

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Cleiton dos Santos Saliz

**Manutenção centrada em confiabilidade: Estudo de caso em uma máquina
paletizadora de caixas de uma indústria de bebidas**

Betim
2023

CLEITON DOS SANTOS SALIZ

Manutenção centrada em confiabilidade: Estudo de caso em uma máquina paletizadora de caixas de uma indústria de bebidas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientadora: Prof. Jaqueline das G. Moura Oliveira

Betim
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

S167m Saliz, Cleiton dos Santos
Manutenção centrada em confiabilidade: estudo de caso em uma máquina paletizadora de caixas de uma indústria de bebidas / Cleiton dos Santos Saliz. – 2023.
58 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2023.

Orientadora: Profa. Ma. Jaqueline das Graças Moura Oliveira

1. Manutenção. 2. Confiabilidade (Engenharia). 3. Performance. 4. Automação. I. Cleiton dos Santos Saliz. II. Título.


CDU: 658.58

Cleiton dos Santos Saliz


Manutenção centrada em confiabilidade: Estudo de caso em uma máquina paletizadora de caixas de uma indústria de bebidas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.


Aprovado em: 14 / 07 / 2023 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JAQUELINE DAS GRACAS MOURA OLIVEIRA/
Data: 14/07/2023 14:24:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^(a) Me. Jaqueline das G. Moura Oliveira (Orientador) – IFMG Campus Betim

Documento assinado digitalmente
 REGINALDO VAGNER FERREIRA
Data: 13/07/2023 19:52:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Reginaldo Vagner Ferreira – IFMG Campus Betim

Documento assinado digitalmente
 ROGERIO FERREIRA REZENDE
Data: 14/07/2023 14:11:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Rogério Ferreira Rezende – IFMG Campus Betim

A minha mãe Maria Solange dos Santos,
por todo apoio e dedicação ao longo da
minha formação acadêmica.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A minha equipe de trabalho, por todo apoio e atenção em me ensinar e incentivar durante todo o processo de desenvolvimento deste estudo, sem vocês tudo isso seria em vão.

A minha orientadora professora Jaqueline, pela colaboração a este trabalho e em minha formação como engenheiro.

Aos meus amigos Frederico Marazzi e Matheus Guerra, por todo companheirismo e troca de conhecimento durante a nossa jornada na graduação.

A Cervejaria Juatuba, pela oportunidade de permitir o desenvolvimento do estudo de caso que contribuiu bastante em minha formação profissional e pessoal.

A todos os meus professores que tive ao longo da minha formação acadêmica, vocês são parte desta realização.

Aos meus demais colegas do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, que tornaram um período de longa dedicação em algo divertido.

“Depois de cada noite escura há um dia radiante.” Tupac Shakur.

RESUMO

Desde o início dos processos industriais, a manutenção tem sido a principal ferramenta de garantia de funcionamento das máquinas e equipamentos dos processos produtivos. Sendo assim, os atuais sistemas de produção têm investido fortemente em melhorar gestão e técnicas de manutenção para garantir maiores resultados com relação aos seus indicadores de performance e otimização de custos visando obter maiores resultados e conseqüentemente maiores lucros. Logo, a manutenção centrada em confiabilidade (MCC) é uma metodologia que utiliza algumas técnicas para elaborar a estratégia de manutenção dos equipamentos e auxiliar essas corporações a desenvolverem um programa de manutenção enxuto e sistemático, atingindo os objetivos com relação a performance e custos de maneira eficaz. Portanto, este trabalho tem como foco descrever o processo de implantação da MCC em uma máquina paletizadora de caixas, cuja implementação resultou em uma melhora de desempenho do equipamento, garantindo, portanto, maior confiabilidade e produtividade ao longo do processo de produção. Além disso, mostrar como foi obtido evolução nos indicadores de manutenção no qual foi possível obter uma taxa de falha de 2,55%, redução da indisponibilidade da máquina de 6,09% para 2,47%, paralelo a isso, um aumento de 17 horas com relação ao tempo médio entre falhas e redução de 12 minutos com relação ao tempo médio de reparo das falhas.

Palavras-chave: Manutenção; confiabilidade; performance; componentes.

ABSTRACT

Since the beginning of industrial processes, maintenance has been the main tool for ensuring the operation of machinery and equipment in production processes. Therefore, current production systems have invested heavily in improving management and maintenance techniques to ensure greater results in relation to their performance indicators and cost optimization in order to obtain greater results and consequently greater profits. Therefore, reliability-centered maintenance (RCM) is a methodology that uses some techniques to design the equipment maintenance strategy and help these corporations to develop a lean and systematic maintenance program, achieving the objectives regarding performance and costs effectively. Therefore, this paper focuses on describing the process of implementing RCM in a box palletizing machine, whose implementation resulted in an improvement in equipment performance, thus ensuring greater reliability and productivity throughout the production process. In addition, show how it was obtained the evolution in the maintenance indicators in which it was possible to obtain a failure rate of 2.55%, reduction of the unavailability of the machine from 6.09% to 2.47%, parallel to this, an increase of 17 hours with respect to the average time between failures and reduction of 12 minutes with respect to the average time of repair of the failures.

Keywords: Maintenance; reliability; performance; components.

Lista de Figuras

Figura 01 – Linha do tempo de evolução da manutenção	18
Figura 02- Representação dos tipos de manutenção	20
Figura 03- Representação para classificação das falhas	21
Figura 04- Curva da banheira	24
Figura 05- Representação do surgimento da MCC com relação à outros tipos de manutenção	26
Figura 06- Relação entre MTTR, MTBF e disponibilidade	28
Figura 07- Curva PF para um modelo de manutenção centrada em confiabilidade	29
Figura 08- Fluxograma para elaboração de um RCM	31
Figura 09- Esquema para elaboração da análise estruturada de perdas	32
Figura 10- Ciclo de análise estruturada	33
Figura 11- Gráfico de ineficiência por equipamentos	34
Figura 12- Vista frontal máquina paletizadora	35
Figura 13 – Representação das divisões dos sistemas que compõe o equipamento	36
Figura 14 – Orientação para determinação da estratégia de manutenção	44
Figura 15 –Planos aplicados antes e depois de aplicar o MCC	46
Figura 16 –Comparativo por tipo de manutenção	48
Figura 17 – Gráfico quantidade de planos e custo de manutenção	49
Figura 18 – Gráfico de análise de ineficiência T1-2022 até T1-2023	50
Figura 19 – Desempenho antes do MCC	53
Figura 20 – Desempenho durante do MCC	53
Figura 21 – Desempenho após ciclo de MCC	54

Lista de Tabelas

Tabela 01- Comparação entre manutenção tradicional com a MCC	27
Tabela 02- Parâmetros de trabalho.....	37
Tabela 03- Função dos componentes da máquina Paletizadora	37
Tabela 04- Estratificação de tempo de paradas por falha de componentes	39
Tabela 05 – Exemplificação de modos de falhas comuns em equipamentos	40
Tabela 06- Critérios para determinação do NPR do equipamento - Detectabilidade	41
Tabela 07- Critérios para determinação do NPR do equipamento -Frequência	42
Tabela 08- Critérios para determinação do NPR do equipamento -Gravidade.....	42
Tabela 09- Determinação do NPR para o equipamento	43
Tabela 10- Determinação estratégia de manutenção	44
Tabela 11- Resultado Análise trimestral – T1-2023	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis

IFMG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade

MTBF - Mean Time Between Failures

MTTR - Mean Time To Repair

NBR - Norma Técnica Brasileira

NPR - Risk Priority Number

PAL - Paletizadora

RCM - Reliability Centered Maintenance

Sumário

1	Introdução	15
1.1	Justificativa	15
1.2	Problema	16
1.3	Objetivos	16
1.4	Organização do trabalho	16
2	Referencial teórico	17
2.1	Breve história da evolução da manutenção	17
2.2	Classificação de manutenção	18
2.3	Entendendo como ocorrem as falhas e quebras dos equipamentos	21
2.3.1	Classificação das falhas	21
2.3.2	Análise de falhas	22
3	Manutenção centrada em confiabilidade (MCC)	25
3.1	Surgimento da manutenção centrada em confiabilidade	25
3.2	Fundamentos da manutenção centrada em confiabilidade	26
3.3	Objetivos da manutenção centrada em confiabilidade	27
3.3.1	Disponibilidade	27
3.3.2	Confiabilidade	28
3.3.3	Custo	28
3.3.4	Garantindo os objetivos da MCC	29
3.4	Método para implantação da MCC	30
3.4.1	As sete questões básicas da MCC	30
4	Estudo de caso – Aplicação de um modelo de MCC em uma máquina Paletizadora	31
4.1	Seleção do sistema e coleta de informação	31
4.1.1	Informações do equipamento	34
4.1.2	Divisão do equipamento em sistemas e subconjuntos	35
4.2	Definição dos padrões de desempenho	36
4.2.1	Padrão de desempenho – Paletizadora	36
4.2.2	Padrão de desempenho – Subconjuntos	37
4.3	Determinação das falhas do equipamento	38
4.3.1	Conceituação de modos de falha	39
4.3.2	Análise do modo e efeito de falha – FMEA	40
4.4	Ações preventivas ou contramedidas para inibição das falhas	44
5	Resultados	46
5.1	Planos de manutenção	46

5.2	Planos de manutenção x Custos de manutenção	48
5.3	Performance e eficiência.....	49
5.4	Indicadores de performance de manutenção	50
5.4.1	Taxa de falhas	50
5.4.2	Tempo médio entre falhas (MTBF).....	51
5.4.2	Tempo médio de reparos (MTTR).....	51
5.5	Gráfico em V e desempenho operacional do equipamento.....	52
6	Conclusões	55
7	Referências	56

1 Introdução

Com a modernização e automação dos processos de produção industrial ao longo do tempo, as indústrias criaram um ambiente no qual a confiabilidade e a produtividade de seus sistemas produtivos tornaram-se cada vez mais dependentes do bom desempenho operacional de suas máquinas e equipamentos.

Devido a isso, houve uma necessidade crescente de manter os equipamentos fabris operando em suas plenas capacidades de produção, sendo assim, a manutenção industrial surge com um papel fundamental de garantir que essa condição seja totalmente atendida. No entanto, conforme afirma Xenos (2014), normalmente a manutenção era tratada nos equipamentos industriais como sendo um mal necessário, no qual para manter o sistema produtivo ativo era preciso que houvesse algumas intervenções no equipamento para corrigir algum tipo de falha ou quebra. Consequentemente, a manutenção no seu princípio era baseada em intervenções corretivas, o que causava deterioração forçada no equipamento, além de causar uma parada repentina na produção das fábricas.

Ao longo do tempo este conceito foi mudando devido à necessidade de garantir maior segurança no processo de fabricação industrial, qualidade dos produtos e maior eficiência durante a produção. Atualmente, grande parte das empresas enxerga a manutenção industrial como sendo uma parte de sua gestão estratégica, na qual se torna responsável por auxiliar na obtenção de resultados e indispensável durante toda a cadeia produtiva.

1.1 Justificativa

Para estabelecer uma boa gestão e estratégia de manutenção, é preciso identificar os problemas em uma cadeia produtiva e traçar as metas de onde se pretende chegar para garantir a eficiência de um equipamento. Sendo assim, a manutenção centrada em confiabilidade (MCC) vem como um modelo desenvolvido para auxiliar no gerenciamento e obtenção de resultados, sendo uma estratégia que pauta a manutenção como um meio necessário e importante durante todo o processo industrial.

1.2 Problema

Embora existam diversas técnicas de gerenciar a manutenção para obtenção de resultados, ainda é difícil determinar um modelo de como isso deve ser feito. Há diversos livros e normas técnicas como a NBR 5462 – 1994, que tratam sobre confiabilidade e manutenibilidade¹, porém, aplicar esses métodos para obter resultados como diminuir ou eliminar a chance de uma ocorrência de falha em uma máquina, detectar as falhas em estágio inicial, reduzir custos e otimizar a produção com base na confiabilidade do equipamento, ainda é um processo complexo para diversas empresas.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso no qual foi aplicado um modelo de gestão de manutenção centrada em confiabilidade, mostrando as etapas de identificação do problema, técnicas utilizadas para melhoria dos resultados e um comparativo ao final do ciclo de implementação da gestão da manutenção e ciclo da manutenção centrada em confiabilidade

1.4 Organização do trabalho

Nos dois primeiros capítulos deste trabalho serão abordados os conceitos fundamentais sobre manutenção trazendo desde uma breve história sobre a manutenção até os indicadores usados para desenvolver a estratégia do MCC.

Em seguida, no terceiro capítulo, será abordada a forma como o estudo de caso foi desenvolvido, apresentando as análises necessárias para cada tomada de decisão.

Por fim, no último capítulo, serão apresentados os resultados obtidos após a aplicação do MCC no equipamento escolhido.

¹ Segundo a NBR 5462, manutenibilidade é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas.

2 Referencial teórico

2.1 Breve história da evolução da manutenção

Segundo Viana (2002), o surgimento da manutenção acontece junto à primeira revolução industrial, em que houve a introdução da máquina a vapor, principalmente na indústria têxtil e ferroviária, fazendo com que a produção deixasse de ser puramente artesanal e se tornasse manufaturada. Como neste período o conceito de produtividade e confiabilidade não era algo prioritário, não havia uma sistemática bem definida para execução da conservação dos equipamentos. Conseqüentemente, o tipo de manutenção que predominava na época era corretivo e não planejado.

Posteriormente, conforme afirma Kardec e Nascif (2019), em função dos avanços tecnológicos trazidos por meio da modernização dos processos produtivos, a produção em larga escala passa a ser implementada nas indústrias, tendo como destaque as empresas automotivas sendo as pioneiras nessa aplicação. As indústrias passam então a visar o aumento da produtividade do funcionamento de seus equipamentos. Conseqüentemente, passa a existir uma preocupação maior em manter a disponibilidade do maquinário e a ideia de que as falhas nos equipamentos deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva. (VIANA,2002, p.3)

Além disso, nesta etapa temos um aumento significativo dos custos de manutenção, uma vez que, a princípio, a manutenção preventiva consistia em intervenções em períodos fixos. Paralelo a isso, surge a necessidade de programar e planejar as manutenções, que ainda hoje são parte integrante da gestão de manutenção moderna (KARDEC e NASCIF, 2019, p.3).

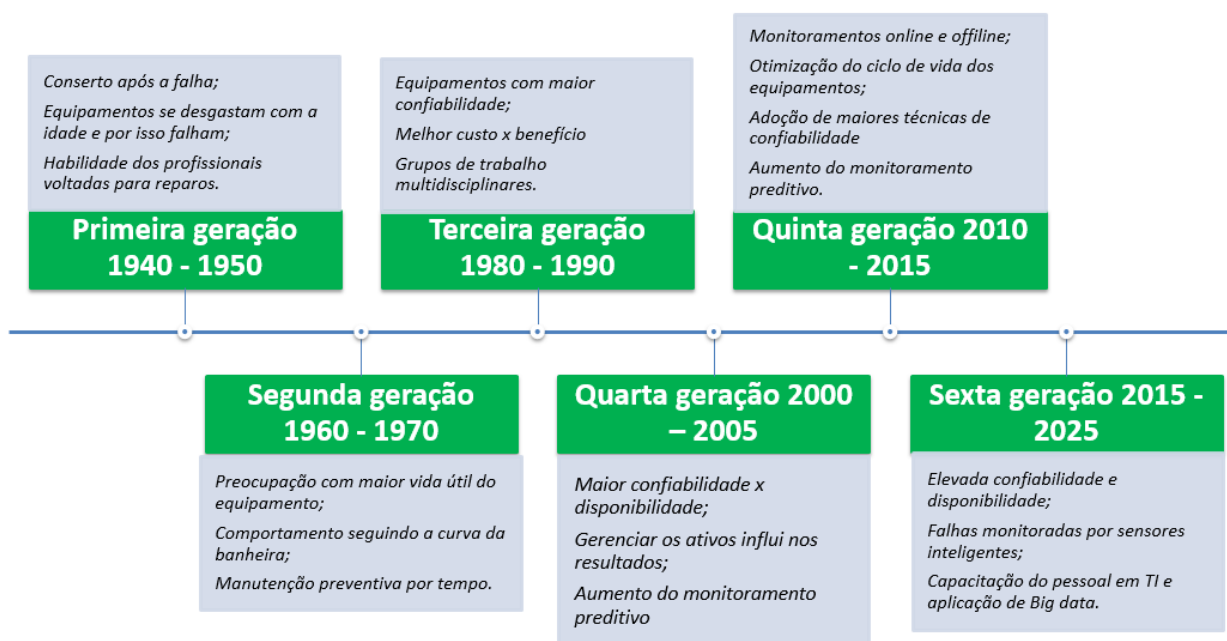
Posteriormente, a partir da década de 1970, a manutenção industrial passa por mudanças ocasionadas pelo processo de modernização dos equipamentos e introdução de sistemas automatizados mais complexos no processo de produção. Além disso, o surgimento do conceito de “*Just in Time*” introduzido pelo Toyotismo, faz com que a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos tornem-se pontos-chaves dentro da cadeia produtiva. Sendo assim, nos anos seguintes até a atualidade, o panorama que rege a manutenção é marcado por uma forte introdução da manutenção preditiva nas fábricas, utilização de *softwares* potentes para

gerenciamento de manutenção, monitoramento da condição de funcionamento dos equipamentos de maneira *online* e *off-line* e utilização de metodologias de gestão da manutenção centradas na confiabilidade dos equipamentos.

Atualmente, os recursos para controle e execução de manutenção dentro das indústrias tem contado bastante com a introdução de novas tecnologias provocadas pela chamada indústria 4.0. Nesta fase, conta-se com ferramentas baseadas em robótica avançada, inteligência artificial, sensores inteligentes, *Big data* e outras ferramentas. Nesta etapa da manutenção, o foco é a grande aquisição de dados dos equipamentos e agir precocemente nos modos de falhas de cada subconjunto da máquina, evitando assim, paradas não programadas de produção, e conseqüentemente redução dos custos de manutenção por meio de um gerenciamento de manutenção estratégico.

Em linhas gerais, pode-se separar a evolução da manutenção em seis etapas conforme a figura 01: (KARDEC e NASCIF, 2019, p.9).

Figura 01 – Linha do tempo de evolução da manutenção



Fonte: KARDEC e NASCIF, 2019, p.9 – adaptado

2.2 Classificação de manutenção

Conforme a NBR 5462 – 1994, pode-se definir manutenção como sendo a combinação entre ações técnicas e administrativas que tem como objetivo recolocar um componente, neste contexto uma máquina, em um estado de atuação em que possa desempenhar suas funções determinadas. Sendo assim, realizar uma

manutenção consiste em aplicar as técnicas necessárias para que uma determinada máquina consiga desempenhar seu papel produtivo, conforme foi especificado e projetado pelo seu fabricante.

Com isso, é possível classificar os tipos de manutenção em seis grandes grupos básicos, sendo eles:

- **Manutenção corretiva:** é aquela que ocorre após uma falha ou quebra do equipamento. Em geral, esse tipo de manutenção ocorre após a deterioração forçada de um equipamento e/ou parte de um conjunto que permite o funcionamento da máquina (BUENO, 2020, p.24).

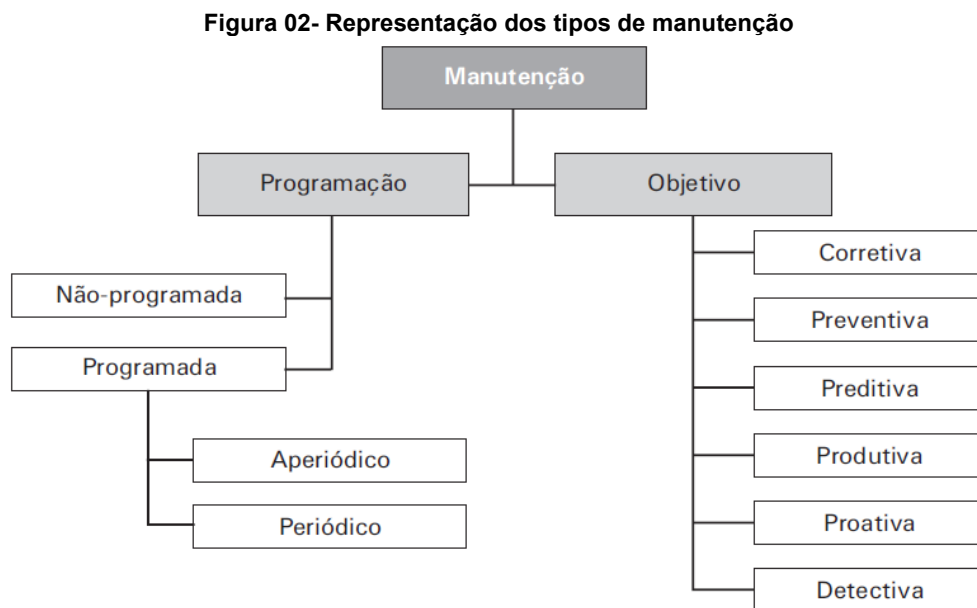
Ainda dentro deste grupo, é possível dividir a manutenção corretiva em duas maneiras, conforme afirma Kardec e Nascif (2019):

- i. Corretivas não planejadas: são as manutenções emergenciais, caracterizadas por ocorrer de maneira imprevisível.
 - ii. Corretivas planejadas: são as manutenções oriundas de uma análise prévia, visando reestabelecer a condição do equipamento em um prazo determinado, embora a condição de falha já esteja presente.
- **Manutenção Preventiva:** segundo a NBR 5462 – 1994, a manutenção preventiva é caracterizada como sendo aquela que visa executar as intervenções para manutenção no equipamento dentro de um prazo específico, ou de acordo com critérios pré-determinados pelo fabricante ou condição do equipamento. Sendo assim, o principal objetivo de deste tipo de manutenção é prevenir a deterioração forçada e a falha do componente físico, detectar possíveis falhas ocultas antes que a quebra ocorra e garantir a confiabilidade do equipamento. Logo, a manutenção preventiva estaria em um nível superior quando comparada com a manutenção corretiva, pois a máquina ainda encontra-se em seu estado de operacionalidade e sem interferir em sua produtividade. (XENOS, 2014, p.25)
 - **Manutenção Preditiva:** esse tipo de manutenção é caracterizado por permitir uma qualidade de serviços desejadas com a aplicação de técnicas de análise como por exemplo o uso de monitoramento por ultrassom, termografia, análises de óleos etc. Embora normalmente tenha um custo mais elevado quando comparada com a manutenção preventiva, nesta modalidade são utilizados meios de supervisão centralizados e amostragens para estudar o equipamento

e reduzir conseqüentemente as intervenções preventivas e principalmente as corretivas (KARDEC e NASCIF, 2019, p.66).

- **Manutenção Produtiva:** Tem como principal objetivo garantir a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos (SIQUEIRA, 2014, p.13).
- **Manutenção Proativa:** Pode ser entendida como a melhor aplicação dos diversos métodos de manutenção, abrangendo todas as etapas do ciclo de vida do equipamento desde seu projeto até o sucateamento. Sendo assim, o principal objetivo deste tipo de manutenção não é apenas evitar falhas, mas também aplicar a melhor combinação de técnicas de manutenção para que a produção não seja comprometida (XENOS, 2014, p.29).
- **Manutenção detectiva:** Neste tipo de manutenção procura-se identificar as falhas que já ocorreram no equipamento, mas que não foram percebidas (SIQUEIRA, 2014, p.13).

A figura 02 exemplifica de modo geral os tipos de manutenção correlacionando o tipo de programação com o seu objetivo.



Fonte: SIQUEIRA, 2014

2.3 Entendendo como ocorrem as falhas e quebras dos equipamentos

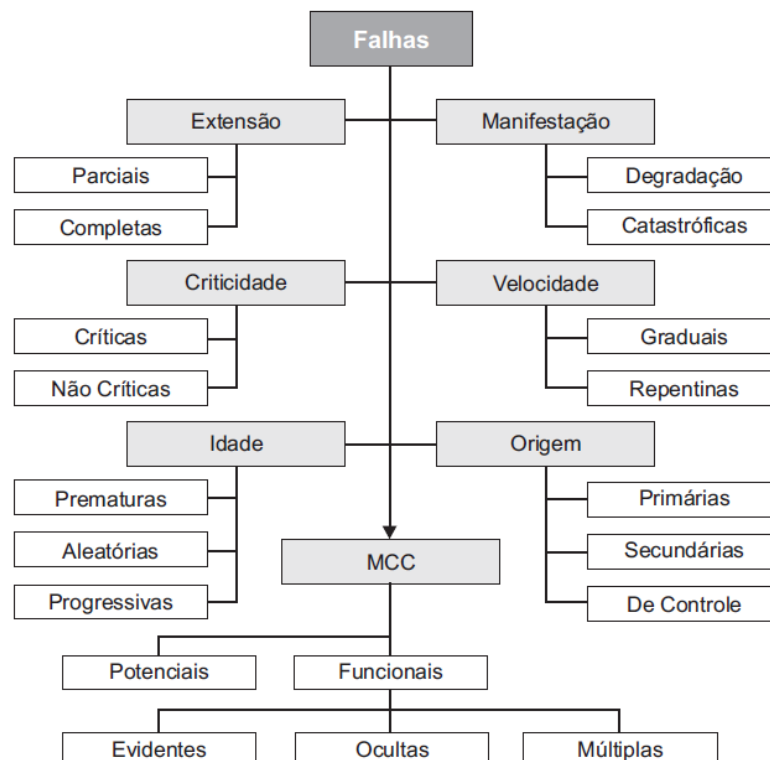
Como é sabido, todo equipamento é projetado seguindo uma especificação que determina sua função básica. Quando essa função previamente determinada não atua da maneira como foi projetada, identifica-se esse estado com o termo “falha” (KARDEC e NASCIF, 2019, p.161).

Conforme o dicionário Michaelis de língua portuguesa, uma falha pode ser definida como sendo a falta de condição perfeita, erro, defeito, solecismo. Em manutenção, considera-se falha como sendo o término da capacidade de uma máquina ou equipamento de desempenhar suas funções determinadas conforme é especificado pela NBR 5462. Com isso, tem-se a diminuição total ou parcial de um componente dentro de uma máquina de desempenhar sua função durante um período de trabalho (XENOS, 2014, p.69).

2.3.1 Classificação das falhas

Para Siqueira (2014) as falhas podem ser classificadas sob vários aspectos, sendo desde sua origem, idade, extensão, criticidade, velocidade e manifestação. A figura 03 representa a organização de como essas falhas estão distribuídas:

Figura 03- Representação para classificação das falhas



Fonte: SIQUEIRA, 2014

No entanto, conforme afirma Siqueira (2014), para os objetivos da MCC, as falhas são classificadas de acordo com o efeito que provocam sobre uma função do sistema. Logo, pode-se usar a classificação para as falhas conforme os itens abaixo:

- A. **Falha potencial:** Nesta etapa é onde tem-se uma perda do desempenho da função requerida do equipamento, aqui já é possível observar os problemas apresentados com maior clareza. Neste ponto é onde geralmente a manutenção preventiva atual, utilizando as técnicas necessárias para manter a operação perfeita do componente (XENOS, 2014, p.79).
- B. **Falha funcional:** Neste estágio, já se tem a perda do equipamento em desempenhar as suas funções. Aqui, pode-se notar uma falha nas execuções de manutenções preventivas e preditivas (TELES,2019, p.18).
- C. **Falhas Ocultas:** Esse é o estágio inicial do processo de falha de um equipamento, nessa etapa ainda não é possível perceber a condição anormal do componente sem o uso de técnicas avançadas de inspeção e análise (SIQUEIRA, 2014, p.54).
- D. **Falhas Evidentes:** Neste tipo de falha pode ser feito a detecção durante a operação do equipamento, sendo de forma clara e fácil de identificar (SIQUEIRA, 2014, p.54).
- E. **Falhas Múltiplas:** É a combinação de uma falha oculta com uma segunda falha, ou evento, que a torne uma falha evidente (SIQUEIRA, 2014, p.54).

2.3.2 Análise de falhas

Segundo Moubray (1997), as análises de falha consistem em identificar as causas fundamentais que levaram à perda de desempenho do equipamento. Para realizar essa identificação, podem-se utilizar diversas ferramentas, desde cálculos estatísticos até *softwares* de medição.

Conforme Xenos (2014), para que seja feita uma boa análise das falhas, primeiramente deve-se saber quais são os equipamentos mais propensos a falhar

com o tempo. Como por exemplo, componentes mecânicos que estão sujeitos a trabalhos que causa estresse ou fadiga, tendem a apresentar falhas mais frequentes durante seu período de trabalho.

Sendo assim, uma boa maneira de determinar essa probabilidade é por meio do cálculo da taxa de falha do componente ou equipamento. A taxa de falha é definida como a frequência em que a falha ocorre num determinado intervalo de tempo, conforme definido por Kardec e Nascif (2019) por meio da equação 01:

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número de horas de operação}} \quad \text{Equação 01}$$

Além disso, outro indicador importante utilizado na análise de falhas é o MTBF (*Mean time between failures*), conhecido como tempo médio entre falhas. Esse método de análise preocupa-se com a quantidade média de tempo em que uma determinada máquina ou equipamento opera antes de apresentar uma falha.

Bueno (2020), afirma que o cálculo para determinar o MTBF de um equipamento pode ser realizado conforme a equação 02:

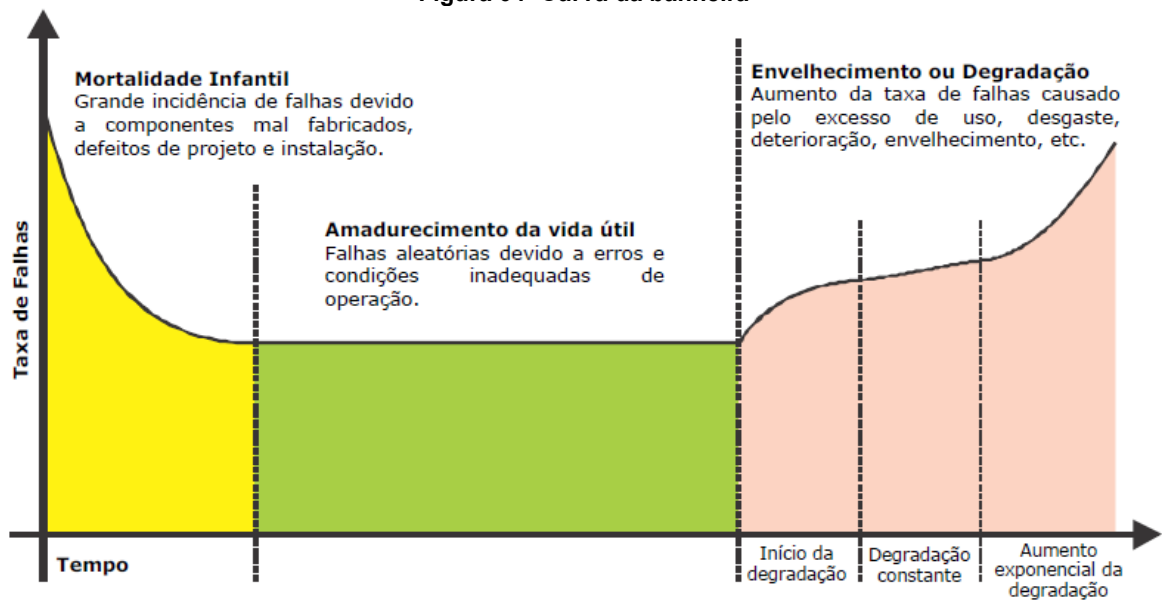
$$MTBF = \frac{\text{Tempo total disponível} - \text{Tempo de manutenção}}{\text{Número de períodos} + 1} \quad \text{Equação 02}$$

Paralelo ao estudo do MTBF, utiliza-se o indicador que mede o tempo médio para reparo dos equipamentos, conhecido como MTTR (*Mean time to repair*). Para Bueno (2020), é possível fazer o cálculo do MTTR conforme a equação 03:

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tempos de paradas de manutenção}}{\text{Número total de paradas}} \quad \text{Equação 03}$$

Por fim, para determinar uma análise mais completa, é possível usar o método da curva da banheira conforme mostra a figura 04. Essa curva representa o comportamento da frequência de ocorrência de falhas para vários tipos de equipamentos. Por meio deste método de análise, pode-se definir os modelos de falhas que podem ocorrer em um determinado componente do equipamento, ou até mesmo na própria máquina.

Figura 04- Curva da banheira



Fonte: GUTIÉRREZ, 2005

Falhas constantes são causadas por eventos aleatórios, resultando em esforços que excedem o que foi determinado para aquele equipamento, e conseqüentemente, resultam em falhas prematuras. Normalmente, nesse ponto é que se tem uma alta taxa de falha, no qual as falhas são causadas por peças defeituosas, erros de projeto, imperícias operacionais, processos de fabricação inadequado, entre outros. (Xenos, 2014, p.70)

Já as falhas de modo crescente, normalmente são causadas devido a fatores como fadiga do material, corrosão e desgastes por atrito. Sendo assim, a probabilidade da ocorrência deste tipo de falha aumente de acordo com que o equipamento envelhece. (Xenos, 2014, p.70)

Paralelo a isso, conforme afirma Xenos (2014) as falhas de modo decrescente é uma característica de equipamentos cuja confiabilidade intrínseca aumenta com o tempo devido a melhorias implementadas e uma estratégia de manutenção bem definida.

3 Manutenção centrada em confiabilidade (MCC)

3.1 Surgimento da manutenção centrada em confiabilidade

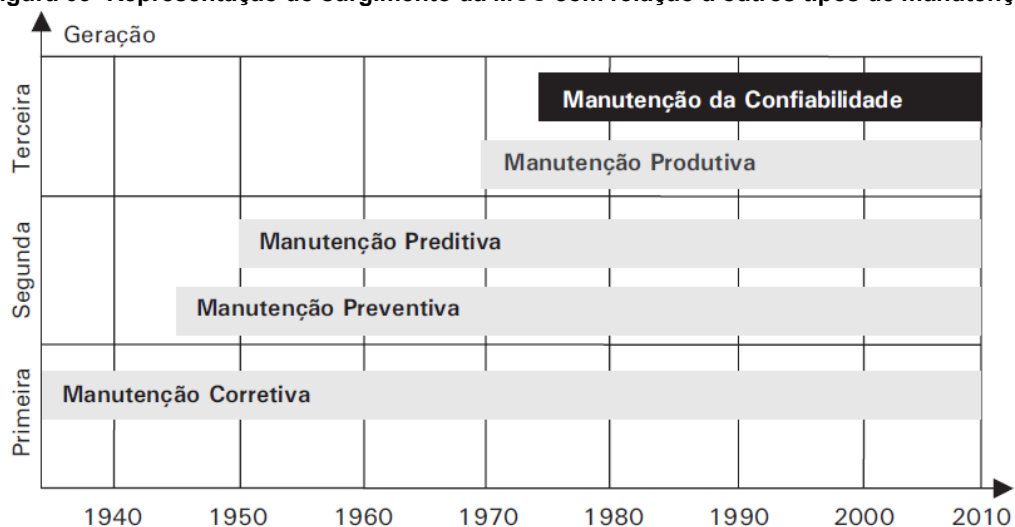
Conforme afirma Siqueira (2014) a origem da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) está diretamente relacionada à evolução dos processos tecnológicos e sociais oriundos após a Segunda Guerra Mundial, sendo que os estudos e pesquisas realizados pela indústria bélica juntamente aos processos de automação industrial foram decisivos para o surgimento deste modelo de manutenção.

Sendo assim, o primeiro registro relacionado ao desenvolvimento da MCC acontece na indústria aeroespacial com o projeto de fuselagem do Boeing 747 em 1964, sendo que a versão original do 747 tinha duas vezes e meia mais capacidade de passageiros que o Boeing 707, um dos grandes aviões comerciais dos anos 60. Efetuando o seu primeiro voo comercial em 1970, o 747 ostentou o recorde de capacidade de passageiros durante 37 anos. (Teles, 2019, p.7)

Em contrapartida, a normalização da MCC ocorreu somente em março de 1999 com a norma IEC 60300-3-11, com recomendações para o desenvolvimento de um programa de manutenção preventiva inicial para equipamentos e estruturas, baseando-se nos relatórios desenvolvidos no projeto do Boeing 747. Sendo que logo após a publicação da norma IEC 60300-3-11, em agosto de 1999 também foi publicada a norma internacional SAE JA1011, "*Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*", contendo os critérios mínimos para que um processo de manutenção possa ser validado como sendo um processo de MCC. (Siqueira,2014, p.8)

Por fim, em janeiro de 2002 os critérios definidos pela SAE JA1011 foram detalhados de forma a originar a norma SAE JA1012 denominada de "*A Guide to the Reliability – Centered Maintenance (RCM) Standard*", que interpreta cada item definido pela norma anterior (Siqueira,2014, p.8). A figura 05 compara o surgimento da metodologia da MCC frente aos tipos tradicionais de manutenção.

Figura 05- Representação do surgimento da MCC com relação a outros tipos de manutenção



Fonte: SIQUEIRA, 2014

3.2 Fundamentos da manutenção centrada em confiabilidade

A manutenção centrada em confiabilidade (em inglês *Reliability Centered Maintenance* – RCM) é uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisando como ele pode falhar e assim define a melhor estratégia para realização da manutenção com o objetivo de prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes dessas falhas. (Kardec e Nascif, 2019, p.200)

Logo, Siqueira (2014) determina os principais objetivos definidos para uma estratégia de manutenção baseada em confiabilidade conforme os itens abaixo:

- Preservar as funções dos equipamentos, com a segurança requerida;
- Restaurar sua confiabilidade e segurança projetada, após a deterioração;
- Otimizar a disponibilidade;
- Minimizar o custo do ciclo de vida (LCC - *Life Cycle Cost*);
- Atuar conforme os modos de falha;
- Realizar apenas as atividades que precisam ser feitas;
- Agir em função dos efeitos e consequências das falhas;
- Documentar as razões para escolha da atividade.

A tabela 01 mostra um comparativo entre as principais características da manutenção tradicional comparadas com o modelo de MCC.

Tabela 01- Comparação entre manutenção tradicional com a MCC

Manutenção tradicional x Manutenção centrada em confiabilidade		
Característica	Manutenção tradicional	Manutenção centrada em confiabilidade
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Deterioração do equipamento	Consequência das falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

Fonte: SIQUEIRA, 2014

3.3 Objetivos da manutenção centrada em confiabilidade

Para Kardec e Nascif (2019), a MCC tem como principal objetivo construir uma estratégia de manutenção no qual é possível preservar as funções dos equipamentos da cadeia produtiva com a maior longevidade possível, mantendo seu padrão de desempenho em segurança, qualidade, meio ambiente, disponibilidade, custos e garantindo sua confiabilidade.

3.3.1 Disponibilidade

Disponibilidade consiste na medida que indica a proporção do tempo total em relação ao tempo que o dispositivo está disponível para utilização. Sendo assim, a disponibilidade de um equipamento se dá pelo tempo em que a máquina se encontra apta a realizar suas funções sem apresentar problemas ou defeitos. (Seleme, 2015, p.100).

Segundo Seleme (2015), é possível calcular a disponibilidade de um equipamento conforme a equação 04:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Equação 04}$$

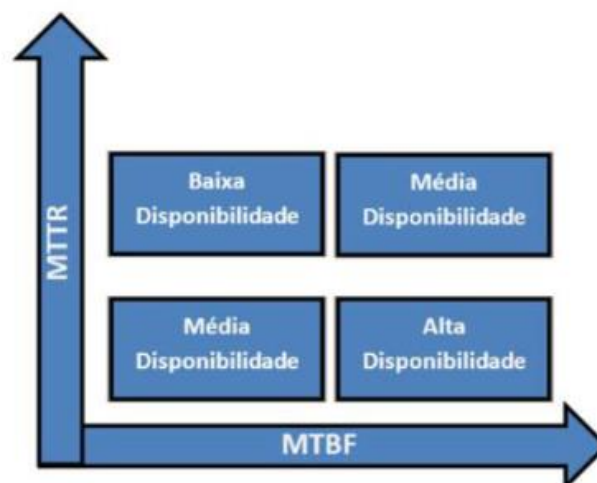
3.3.2 Confiabilidade

De acordo com Seleme (2015):

Devemos entender por confiabilidade a probabilidade de um produto (equipamento, circuito, máquina, peça, sistema, componente etc.), fabricado em conformidade com dado projeto, operar durante um período especificado (o tempo de vida útil) sem apresentar falhas identificáveis.

Sendo assim, pode-se fazer uma correlação entre MTBF, MTTR e a disponibilidade de um equipamento para que seja possível garantir maior confiabilidade conforme mostra a figura 06.

Figura 06- Relação entre MTTR, MTBF e disponibilidade



Fonte: BUENO, 2020

3.3.3 Custo

Sendo um dos pilares referentes a uma boa gestão de manutenção, na MCC um dos focos principais é o custo do ciclo de vida do ativo. Sendo assim, para Teles (2014):

LCC – *Life Cycle Cost* é o Custo do Ciclo de Vida do Ativo. Pode-se resumir como a soma de todos os custos com o ativo desde a sua especificação,

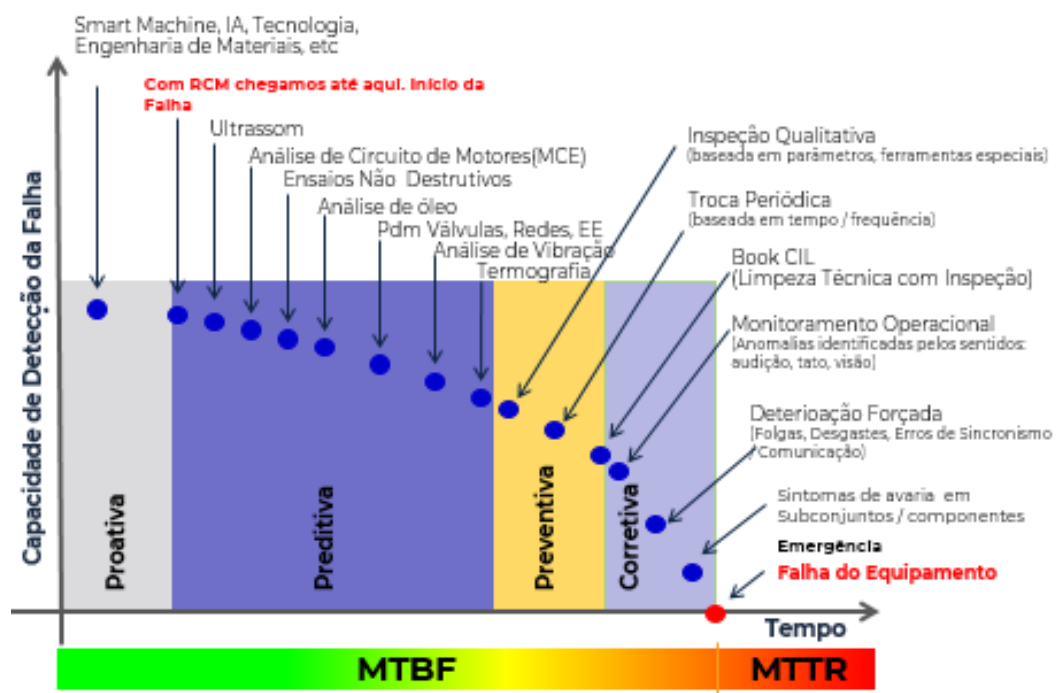
projeto, instalação, comissionamento, operação e manutenção até o seu des-comissionamento, desinstalação e descarte.

3.3.4 Garantindo os objetivos da MCC

Com base nos objetivos da MCC apresentados nos itens anteriores, é possível demonstrar a sua eficiência com base na análise da curva potencial de falhas (PF).

A curva PF (Potencial de falha) representada pela figura 07, mostra em qual ponto da falha conseguimos analisar ao adotar um modelo de manutenção centrada em confiabilidade. Conforme Macedo (2012) esse modelo de curva exhibe o processo de falha do seu início, o qual chama-se de falha potencial até o ponto de falha funcional. Sendo assim, para Júnior (2019), o intervalo entre o ponto P e F é o intervalo em que se pode identificar as falhas no equipamento e corrigi-las antes que a quebra ocorra.

Figura 07- Curva PF para um modelo de manutenção centrada em confiabilidade



Fonte: TELES, 2019 - Adaptado

Portanto, com a aplicação de uma manutenção centrada em confiabilidade, conseguimos trabalhar o mais próximo do ponto P da curva, e conseqüentemente identificar as falhas em seu estado ainda prematuro e com isso, aumentar a

confiabilidade do equipamento, reduzir seu custo de manutenção, garantir maior disponibilidade para operação e atender todos os objetivos estabelecidos pela MCC.

3.4 Método para implantação da MCC

Para estabelecer uma metodologia de manutenção centrada em confiabilidade, necessita-se seguir alguns passos conforme a abordagem clássica da MCC. Conforme afirma Kardec e Nascif (2019), para que esses requisitos sejam atendidos, deve-se focar nas seguintes prioridades:

- (a) Seleção do sistema;
- (b) Definição das funções e padrões de desempenho;
- (c) Determinação das falhas funcionais e de padrões de desempenho;
- (d) Análise dos modos e efeitos de falha;
- (e) Histórico de manutenção e revisão da documentação técnica;
- (f) Determinação de ações de manutenção: Política, tarefas e frequência.

3.4.1 As sete questões básicas da MCC

Além de determinar os requisitos básicos para a implantação da MCC, recomenda-se a aplicação de sete perguntas para direcionar na avaliação e determinação da estratégia de manutenção. (Kardec e Nascif, 2019, p.201)

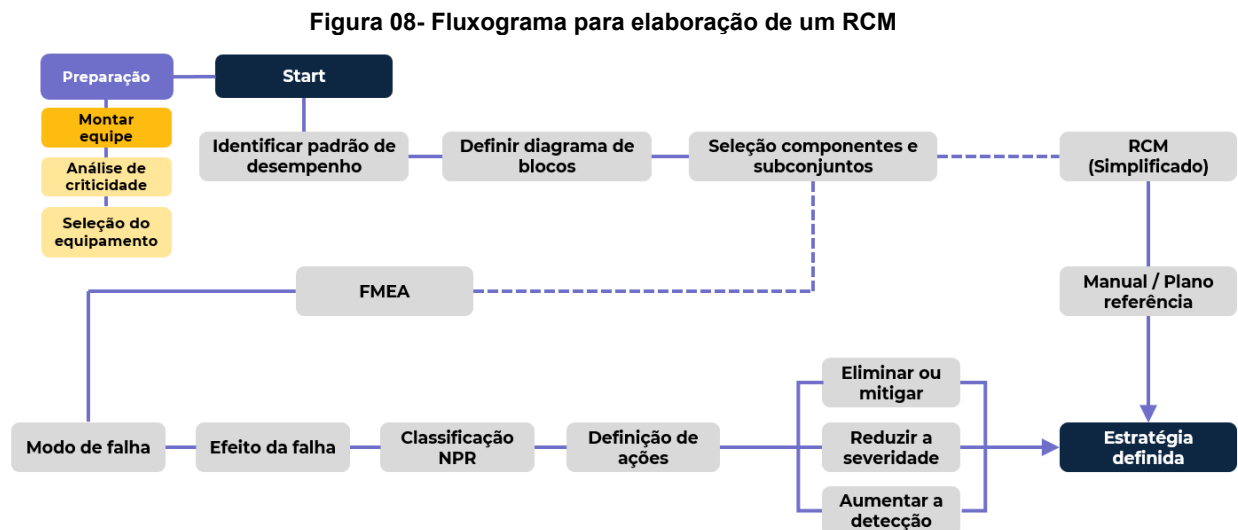
Sendo assim, as sete perguntas que devem ser respondidas antes da implantação do MCC são:

- 1) Quais são as funções e os padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual?
- 2) De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- 3) O que causa cada falha operacional?
- 4) De que maneira cada falha tem importância?
- 5) O que acontece quando ocorre cada falha?
- 6) O que pode ser feito para prevenir cada falha?
- 7) O que deve ser feito, se não for encontrada uma tarefa preventiva apropriada?

Ainda, Siqueira (2014), propõe uma oitava pergunta com o objetivo de otimizar o cálculo da melhor frequência das atividades após a escolha de todas as tarefas de manutenção, sendo essa pergunta:

8) Quais as frequências ideais das tarefas?

Por fim, o fluxograma abaixo representa de maneira visual as etapas para implantação de um modelo de manutenção centrada em confiabilidade. Neste caso, a análise das falhas é realizada utilizando a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) que será melhor abordada no capítulo quatro. A figura 08 ilustra um fluxograma para criação da estratégia de manutenção centrada em confiabilidade baseando-se nas sete questões básicas para definir a MCC.



Fonte: Kardec e Nascif, 2019 – adaptado.

4 Estudo de caso – Aplicação de um modelo de MCC em uma máquina Paletizadora

4.1 Seleção do sistema e coleta de informação

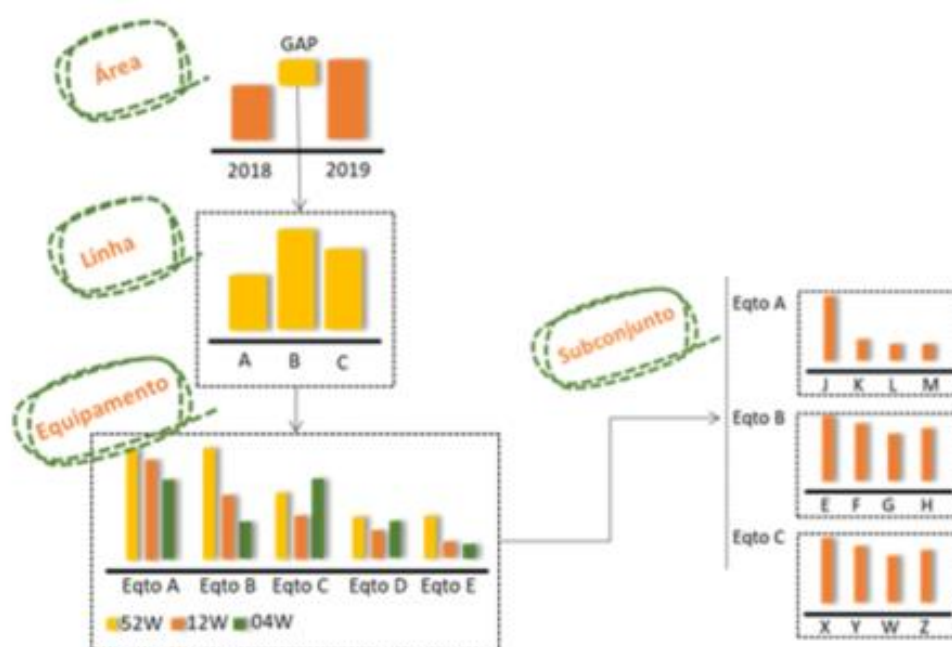
Para definir a seleção do sistema foi realizada em campo uma análise de desempenho dos equipamentos existentes na linha de produção de *packaging* em uma indústria alimentícia no segmento de bebidas, sendo adotado como método a

“Análise estruturada” como referência para escolha de qual máquina faria parte do estudo.

Esse método de análise de dados dos equipamentos consiste em realizar um estudo com base nos resultados de eficiência definidos que compõe o processo produtivo. Assim, é determinado qual equipamento não está atendendo os critérios de desempenho pré-estabelecidos pela companhia e com base nesse resultado é definido o equipamento foco.

A figura 09, representa o modo como é realizada a estratificação dos dados para escolha da máquina como alvo de melhoria para o processo de envaze das bebidas.

Figura 09- Esquema para elaboração da análise estruturada de perdas



Fonte: Autor

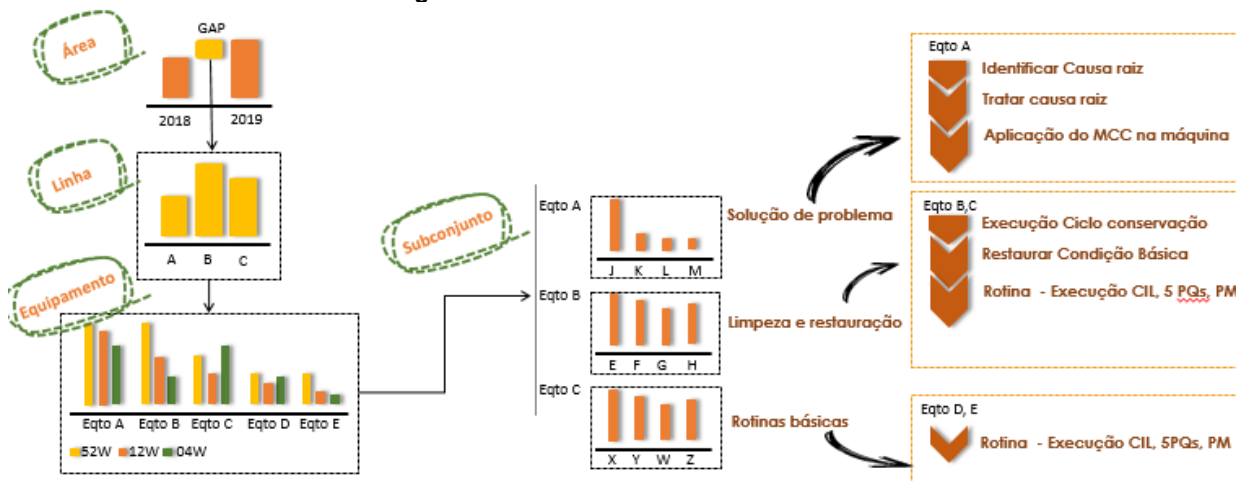
Conforme a figura 09, primeiramente é definida uma área que apresenta os piores indicadores para alcançar um determinado resultado. Após a definição da lacuna a ser melhorada, é realizada a estratificação de qual linha produtiva está impactando mais na obtenção do resultado e assim sucessivamente até chegar ao nível de subconjuntos dos piores equipamentos que impactam no objetivo final.

Para determinar o conjunto a ser estudado, é feita a verificação dos resultados de ineficiência do equipamento durante um período referente a um mês (quatro semanas), três meses (12 semanas) e doze meses (52 semanas), pois assim

é possível diferenciar o que são problemas crônicos de problemas pontuais que possam impactar o desempenho do equipamento.

Após a determinação dos conjuntos que passaram por algum tipo de intervenção, determinou-se as ações adotadas para obtenção dos resultados propostos. A figura 10 representa as ações determinadas após a identificação dos piores equipamentos conforme estabelecido pela análise estruturada.

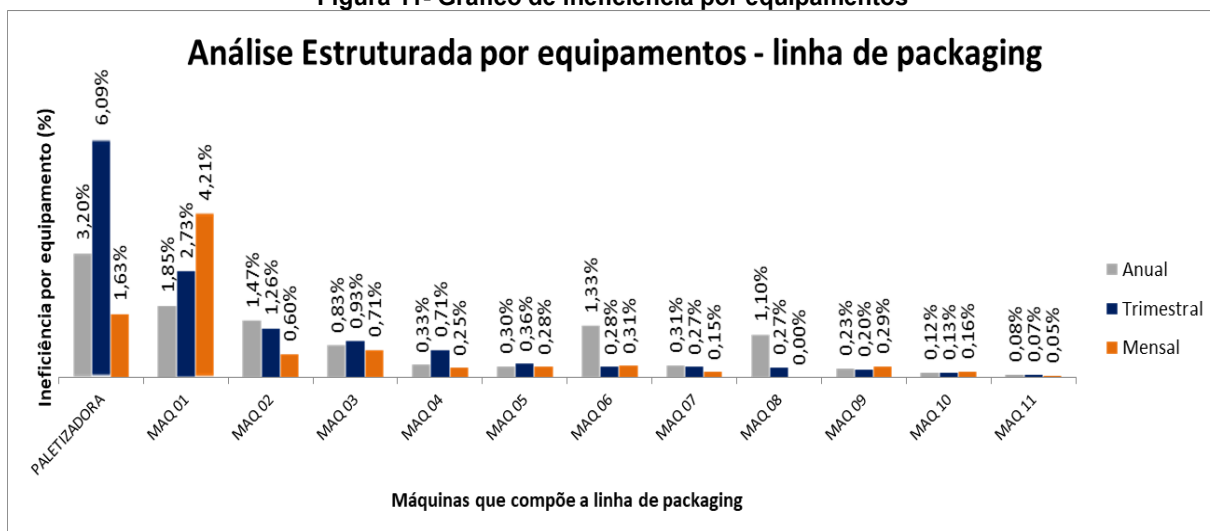
Figura 10- Ciclo de análise estruturada



Fonte: Autor

Para este estudo de caso, as etapas de análise de área e linha produtiva já foram previamente determinadas, portanto, o estudo já está no nível de definição dos equipamentos a serem analisados. A figura 11 mostra o quantitativo referente a ineficiência por equipamento durante o período definido para análise do estudo. Por questões de segurança, os nomes apresentados são fictícios, sendo apenas apresentado o equipamento escolhido para o estudo.

Figura 11- Gráfico de ineficiência por equipamentos



Conforme mostra o resultado de ineficiência das máquinas utilizadas durante o processo produtivo, fica claro que aquele que apresentou os piores resultados foi a máquina Paletizadora, sendo assim, a aplicação do modelo de manutenção centrada em confiabilidade foi usada para esse maquinário.

4.1.1 Informações do equipamento

Após a realização do estudo de análise estruturada, foi definido que o equipamento que passaria pelo ciclo de MCC seria a Paletizadora de caixas, por ser a máquina que apresentou maiores números de ineficiência. A figura 12 mostra uma vista frontal do equipamento, mostrando o seu sentido de trabalho e alguns dos subconjuntos pertencentes à máquina.

Figura 12- Vista frontal máquina paletizadora

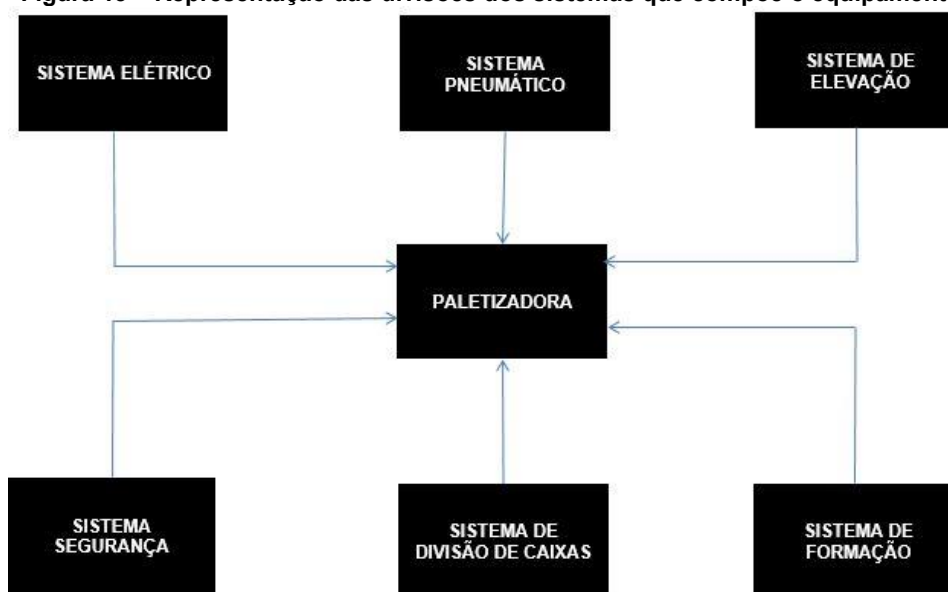


Fonte: Autor

4.1.2 Divisão do equipamento em sistemas e subconjuntos

Como primeira etapa após a seleção do equipamento, foi realizada a divisão do equipamento em sistemas. Esses sistemas servem como base para referenciar o processo de elaboração do MCC. A figura 13 mostra como foi feita a divisão do equipamento em seus respectivos grupos. Neste modelo, tem-se a separação do equipamento em seis sistemas que são responsáveis por realizar em conjunto o processo de paletização das caixas, atendendo os critérios estabelecidos pelo padrão de desempenho do equipamento.

Figura 13 – Representação das divisões dos sistemas que compõe o equipamento



Fonte: Autor

4.2 Definição dos padrões de desempenho

Segundo Zaions (2003), os equipamentos são projetados e desenvolvidos para que assegurem um padrão mínimo de desempenho. No entanto, ao decorrer do tempo em que esses equipamentos vão executando suas funções, seus componentes tendem a sofrer desgastes e conseqüentemente apresentar algum tipo de falha.

Já para Mobley (2008), o padrão de desempenho é a determinação de ações ou exigências que um sistema tem que executar, considerando que esse padrão atende as especificações dos componentes e descreve todos os modos de operação do equipamento.

Sendo assim, esse limite de produção apresentado pelo equipamento é conhecido como capacidade inicial ou confiabilidade inerente do equipamento. Para que se desenvolva um bom modelo de MCC, é necessário que se determine as funções de desempenho do equipamento (Zaions, 2003, p.44).

4.2.1 Padrão de desempenho – Paletizadora

Pode-se definir como padrão de desempenho para a máquina paletizadora como sendo um equipamento que tem como principal função realizar a organização dos pacotes em camadas, confeccionando treze camadas na formação do palete e

com um total de vinte e dois pacotes por camada, totalizando, portanto, um total de duzentos e oitenta e seis pacotes em cada palete formado.

A tabela 02, foi construída junto à equipe de manutenção que é responsável pelos equipamentos da empresa em que foi realizado o estudo. Nela é possível identificar os principais parâmetros de trabalho para o equipamento.

Tabela 02- Parâmetros de trabalho

PARÂMETROS DE TRABALHO	
VELOCIDADE DE TRABALHO	68800 LATAS/ H
Nº DE CAMDAS	13
Nº DE PACOTES POR CAMADA	22
VELOCIDADE DE FORMAÇÃO	3' 20"
TENSÃO DE TRABALHO	220V
TENSÃO DAS SOLENOIDES E SENSORES	24 V
PRESSÃO DE TRABALHO	6 BAR
META DE EFICIÊNCIA	96,5%

Fonte: Autor

4.2.2 Padrão de desempenho – Subconjuntos

Após a definição dos padrões de desempenho geral para o equipamento, foi realizada a definição destes parâmetros para os sistemas que compõem a máquina conforme descrito pela figura 13.

A tabela 03 é um exemplo que descreve a maneira em que é realizado a separação dos sistemas e subconjuntos do equipamento, mostrando a quantidade presente no equipamento e suas funções.

Tabela 03- Função dos componentes da máquina Paletizadora

TABELA DE FUNÇÃO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA PALETIZADORA			
SISTEMA	SUBCONJUNTO OU COMPONENTE	Qtd	FUNÇÃO DO COMPONENTE (Verbo+Objeto+Parâmetro de desempenho)
Sistema de formação	Eletroduto flexível de passagem dos cabos	1	Guiar os cabos elétricos
Sistema de formação	Rolos de comando do braço	10	Realizar o movimento transversal do colocador de cartão
Sistema de formação	Gerador de vácuo	10	Gerar vácuo para sucção dos cartões pelas ventosas
Sistema de formação	Ventosa	10	Succionar o cartão para separar as camadas do palete
Sistema de formação	Mangueiras pneumáticas e Conexões	8	Direcionar ar comprimido para os componentes pneumáticos
Sistema de formação	Correia dentada de movimento da "aranha" - pegador de papelão	1	Movimentar a estrutura que realiza a colocação do cartão nas camadas do palete
Sistema de formação	Polia de tração da correia	2	Tracionar a correia dentada

TABELA DE FUNÇÃO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA PALETIZADORA			
SISTEMA	SUBCONJUNTO OU COMPONENTE	QTD	FUNÇÃO DO COMPONENTE (Verbo+Objeto+Parâmetro de desempenho)
Sistema de formação	Braço do colocador de cartão	1	Guiar a estrutura de colocação de cartão
Empurrador de Pacotes	Correia dentada de movimento do empurrador	1	Movimentar a estrutura que realiza a colocação do cartão nas camadas do palete
Empurrador de Pacotes	Polia de tração da correia	2	Tracionar a correia dentada
Empurrador de Pacotes	Cilindro pneumático do empurrador de caixas	1	Empurrar pacotes para formação do palete
Sistema elétrico	IHM - Interface homem máquina	1	Visualizar e controlar as funções da máquina
Sistema de Segurança	Botoeira de Segurança	1	Parar a máquina em condição de emergência

Fonte: Autor

4.3 Determinação das falhas do equipamento

Com base na classificação das falhas definidas no item 2.3.1, para Siqueira (2014) a estratégia de manutenção deve ser feita da seguinte forma:

Para falhas evidentes, a estratégia deverá necessariamente prevenir a consequência de uma falha simples; já para as falhas ocultas, a estratégia deverá concentrar-se em prevenir a consequência de uma falha múltipla. Em última análise, algumas falhas devem ser prevenidas; outras devem ser permitidas. A MCC postula que as consequências da falha determinem a atitude correta. Antes, porém, elas precisam ser identificadas.

No entanto, Segundo Kardec e Nascif (2019), uma das etapas que compõe o processo de implementação de um modelo de manutenção centrada em confiabilidade é a determinação das falhas ocorridas na máquina. Sendo assim, como parte da etapa de análise estruturada, essas falhas devem ser estratificadas para que sejam definidas as ações para tratativa dos problemas.

Logo, para melhor identificação das falhas foi feita a divisão das paradas por falhas nos equipamentos em duas categorias, sendo elas:

1. Macro paradas: Paradas de produção acima de quinze minutos, sendo elas por quebra do componente ou falha de operação.
2. Micro paradas: Paradas de produção abaixo de quinze minutos, sendo elas em sua maioria dos casos por falha de operação do componente.

Desta forma, a tabela 04 mostra os principais componentes da máquina Paletizadora que apresentaram falha durante o processo de produção.

Tabela 04- Estratificação de tempo de paradas por falha de componentes

Principais falhas durante produção - Paletização		
Componente que apresentou falha	Tempo de macro paradas (horas)	Tempo de micro paradas (horas)
Flap	108,37	29,95
Guia	50,60	115,37
Calha	26,60	6,60
Cabo encoder	25,43	6,95
Corrente	22,13	6,40
Cabo Sensor	19,10	4,57
Rolete	18,63	0,75
Inversor Freq.	17,12	14,18
Barras	15,12	3,35
Fim de curso	14,03	0
Chapa	9,60	2,77
Disjuntor Comando	8,85	3,83
Parafusos	8,67	2,33
Controle velocidade	8,18	5,22
Sensor Indutivo	7,92	3,10
Espelho refletivo	5,08	5,38
Alavanca	3,82	13,08
Disjuntor 380V	3,78	0
Sensor Fococélula	3,77	3,85
Cabeçote	0	8,38
Conexões pneumáticas	0	2,35
Esteira	0	1,97
Garra	0	6,08
Ventosa	0	1,32

Fonte: Autor

4.3.1 Conceituação de modos de falha

Após a identificação das falhas ocorridas no equipamento, o passo seguinte consiste na caracterização de como essas falhas ocorrem, ou seja, analisar os modos de falha dos componentes.

Sendo assim, para Siqueira (2014) podem-se conceituar os modos de falha de um equipamento da seguinte forma:

Ao contrário da falha funcional, usualmente associada a um estado anormal da função do equipamento, o modo de falha está associado ao evento ou fenômeno físico que provoca a transição do estado normal ao estado anormal. Os modos de falha descrevem como as falhas funcionais acontecem, ou seja, o mecanismo de falha ou o que pode falhar. Desta forma, eles também são as chaves sobre as formas adequadas de combate à falha funcional.

Além disso, é importante distinguir modo de falha de causa de falha uma vez que a causa da falha descreve o motivo pelo qual um componente não apresenta sua funcionalidade e o modo de falha descreve o que está de errado com a função do equipamento. (Siqueira, 2014, p.71)

Portanto, no geral, cada componente de um processo pode ocasionar um conjunto de modos de falhas e conseqüentemente cada modo de falha pode ser originado por um conjunto de falhas. A tabela 05 mostra um exemplo de modos e causas de falhas comuns para determinados equipamentos.

Tabela 05 – Exemplificação de modos de falhas comuns em equipamentos

Componente	Modos de falha	Causas da falha
Relé	Contatos curto-circuitados Contatos abertos Bobina interrompida Bobina curto-circuitada	Contatos soldados Sujeira nos contatos Espira aberta Quebra de isolamento
Transformador	Enrolamento curto-circuitado Enrolamento aberto	Quebra de isolamento Espira aberta
Motor	Mancal aquecido Escovas abertas Enrolamento aberto Enrolamento curto-circuitado	Lubrificação insuficiente Escovas desgastadas ou sujas Espira aberta Quebra de isolamento
Servomotor	Vazamento Atuador não retorna	Desgaste dos selos Linhas de fluido bloqueadas
Chave	Contatos curto-circuitados Contatos abertos	Contatos soldados Sujeira nos contatos
Operador	Operação correta no item errado Operação errada no item errado Operação errada no item certo Operação antes do tempo certo Operação depois do tempo certo Não execução da tarefa	Treinamento insuficiente Remuneração insuficiente Supervisão inadequada Formação insuficiente Problemas pessoais Ambiente inadequado

Fonte: SIQUEIRA, 2014

4.3.2 Análise do modo e efeito de falha – FMEA

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2011), é possível definir a Análise dos modos e efeitos de falha, também conhecida pela sigla FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), como:

uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

Assim, o FMEA consiste em ser um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e sugere recomendações para ações preventivas a serem executadas (KARDEC e NASCIF, 2019, p.184).

Ainda para Kardec e Nascif (2019), é necessário pontuar alguns conceitos necessários para fazer uma boa análise de falha, sendo eles:

1. Causa: É meio pelo qual resulta no modo de falha do equipamento.
2. Efeito: É uma consequência adversa para o consumidor, sendo este uma próxima operação ou usuário.
3. Modos de falha: Categorias das falhas que normalmente são descritas para o componente.
4. Frequência: É a probabilidade da ocorrência da falha.
5. Gravidade da falha: Indica como a falha afeta o processo.
6. Detectabilidade: Indica o grau de facilidade de detecção da falha.
7. Número de prioridade de risco (NPR): É o índice que determina a prioridade do risco da falha.

Cálculo do NPR:

$$NPR = \text{Frequência} \times \text{Gravidade} \times \text{Detectabilidade}$$

Sendo assim, para determinar o valor do NPR a ser utilizado na análise dos modos de falha dos equipamentos, foram utilizados pela equipe de manutenção os seguintes parâmetros, conforme representado pelas tabelas 06, 07 e 08.

Tabela 06- Critérios para determinação do NPR do equipamento - Detectabilidade

DETECÇÃO	DESCRIÇÃO	CRITÉRIO - DETECTABILIDADE
1	Baixa	Quando o modo de falha ocorre é possível detectar através de sensoria- mento com método de aviso prévio: alarmes no supervisório, IHM, análi- ses lab., etc.
3	Moderada	Quando o modo de falha ocorre é possível detectar através de ferramen- tas de medição.
5	Alto	Quando o modo de falha ocorre NÃO é possível detectar através de sen- soriamento e nem com ferramentas de medição.

Fonte: SIQUEIRA, 2014 - adaptado

Tabela 07- Critérios para determinação do NPR do equipamento -Frequência

OCORRÊNCIA	DESCRIÇÃO	CRITÉRIO - FREQUÊNCIA	PARÂMETROS
1	Baixa	Não tem histórico de manutenção no componente / conjunto	Probabilidade de ocorrer a falha seja superior a dois anos
3	Moderada	Baixo histórico de atuações no componente / conjunto	Probabilidade de ocorrer a falha seja de um a dois anos
5	Alto	Alto histórico de atuações no componente / conjunto	Probabilidade de ocorrer a falha seja inferior a um ano

Fonte: SIQUEIRA, 2014 - adaptado

Tabela 08- Critérios para determinação do NPR do equipamento -Gravidade

SEVERIDADE	DESCRIÇÃO	CRITÉRIO - GRAVIDADE
10	Segurança	O efeito da falha afeta a segurança (risco de morte) e normas de segurança (sem método de aviso prévio)
9	Segurança	O efeito da falha afeta a segurança (risco de morte) e normas de segurança (com método de aviso prévio: alarmes no supervisão, IHM, análises lab., etc.)
8	Qualidade	O efeito da falha afeta a qualidade e normas de qualidade e não exige método de aviso prévio (alarmes no supervisão, IHM, análises lab., etc.)
7	Qualidade	O efeito da falha afeta a qualidade e normas de qualidade e existe método de aviso prévio (alarmes no supervisão, IHM, análises lab., etc.)
6	Meio ambiente	O efeito da falha afeta um requisito legal de meio ambiente
5	Meio ambiente	O efeito da falha afeta a performance do meio ambiente (obs.: se houver uma forma de contenção não afetará a performance)
4	Produção	O efeito da falha afeta a produção (tempo de parada acima entre 1 hora e 8 horas)
3	Produção	O efeito da falha afeta a produção (tempo de parada menor do que 1 hora)
2	Aborrecimento	O efeito da falha afeta pouco, mas o equipamento opera sem impacto considerável em meio ambiente, qualidade e segurança
1	Sem efeito	Efeito desprezível

Fonte: SIQUEIRA, 2014 - adaptado

A tabela 09 mostra como exemplo a determinação dos modos de falha, tipo de deterioração e efeito de falha para alguns dos componentes presentes no equipamento escolhido seguindo a metodologia determinada pela FMEA. Paralelo a isso, com base no que foi mostrado pelas tabelas acima foi realizado o cálculo do NPR para determinar posteriormente a estratégia de manutenção para cada componente.

Tabela 09- Determinação do NPR para o equipamento

TABELA DETERMINAÇÃO NPR, EFEITOS E CAUSAS DAS FALHAS - PALETIZADORA										
SISTEMA OU CONJUNTO	SUBCONJUNTO OU COMPONENTE	EFEITO DA FALHA	CAUSA RAIZ DA FALHA	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO FALHA EVIDENTE	MODO FALHA OCULTO	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	NPR
Sistema de divisão de caixas	Eletroduto flexível de passagem dos cabos	Deixar de guiar os cabos elétricos	Ressecamento devido a exposição ao ambiente operacional, como temperatura, umidade, sujeira	Natural		X	8	3	1	24
Sistema de formação	Rolos de comando do braço	Não realizar o movimento de colocação de cartão	Falta de lubrificação	Forçada	X		7	5	3	105
Sistema de formação	Gerador de vácuo	Vazamento de ar comprimido perdendo capacidade de acionamento das ventosas	Vida útil do material	Natural	X		6	3	1	18
Sistema de formação	Ventosa	Deixar de Succionar o cartão para separar as camadas do palete	Ressecamento devido a exposição ao ambiente operacional, como temperatura, umidade, sujeira	Natural		X	6	1	1	6
Sistema de formação	Mangueiras pneumáticas e Conexões	Vazamento de ar comprimido podendo comprometer a capacidade de acionamento dos componentes pneumáticos	Ressecamento devido a exposição ao ambiente operacional, como temperatura, umidade, sujeira	Natural		X	6	1	1	6
Sistema de formação	Correia dentada de movimento da "aranha" - pegador de papelão	Trincas, deformações e fissuras, podendo causar ruptura na correia e parada da máquina	Desgaste devido a um movimento e atrito entre borracha e metal	Natural		X	6	1	1	6

Fonte: Autor

4.4 Ações preventivas ou contramedidas para inibição das falhas

Após a determinação dos modos de falha para cada conjunto e calculado o seu respectivo NPR, é necessário elaborar um plano de ação para que sejam inibidas as falhas no equipamento. A figura 14 representa como pode ser realizada a tomada de decisão para cada componente baseado na sua criticidade e no valor calculado para o número de prioridade de risco.

Figura 14 – Orientação para determinação da estratégia de manutenção

CRITICIDADE DOS MODOS DE FALHA NA FUNÇÃO DO EQUIPAMENTO (RCM) MÁX = 250						
CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS	RPN RCM	Maior que 160	Entre 160 e 75	Entre 75 e 40	Menor que 40	
	Criticidade ativo					
A						
B						
C						

Fonte: Cooperativo de engenharia da empresa no qual foi realizado o estudo de caso

Sendo assim, com base na estratégia para aplicação de um modelo de manutenção centrada em confiabilidade, foram estabelecidas as principais ações para reduzir a frequência em que uma falha pode ocorrer no equipamento. A tabela 10 exemplifica as ações determinadas pela equipe de manutenção.

Tabela 10- Determinação estratégia de manutenção

TABELA DE AÇÕES PREVENTIVAS E CONTRAMEDIDAS PARA FALHA DOS COMPONENTES				
SISTEMA OU CONJUNTO	SUBCONJUNTO OU COMPONENTE	AÇÃO PREVENTIVA OU CONTRAMEDIDA	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE PREVENTIVA RECOMENDADA (VERBO+OBJETO+LOCAL+MÉTODO+PARÂMETRO)	PERIODICIDADE
Sistema de divisão de caixas	Eletroduto flexível de passagem dos cabos	Inspeção visual	Verificar se há rachaduras e/ou ressecamento ao longo do comprimento da eletrocalha móvel	Mensal
Sistema de formação	Rolos de comando do braço	Troca mandatória	Realizar a troca mandatória do conjunto de rolos de comando do braço colocador de cartão	Semestral

TABELA DE AÇÕES PREVENTIVAS E CONTRAMEDIDAS PARA FALHA DOS COMPONENTES				
SISTEMA OU CONJUNTO	SUBCONJUNTO OU COMPONENTE	AÇÃO PREVENTIVA OU CONTRAMEDIDA	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE PREVENTIVA RECOMENDADA (VERBO+OBJETO+LOCAL+MÉTODO+PARÂMETRO)	PERIODICIDADE
Sistema de formação	Gerador de vácuo	Inspeção visual	Realizar a inspeção visual dos geradores de vácuo das ventosas de sucção, verificando se há trincas ou rachaduras	Mensal
Sistema de formação	Ventosa	Inspeção visual	Realizar inspeção visual se há ressecamento e rachaduras na borracha das ventosas	Mensal
Sistema de formação	Mangueiras pneumáticas e Conexões	Inspeção visual	Realizar inspeção visual nas mangueiras verificando se há rachaduras, evidência de ressecamento e/ou trincas	Trimestral
Sistema de formação	Correia dentada de movimento da "aranha" - pegador de papelão	Inspeção visual	Realizar a inspeção da correia de movimento da "aranha" verificando a presença de trincas ou rachaduras ao longo do comprimento e nos dentes	Mensal
Sistema de formação	Polia de tração da correia	Inspeção Preventiva	Verificar diâmetro nominal da polia medindo valores nominais, verificar se há presença de rebarba e/ou arestas cortantes	Mensal
Sistema de formação	Braço do colocador de cartão	Inspeção visual	Realizar inspeção visual no braço do colocador de cartão, verificando se há desgaste provido de atrito forçado e /ou rebarbas e arestas cortantes	Anual
Sistema de formação	Correia dentada de movimento do empurrador	inspeção visual / corretiva	Realizar a inspeção da correia de movimento da "aranha" verificando a presença de trincas ou rachaduras ao longo do comprimento e nos dentes	mensal
Sistema de formação	Polia de tração da correia	Inspeção Preventiva	Verificar diâmetro nominal da polia medindo valores nominais, verificar se há presença de rebarba e/ou arestas cortantes	Anual
Sistema de formação	Cilindro pneumático do empurrador de caixas	Troca mandatória	Realizar a troca mandatória dos reparos do cilindro do empurrador de caixas	Anual
Sistema elétrico	IHM - Interface homem máquina	Monitoramento Operacional / Corretiva	Executar teste no touchscreen avaliando se todos os comandos estão funcionando normalmente, em caso de anomalia solicitar manutenção	Diário
Sistema elétrico	Botoeira de Segurança	Monitoramento Operacional / Corretiva	Durante o bloqueio de energia da máquina, verificar integridade da botoeira de emergência avaliando se existe, ressecamento, trinca, fissura ou quebra parcial. Em Caso de anomalia solicitar troca	Semanal

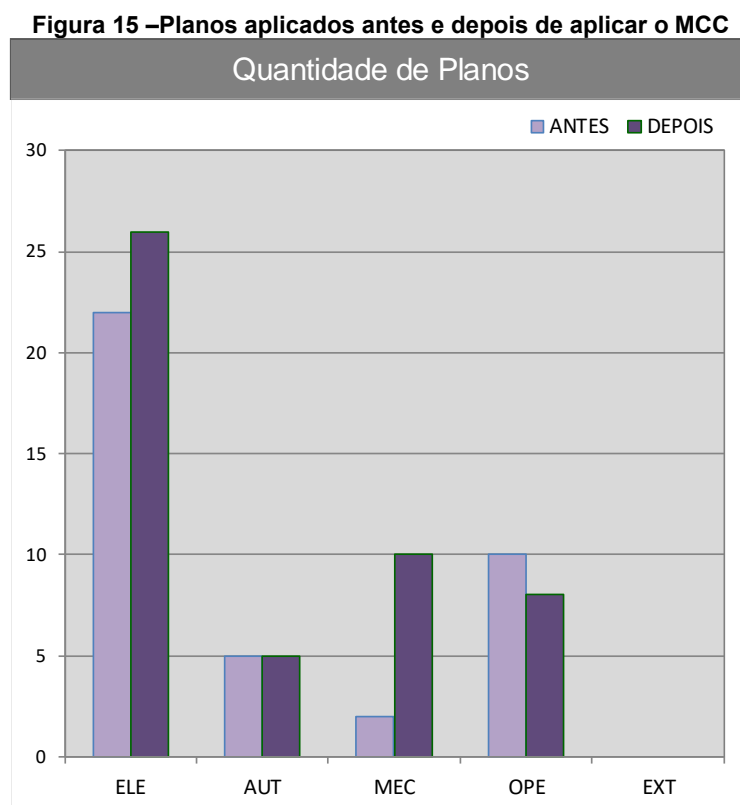
Fonte: Autor

5 Resultados

Após elaboração e aplicação das etapas do MCC, foi realizada a revisão e aplicação dos planos de manutenção no sistema ERP (*Enterprise Resource Planing*) que faz o gerenciamento da planta fabril na qual foi realizado o estudo de caso.

5.1 Planos de manutenção

Como primeira etapa para avaliar a eficiência da aplicação do MCC no equipamento, foi efetuada uma comparação entre os planos de manutenção aplicados na máquina antes e depois dos processos de manutenção centrada em confiabilidade. A figura 15 mostra a quantidade de planos de manutenção aplicados no equipamento antes e depois do ciclo de MCC.



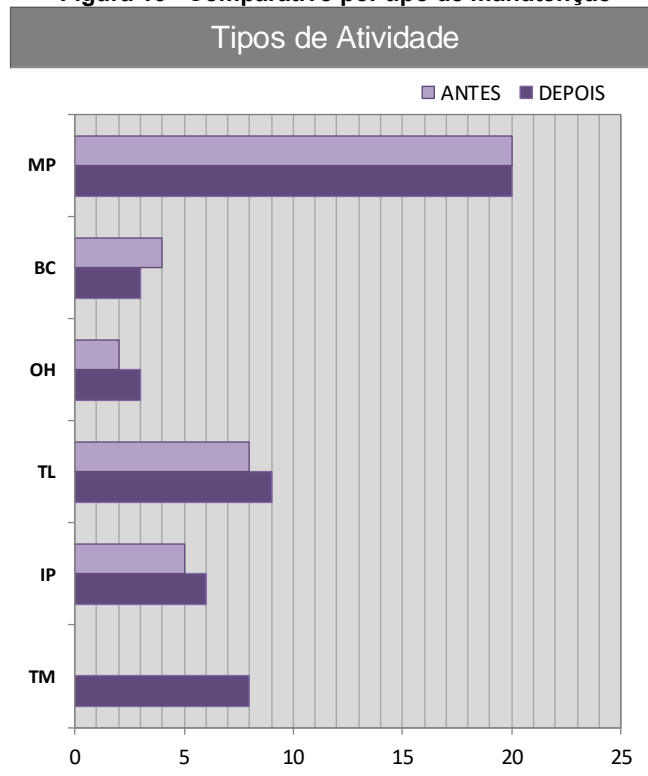
Fonte: Autor

Além disso, pode-se fazer um comparativo por tipo de manutenção e assim verificar como foi definido o plano estratégico para garantia das funções de desempenho do equipamento. Os tipos de manutenção adotados para garantir esses padrões estão definidos conforme abaixo:

- **Trocas mandatórias de peças (TM):** essa manutenção exige que a peça seja trocada independente da sua condição. Normalmente são fixados períodos de horas trabalhadas baseadas nas informações do manual do equipamento ou da peça, além de avaliar as condições de trabalho do componente que pode influenciar diretamente em seu tempo de vida.
- **Inspeções preventivas de manutenção (IP):** Essas atividades são realizadas seguindo parâmetros determinados para comparação, sendo assim, o técnico seguindo procedimentos e parâmetros específicos consegue determinar a melhor estratégia para o componente, sendo ela realizar a troca ou não.
- **Atividades de troca de lubrificante (TL):** Atividade aplicada para equipamentos com lubrificação interna de componentes que não estão sujeitos aos planos de análises preditivas. Um claro exemplo são redutores de máquina.
- **Troca mandatória de “Overhaul” (OH):** Também são atividades de troca mandatória de peças, porém, neste caso as atividades precisam de um tempo de execução superior a 420 minutos.
- **Backups (BC):** São atividades relacionadas a *backup* de programas de PLC's, IHM's e demais equipamentos de controle.
- **Manutenções preventivas (MP):** São as manutenções preventivas em equipamentos, nelas estão inclusas as operações de revisão dos equipamentos, limpeza e algumas inspeções.

Desta forma, a figura 16 mostra o comparativo entre os tipos de manutenção aplicados à máquina antes e depois da adoção da estratégia de manutenção centrada em confiabilidade. Desta forma, pode-se garantir que com a adoção dessa estratégia de manutenção os indicadores de performance do equipamento tendem a ser mais garantidos.

Figura 16 –Comparativo por tipo de manutenção



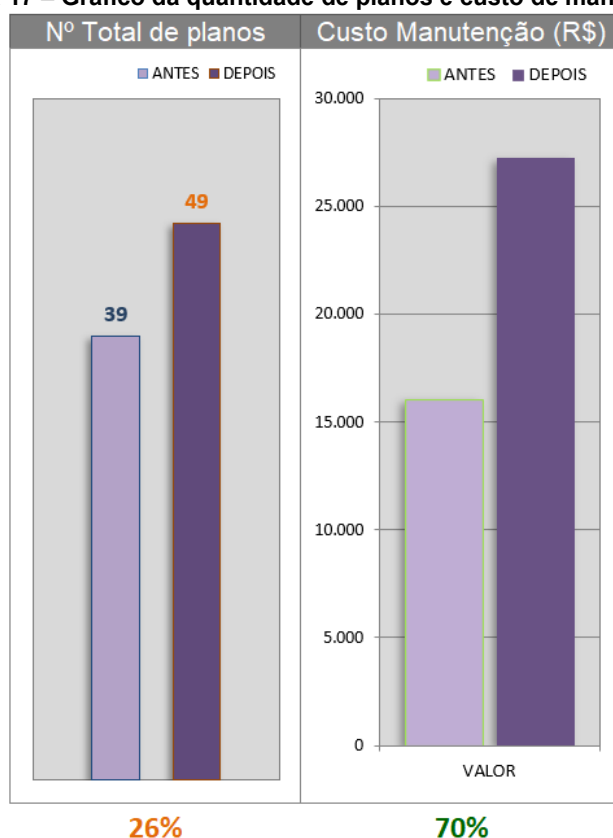
Fonte: Autor

5.2 Planos de manutenção x Custos de manutenção

Um outro ponto que pode ser observado por meio da figura 17 é um crescimento no número de planos de manutenção aplicados para o equipamento. Isso demonstra que em algum ponto anterior à adoção do MCC havia uma falha em garantir a confiabilidade do equipamento. Paralelo a isso, observa-se que após realizar os procedimentos para ganho de confiabilidade do equipamento, tem-se um aumento no custo de manutenção.

O aumento com relação aos custos de manutenção é reflexo da determinação de estratégias de manutenção relacionadas a troca mandatória que anteriormente era inexistente no equipamento. Além disso, vale lembrar que esse escopo é referente a todo plano de manutenção, que por sua vez, inclui diversas periodicidades para execução das atividades.

Figura 17 – Gráfico da quantidade de planos e custo de manutenção

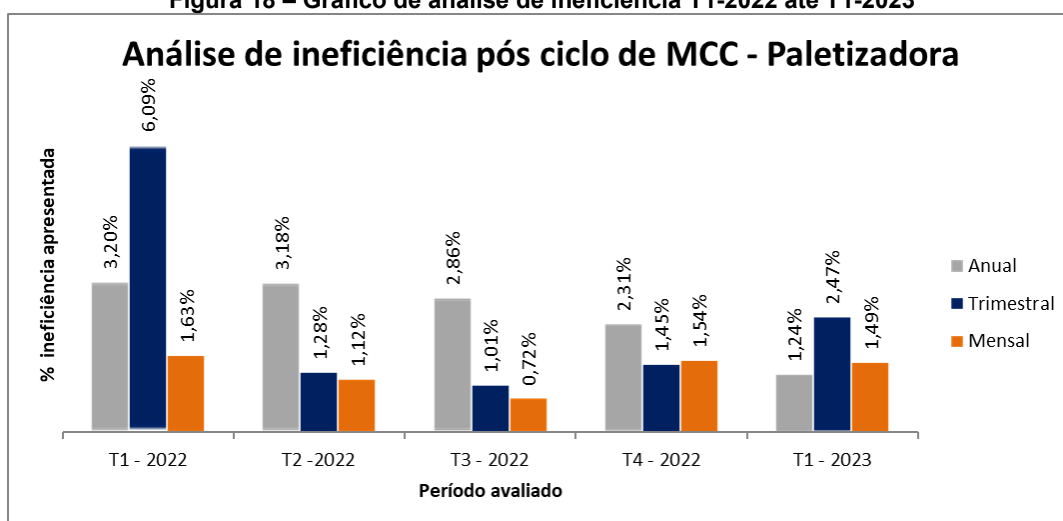


Fonte: Autor

5.3 Desempenho e eficiência

Conforme mostrado no item 4.1 – Seleção do sistema e coleta de informação, nota-se por meio da figura 18 os resultados referentes a performance do equipamento um ano após a implementação do MCC. Pelo padrão de desempenho determinado para a máquina conforme a tabela 02, a meta de eficiência para o equipamento é de 96,5%. Sendo assim, a figura 18 mostra a evolução de performance da paletizadora desde o início da implantação do MCC no primeiro trimestre de 2022 (T1 – 2022) até o primeiro trimestre de 2023 (T1 -2023), fazendo um comparativo entre os valores de perda de eficiência que o equipamento sofreu durante esse período.

Figura 18 – Gráfico de análise de ineficiência T1-2022 até T1-2023



Fonte: Autor

Sendo assim, é possível observar após a análise da figura 18 que o parâmetro referente a eficiência do equipamento definido pelo padrão de desempenho descrito na tabela 02 foi atingido.

5.4 Indicadores de performance de manutenção

Para fazer uma análise comparativa no intervalo de um ano, foi realizada a comparação dos indicadores de performance entre o primeiro trimestre de 2022 onde foi iniciado o estudo para aplicação do MCC no equipamento e no primeiro trimestre de 2023. Além disso, foram consideradas as macros paradas, uma vez que inevitavelmente as micro paradas fazem parte do processo produtivo.

5.4.1 Taxa de falhas

Conforme definido pela equação 01 para determinar a taxa de falha do equipamento, é possível fazer a seguinte comparação:

- Taxa de falha primeiro trimestre de 2022 considerando valores para macro paradas:

$$\lambda_{T1-2022}(\%) = \frac{45}{985} \therefore \lambda_{T1} = 4,57 \%$$

- Taxa de falha primeiro trimestre de 2023 considerando valores para macro paradas:

$$\lambda_{T1-2023}(\%) = \frac{33}{1296} \therefore \lambda_{T1} = 2,55 \%$$

Pode-se notar pelo resultado da análise de taxa de falha que após a aplicação da estratégia de MCC para o equipamento, houve uma redução do número de macro paradas para a máquina. Sendo assim, é possível fazer uma correlação com a curva da banheira representada na figura 04 onde a redução da taxa de falha representa uma redução na mortalidade infantil dos componentes do equipamento e por consequência tem-se um aproveitamento melhor destes componentes.

5.4.2 Tempo médio entre falhas (MTBF)

Paralelo à redução da taxa de falhas no equipamento, pode-se fazer a mesma análise para o tempo médio entre falhas conforme a equação 02 determina, uma vez que ao garantir maior confiabilidade no equipamento é esperado que o intervalo em que as falhas ocorram seja maior.

- MTBF primeiro trimestre de 2022

$$MTBF (h) = \frac{985 - 22}{45 + 1} \therefore MTBF = 21 \text{ horas}$$

- MTBF primeiro trimestre de 2023

$$MTBF (h) = \frac{1296 - 10}{33 + 1} \therefore MTBF = 38 \text{ horas}$$

5.4.2 Tempo médio de reparos (MTTR)

Outro indicador importante para comparação de evolução da confiabilidade no equipamento é o tempo médio para reparar (MTTR) definido na equação 03. Após a estruturação da metodologia de manutenção, pode-se esperar que a resolução dos

problemas quando acontecerem no equipamento seja realizada de uma forma mais rápida e eficiente.

- MTTR primeiro trimestre de 2022

$$MTTR (h) = \frac{22}{45} \therefore MTTR = 0,48 \rightarrow MTTR \approx 30 \text{ minutos}$$

- MTTR primeiro trimestre de 2023

$$MTTR (h) = \frac{10}{33} \therefore MTTR = 0,30 \rightarrow MTTR \approx 18 \text{ minutos}$$

5.5 Gráfico em V e desempenho operacional do equipamento

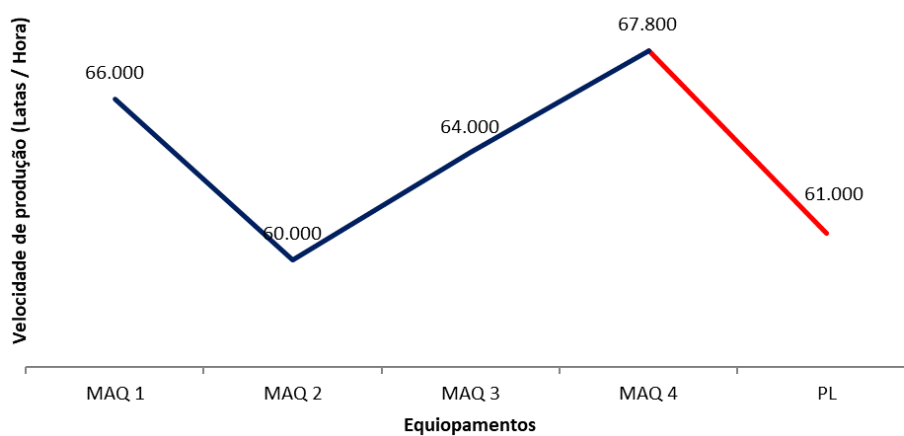
Para poder determinar a velocidade nominal do equipamento para que ele atenda os critérios de produção é utilizada a metodologia da curva em V. Conforme recomendado por Reinold (1997) o formato “V gráfico” tem como objetivo determinar o balanceamento para as velocidades das máquinas que compõem a linha produtiva a fim de estabelecer os melhores valores para produção.

Conforme determinado pelos parâmetros de desempenho para o equipamento, sabe-se que a máquina analisada deveria produzir cerca de 68.880 latas por hora para que sejam atingidas as metas de eficiência e de velocidade de paletização.

Logo, pode-se verificar por meio da figura 19 o quantitativo de latas paletizadas antes de ser aplicado o método de manutenção centrada em confiabilidade no equipamento.

Figura 19 – Desempenho antes do MCC

Produção Latas por hora PL - Antes do MCC

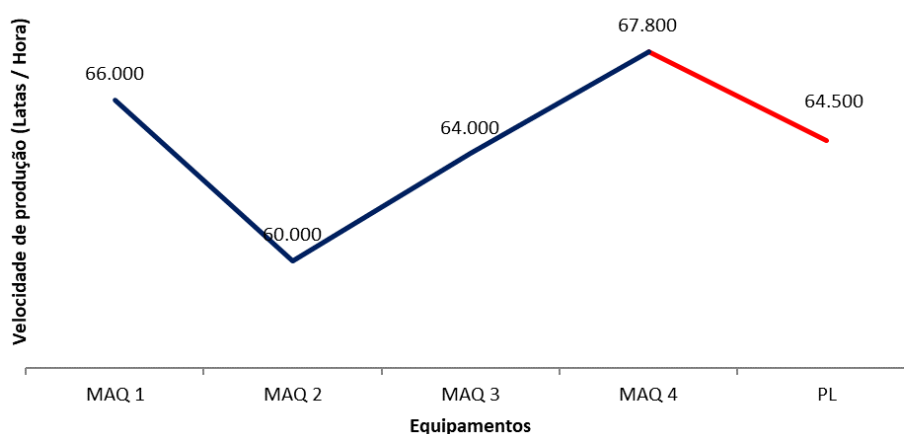


Fonte: Autor

Em seguida, a figura 20 mostra os resultados durante a aplicação dos primeiros planos de manutenção para os primeiros três meses, no qual foi elevado em cerca de 5% na quantidade de latas produzidas quando comparadas com os valores anteriores.

Figura 20 – Desempenho durante do MCC

Produção Latas por hora PL - Durante MCC

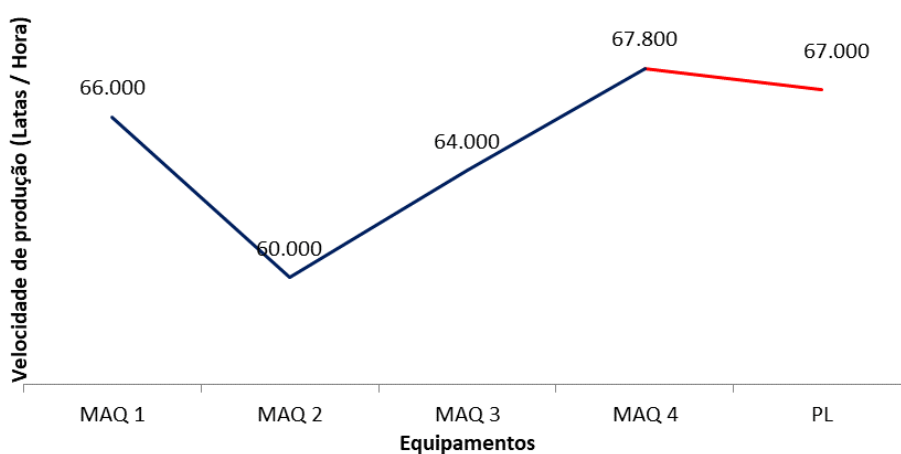


Fonte: Autor

Por fim, a figura 21 mostra o resultado após a aplicação da metodologia de manutenção centra em confiabilidade no equipamento. Pode-se notar que o equipamento ainda não está trabalhando com a velocidade determinada pelo padrão de desempenho, no entanto, obteve-se uma melhora de cerca de 9% em relação aos parâmetros de trabalho iniciais.

Figura 21 – Desempenho após ciclo de MCC

Produção Latas por hora PL - Após MCC



Fonte: Autor

Sendo assim, diante dos resultados apresentados pode-se observar uma melhora significativa no desempenho da máquina após passar pelo ciclo de implantação do MCC e permanecer com essa estratégia de manutenção. A tabela 11 mostra o resultado da análise trimestral realizada para o equipamento no primeiro trimestre de 2023 com relação a sua performance, no qual pode-se perceber que os indicadores de desempenho da máquina obtiveram uma melhora significativa quando comparada com a tabela 02. Além disso, quando confrontado com o mesmo período de 2022, esse aumento de produtividade contribuiu para um ganho total de 42% com relação ao hectolitro produzido, o que representa um aumento de 75.746 hectolitros fabricados considerando todo o processo produtivo.

Tabela 11- Resultado Análise trimestral – T1-2023

Análise de desempenho equipamentos pós aplicação do MCC					
Equipamento	Ineficiência do equipamento			Produtividade	
	Anual	Trimestral	Semanal	INDISP	DISP
Paletizadora	1,24%	2,47%	1,49%	2,47%	97,53%
Máquina 01	0,65%	0,73%	0,63%	0,73%	99,27%
Máquina 02	0,21%	0,45%	0,20%	0,45%	99,55%
Máquina 03	0,33%	0,37%	0,50%	0,37%	99,63%
Máquina 04	0,34%	0,25%	0,50%	0,25%	99,75%
Máquina 05	0,06%	0,23%	0,00%	0,23%	99,77%
Máquina 06	0,11%	0,18%	0,37%	0,18%	99,82%
Máquina 07	0,11%	0,12%	0,27%	0,12%	99,88%
Máquina 08	0,06%	0,07%	0,00%	0,07%	99,93%
Máquina 09	0,07%	0,07%	0,18%	0,07%	99,93%

Fonte: Autor

6 Conclusões

A manutenção centrada em confiabilidade é um método de gestão de manutenção altamente estruturado que tem como objetivo a preservação da função de um equipamento e não necessariamente a preservação do item. Com isso, pode-se observar por meio deste estudo de caso que realizar o gerenciamento da manutenção por meio da MCC, mostrou-se bastante eficiente mesmo com o aumento dos custos de manutenção para manter os padrões de desempenho da máquina. Ao reduzir as paradas não programadas ocasionadas por manutenções corretivas não programadas, tem-se uma melhora na produtividade da máquina em função do aumento da confiabilidade proporcionada pela estratégia de manutenção definida.

No entanto, mesmo com bons indicadores obtidos com relação ao volume produzido e aumento na disponibilidade para produção, ainda é necessário realizar análises mais detalhas que foquem na redução de custos e que possa fazer com que equipamento chegue em sua capacidade nominal de produção, algo que não foi alcançado até essa etapa do estudo. Afinal, com as maiores demandas de mercado torna-se cada vez mais imprescindível que as empresas obtenham maiores margens de lucros e excelentes indicadores de performance para garantir melhores resultados com relação a qualidade dos produtos e custo produtivo.

Além disso, é importante destacar que o processo de aplicação de um MCC requer tempo e dedicação para que seja elaborado de maneira assertiva e confiável. Apesar do baixo custo para implementação da metodologia, há um grande gasto com análise de funcionamento dos sistemas, discussão sobre os modos de falhas e seus efeitos que por consequência necessita de grande engajamento das equipes de manutenção e operação. Sendo assim, é necessário trabalhar com equipes multidisciplinares e avaliar de forma crítica quais equipamentos irão passar pelo processo seguindo as orientações da literatura.

7 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37p.

BARAN, Leandro Roberto. **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada na redução de falhas: Um estudo de caso**. 2011. 103 f. Monografia de especialização – Curso de especialização em gestão industrial, produção e manutenção. Universidade Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

BARAN, Leandro Roberto; TROJAN, Flávio; SOLA, Antônio Vanderley Herrero. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC) aplicada na redução das falhas funcionais em um sistema de tensionamento**. XXXIII encontro nacional de engenharia de produção, Salvador, 2013.

BUENO, Edson Roberto Ferreira. **Gestão da manutenção de máquinas**. Curitiba: Contentus, 2020. 95p. Recurso digital.

COURA, Alice Ferreira. **Estudo da capacidade produtiva no processo de uma indústria de ferramentas: Um estudo de caso**. 2016. 78 f. Trabalho de Conclusão de curso – Universidade Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

FOLGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011. Recurso Digital

GUTIÉRREZ, A. M. **Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: enfoque sistémico kantiano**. 1ª. ed. Colômbia: AMG, 2005.

JÚNIOR, Djalma Rodrigues de Lima. **Manutenção centrada na confiabilidade**. 2019. 39 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

JUNIOR, Alaercio Nicoletti; CORREA, Mário Sérgio; OLIVEIRA, Maria Cecília De; HELLENO, André Luís. **Simulação de eventos discretos para análise da disponibilidade fabril em uma linha de envase de bebidas**. Revista de Ciência & Tecnologia, São Paulo, V.19, n.37,2016.

JUNIOR, Severino Albani; SILVA, Victor Faitanin; SANT'ANNA, Iuri Pinheiro de. **Contribuição da engenharia de confiabilidade na redução da taxa de falha da máquina de lingotamento da Arcelormittal Tubarão**. Anais do congresso anual da ABM, São Paulo, v.72, n.1, p.712-724, 2º sem. 2017.

KARDEC, Alan.; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função estratégica**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Qualiymark Editora, 2019.560p

MACEDO. Carlos Castro de. **Programa de manutenção na indústria têxtil**.2012. 66 f. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade Tecnológica de Americana, Americana,2012.

MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, **Maintenance Engineering Handbook**. 7ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance: second edition**. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

OLIVEIRA. Jailson Ribeiro De. **Estudo sobre as limitações dos sistemas de medição da produtividade numa unidade industrial do setor cervejeiro**. 2005. 281 f. Dissertação de mestrado – Programa de pós-graduação em engenharia de produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

PAULA, Deborah de Campos. **Pesquisa-ação sobre o uso de indicadores de desempenho do equipamento em uma fábrica de geradores**. 2011. 63 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

REINOLD, Matthias R. **Manual Prático de Cervejaria**. São Paulo: Aden, 1997, 214 p.

SELEME, Robson. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**.1ª ed. Curitiba: Intersaberes, 2015. 146p. Recurso digital

SELLITO, Miguel Afonso; BORCHARDT, Miriam; ARAÚJO, Daniel Ribeiro Campus. **Manutenção centrada em confiabilidade: Aplicando uma abordagem quantitativa**. XXII encontro de engenharia de produção, Curitiba, 2002.

VANDERLEY, José Marcelo Lopes; LOPES, Rodrigo Sampaio. Sistema de manutenção centrada na confiabilidade: **Um estudo de caso em um moinho martelo de uma indústria de reciclagem**. XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção - APREPRO, 2021.

VIANA, H.R.G. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. 1ªed. Rio De Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.

XENOS, Harilaus Georgius D' Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva**. 2ª ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2014. 312p.

WUTTKE, Régis André; SELLITTO, Miguel Afonso. **Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico**. Revista Produção – Associação brasileira de engenharia de produção (ABEPRO), Santa Catarina, V.8, n.4, 2008.

ZAIONS. Douglas Roberto. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel**. 2003. 212 f. Dissertação de mestrado – Programa de pós-graduação em engenharia de produção, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.