modos de falha cujo RPN atingiu o limite adotado ($RPN = 100$) foram destacadas as causas e consequências para o processo. Assim os pesquisadores puderam inferir que a quebra dos poros durante a formação da esponja é o defeito mais crítico que afeta a qualidade do produto e as suas causas estão ligadas à falta de um processo tecnológico para fabricação do produto e a falta de conhecimento dos operadores no manejo das ferramentas. Por se tratar de um modo de falha com detecção relativamente alta, foram propostas ações para agir da redução da ocorrência, primeiramente treinando os operadores e, posteriormente, modificando o procedimento de fabricação do produto.

Partindo para o ambiente de automação, o estudo de Oliveira (2020) apresenta a utilização do FMEA em um sistema *cyber* físico (CPS), que realiza o controle automático da operação de trens através da troca de dados entre o trem e os dispositivos localizados ao longo dos trilhos. Os CPS fazem a integração entre a dinâmica dos processos físicos com aquelas das redes e *softwares*, portanto é crucial que haja uma análise dos riscos envolvidos para evitar perdas, sejam elas econômicas ou sociais. Após a escolha de uma unidade do sistema foi aplicado o FMEA e identificados os modos de falha, causas e efeitos, o cálculo do RPN apontou aqueles modos de falha mais críticos e as ações preventivas foram propostas. Dentre as ações foram priorizadas aquelas que pudessem assegurar uma melhor comunicação entre o sistema físico e a rede, prevenindo assim o maior risco associado aos CPS que são os *cyber* ataques.

3.6.1 Potencial de Inovação

Essa pesquisa possui um potencial de inovação médio/alto para a empresa em estudo, e principalmente para o seu controle da gestão do setor de manutenção. Embora existam grandes empresas onde essas métricas fazem parte da sua cultura, a utilização dos indicadores de manutenção é uma prática que está sendo iniciada na empresa em estudo, que até o momento está trabalhando na geração de dados e consolidação de um modelo para coleta e disseminação das informações provenientes destes indicadores. Todavia, a aplicação do FMEA nos

procedimentos de manutenção é algo inédito na empresa, uma vez que a avaliação das causas das falhas e a geração do plano de ação é feito partir da análise dos 5 Por quês.

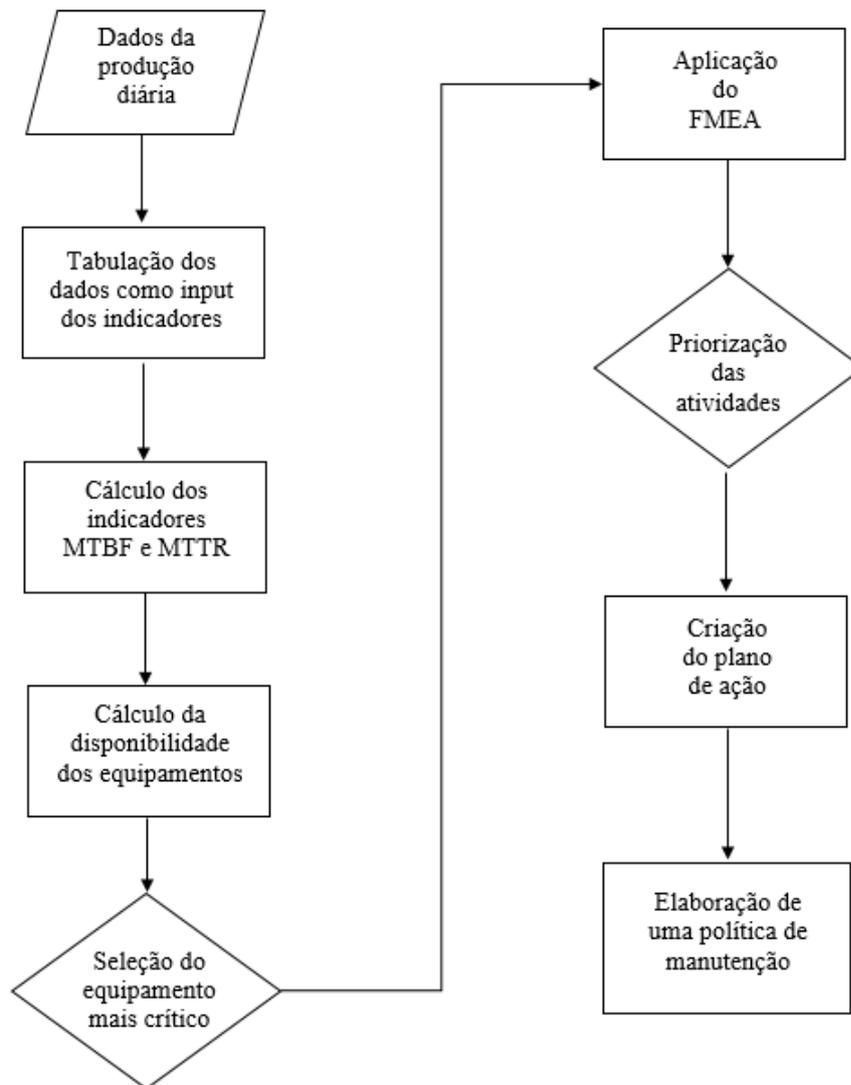
4 MODELO PROPOSTO

A metodologia utilizada para resolver o problema proposto por esse estudo foi pensada com o objetivo de reduzir a subjetividade nas tomadas de decisão da manutenção, fazendo com que as contra medidas ajam na causa fundamental dos problemas e as ações sejam priorizadas e cumpridas antes que as falhas ocorram novamente. No modelo atual utilizado pela empresa não existem níveis de prioridade pré-estabelecidos, então, ocorre que após a avaliação da gerência e supervisão são priorizadas as ações para remoção de falhas que os mesmos consideram que sejam mais relevantes. Este critério leva em consideração cada problema de forma isolada, por isso ocorrem erros, porque pode existir um problema tão importante quanto os problemas prioritários que é alocado no final da fila e problemas menos importantes que são tratados com uma urgência desnecessária.

Antes de conceber o modelo e aplicá-lo na prática, foi realizado, inicialmente, um levantamento de publicações recentes que aplicassem os indicadores de manutenção na indústria, e em especial na indústria de alimentos. Baseado nos estudos de Ben, Mohamed & Muduli (2021) e Zeng, Shao & Hao (2021), foi elaborada uma sistemática para tratar os problemas da manutenção na empresa estudada. Foi notado que dentre os indicadores de manutenção conhecidos, o MTBF e o MTTR são os mais difundidos e utilizados, especialmente quando se quer calcular um outro indicador, que é a disponibilidade dos equipamentos. Portanto, para aplicar o modelo foi preciso fazer uma triagem dentre os vários equipamentos da fábrica, para identificar quais deles causam indisponibilidade da linha de produção devido à ocorrência de falhas.

Então, para atingir o objetivo deste trabalho, teve de ser escolhido apenas um desses equipamentos listados anteriormente para seguir com o estudo de caso. Para dar mais robustez ao processo de tomada de decisão e priorização das ações de correção dos problemas foi utilizado o FMEA para direcionar o usuário quanto à prioridade para tratamento das não conformidades encontradas. O modelo proposto está estruturado como mostra a Figura 2:

Figura 2 – Etapas para elaboração do modelo proposto



Fonte: O autor (2021)

5 ESTUDO DE CASO

O objeto de estudo dessa pesquisa se trata de uma indústria alimentícia de grande porte, localizada na Região Metropolitana do Recife. O principal produto fabricado na empresa são biscoitos, dos mais variados tipos. Apesar de se tratar de uma empresa jovem, com apenas 7 anos desde a fundação, está repleta de pessoas qualificadas e com experiência nas operações da fábrica. Devido à grande alavancagem nos primeiros anos de existência, a empresa ainda passa por um processo de padronização em diversas áreas e pela consolidação de alguns procedimentos internos.

Dentre as áreas funcionais da empresa está o setor de manutenção, que é estruturado da seguinte forma: a gestão, na qual está inserida a área de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM); e as divisões das áreas técnicas, são elas: mecânica de embalagem, mecânica de fabricação e elétrica/automação. Ao setor de PCM são designadas as seguintes atividades: geração de Ordens de Serviço (OS), planejamento das intervenções de manutenção, compras de materiais para manutenção, acompanhamento de indicadores, entre outros.

5.1 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DO ESTUDO DE CASO

O problema estudado consiste na utilização de indicadores de manutenção, como: MTBF, MTTR e disponibilidade, e também do FMEA, para auxiliar a tomada de decisão dos gestores da manutenção quanto à priorização das atividades de manutenção, com a finalidade de assegurar os equipamentos em boas condições de trabalho. Portanto, busca-se apontar o equipamento que causa maior impacto à produção devido seu tempo de inatividade e propor ações que ajam nas causas raízes do problema, com o intuito de maximizar o seu tempo disponível para operação.

A construção do modelo se dá em duas etapas principais. No primeiro momento, com o indicativo do MTBF e MTTR dos equipamentos, é feita uma análise preliminar daqueles equipamentos que estão elegíveis para um acompanhamento mais detalhado. Na segunda etapa, tendo o equipamento mais crítico apontado, será feito um estudo mais aprofundado nas causas prováveis da quebra e através da aplicação do FMEA serão propostos planos de ação para atuar na mitigação das causas da quebra.

5.1.1 Dados da Produção Diária

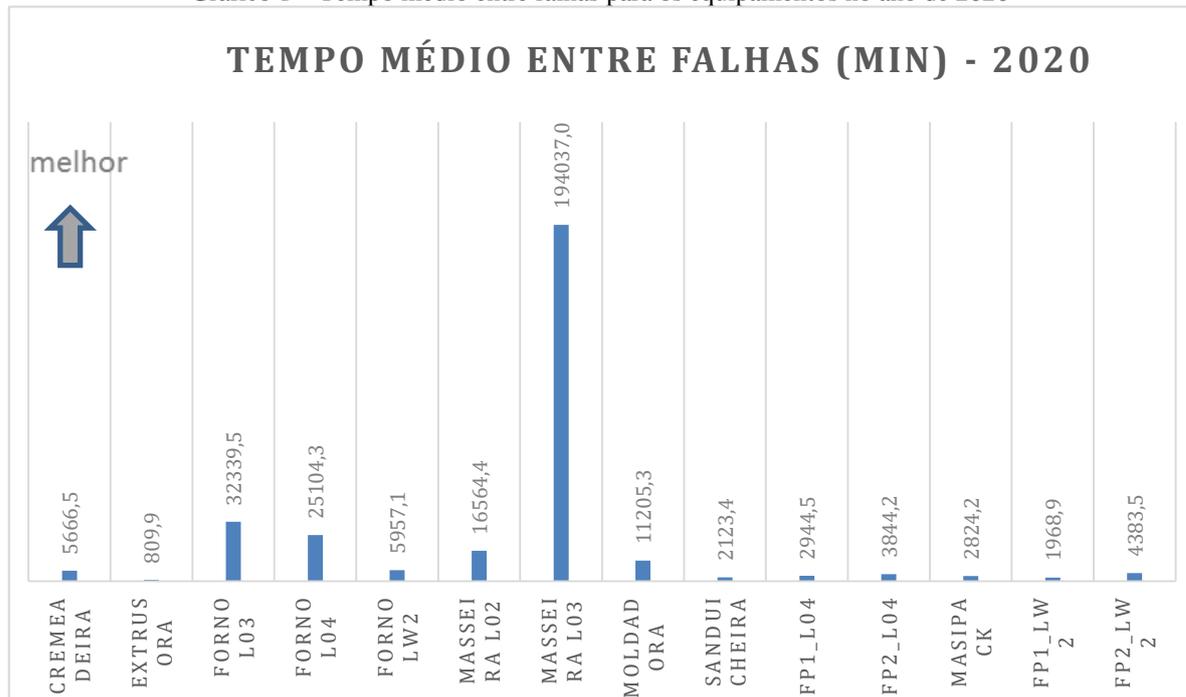
Os indicadores de manutenção foram gerados a partir dos dados de produção diária, são eles: tempo programado de produção, isto é, o tempo do qual é esperado que os equipamentos produzam sem defeitos; e paradas de linha, isto é, o tempo não programado cujo equipamento ficou parado por conta de uma intervenção da manutenção. De posse desses dados é possível obter as informações necessárias para o cálculo do MTBF e MTTR, que são: as horas disponíveis do equipamento para a operação, as horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção e o número de intervenções corretivas.

5.1.2 Cálculo dos Indicadores MTBF, MTTR e Disponibilidade

Nessa etapa foram elencados os equipamentos chave da empresa, aqueles que devido a sua inatividade geram paradas no processo produtivo. Optou-se por tratar as informações agrupadas por ano, com o intuito de observar alguma tendência que possa mostrar uma queda na performance do equipamento. Então para o cálculo do MTBF foi utilizada a equação (3.1) e os dados estão representados nas Figuras 3 e 4, para os anos de 2020 e 2021, respectivamente. Já para o cálculo do MTTR foi utilizada a equação (3.2) e os dados estão representados nas Figuras 5 e 6, para os anos de 2020 e 2021, respectivamente.

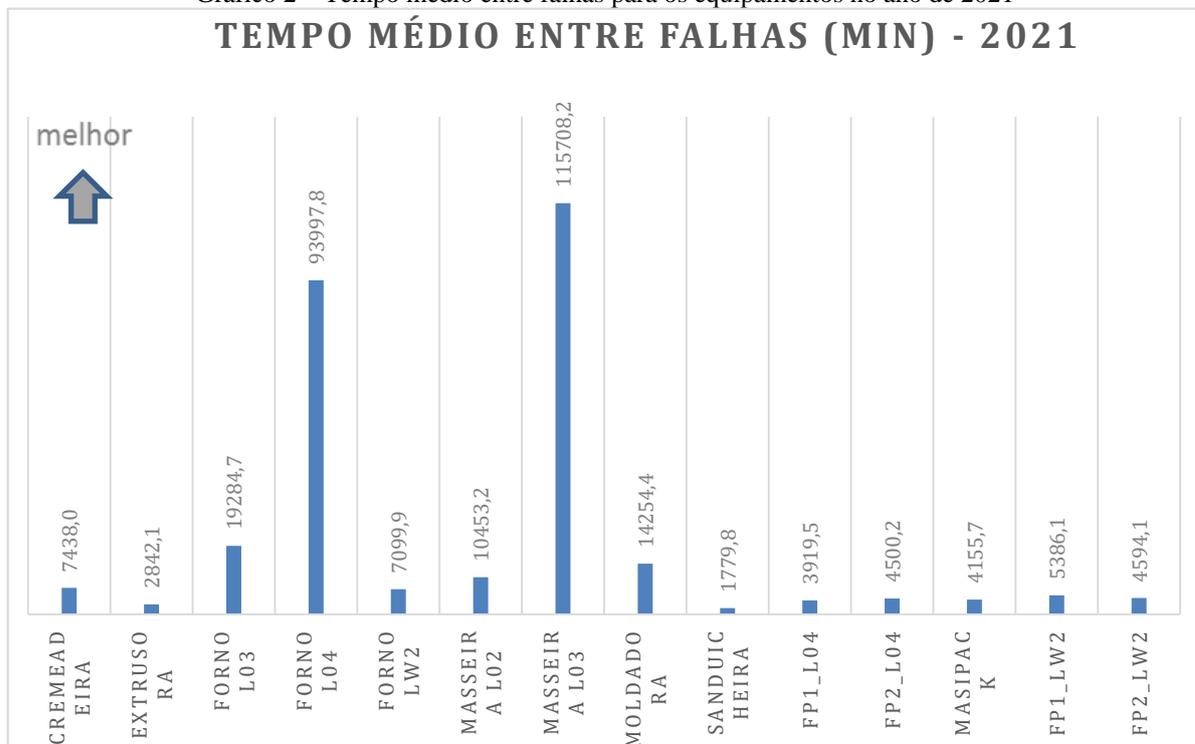
Após a determinação dos valores de MTBF e MTTR para os equipamentos foi calculada a disponibilidade dos equipamentos, mostrada em percentual. Utilizando-se da equação (3.3) e dos valores de MTBF e MTTR foi construída a Tabela 2 para mostrar os valores de disponibilidade dos equipamentos para o ano de 2020 e a Tabela 3 com os valores de disponibilidade dos equipamentos para o ano de 2021.

Gráfico 1 – Tempo médio entre falhas para os equipamentos no ano de 2020



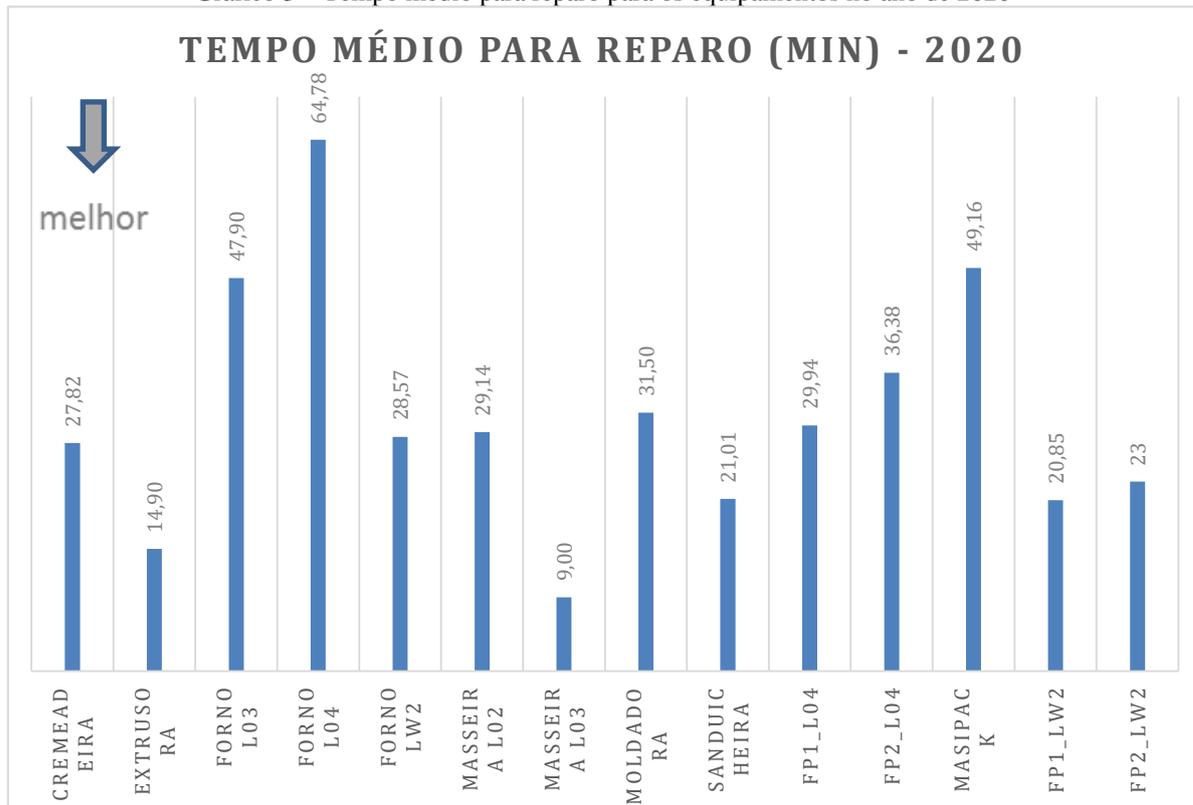
Fonte: O autor (2021)

Gráfico 2 – Tempo médio entre falhas para os equipamentos no ano de 2021



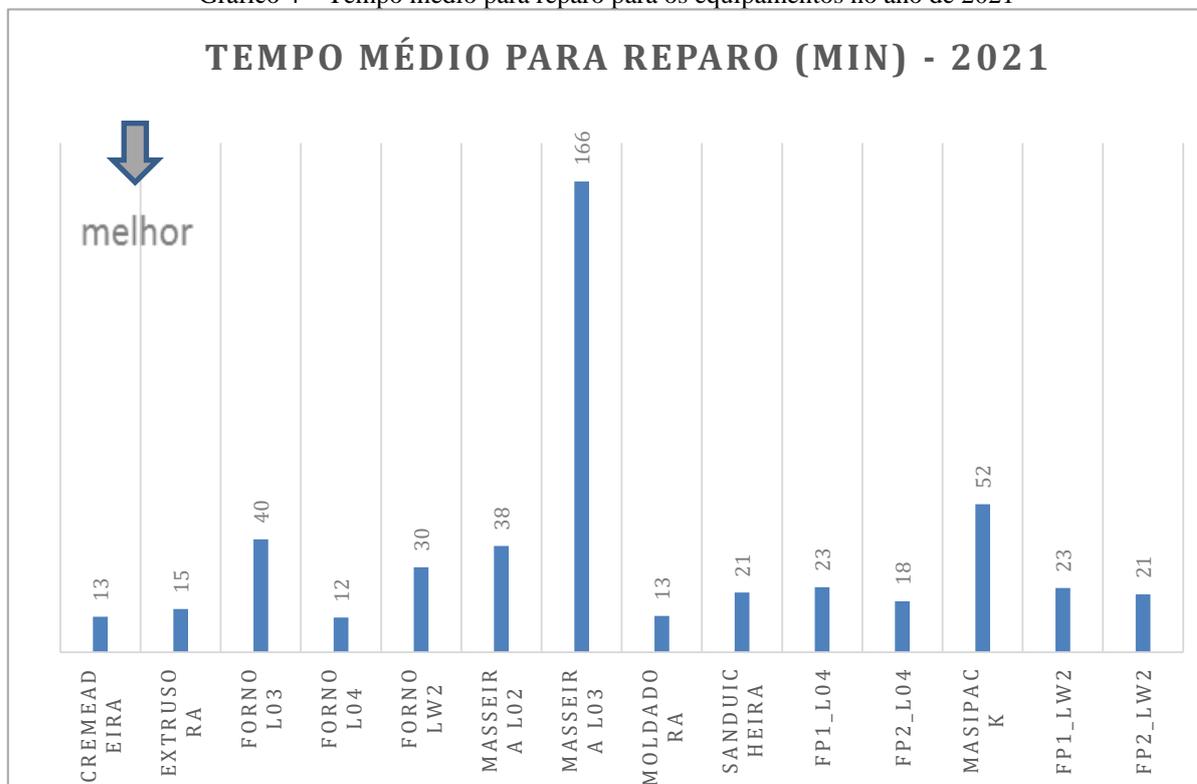
Fonte: O autor (2021)

Gráfico 3 – Tempo médio para reparo para os equipamentos no ano de 2020



Fonte: O autor (2021)

Gráfico 4 – Tempo médio para reparo para os equipamentos no ano de 2021



Fonte: O autor (2021)

Tabela 2 – Dados dos equipamentos para o ano de 2020

EQUIPAMENTOS/ 2020	HORAS DISPONÍVEIS P/ PRODUÇÃO	Nº DE FALHAS	HORAS PARADAS REALIZADAS	MTBF (MIN)	MTTR (MIN)	DISP (%)
Cremeadeira	3872,13	41	19,01	5666,5	27,82	99,51
Extrusora	3010,20	223	55,38	809,9	14,90	98,19
Forno L03	6467,90	12	9,58	32339,5	47,90	99,85
Forno L04	3765,65	9	9,72	25104,3	64,78	99,74
Forno LW2	3872,13	39	18,57	5957,1	28,57	99,52
Masseira L02	6349,67	23	11,17	16564,4	29,14	99,82
Masseira L03	6467,90	2	0,30	194037,0	9,00	100,00
Moldadora	6349,67	34	17,85	11205,3	31,50	99,72
Sanducheira	4600,73	130	45,52	2123,4	21,01	99,02
FP1_L04	2306,50	47	23,45	2944,5	29,94	98,99
FP2_L04	2306,50	36	21,83	3844,2	36,38	99,06
Masipack	1459,15	31	25,40	2824,2	49,16	98,29
FP1_LW2	3872,13	118	41,00	1968,9	20,85	98,95
FP2_LW2	3872,13	53	20,40	4383,5	23	99,48

Fonte: O autor (2021)

Tabela 3 – Dados dos equipamentos para o ano de 2021

EQUIPAMENTOS/ 2021	HORAS DISPONÍVEIS P/ PRODUÇÃO	Nº DE FALHAS	HORAS PARADAS REALIZADAS	MTBF (MIN)	MTTR (MIN)	DISP (%)
Cremeadeira	2603,30	21	4,42	7438,0	13	99,83
Extrusora	2652,61	56	14,30	2842,1	15	99,46
Forno L03	5785,41	18	11,98	19284,7	40	99,79
Forno L04	3133,26	2	0,41	93997,8	12	99,99
Forno LW2	2603,30	22	11,02	7099,9	30	99,58
Masseira L02	5226,60	30	18,82	10453,2	38	99,64
Masseira L03	5785,41	3	8,32	115708,2	166	99,86
Moldadora	5226,60	22	4,71	14254,4	13	99,91
Sanducheira	3737,61	126	44,32	1779,8	21	98,83
FP1_L04	2025,08	31	11,90	3919,5	23	99,42
FP2_L04	2025,08	27	8,13	4500,2	18	99,60
Masipack	1108,18	16	13,96	4155,7	52	98,76
FP1_LW2	2603,30	29	11,00	5386,1	23	99,58
FP2_LW2	2603,30	34	11,62	4594,1	21	99,56

Fonte: O autor (2021)

5.1.3 Seleção do Equipamento Mais Crítico

Com base nos dados apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2 foi escolhido o equipamento “sanducheira” para ser realizado o FMEA. A escolha se deu, primeiramente, por conta da

diminuição do MTBF do equipamento do ano de 2020 para o ano de 2021. Em segundo lugar, foi considerada a importância deste maquinário para a empresa, uma vez que se trata de um ativo que requer um alto valor de investimento e não existe backup para o mesmo. Outro ponto é que esta máquina é responsável por produzir uma família de biscoitos cujo volume de produção é o maior entre todos os produtos da empresa, sendo assim, a sua indisponibilidade afeta brutalmente as vendas do produto que é o carro chefe da empresa. Por fim, se trata de um equipamento especial cuja operação de forma contínua não pode ultrapassar o limite máximo de 72 horas, pois o maquinário deve ter sua utilização interrompida para limpeza e manutenção. Portanto, tem-se uma janela de tempo hábil onde podem ser executados serviços programados de manutenção no equipamento de forma que possa aumentar a vida útil do mesmo.

5.1.4 Aplicação do FMEA

Conforme justificativa apresentada anteriormente, o equipamento sanduicheira foi o escolhido para seguir com a análise das causas através do FMEA. Por se tratar de um equipamento bastante complexo, optou-se por abordar apenas um subconjunto da máquina, chamado multiplicador. A função básica desse conjunto é a de receber as casquinhas, recheá-las formando os biscoitos e multiplicar as ruas de biscoito que entram na máquina, fazendo com que na saída seja entregue um volume maior de produto em uma seção perpendicular ao fluxo da linha. A sua escolha se deu devido ao fato de que as quebras ocorridas na máquina são, majoritariamente, provenientes de falhas nesse conjunto e, por isso, merecem destaque as abordagens para melhoria do seu funcionamento.

Primeiramente, foram preenchidos os campos “Função / Requisitos” da tabela FMEA com as funções ou os requisitos do processo, isto é, cada etapa do processo que acontece durante a passagem do produto pelo equipamento. Em seguida, foram analisados os modos de falha para cada função, ou seja, foram anotados todos os eventos que causam uma diminuição da função do produto ou processo. E, a partir daí, foram vistos os efeitos de cada modo de falha no resultado do desempenho do processo, sendo atribuída uma nota para a severidade da falha para o processo ou a gravidade do efeito da falha para o cliente.

Após o preenchimento dos campos acima foi dada sequência a conclusão da etapa 1 de formulação do FMEA. Nessa fase foram enumeradas todas as possíveis causas que culminaram na ocorrência da falha, e da mesma forma foi atribuída uma nota para avaliar qual a chance dessas causas levarem à ocorrência de falha. E para finalizar essa etapa foram listados os

controles ou mecanismos existentes que têm o potencial de detectar as falhas das possíveis causas identificadas. E, igualmente, foram atribuídas notas à esses controles para expressar a chance que cada mecanismo tem de detectar a falha antes que ela aconteça. Após a atribuição das notas de severidade, ocorrência e detecção, calculou-se o RPN.

A seguir, na Tabela 4, são apresentados os critérios para pontuação da severidade da falha no processo (S), da probabilidade da ocorrência da falha no processo (O), e da detecção da falha no processo (D). Os critérios foram avaliados em uma escala de Likert de 5 pontos (Wu & Hsiao, 2021), portanto os valores para o RPN estão em uma escala entre 1 e 125 pontos, e uma definição foi dada para cada nível de risco para evitar dúvidas e tornar mais assertiva a avaliação. Essa forma de avaliar a prioridade por meio do RPN pode se mostrar eficaz pela facilidade que as pessoas no chão de fábrica tem de assimilar os principais problemas e assim poder chegar mais rápido ao resultado desejado.

Tabela 4 – Escala de avaliação para o cálculo do RPN

Severidade (S)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	Índice
Falha não gera parada de produção, mas causa perda de produto no processo	Em um período maior do que 30 dias	O controle certamente acusará a falha imediatamente	1
Falha não gera parada de produção nem perda de produto, mas causa insatisfação do cliente	Em um período entre 16 dias e 30 dias	O controle é capaz de identificar as falhas de forma visual sem interromper o funcionamento da máquina	2
Falha gera um tempo de parada de até 30 minutos	Em um período entre 2 dias e 15 dias	O controle é capaz de identificar as falhas nas paradas programadas da máquina durante a produção	3
Falha gera um tempo de parada entre 30 e 60 minutos	1 vez ao dia	O controle não pode detectar as falhas em todos os produtos, pois age apenas em uma amostra dos produtos	4
Falha gera um tempo de parada superior a 60 minutos	Várias vezes ao dia	O controle só é capaz de identificar as falhas com a máquina parada	5

Fonte: O autor (2021)

Cabe pontuar que os critérios relativos à severidade não levam em consideração consequências relacionadas a questões de segurança das pessoas e meio ambiente, porque para o equipamento em estudo existem dispositivos que interrompem o seu funcionamento caso surjam anomalias e fazem com que esses dois pontos não se apliquem.

A partir de um estudo de campo realizado junto a um especialista no equipamento foi possível levantar os principais modos de falha para a etapa do processo abordada. O histórico de falhas do equipamento também foi utilizado para obter parâmetros da ocorrência das falhas e os seus efeitos para o produto e/ou para o processo. A seguir, na Tabela 5, são apresentados, para cada modo de falha, as causas, os efeitos e os meios de controle das falhas que são aplicados atualmente e ao final o valor do RPN para cada falha.

Tabela 5 – Tabela do FMEA para o multiplicador

Função / Requisito	Modo de falha	Causa da falha	Efeito da falha	Controles atuais do processo	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN	
Derrubar as casquinhas nos magazines	Casquinha quebrar na entrada do magazine	Biscoito deformado	Alimentação das ruas da sanduicheira interrompida	Inspeção por amostragem do produto na saída do forno	1	2	4	8	
		Biscoito fora de posição			Inspeção visual durante o uso do equipamento	1	5	2	10
		Biscoito fora de posição			Acúmulo de biscoitos nas calhas de entrada do magazine	Inspeção visual durante o uso do equipamento	1	5	2
Empilhar os biscoitos para entregar nas caçambas	Régua do stack empenada	Folga dos parafusos de fixação da régua do stack	Produto batendo nos pinos de arraste	Inspeção da fixação da régua do stack no equipamento	5	3	3	45	
	Selar o biscoito descentralizado	Recheio mole	Biscoito bandeirado	Inspeção visual durante o uso do equipamento	2	1	2	4	
Fazer o sanduíche do recheio com as casquinhas	Altura irregular do trilho de compressão	Abertura insuficiente do trilho de compressão	Quebrar o biscoito na entrada do trilho de compressão	Ajuste de altura da mola guia	1	2	3	6	
	Transporte do biscoito pelo arame guia	Rompimento do arame guia	Trilho de compressão não espreme o biscoito	Biscoito com espessura maior do que o padrão	Gabarito do tamanho da embalagem	1	4	4	16
Fadiga do arame guia devido ao uso			Interrupção do transporte de biscoitos	Inspeção visual quando o maquinário está parado	4	1	5	20	
Erro na montagem do arame guia				Inspeção visual quando o maquinário está parado	4	1	5	20	
Transportar o biscoito no quadro multiplicador	Biscoito não estar devidamente preso no slot de transporte	Arame guia muito tensionado	Não aplicar recheio no biscoito	Inspeção visual quando o maquinário está parado	4	2	5	40	
		Posição do alfinete estar abaixo da superfície da casquinha			Quebrar o biscoito	Ajuste de altura dos arames do slot de transporte	2	1	3
Transportar o biscoito no quadro multiplicador	Caçambas enroscar nas ruas guias de transporte do quadro multiplicador	Grande quantidade de pó no processo	Empenar hastes / Quebrar caçambas / Quebrar pinos	Limpeza por meio de ar comprimido com a máquina rodando	5	5	2	50	
		Recheio encrustado nas caçambas			Limpeza por meio de jato de água com a máquina parada	5	4	5	100
Aplicar recheio centralizado na casquinha	Falha na transmissão da corrente de tração do multiplicador	Falta de lubrificação da corrente de tração do multiplicador	Empenar hastes / Quebrar caçambas / Quebrar pinos	Inspeção visual quando o maquinário está parado	5	2	5	50	
		Falha de sincronismo na passagem da casquinha pelo stencil			Biscoito fora do padrão	Sensor de posição da casquinha	2	2	1

Fonte: O autor (2021)

5.1.5 Priorização das Atividades

Tendo em vista a análise feita na tabela do FMEA, foram identificados nove modos de falha em uma análise que relaciona o subprocesso de rechear o biscoito com a qualidade do produto e do equipamento. A avaliação dos modos de falhas mostram que as causas expressam variações no processo, falta de conhecimento/treinamento dos operadores da máquina e descuido por parte da manutenção com relação aos procedimentos para manutenibilidade do equipamento. Foram listadas as falhas prioritárias e decidiu-se tratar as ações propostas para as falhas que obtiveram o valor para o RPN igual ou superior a 40 pontos, que são elas: Folga dos parafusos de fixação da régua do *stack*; Arame guia muito tensionado; Grande quantidade de pó no processo; Recheio incrustado nas caçambas; e Falta de lubrificação da corrente de tração do multiplicador.

5.1.6 Criação do Plano de Ação

Sendo assim, partiu-se para última etapa do FMEA, onde, após a aplicação das ações propostas, mostradas na Tabela 6, devem ser reavaliadas as notas para severidade, ocorrência e detecção para cada modo de falha a partir das ações tomadas para mitigar as causas das falhas. Para esta pesquisa não foram atribuídas as notas para o RPN após as ações recomendadas, pois devido à limitação de tempo não foi possível avaliar o processo depois da implementação do plano de ação. Embora não tenham sido atribuídas as notas é notório que as ações corretivas irão gerar uma redução do RPN já que, em sua maioria, elas vão atuar no aumento da detecção das falhas e na diminuição da ocorrência das mesmas.

Tabela 6 – Plano de ação sugerido para o multiplicador

Modo de falha	Causa da falha	Ações recomendadas	Ações tomadas
Casquinha quebrar na entrada do magazine	Biscoito deformado	Elaborar padrão de processo para inibir a variabilidade do produto	Inspeção periódica dos postigos do rolo moldador
	Biscoito fora de posição	Otimizar o sincronismo dos transportadores	Ajustar a vibração das calhas de alimentação
Régua do stack empenada	Folga dos parafusos de fixação da régua do stack	Criar plano de inspeção da régua do stack / Treinar os mantenedores na troca dos pinos de arraste	Criação de um plano semanal de inspeção da régua do stack
Selar o biscoito descentralizado	Recheio mole	Inspeção laboratorial dos parâmetros de qualidade do recheio	Nenhuma. Inviável a melhoria na inspeção dos parâmetros de qualidade
Altura irregular do trilho de compressão	Abertura insuficiente do trilho de compressão	Ajustar os trilhos de compressão na altura padrão	Criar POP para ajuste na altura do trilho de compressão
	Trilho de compressão não espreme o biscoito	Ajustar os trilhos de compressão na altura padrão	Criar POP para ajuste na altura do trilho de compressão
Rompimento do arame guia	Fadiga do arame guia devido ao uso	Criar plano de troca dos arames guias	Criação de plano de troca bimestral dos arames guias
	Erro na montagem do arame guia	Elaborar padrão de montagem dos arames guias	Criar LPP para montagem dos arames guias
	Arame guia muito tensionado	Elaborar padrão de substituição e reaperto dos arames guias / Criar plano de inspeção dos arames guias	Criar LPP para substituição e reaperto dos arames guias / Criação de um plano quinzenal de inspeção do tensionamento dos arames guias
Biscoito não estar devidamente preso no slot de transporte	Posição do alfinete estar abaixo da superfície da casquinha	Ajustar os arames de forma a coincidir a superfície da casquinha com a das agulhas	Criação de um POP para ajuste da altura das agulhas
Caçambas enroscar nas ruas guias de transporte do quadro multiplicador	Grande quantidade de pó no processo	Reduzir a quantidade de pó que se desprende da massa / Treinar os operadores para identificar potenciais pontos de sujeira	Inspeção da umidade da massa antes de entrar no forno
	Recheio encrustado nas caçambas	Criar checklist de limpeza com todos os componentes da máquina	Realizar inspeção do acúmulo de materiais nas caçambas durante as paradas programadas da máquina durante a produção
Falha na transmissão da corrente de tração do multiplicador	Falta de lubrificação da corrente de tração do multiplicador	Criar plano de lubrificação para a corrente de tração do multiplicador	Criação de um plano quinzenal de lubrificação
Aplicar recheio descentralizado	Falha de sincronismo na passagem da casquinha pelo stencil	Inserir sensor para rejeição de biscoitos fora do padrão	Nenhuma. Inviável com relação ao custo

Fonte: O autor (2021)

As causas das falhas podem ser divididas em dois grupos, o primeiro é aquele cujas falhas estão ligadas a má qualidade do produto, já o segundo está relacionado aos defeitos do processo quanto à falta ou insuficiência de procedimentos padronizados. Para combater as falhas do primeiro grupo foi sugerido um acompanhamento mais metódico e criterioso dos parâmetros do produto com o objetivo de conter as não conformidades tão cedo quanto elas apareçam. Assim, as etapas seguintes não irão sofrer com a baixa qualidade do produto e o processo tende a ganhar mais fluidez, uma vez que as paradas para ajuste de produto geram retrabalho e perda de matéria prima.

No caso das falhas do segundo grupo, foram adotadas estratégias mais robustas para poder mitigar os problemas com a máquina e, conseqüentemente, com o processo. Foram sugeridas uma série de planos de manutenção para inspeção do equipamento, assim como *checklists* operacionais para detectar pequenas anomalias durante o uso da máquina. Como o equipamento tem um tempo programado de parada durante a semana, as inspeções podem ser feitas por oportunidade, ou seja, aproveita-se o tempo que a máquina não está em operação para poder realizar as atividades preventivas. Dessa forma tem-se um cenário ótimo para realização de atividades de manutenção sem o prejuízo da indisponibilidade do equipamento.

A análise feita através do FMEA mostrou que o recheio que fica incrustado nas caçambas de transporte é a causa mais crítica das falhas no equipamento (RPN = 100), levando o equipamento a sua não operação completa por um longo período de tempo. Os fatores envolvidos que tem influência na ocorrência dessa falha são as ineficiências do processo, que fazem com que essa causa possa surgir, e a falha operacional no controle e mitigação da causa uma vez que ela está presente no processo. Então, como a consequência dessa falha é, inevitavelmente, a não funcionalidade do equipamento por um período maior que 60 minutos, as ações devem ser tomadas no sentido de eliminar a causa raiz do problema que é a aparição de recheio por entre as caçambas de transporte.

Sendo assim, deve-se atuar para conter a ocorrência deste evento evitando os seguintes fatos: aplicação do recheio fora da casquinha, recheio mole, excesso de recheio saindo pelas bordas do biscoito e outros motivos que façam o recheio deixar de estar envolvido pelas casquinhas. E, caso o motivo da falha apareça, que seja eliminado completamente por meio de uma limpeza eficiente por jato de água durante a parada mais próxima para limpeza e manutenção, antes de causar uma falha terminal no equipamento.

A segunda e a terceira falha mais crítica ficaram com a mesma pontuação, RPN = 50. Com respeito à falha devido à falta de lubrificação da corrente de tração do multiplicador é considerado um erro grave por parte da manutenção, uma vez que o fabricante do equipamento informa que esta é uma atividade essencial para o funcionamento do mesmo. Dessa forma, a criação de um plano periódico de lubrificação do componente satisfaz as recomendações de fábrica, e além disso, leva a probabilidade de ocorrência da falha para níveis muito baixos.

Já em relação à falha devido à grande quantidade de pó no processo (RPN = 50), pode-se pontuar que esse é um problema inerente do processo e, portanto, não pode ser eliminado por completo. A ação tomada para mitigar a ocorrência da falha é a atuação no controle dos parâmetros do processo antes da etapa de rechear o biscoito para evitar que a massa seja entregue ao forno com baixa umidade, pois, após o cozimento, o biscoito poderá se esfarelar facilmente e o pó ser levado pelos transportadores até o ponto crítico onde há interrupção do funcionamento a máquina. Uma outra medida mitigatória é o treinamento dos operadores no que diz respeito ao monitoramento, detecção e eliminação de pontos que são propícios ao acúmulo de pó, dessa forma a falha pode ser controlada rapidamente.

A quarta falha mais crítica, foi a folga dos parafusos de fixação da régua do *stack* (RPN=45). Ela é igualmente uma falha que leva ao não funcionamento da máquina, pois resulta na interrupção da transmissão do produto devido a batida dos pinos de arraste do produto. O defeito ocorre pelo excesso de vibração durante o funcionamento da máquina, porém por estar em um local de difícil acesso e que oferece risco para o mantenedor, é necessário que seja feita uma inspeção com o equipamento parado. Por isso, uma das ações propostas é a criação de um plano de inspeção da régua do *stack* quanto a sua fixação, que tem como objetivo reduzir a possibilidade de folga do componente. Outra ação é o treinamento dos mantenedores quanto as operações exigidas na substituição dos pinos de arraste dos biscoitos, pois, na opinião do especialista consultado nesta pesquisa, existe uma margem para redução do tempo de troca desse componente, e conseqüentemente, redução da severidade.

A quinta falha mais crítica (RPN = 40) foi o estado do arame guia muito tensionado. Este componente tem uma vida útil média de três meses para o equipamento no qual se realizou o estudo de caso, pois a sua vida útil depende das horas trabalhadas. Trata-se de um componente em uma localização de difícil acesso, entretanto a inspeção do seu tensionamento e estado de conservação pode ser feita em poucos minutos. Portanto, foi recomendada a elaboração de uma LPP (Lição Ponto a Ponto) para padronizar e difundir o conhecimento à respeito dos parâmetros

utilizados e das atividades necessárias para a correta substituição e reaperto dos arames guias. A partir daí, com as informações técnicas repassadas para todos do setor de manutenção, a inspeção periódica do tensionamento do arame guia é uma atividade sugerida para diminuir a ocorrência da falha.

5.1.7 Elaboração de uma Política de Manutenção

Com a avaliação das falhas realizadas e as ações para eliminação dos modos de falhas sugeridas, foi feita a criação de uma política de manutenção preventiva para o equipamento. Como já mencionado anteriormente, o equipamento em estudo necessita que haja parada para limpeza em, no máximo, 72 horas de operação contínua. Então, nessa janela de tempo a manutenção tem uma parcela de tempo para realizar suas atividades aproveitando a oportunidade de ter a máquina parada.

Por isso, foi elaborada uma política de manutenção preventiva para realizar serviços de manutenção na máquina visando atacar as anomalias encontradas, diminuir as quebras inesperadas durante a sua operação e aumentar a disponibilidade do equipamento. Dessa forma as atividades de manutenção podem ser realizadas favorecendo aquelas que vão atacar as falhas que causam maior tempo de parada da linha de produção, aquelas que ocorrem com maior frequência e aquelas que têm métodos de detecção de falhas menos eficazes.

Como foi visto nos tópicos anteriores, as ações foram tomadas seguindo duas direções: a primeira focalizou a melhoria da qualidade do produto, enquanto a segunda buscou o aumento da padronização dos processos. Em sua maioria, as ações trataram da inspeção dos parâmetros de qualidade do produto e da criação de planos de manutenção para inspeção ou troca de componentes do equipamento estudado. Então, por parte do PCM, as tarefas necessárias para execução dos serviços foram cadastradas nos seus respectivos planos de manutenção dentro do *software* de gestão das ordens de serviço. A gestão dos recursos também foi feita para evitar que atividades conflitantes pudessem acontecer simultaneamente, assim como para otimizar a mão de obra e o tempo disponíveis para realização dessas atividades.

Sendo assim, uma vez realizado um estudo para priorizar e eliminar falhas potenciais do equipamento, cabe ao setor de manutenção acompanhar o desenvolvimento dessas atividades, gerando indicadores de desempenho, garantindo a sua execução dentro do prazo e propondo melhorias para que os métodos atuais sejam desenvolvidos, novas falhas sejam tratadas e cada vez mais possam ser realizados serviços de forma preventiva.

6 CONCLUSÕES

O setor de manutenção muitas vezes é tido como uma área da empresa que apenas gera despesas nas suas operações. De certa forma essa afirmação pode ser tomada como verdadeira, à medida que as pessoas envolvidas na gestão da manutenção negligenciam o planejamento das suas atividades. Uma gestão competente é capaz de gerar lucros para empresa mesmo realizando muitas atividades de manutenção, porque, geralmente, os maiores custos da manutenção estão relacionados às tarefas que foram mal executadas ou ficaram incompletas.

Então, neste estudo foi realizado um acompanhamento e análise dos modos de falha de um equipamento crítico para a empresa com o objetivo de propor um plano de ações que venha a gerar uma política de manutenção preventiva para este equipamento. Para tanto, utilizou-se das informações geradas pelos indicadores de manutenção aplicados na empresa para determinar dentre todos os equipamentos da fábrica qual deles poderia ser o candidato para realizar um estudo dos seus modos de falha.

Uma vez selecionado o equipamento mais crítico foi feita uma análise mais aprofundada dos seus modos de falhas através da utilização do FMEA. Essa ferramenta foi escolhida devido à sua grande capacidade de gerar informações poderosas de uma forma simples, além de utilizar o RPN como uma escala para priorização das ações que devem ser tomadas. Ao final da aplicação do FMEA, obteve-se um plano de ação com as tarefas sugeridas para diminuição da severidade e ocorrência das falhas e também para o aumento da detecção das mesmas.

Sendo assim, os principais resultados mostraram que as falhas mais importantes para o equipamento estudado poderiam ser evitadas com um tratamento preventivo por parte da manutenção. Esses serviços podem ser realizados durante as paradas programadas para limpeza do equipamento, não impactando o resultado exigido da manutenção que é a disponibilidade dos equipamentos. Então foram criados planos de manutenção sistemáticos para os componentes listados deste equipamento, com a periodicidade de inspeção/troca de acordo com o histórico de falhas.

Um resultado desse estudo que merece destaque é o estabelecimento de critérios que vão auxiliar na priorização das atividades para remoção das falhas. Com a adoção de um padrão para eleger quais serviços de manutenção devem ser executados primeiro, a gestão pode realizar um planejamento mais eficiente de mão de obra e material para realização das atividades, cumprindo com as metas de prazo e custo.

Outro resultado importante é que devido ao direcionamento duplo das análises das causas das falhas e ações sugeridas deste estudo, foi possível enxergar falhas operacionais e dos parâmetros do produto e sugerir ações para que o setor de produção também contribua no bom funcionamento do equipamento.

6.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO E TRABALHOS FUTUROS

Esse trabalho foi desenvolvido especificamente para a empresa estudada, e portanto, a sua replicação em outros estudos vai depender de alguns fatores como: os indicadores de manutenção que serão utilizados, o regime de funcionamento do equipamento, o fluxo de trabalho da linha de produção, se é uma produção em série, uma célula de trabalho, etc. Além disso, a aplicação do FMEA é apenas uma das maneiras de se encontrar as causas fundamentais das falhas, sendo essa ferramenta a que melhor se aplica nesse estudo.

Com relação à estrutura do modelo proposto, uma limitação encontrada nessa pesquisa foi a escassez de dados estruturados da produção para elaboração dos indicadores, por isso o pesquisador coletou apenas os dados dos dois últimos anos para embasar a escolha do equipamento mais crítico. Por questões de tempo, o modelo foi elaborado para estudar um subconjunto de um equipamento, podendo ser estendida para a totalidade dos conjuntos deste mesmo equipamento ou para outros equipamentos. Dessa forma, esse trabalho se limitou a realizar um estudo de caso em apenas um equipamento com o auxílio de alguns indicadores de manutenção e uma única ferramenta para estudo dos modos de falha.

Como sugestão para trabalhos futuros é importante que se utilize a metodologia para priorização de ações nos outros equipamentos da fábrica, podendo ser aqueles apresentados neste estudo ou qualquer outro equipamento que se julgue necessária uma avaliação mais aprofundada dos seus modos de falha. E aliado a análise da disponibilidade dos equipamentos que foi apresentada neste estudo, será de grande valia a avaliação dos custos envolvidos nas atividades de manutenção e a projeção de retorno financeiro para a empresa. Com isso, é possível que a gestão da manutenção tenha uma visão mais estratégica da sua carteira de serviços e possa tomar decisões mais complexas baseadas na interligação de informações vindas de vários pontos do processo produtivo.

REFERÊNCIAS

- AHUJA, I.; KHAMBA, J. Total productive maintenance: literature review and directions. **International Journal of Quality and Reliability Management**. v.25, n.7, p.709-756, 2008.
- ARVANITOYANNIS, I., VARZAKAS, T. Application of ISO 22000 and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Industrial Processing of Salmon: A Case Study. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.48, n.5, p.411-429, 2008.
- ASKARI, R. *et al.* Failure mode and effect analysis:improving intensive care unit risk management processes. **International Journal of Health Care Quality Assurance**. v.30, n.3, p.208-215, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 2. 1994.
- BEN, J.; MOHAMED, A.; MUDULI, K. Effect of Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant. **International Journal of System Dynamics Applications**. v.10, n.3, p.50-66, 2021.
- BEN-DAYA, M.; DUFFUAA, S.; RAOUF, A. **Handbook of Maintenance Management and Engineering**. London: Springer, 2009.
- BHANGU, N. S.; PAHUJA, G. L.; SINGH, R. Enhancing reliability of thermal power plant by implementing RCM policy and developing reliability prediction model: a case study. **International Journal of System Assurance Engineering Management**. v.8, n.2, p.1923-1936, 2017.
- BRANCO FILHO, G. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006. 292p.
- CABRAL, J. S. **Organização e Gestão da Manutenção**. 6 ed. Lisboa: Editora Lidel, 2006. 384p.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2016. 247p.
- CAUCHICK, P. A. (org.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- DANIEWSKI, K.; KOSICKA, E.; MAZURKIEWICZ, D. Analysis of the Correctness of Determination of the Effectiveness of Maintenance Service Actions. **Management and Production Engineering Review**. v.9, n.2, p.20-25, 2018.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008. 200p.

GUPTA, Y.; SOMERS, T.; GRAU, L. Investigation of downtime behaviour of CNC machines: time series models. **International Journal of Quality and Reliability Management**. v. 5, n.2, p.34-47, 1988.

JAIN, K. Use of failure mode effect analysis (FMEA) to improve medication management process. **International Journal of Health Care Quality Assurance**. v.30, n.2, p.175-186, 2017.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009. 384p.

KOUSSAIMI, M.; BOUAMI, D.; ELFEZAZI, S. Improvement maintenance implementation based on downtime analysis approach. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**. v.22, n.4, p.378-393, 2016.

KUMAMOTO, H.; HENLEY, E. **Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists**. 2.ed. New Jersey: IEEE Press, 1996.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003. 311p.

LI, L. *et al.* Sensitivity Analysis-Based Optimization: A Case Study with the MTBF of an Aeronautical Hydraulic Pipeline System. **International Journal of Computational Methods**. v.17, n.5, 2020.

MADUEKWE, V.; OKE, S. Novel Taguchi scheme-based DEMATEL methods and DEMATEL method for the principal performance indicators of maintenance in a food processing industry. **International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics**. 2021.

NURRAHMAN, F.; ATMAJI, F. Performance assessment analysis of UHF machines using Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) analysis methods. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. v.830, n.3, 2020.

OLIVEIRA, J. *et al.* Failure Mode and Effect Analysis for Cyber-Physical Systems. **Future Internet**. v.12, artigo 205, 2020.

PANCHAL, D.; KUMAR, D. Stochastic behaviour analysis of power generating unit in thermal power plant using fuzzy methodology. **Operational Research Society**. v.53, p.16-40, 2016.

PIATKOWSIKI, J.; KAMINSKI, P. Risk Assessment of Defect Occurrences in Engine Piston Castings by FMEA Method. **Archives of Foundry Engineering**. v.17, n.3, p.107-110, 2017.

POPIELARSKI, P. *et al.* Evaluation of the Cause and Consequences of Defects in Cast Metal-Ceramic Composite Foams. **Archives of Foundry Engineering**. v.21, n.1, p.81-88, 2021.

RAPOSO, H. *et al.* Dimensioning reserve bus fleet using life cycle cost models and condition based/predictive maintenance: a case study. **Public Transport**. v.10, p.169-190, 2018.

SHAHIN, A.; AMINSABOURI, N.; KIANFAR, K. Developing a Decision Making Grid for determining proactive maintenance tactics. **Journal of Manufacturing Technology Management**. v.29, n.8, p.1296-1315, 2018.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Novo Polo Publicações, 1999. 148p.

VIANA, H. R. G. **PCM, planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014. 192p.

WINDMARK, C. *et al.* A production performance analysis regarding downtime and downtime pattern. In: 22nd International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2012), Helsinki, 2012. p.809-820, 2012.

WU, J.-Y; HSIAO, H.-I; Food quality and safety risk diagnosis in the food cold chain through failure mode and effect analysis. **Food Control**. v.120, artigo: 107501, 2021.

ZENG, P.; SHAO, W.; HAO, Y. Study on Preventive Maintenance Strategies of Filling Equipment Based on Reliability-Centered Maintenance. **Technical Gazette**. v.28, n.2, p.689-697, 2021.