

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
DANILO CORREA JACINTO

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS PARA
IDENTIFICAR E ELIMINAR CAUSAS RAÍZES: um estudo de caso desenvolvido em
um setor de manutenção da indústria têxtil**

Varginha
2021

DANILO CORREA JACINTO

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS PARA
IDENTIFICAR E ELIMINAR CAUSAS RAÍZES: um estudo de caso desenvolvido em
um setor de manutenção da indústria têxtil**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do Prof. Me. João Mario Mendes de Freitas e coorientação da Profa Esp. Jéssica de Castro Trombine.

Varginha

2021

DANILO CORREA JACINTO

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS PARA IDENTIFICAR E ELIMINAR CAUSAS RAÍZES: um estudo de caso desenvolvido em um setor de manutenção da indústria têxtil

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. João Mario Mendes de Freitas

Prof.

Prof.

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir chegar até aqui, agradeço também a todos que acompanharam de perto essa minha trajetória, aos familiares, amigos, professores, colegas de trabalho e aqui deixo um agradecimento especial para minha mãe Olga Correa e namorada Brenda Eduarda Pereira Mendes que me acompanharam nessa jornada me apoiando para seguir em frente, meus agradecimentos também para meu orientador João Mário Mendes de Freitas e coorientadora Jéssica de Castro Trombine pelo apoio durante o desenvolvimento do presente trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo aplicar o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) para identificar em um sistema de descarregamento simultâneo FRD de maçaroca, a causa raiz que gera a falha no elevador qual seja [posição de origem não foi definida] e propor um plano de ação para eliminar a causa do problema verificando as ações através de análise quantitativas. O estudo do tema contribui para o desenvolvimento de planos de ação assertivos e apoio nas decisões para selecionar as melhores estratégias de manutenção, baseado em análise dos dados e aplicação de ferramentas utilizadas no método. A metodologia foi realizada através do estudo bibliográfico do assunto e o desenvolvimento do estudo de caso aplicando as técnicas do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), o estudo de caso foi realizado no elevador de um sistema de descarregamento simultâneo FRD da máquina *Roving frame* em uma indústria do segmento têxtil. Após a aplicação das técnicas propostas pelo o método, foi possível propor e aplicar planos de ação possibilitando ao final realizar uma análise quantitativa dos resultados, constatando uma diminuição no número de falhas e o aumento da disponibilidade inerente do sistema.

Palavras chave: MASP. Manutenção. Causa raiz.

ABSTRACT

This work aims to apply the method of analysis and troubleshooting (MASP) to identify in the FRD Stationary Doffer, the root cause that generates the failure of the origin position in the elevator was not defined and to propose a plan of action to eliminate the cause of the problem by verifying the actions through quantitative analysis. The study of the theme contributes to the development of assertive action plans and decision support to select the best maintenance strategies based on data analysis and application of tools used in the method. The methodology was carried out through the bibliographical study of the subject and the development of the case study applying the techniques of the method of analysis and Troubleshooting the case study was carried out in the elevator the FRD Stationary Doffer of the Roving frame machine in a textile industry. After applying the techniques proposed by the method it was possible to propose and apply action plans making it possible in the end to develop a quantitative analysis of the results noticing a decrease in the number of failures and the increase in inherent availability.

Keywords: *MASP. Maintenance. Root cause.*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01: Intervalor PF..... | 15 |
| Figura 02: Custos relacionados ao ponto de intervenção da manutenção corretiva na curva PF..... | 16 |
| Figura 03: Custos relacionados ao ponto de intervenção da manutenção preventiva na curva PF..... | 17 |
| Figura 04: Custo por estratégia de manutenção..... | 19 |
| Figura 05: Ciclo PDCA..... | 20 |
| Figura 06: Execução dos processos da MASP aplicando o ciclo PDCA..... | 21 |
| Figura 07: Estrutura tradicional do diagrama de causa e efeito..... | 25 |
| Figura 08: Simbologia de fluxograma..... | 27 |
| Figura 09: Exemplo do fluxograma funcional..... | 28 |
| Figura 10: Exemplo de aplicação da Técnica 5 porquês..... | 30 |
| Figura 11: Fluxo produtivo atual do setor de fiação da empresa analisada..... | 34 |
| Figura 12: <i>Roving frame</i> (Maçaroqueira) FL-200 Toyota..... | 35 |
| Figura 13: Trem de estiragem maçaroqueira..... | 36 |
| Figura 14: Retirada das bobinas cheias e inserção das bobinas vazias na máquina..... | 37 |
| Figura 15: Coleta das bobinas cheias pelo elevador..... | 37 |
| Figura 16: Descrição da falha..... | 39 |
| Figura 17: Número de ocorrência e <i>downtime</i> (posição não definida elevador) ano 2020..... | 41 |
| Figura 18: Descrição do funcionamento do elevador através de um fluxograma funcional..... | 44 |
| Figura 19: Posicionamentos dos sensores no pilar..... | 46 |
| Figura 20: Sistema de transmissão do elevador..... | 47 |
| Figura 21. Sistema para a detecção de rotação do eixo de elevação..... | 48 |
| Figura 22: Lógica de funcionamento dos sensores..... | 48 |
| Figura 23: Aplicação do diagrama de Ishikawa..... | 50 |
| Figura 24: Acúmulo de sujeira na roldana guia do elevador..... | 50 |
| Figura 25: Aplicação da Técnica dos 5 porquês..... | 51 |
| Figura 26: Nível visual de sujeira no pilar do elevador..... | 52 |
| Figura 27: Esquema pneumático do sistema piloto de limpeza automático..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 28: Comparativo da disponibilidade Inerente (2020x2021)..... | 61 |
| Figura 29: MTBF x MTTR (2020)..... | 61 |
| Figura 30: MTBF x MTTR (2021)..... | 62 |
| Figura 31: Braço de elevação antes da aplicação dos bicos injetores..... | 66 |
| Figura 32: Braço de elevação com adição dos bicos injetores..... | 66 |
| Figura 33: Fixação da válvula de acionamento do sistema..... | 67 |
| Figura 34: Regulador de pressão (4 bar)..... | 67 |
| Figura 35: Suporte de fixação dos bicos injetores da roldana..... | 67 |
| Figura 36: Suporte dos bicos injetores de limpeza dos sensores magnéticos..... | 68 |
| Figura 37: Suporte de fixação dos bicos injetores de limpeza dos sensores magnéticos..... | 68 |
| Figura 38: Passamento da mangueira pneumática pela esteira porta cabos..... | 69 |
| Figura 39: Região dos sensores de posicionamento após 20 dias, antes da instalação dos bicos injetores..... | 70 |
| Figura 40: Região dos sensores magnéticos de posicionamento após 20 dias, depois da instalação dos bicos injetores..... | 71 |
| Figura 41: Região do sensor de pulso PRS250 após 20 dias, antes da instalação dos bicos injetores..... | 72 |
| Figura 42: Região do sensor de pulso PRS250 após 20 dias, depois da instalação dos bicos injetores..... | 72 |
| Figura 43: Região dos rolamentos e roldana guia, antes da instalação..... | 73 |
| Figura 44: Acúmulo na roldana guia antes da instalação dos bicos injetores..... | 73 |
| Figura 45: Condição da roldana guia após a instalação dos bicos injetores..... | 73 |
| Figura 46: Condições após a instalação dos bicos injetores..... | 74 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 01: Fluxo de execução das atividades da metodologia MASP..... | 22 |
| Quadro 02: Sete ferramentas básicas da qualidade..... | 24 |
| Quadro 03: Composição da equipe de análise da falha..... | 43 |
| Quadro 04: Descrição dos movimentos do elevador..... | 45 |
| Quadro 05: Lista de sensores..... | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 01: Custos envolvidos na instalação do sistema piloto de limpeza automático..... | 55 |
| Tabela 02: Fluxo livre de ar comprimido através de orifícios em pés ³ / mim..... | 56 |
| Tabela 03: Comparativo dos resultados entre o ano de 2020 e 2021..... | 58 |
| Tabela 04: Comparativos dos resultados após a execução das ações..... | 59 |
| Tabela 05: Resumo dos resultados..... | 62 |
| Tabela 06: Dados para indicadores..... | 75 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 Tipos e estratégias de manutenção | 14 |
| 2.1.1 Intervalo PF..... | 14 |
| 2.1.2 Manutenção corretiva..... | 15 |
| 2.1.3 Manutenção preventiva..... | 16 |
| 2.1.4 Manutenção preditiva..... | 18 |
| 2.1.5 Estratégias de manutenção..... | 18 |
| 2.2 Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) | 19 |
| 2.3 Ferramentas aplicadas para análise de falhas | 23 |
| 2.3.1 As sete ferramentas da qualidade..... | 23 |
| 2.3.2 Diagrama de causa e efeito..... | 24 |
| 2.3.3 Folha de verificação..... | 26 |
| 2.3.4 Fluxograma..... | 26 |
| 2.3.5 <i>Brainstorming</i> | 28 |
| 2.3.6 Técnica dos 5 porquês..... | 29 |
| 2.3.7 Modelo 5W2H..... | 31 |
| 2.4 Indicadores de manutenção | 31 |
| 2.4.1 Tempo médio entre falhas (MTBF)..... | 32 |
| 2.4.2 Tempo médio para reparo (MTTR)..... | 32 |
| 2.4.3 Disponibilidade inerente..... | 33 |
| 2.5 Fiação de algodão | 33 |
| 2.5.1 <i>Roving frame</i> (maçaroqueira)..... | 35 |
| 2.5.2 Sistema de descarregamento simultâneo de maçarooca tipo FRD..... | 36 |
| 3 METODOLOGIA | 39 |
| 3.1 Fases do planejamento | 39 |
| 3.1.1 Identificação do problema..... | 39 |
| 3.1.1.1 Levantamento Histórico..... | 40 |
| 3.1.1.2 Perdas e ganhos possíveis..... | 41 |
| 3.1.1.3 Formação da equipe..... | 43 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.2 Observação..... | 43 |
| 3.1.2.1 Etapas de funcionamento do elevador no sistema de descarregamento simultâneo FRD..... | 44 |
| 3.1.3 Análise..... | 49 |
| 3.1.4 Plano de ação..... | 53 |
| 3.2 Fase da ação..... | 57 |
| 3.3 Fase da verificação..... | 57 |
| | |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 60 |
| | |
| 5 CONCLUSÃO..... | 63 |
| | |
| REFERÊNCIAS..... | 64 |
| | |
| APÊNDICE A- Instalação do sistema piloto de limpeza automático..... | 66 |
| | |
| APÊNDICE B- Comparativo do nível de sujeidade antes e depois da aplicação do sistema piloto de limpeza automático..... | 70 |
| | |
| APÊNDICE C – Tabela de dados para geração dos indicadores..... | 75 |

1 INTRODUÇÃO

A manutenção dentro de qualquer segmento industrial que trabalha com ativos físicos é crucial para manter a disponibilidade e confiabilidade da planta produtiva, é função do setor de manutenção elencar as estratégias corretas que possibilitem que os ativos físicos entreguem os padrões de desempenho exigido pelo contexto operacional. A estratégia de manutenção correta é aquela que entrega os resultados esperados com o menor custo possível, essas estratégias estão dentro dos três principais tipos de manutenção que são: manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Apesar da aplicação das estratégias de manutenção, os ativos ficam passíveis de falhas que não foram previstas nos planos de manutenção, logo, essas falhas devem ser tratadas de forma assertiva elaborando-se plano de ação que possibilite gerar dados concretos, que serão utilizados para atualizar os planos de manutenção com o objetivo de mitigar a repetitividade dessas falhas.

Métodos que permitam padronizar essas ações devem fazer parte das ferramentas utilizadas pela gestão, uma vez que esses métodos permitem a coleta de dados, possibilitando que as ações sejam elencadas estrategicamente e não através do achismo. O Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) é uma metodologia capaz de gerar plano de ação através de um fluxo de ações padronizadas que possibilitam o envolvimento da equipe e análise de falhas de qualquer natureza, pois o método conta com apoio de diversas ferramentas que podem ser utilizadas em conjunto e aplicadas conforme for mais adequado.

A motivação da pesquisa foi gerada pela necessidade de investigar como é realizada a aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) para identificar e eliminar causa raiz de falhas, utilizando o método como apoio para a tomada de decisões em um setor de manutenção da indústria têxtil, tendo como objetivo geral aplicar o método para identificar em um sistema de descarregamento simultâneo FRD de maçaroca, a causa raiz que gera a falha no elevador qual seja [posição de origem não foi definida] e propor um plano de ação para eliminar a causa do problema, verificando as ações através de análise quantitativas, de acordo com o desenvolvimento dos objetivos específicos: a) Determinar o contexto operacional, as funções e padrões de desempenho desejado para uma máquina de produção de maçaroca; b) Descrever os tipos de estratégias de manutenção; c) Descrever o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP); d) Descrever as ferramentas de apoio para analisar falhas utilizadas pelo Método de Análise e Solução de Problemas (MASP); e) Apresentar objetivos e impactos da aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) em um caso real e f) Analisar os resultados obtidos com o estudo.

A justificativa da aplicação do método se fez necessária devido ao aumento da competitividade para ganhar mercado frente aos seus concorrentes, à redução dos custos envolvidos na produção deve ser algo tangível pelas empresas, logo, o setor de manutenção deve atuar estrategicamente aplicando esforços que auxiliem no aumento da disponibilidade e confiabilidade dos ativos, de forma a reduzir ao máximo as manutenções corretivas emergenciais, visando à redução dos custos que envolvem esse tipo de manutenção. A aplicação de métodos para identificar e eliminar causa raiz de problemas é relevante uma vez que, a recorrência de falhas que causam efeitos críticos nos processos produtivos ocasiona a elevação dos custos de manutenção, sejam eles diretos ou indiretos, como, por exemplo: compra de peças de reposição não programadas, lucro cessante, danos auxiliares em componentes, entre outros.

O Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) pode ser aplicado para auxiliar as atividades no dia a dia do setor de manutenção, é relevante, uma vez que, as atividades ganham confiabilidade nas análises da falha, criando padrões e envolvendo a equipe possibilitando a assertividade das ações, deixando de atuar através do achismo e passando a atuar de forma estratégica através da leitura dos indicadores.

Para o desenvolvimento da metodologia de pesquisa foi realizada uma pesquisa bibliográfica juntamente com um estudo de caso da aplicação das técnicas envolvidas no Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), para identificação da causa raiz da falha [posição de origem não foi definida] no elevador de um sistema de descarregamento simultâneo de maçaroca da máquina *Roving frame* modelo FL-200 do fabricante Toyota popularmente conhecida como maçarqueira. As coletas dos dados sobre essa falha foram realizadas em campo, desenvolvendo uma análise quantitativa para analisar os resultados da aplicação do método.

O trabalho proposto foi dividido em capítulos, onde o capítulo 2 aborda todo o referencial teórico utilizado para desenvolver a pesquisa que descreve: Os tipos e estratégias de manutenção; O Método de Análise e Solução de Problemas (MASP); As ferramentas para análise de falhas; Os indicadores de manutenção e um resumo sobre fiação têxtil. No capítulo 3 é apresentada a metodologia onde é feita a aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) em um caso real. No capítulo 4 é apresentado os resultados e discussões da pesquisa e por fim a conclusão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão descritos todos os assuntos utilizados como material de apoio para a execução da pesquisa proposta.

2.1 Tipos e estratégias de manutenção

A NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994) elenca três principais tipos de manutenção sendo elas, manutenções corretivas, preventiva e preditiva, essas estratégias são definidas de forma geral como as ações executadas para reparar, prevenir ou prever a falha. Segundo Teles (2019, p.25) “[...] existem diferentes categorias para cada tipo de manutenção, que são denominadas de estratégias de manutenção.”

2.1.1 Intervalo PF

O intervalo PF é o período entre o ponto em que uma falha potencial se torna detectável até o ponto em que a evolução dessa falha se torne uma falha funcional (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, 2009, p. 6).

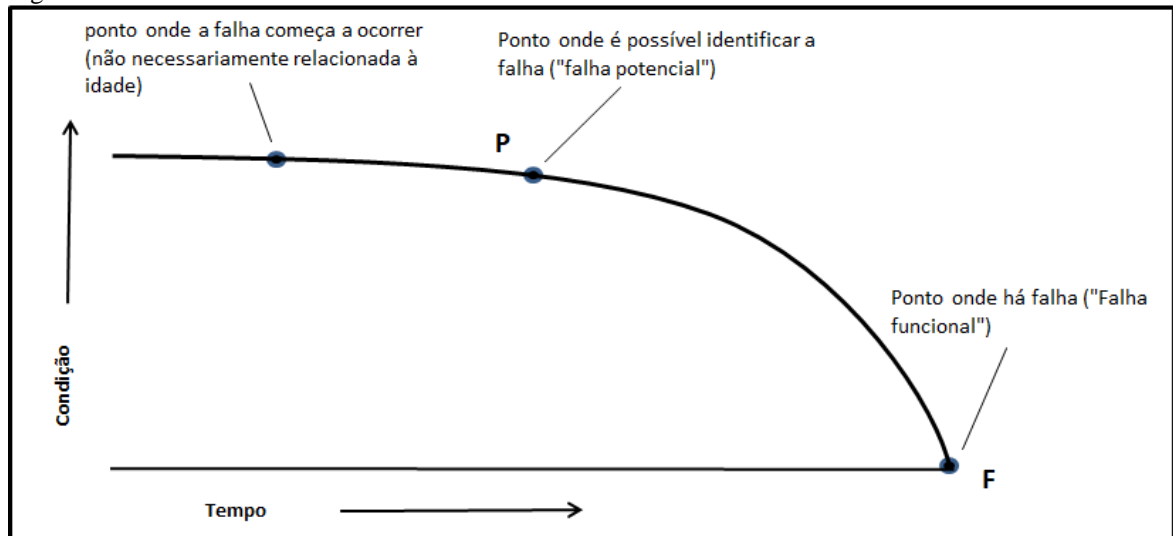
Intervalo PF é utilizado como critério de seleção das estratégias de manutenção que seguem as diretrizes da manutenção centrada na confiabilidade (MCC), funciona como uma ferramenta analítica que tem como objetivo nortear os planos de manutenção para garantir a confiabilidade do ativo mantendo um custo ótimo de manutenção (TELES, 2019).

Nessa ferramenta são abordados dois conceitos importantes de falhas, que são: falha potencial definida como o primeiro sinal de desvio de função de um componente, considerada como falha em estágio inicial, indicando que a evolução dessa falha ao longo do tempo resultará em uma falha funcional que é a incapacidade do ativo desempenhar suas funções requeridas dentro do sistema, mesmo que não tenha havido uma pane, mas que essa falha impeça de atingir as funções e padrões de desempenhos desejados (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, 2009).

Esses dois conceitos são fundamentais para entender e definir as estratégias de manutenção mais adequadas para cada situação, logo, uma vez que se define a curva de desempenho do equipamento em função do tempo de operação do mesmo é possível ajustar as

frequências de manutenção bem como definir a estratégia de manutenção para o ativo (TELES, 2019).

Figura 01: Intervalo PF.



Fonte: Adaptado (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, 2002, p. 31).

A figura 01 aborda os pontos de falhas potenciais e falhas funcionais, define qual é o comportamento da performance em função do tempo de um determinado item do momento do primeiro sinal de falha até a falha funcional esse tempo é denominado de intervalo PF.

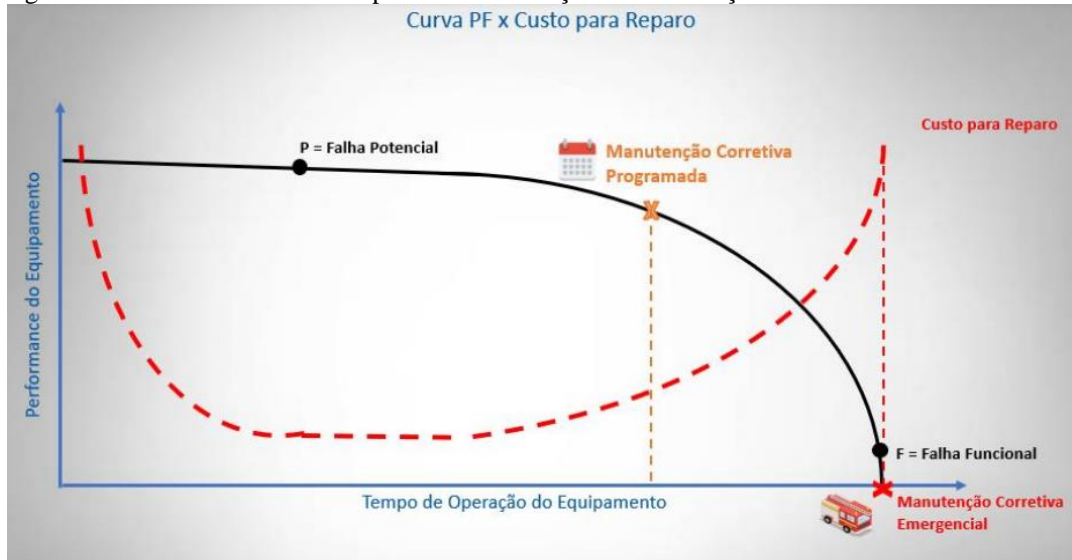
2.1.2 Manutenção corretiva

Segundo a definição da NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994) manutenção corretiva são todas as ações realizadas após a ocorrência de uma falha funcional com o objetivo de retomar as funções requeridas do ativo. Fogliatto e Ribeiro (2011) completam que o objetivo da manutenção corretiva deve ser retornar as funções do estado de operação em um menor tempo de reparo possível.

Dentro do tipo de manutenção corretiva há duas principais estratégias de manutenção sendo: manutenção corretiva emergencial (não planejada) que é definida como manutenção realizada após a ocorrência de uma falha funcional com o objetivo de recolocar o ativo em funcionamento. E a manutenção corretiva programada que tem como objetivo reparar a falha potencial antes que evolua para uma falha funcional nesse caso a manutenção corretiva é realizada pela condição apresentada pelo ativo, definida mediante as inspeções ou acompanhamento preditivo (PINTO; XAVIER, 2019; TELES, 2019).

A figura 02 apresenta a relação do custo da manutenção corretiva relacionado ao intervalo PF

Figura 02: Custos relacionados ao ponto de intervenção da manutenção corretiva na curva PF.



Fonte: (TELES, 2019, p. 33).

Segundo SAE JA 1012 (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, 2002), somente se torna justificável a aplicação da estratégia de manutenção corretiva emergencial se:

- a) Não houver consequências ambientais, de segurança ou econômicas;
- b) Se os custos de execução de tarefas proativas (manutenção preventiva e preditiva) forem superiores aos custos da manutenção corretiva emergencial.

2.1.3 Manutenção preventiva

Segundo Pinto e Xavier (2019) manutenção preventiva são atividades realizadas com base em um plano de manutenção estipulados por gatilhos que contêm intervalos pré-definidos de forma a evitar ou reduzir a probabilidade de uma falha, logo, a manutenção preventiva é realizada antes da ocorrência da falha potencial. São atividades preventivas como: limpeza, ajuste, lubrificação, troca de componentes em intervalos pré-definidos entre outros, com função de elevar a confiabilidade do ativo, mitigando a ocorrência de falha funcional e atuando antes da falha potencial (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Teles (2019) complementa definindo alguns gatilhos aplicados para executar as manutenções preventivas, gatilhos como: tempo com base no calendário, tempo com base no horímetro, volume de produção e gatilhos mistos.

Para Pinto e Xavier (2019) torna-se justificável a aplicação de manutenção preventiva quando os custos de falha são elevados, quando prejudicam na qualidade do produto e quando há riscos de segurança ambiental e pessoal tornando obrigatória a intervenção preventiva no ativo para substituição de componentes.

Existem algumas desvantagens na aplicação da manutenção preventiva devido à execução de algumas atividades somente serem possível com a parada do ativo causando perda produtiva, Pinto e Xavier (2019) complementam que essa estratégia de manutenção quando não aplicada corretamente poderá ocasionar a introdução de falhas no sistema como: falha na execução da atividade, contaminação em sistemas de lubrificação, falhas em procedimento de manutenção e possíveis danos durante o a partida do equipamento.

A figura 03 apresenta a relação do custo da manutenção preventiva relacionado ao intervalo PF

Figura 03: Custos relacionados ao ponto de intervenção da manutenção preventiva na curva PF.



Fonte: (TELES 2019, p. 42).

Os planos de manutenção preventiva devem ser elaborados de forma estratégicas sendo necessárias revisões de tempos em tempos para monitorar se as atividades e frequências de execução estão sendo eficiente, esse monitoramento pode ser realizado através dos indicadores de manutenção, outro item importante para montar um plano de manutenção preventivo de forma assertivo é realizar a análise dos modos e efeitos de falhas, possibilitando

o levantando qual é o número de prioridade de risco de cada atividade, tornando possível identificar quais as falhas que podem ser tratadas com atividades preventivas (TELES, 2019).

2.1.4 Manutenção preditiva

Manutenções preditivas são atividades executadas para monitorar as condições de um determinado item, utiliza de instrumentação para acompanhar e monitorar essas condições, na grande maioria dos casos as falhas antes de evoluir para uma falha funcional apresentam um sintoma também denominado modo de falha, esse acompanhamento deve ser feito de forma sistemática garantindo a identificação desses modos de falha ainda em estágio inicial e tomar ações de correção de forma planejada, para restaurar as condições ideais para o sistema, uma das grandes vantagens desse modelo de manutenção em frente às demais é a garantia da disponibilidade dos equipamentos, uma vez que reduz as paradas dos equipamentos para o monitoramento, atuando apenas quando são identificado desvio de padrões pré-estabelecidos que possam evoluir para uma falha funcional (PINTO; XAVIER, 2019).

Para Seleme (2015), o principal objetivo da manutenção preditiva é intervir nos equipamento apenas quando for necessário e essa intervenção deve ser feita quando os parâmetros que são monitorados através de dispositivos saírem dos padrões, garantindo assim uma maior assertividade das intervenções parando cada vez menos os equipamentos, dessa forma é possível aumentar e melhorar a produtividade.

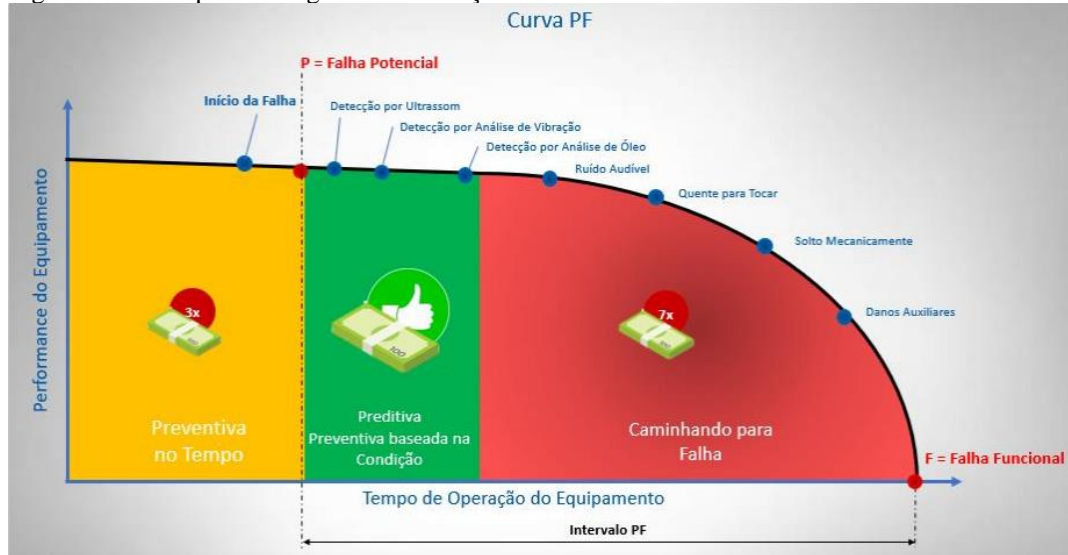
A manutenção preditiva é conhecida por ter sua previsibilidade da deterioração do equipamento, pois tornasse possível a identificação do grau de criticidade dessa falha potencial, sendo possível analisar a evolução da falha conseguindo plotar o intervalo PF bem como encontrar o melhor momento para intervir no ativo, logo, esse tipo de manutenção visa atuar com base nas condições do ativo e não de forma predeterminada conforme aplicasse na manutenção preventiva (TELES, 2019).

2.1.5 Estratégias de manutenção

Teles (2019) elenca sete modelos de estratégias de manutenção em que faz uma breve descrição sobre cada estratégia demonstrando seus custos quando comparado com a manutenção proativa, reforça a importância do entendimento do intervalo PF para a compreensão e definição de cada estratégia.

Menciona que todo tipo de estratégia é válida desde que se estude a viabilidade de cada uma delas para o contexto em que a mesma é aplicada, onde se devem avaliar aspectos que atendam o nível de confiabilidade e disponibilidade requeridas bem como a definição dos custos envolvidos em cada estratégia.

Figura 04: Custo por estratégia de manutenção.



Fonte: (TELES, 2019, p. 70).

A figura 04 demonstra a relação custo por estratégia adotada, demonstrando quais estratégias tendem a ter o melhor custo ou o pior custo.

2.2 Método de Análise e Solução de Problemas (MASP)

O Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) é um procedimento padronizado, utilizado para identificação e solução de problemas de qualquer natureza dentro de processos produtivos, essa metodologia visa focar na solução dos problemas de forma a auxiliar os envolvidos a encontrar e bloquear o problema tomando inicialmente medidas corretivas para eliminar as causas e criar planos de ação para que os problemas não voltem a ocorrer (POSSARLE, 2017).

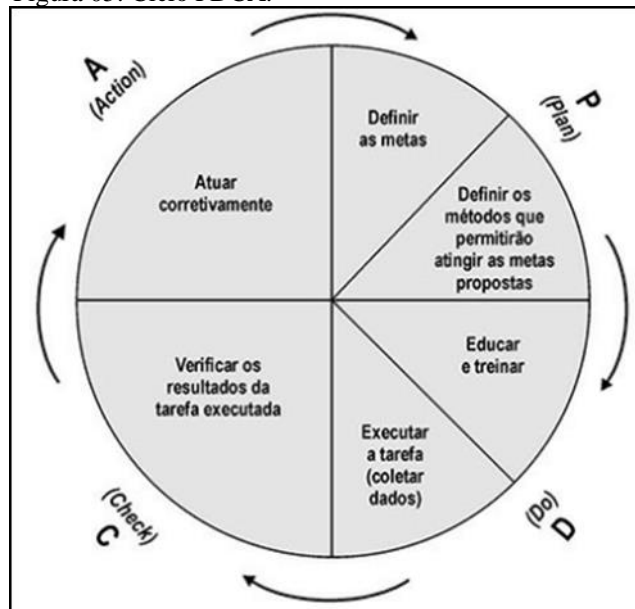
As sete ferramentas da qualidade são utilizadas para auxiliar o desenvolvimento desse método, existem outras ferramentas que também complementam a análise como, por exemplo: o ciclo PDCA, *Brainstorming*, técnica dos 5 porquês, matriz GUT e 5W2H. O uso das ferramentas depende do tipo da análise, pois, não obrigatoriamente devem-se utilizar todas as ferramentas, o uso das mesmas dependerá da natureza do problema que está sendo analisado (PINTO; XAVIER, 2019 ; POSSARLE, 2017).

Xenos (2014) faz a relação entre o ciclo PDCA e o “*QC-story*” também conhecido como MASP, o ciclo PDCA é utilizado como método para atingir metas, por exemplo, reduzir custos de manutenção, reduzir o número de falhas, eliminar causas raízes entre outros, esse ciclo é construído em quatro fases, sendo elas:

- a) (*PLAN*) Planejamento: é a fase que estabelece metas claras e os métodos utilizados para atingi-las;
- b) (*DO*) Execução: é a fase onde se coloca os planejamentos em prática, através de treinamentos e execução das atividades propostas;
- c) (*CHECK*) Verificação: nessa fase serão realizadas as análises dos serviços executados com o objetivo de verificar se os resultados e trabalhos estão de acordo com as metas estabelecidas;
- d) (*ACTION*) Atuação: se os resultados verificados não estão em conformidade, atue no processo em função dos resultados obtidos.

Na figura 05 demonstra a sequencia de execução do ciclo PDCA para atingir as metas estabelecidas.

Figura 05: Ciclo PDCA.



Fonte: (CAMPOS, 2014, p. 66).

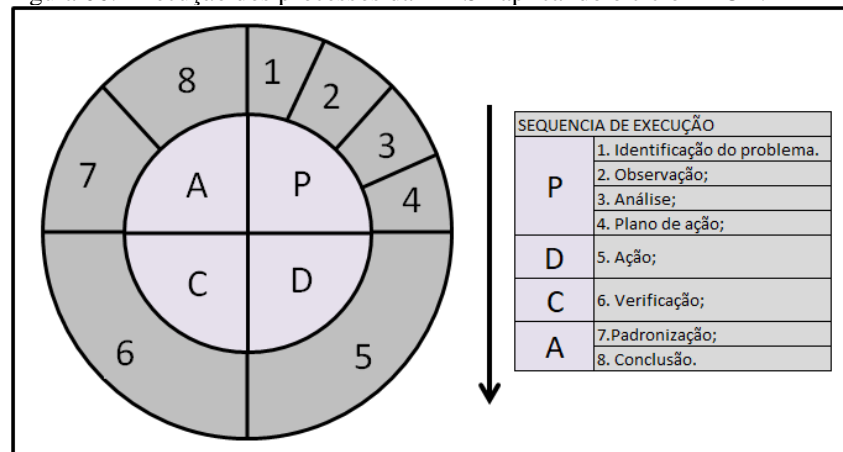
Segundo Possarle (2017, p. 12), existem oito processos bases para execução do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), são eles:

- a) Identificação do problema: Definir claramente o problema e reconhecer sua importância;

- b) Observação: Investigar a característica específica do problema com visão ampla e sob vários pontos de vista;
- c) Análise: Descobrir suas causas fundamentais;
- d) Plano de ação: Elaborar um plano para bloquear as causas fundamentais;
- e) Ação: Bloquear as causas fundamentais;
- f) Verificação: Verificar se o bloqueio foi efetivo;
- g) Padronização: Prevenir a reincidência do problema;
- h) Conclusão: Revisar todo o processo de solução do problema para trabalhos futuros.

A figura 06 relaciona o ciclo PDCA com os processos de execução do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) denominada no oriente de “*QC-Story*”

Figura 06: Execução dos processos da MASP aplicando o ciclo PDCA.



Fonte: Adaptado (CAMPOS, 2014, p.75).

Pinto e Xavier (2019) fazem algumas observações ao realizar o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) aplicados na manutenção, mencionam que o histórico de manutenção é fundamental para realizar o levantamento dos dados, sendo essencial formar equipes multidisciplinares para participar da elaboração do método, visando utilizar de diferentes pontos de vistas para analisar as causas raízes do problema, bem como levantar dados que muitas das vezes não contêm no histórico de manutenção.

O Quadro 01 demonstra o fluxo de execuções das atividades de cada processo do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) encaixados ao ciclo PDCA dentro das fases de planejamento (*Plan*), ação (*Do*), verificação (*Check*) e avaliação (*Act*)

Quadro 01: Fluxo de execução das atividades da metodologia MASP.

| PLANEJAMENTO (<i>PLAN</i>) | | |
|-----------------------------------|--------------|---|
| PROCESSOS | FLUXO | ATIVIDADES |
| IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA | ↓ 1 | Escolher o problema. |
| | ↓ 2 | Levantar o histórico do problema. |
| | ↓ 3 | Mostrar perdas atuais e ganhos possíveis. |
| | ↓ 4 | Fazer Análise de Pareto - para priorizar e estabelecer metas numéricas. |
| | ↓ 5 | Definir grupo para análise do problema, definindo um líder. |
| OBSERVAÇÃO | ↓ 1 | Descobrir as características do problema através da pesquisa de dados. Usar estratificação, 5W1H e o gráfico de Pareto. |
| | ↓ 2 | Descobrir as características do problema através de observações no local (na área, campo, etc). |
| | ↓ 3 | Fazer cronograma, orçamento e definir as metas a serem atingidas. |
| ANÁLISE | ↓ 1 | Definir as causas que influenciam no problema. Fazer <i>brainstorm</i> e diagrama de Ishikawa. |
| | ↓ 2 | Escolher as causas mais prováveis, identificadas pelo diagrama de Ishikawa. |
| | ↓ 3 | Análise das causas mais prováveis, colhendo dados no local. Usar lista de verificação e fazer estratificação dos dados. |
| | ↓ S N | Alguma das causas mais prováveis foi confirmada? |
| | ↓ S N | Teste de consistência da causa fundamental. É possível bloquear? |
| PLANO DE AÇÃO | ↓ 1 | Definir o plano de ação com grupo que analisou o problema. |
| | ↓ 2 | Elaborar plano de ação para bloqueio, revisão do cronograma e elaboração do orçamento final. |
| AÇÃO (<i>DO</i>) | | |
| AÇÃO | ↓ 1 | Divulgar o plano e o treinamento para todo o pessoal. |
| | ↓ 2 | Executar as ações definidas no plano. |
| VERIFICAÇÃO (<i>CHECK</i>) | | |
| VERIFICAÇÃO | ↓ 1 | Comparar os resultados utilizando gráfico de Pareto, cartas de controle e histogramas. |
| | ↓ 2 | Listar os efeitos secundários, positivos ou negativos. |
| | ↓ S N | O problema continua? O bloqueio foi efetivo? |
| | ↓ Prosseguir | Retornar ao item 2 do processo OBSERVAÇÃO. Vá para o processo de padronização. |
| AValiação (<i>ACT</i>) | | |
| PADRONIZAÇÃO | ↓ 1 | Elaborar o novo padrão ou revisar o padrão existente. |
| | ↓ 2 | Comunicação e treinamento para todo o pessoal. |
| | ↓ 3 | Fazer o acompanhamento da utilização do novo padrão. |
| AVAliação DO PROCESSO | ↓ 1 | Relacionar os problemas remanescentes. |
| | ↓ 2 | Planejar programa para os problemas remanescentes. |
| | ↓ 3 | Fazer avaliação do processo MASP. |

Fonte: Adaptado (PINTO; XAVIER, 2019, p. 196).

2.3 Ferramentas aplicadas para análise de falhas

Métodos utilizados para análise de falhas objetivam investigar a ocorrência de problemas das quais seus efeitos dentro do processo produtivo são elaborar um plano de ação para eliminar a causa raiz desse problema (TELES, 2019).

No dia a dia do setor de manutenção muitas vezes as falhas ocorrem de maneira inesperada e essas falhas devem ser analisadas para que sejam avaliados seus efeitos e tomadas às medidas para elimina-las ou gerencia-las, logo, o departamento de manutenção precisa elaborar uma sistemática de coleta de dados para que possa auxiliar na tomada de decisão, para isso algumas ferramentas são importantes para apoiar as ações (XENOS, 2014).

Segundo Teles (2019) existem diversas ferramentas e métodos para solução de problemas em máquinas e equipamentos, sendo que todas geram resultados satisfatórios, cabendo ao profissional selecionar a ferramenta correta para o contexto da análise. Xenos (2014) completa que as ferramentas da qualidade são métodos de fácil aplicação, mas que geram excelentes resultados quando se trata de análises quantitativas e qualitativas, porém, seu uso dependera do tipo de análise.

Existem inúmeras ferramentas utilizadas com o mesmo propósito, o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) utiliza, as sete ferramentas da qualidade, a 5W2H, a técnica dos 5 porquês, o Ciclo PDCA, entre outras. Mas, com aplicações diferentes, cabe ao usuário identificar qual das ferramentas será mais adequada para cada situação, contudo, não se faz obrigatório o uso de todas as ferramentas, mas sim a que mais se adapta com o objetivo da análise (POSSARLE, 2017; TELES, 2019; XENOS, 2014).

Teles (2019, p. 217) destaca que as ações corretivas e preventivas tomadas com base na análise de falhas devem responder três perguntas, são elas:

- a) Como essa ação corrige o efeito (consequência) da falha em questão?
- b) Como essa ação elimina a causa raiz da falha em questão?
- c) Como essa ação facilita a detecção dessa falha em uma ocasião similar no futuro?

2.3.1 As sete ferramentas da qualidade

As sete ferramentas básicas da qualidade é uma seleção feita por Kaoru Ishikawa, na década de 50, com o objetivo de juntar as aplicações de um conjunto de ferramentas para desenvolver uma metodologia na tratativa de anormalidades dentro dos processos, cada ferramenta possui suas particularidades, onde o objetivo geral é o mesmo, qual seja buscar a

causa raiz do problema, dessa forma ao trabalhar na eliminação da causa os defeitos cessam, permitindo processos cada vez mais seguros e eficientes (CUSTODIO, 2015).

Cabe ressaltar que a aplicação de uma única ferramenta dificilmente gera resultados satisfatórios, mas a junção das ferramentas aplicada como um método permite mapear o processo, estratificar os dados, encontrar as causas envolvidas e corrigir as falhas através de um plano de ação (MELLO, 2011).

Quadro 02: Sete ferramentas básicas da qualidade.

| Ferramenta de qualidade | Principal função |
|----------------------------|---|
| 1 Diagrama de causa-efeito | Levantar possíveis causas para problemas. |
| 2 Folha de verificação | Coletar dados relativos à não-conformidade de um produto ou serviço. |
| 3 Histograma | Identificar com que frequência certo dado aparece em um grande conjunto de dados. |
| 4 Gráfico de Pareto | Distinguir, entre os fatores que contribuem para a não qualidade, os essenciais e os secundários. |
| 5 Diagrama de correlação | Estabelecer correlação entre duas variáveis. |
| 6 Fluxograma | Descrever processos. |
| 7 Gráfico de controle | Analisar a variabilidade dos processos. |

Fonte: (MELLO, 2011, p.87).

O quadro 02 lista as sete ferramentas da qualidade descrevendo quais as principais funções de cada uma delas, logo, a utilização das ferramentas têm suas particularidades, a aplicação da mesma será feita conforme a particularidade de cada análise (MELLO, 2011).

2.3.2 Diagrama de causa e efeito

Diagrama de causa e efeito também conhecido como diagrama de Ishikawa é uma das ferramentas da qualidade criada por Kaoru Ishikawa na década de 40, sua aplicação consiste em analisar as possíveis causas que podem gerar o efeito / problema. Sua metodologia analisa seis aspectos diferentes também conhecidos por 6M, são eles: Máquina, Material, Mão de obra, Meio ambiente, Medidas e Método. Esses aspectos são montados em um formato de espinha de peixe, que também é outra forma que essa ferramenta gráfica é denominada “Diagrama de espinha de peixe” esse formato é sugestivo, pois esses seis aspectos podem estar ligados à causa geradora de determinado efeito. (POSSARLE, 2017; TELES, 2019).

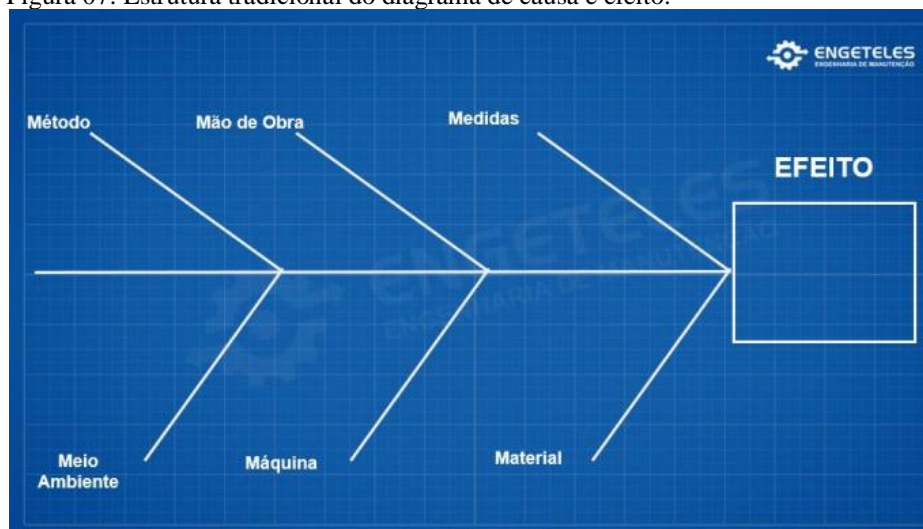
Segundo Possarle (2017) o diagrama de causa e efeito é uma ferramenta eficaz na aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) uma vez que sua função é analisar as causa raiz do problema, auxiliar na tomada de decisões e criar uma sistemática de análise padronizada de forma a avaliar os dados estrategicamente, podendo ser aplicado em análise de falhas em máquinas e equipamentos.

Teles (2019) elenca algumas vantagens do uso do diagrama de causa e efeito aplicados para resolução de problemas relacionados à componentes de máquinas, são eles:

- a) O uso dessa ferramenta é uma boa maneira de envolver pessoas para analisar a falha, dessa forma é possível visualizar as causas com óticas diferentes possibilitando encontrar causas mais prováveis.
- b) É uma ferramenta que não demanda de uma grande equipe para analisar a falha, podendo ser utilizada com o envolvimento de duas ou três pessoas, possibilitando uma análise simples e direta.

Como o uso dessa ferramenta tem o foco em encontrar a causa raiz do problema através de dados, logo, o uso de outras ferramentas é efetivo para complementar e apoiar na conclusão da análise do diagrama de causa e efeito, ferramentas como: gráfico de Pareto, cinco porquês, *Brainstorming* e 5W2h, permitindo criar planos de ação assertivos (POSSARLE, 2017).

Figura 07: Estrutura tradicional do diagrama de causa e efeito.



Fonte: (TELES, 2019, p. 220).

A Figura 07 demonstra como é a estrutura tradicional do diagrama de causa e efeito, utilizando os 6M para elencar as possíveis causas do efeito, onde em cada M será adicionado possíveis causas que podem estar gerando o problema.

2.3.3 Folha de verificação

De acordo com Possarle (2014) folha de verificação ou também conhecida como lista de verificação são formulários utilizados para simplificar a coleta de dados, Lélis (2018, p. 62) define como uma tabela na qual se registra informações sobre problemas de um produto ou serviço.

Segundo Lélis (2018) a folha de verificação é ponto de partida para gerar informações quantitativas e qualitativas para utilizar como base para outras ferramentas de análise como, por exemplo: diagrama de causa e efeito, gráfico de Pareto, analisar a repetitividade de determinado defeito bem como plotar o histograma tornando possível visualizar os dados de forma gráfica.

Para coletar os dados na folha de verificação é possível utilizar de vários métodos, como, por exemplo: de forma eletrônica, que pode ser lançados os dados manualmente ou de forma automatizada, outra forma é elaborar tabelas padronizadas que contenham alguns itens importantes para identificação como: títulos, período da coleta dos dados e os eventos desejados para coleta (BARROS; BONAFINI, 2014).

Possarle (2014) relata que uma folha de verificação deve conter dados confiáveis, ser de simples entendimento permitindo que todos os usuários interpretem os dados de uma mesma maneira e o formulário deve ser claro e objetivo para permitir fácil manuseio.


2.3.4 Fluxograma

De acordo com Custodio (2015) o fluxograma é uma das ferramentas da qualidade que descreve sequencialmente um processo de forma gráfica, utiliza de simbologia de fácil entendimento e permite que todos os envolvidos no processo consiga interpretar as etapas, com essa ferramenta é possível verificar caminhos lógicos de um processo, possibilitando visualizar etapas de forma separada, permitindo uma maior interação, bem como identificação de anomalia de um sistema, pois conhecendo o fluxo do processo pode-se facilmente identificar em qual etapa ocorreu à anomalia, permitindo tomar ações mais rápidas, em resumo o fluxograma é ideal para mapear os processos, permitindo uma visão cronológica do desenvolvimento das atividades.

Existe diferentes modelo de fluxograma, cada um com uma particularidade diferente, porém todos usam simbologias padronizadas permitindo com que qualquer pessoa que

conheça dessas simbologias possa avaliar o fluxograma, a figura 08 demonstra as principais simbologias utilizadas em um fluxograma.

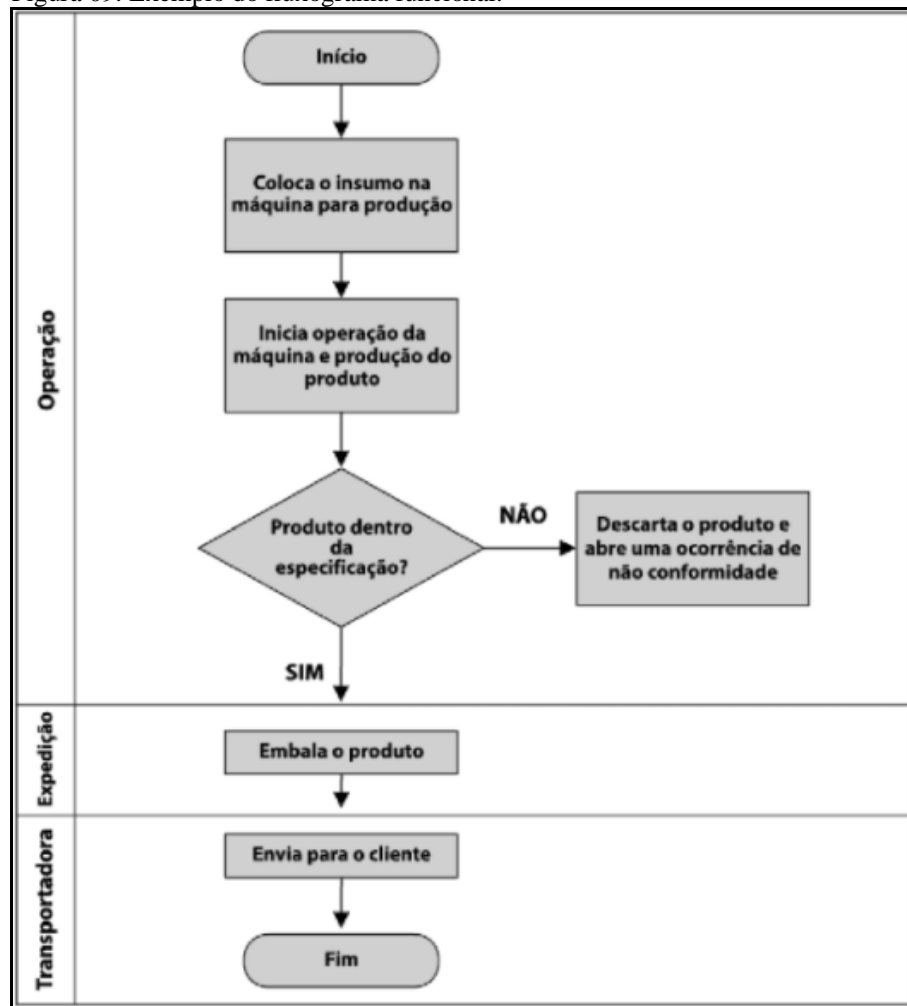
Figura 08: Simbologia de fluxograma.

| Símbolo | Significado |
|---|-----------------------------|
|  | Armazenagem |
|  | Sentido de fluxo |
|  | Conexão |
|  | Limites (início, pare, fim) |
|  | Operação |
|  | Movimento/transporte |
|  | Ponto de decisão |
|  | Inspeção |
|  | Documento impresso |
|  | Espera |

Fonte: (BARROS; BONAFINI, 2015).

Como mencionado anteriormente existem diferentes tipos de fluxograma como, por exemplo: diagrama de blocos ou linear, fluxograma funcional, fluxograma Ansi, fluxograma de processo simples e fluxograma vertical, todos com o objetivo de descrever o processo através de um fluxo de execução.

Figura 09: Exemplo do fluxograma funcional.



Fonte: (GRUPO FORLOGIC, 2016).

Nesse exemplo apresentado na figura 09 o autor retrata a aplicação de forma simples de um fluxograma funcional que permite a identificação de cada etapa e em qual fase essa etapa se encontra, dessa forma permite separar os procedimentos e uma melhor compreensão do processo.

2.3.5 Brainstorming

Desenvolvido por Alex Osborne no ano de 1941, que buscando novas formas de desenvolver ideias criativas percebeu que o conjunto de ideias partindo de um grupo de discussão poderia produzir excelentes resultados quando comparados com as ideias produzidas por um único indivíduo, dessa forma é possível montar um grupo em que todos sejam capazes de sugerir ideias que possam ser a solução de determinado assunto, aproveitando ao máximo a capacidade criativa de cada um (POSSARLE, 2014).

O uso do *brainstorming* como ferramenta para discutir ideias em grupos sobre determinada causa de um problema é relevante quando o caminho para chegar a essa causa parte da análise de um conjunto de pessoas, tornando possível a análise de diferentes pontos de vista (POSSARLE, 2014). A utilização do *brainstorming* no auxílio de outras ferramentas da qualidade como, por exemplo, o diagrama de cause e efeito, 5 porquês entre outras é perceptível uma vez que essas ferramentas utilizam de levantamentos de informações para prosseguir com a análise (BARROS; BONAFINI, 2014).

Possarle (2014, p. 108) cita alguns passos e etapas para elaboração do *brainstorming* como:

- a) Apresentar o problema a ser discutido;
- b) Os envolvidos irão propor as ideias e nesse primeiro momento não se deve criticar e nem desqualificar as ideias;
- c) Todas as ideias devem ser anotadas;
- d) Pode-se reformular as ideias já expressadas;
- e) Termina da etapa de exposição das ideias, retornando nas ideias já mencionadas com o intuito de discutir e avaliar, tornando possível eliminar as causas improváveis;
- f) Finalização e proposta de um plano de ação a partir das ideias selecionadas.

2.3.6 Técnica dos 5 porquês

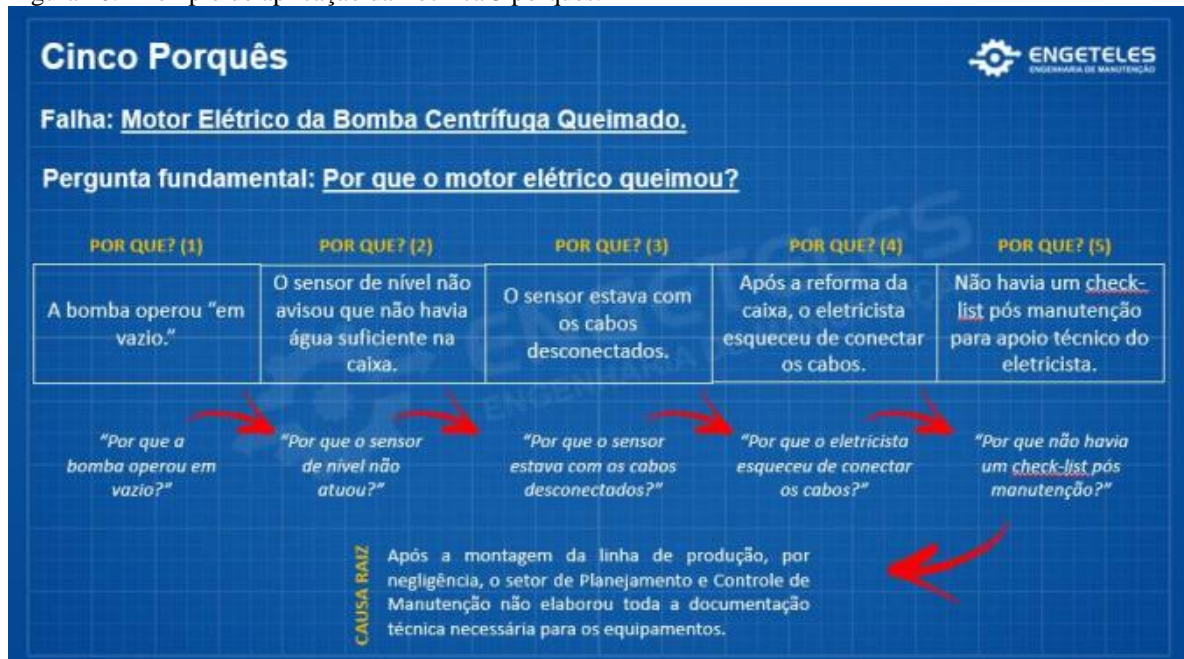
A Técnica dos 5 porquês foi criada por Sakichi Toyoda na década de 30, essa Técnica vem sendo cada vez mais utilizada no auxílio de resolução de problemas dentro das indústrias devido a sua simplicidade na elaboração, pois a técnica consiste em analisar a falha para causa que gerou o efeito, assim gerando a primeira pergunta “por que a falha aconteceu” e a resposta para essa pergunta se torna a próxima pergunta, a resposta não necessariamente vai ser obtida no quinto porquê isso não é uma regra, uma vez que as perguntas devem ser feitas quantas vezes necessárias até chegar no “porquê” que representa a causa raiz (NAPOLEÃO, 2019).

Napoleão (2019) cita que de forma errônea, quando surge uma falha há uma tendência em atuar nos efeitos dessa falha e não no que gerou essa falha (causa raiz), o que torna os planos de ação ineficientes, em que muitas das vezes a falha se repete, devido, a causa raiz do problema ainda permanecer, logo, a Técnica dos 5 porquês permite com que a causa raiz seja encontrada eliminando o problema ou tomando ações para que esse problema não volte a ocorrer. Para Teles (2019) existem falhas que não contêm apenas uma única causa raiz, logo,

para essas causas, os “porquês” devem sempre começar com uma observação diferente, permitindo encontrar outras causas raízes que possa estar causando o efeito.

A figura 10, exemplifica a aplicação dessa técnica dos 5 porquês praticada para encontrar falhas relacionadas a equipamentos.

Figura 10: Exemplo de aplicação da Técnica 5 porquês.



Fonte: (TELES, 2019, p. 218).

Napoleão (2019) sugere que em análise mais complexa a técnica dos 5 porquês pode ser usada em conjunto com outras ferramentas como por exemplo o diagrama de causa e efeito, dessa forma é possível elencar as principais causas daquele problema, e após utilizar a técnica dos 5 porquês para encontrar a causa raiz. A autora conclui que por mais que seja uma ferramenta de simples aplicação à mesma deve ser usada de forma correta, pois, se utilizada de forma incorreta pode-se encontrar efeitos da falha e não a causa raiz, logo, há dois passos principais de aplicação dos 5 porquês são eles:

- Identificação do problema: esse passo tem como objetivo entender qual é o problema ocorrido, o que vai ser analisado, essas informações devem ser coletadas de preferencia no local onde ocorreu a falha, e através de reuniões com quem vivenciou o problema;
- Pergunte os porquês: após a identificação do problema, coleta de informações e dados importantes para a análise é hora de começar de fato a técnica, iniciando os porquês partindo da falha até encontrar a causa raiz.

2.3.7 Modelo 5W2H

A ferramenta 5W2H tem como principal objetivo elaborar planos de ação de forma organizada apresentado como um documento estruturado, essa metodologia foi criada na indústria do segmento automobilístico no Japão, hoje muito utilizada em conjunto com as ferramentas da qualidade, para elaborar planos de ação de forma estratégica, o nome da ferramenta é dada devido as iniciais em inglês das palavras: *What, Why, Where, When, Who, How e How much*, logo, o objetivo é responder cada palavra, de forma a estruturar o plano de ação (NAPOLEÃO, 2018; POSSARLE, 2014).

Possarle (2017, p. 55; 56) demonstra algumas perguntas que podem ser feitas para cada palavra da ferramenta.

- a) Assunto/ o quê? (*What?*): Qual será o problema a ser enfrentado? Qual será a melhoria?;
- b) Objetivo/ por quê? (*Why?*): Por que se definiu esta ação? Por que essa ação é importante?;
- c) Loca/ onde? (*where?*): Onde será aplicado esta ação? Qual setor? Qual máquina / sistema?;
- d) Sequência/ quando (*When?*): Quando começará a implantação da ação, qual setor, departamento?;
- e) Responsável/ quem (*Who?*): Quem será o responsável pela execução da ação?;
- f) Método/ como (*How?*): Como a ação será implantada? O que deve ser feito?;
- g) Custo/ quanto (*How much?*): Quanto custa implantar esta ação? Quanto de economia se pretende atingir com esta ação?;

Ao utilizar o modelo 5W2H para elaboração de um plano de ação é importante que as ações sejam escritas de forma clara e objetiva para que os resultados sejam assertivos e claros para que todos os envolvidos compreendam as ações, além disso, recomenda-se que os planos de ações passem por revisões regularmente com o objetivo de identificar pontos de melhorias.

2.4 Indicadores de manutenção

Os indicadores de manutenção são considerados o termômetro da gestão, uma vez que o objetivo desses indicadores é monitorar as atividades de manutenção e avaliar quantitativamente se as atividades realizadas estão sendo eficientes. Existem inúmeros tipos de indicadores, cabe avaliar qual o indicador mais eficaz para determinada situação (TELES, 2019).

Para geração dos indicadores é necessário uma sistemática de coleta de dados que torna possível transformar dados qualitativos em dados quantitativos, essas informações podem ser coletadas por ordens de serviço (TELES, 2019).

Para controle da eficiência das atividades de manutenção alguns indicadores são indispensáveis, como por exemplo:

- a) *Mean time between failures* (MTBF) que traduzido para o português é o tempo médio entre falhas;
- b) *Mean time to repair* (MTTR) que traduzido para o português é o tempo médio para reparo;
- c) Disponibilidade inerente.

2.4.1 Tempo médio entre falhas (MTBF)

Indicador utilizado para medir o tempo médio em que uma falha acontece em determinado equipamento. Esse indicador é de simples aplicação e é determinado conforme a equação (1).

$$MTBF = \frac{\sum \text{das horas de trabalho em bom funcionamento}}{\text{número de falhas funcionais}} \quad (1)$$

2.4.2 Tempo médio para reparo (MTTR)

Usado para quantificar o tempo que uma determinada falha leva para ser reparada, possibilitando estimar qual é o tempo que o mantenedor leva em um futuro reparo, logo, esse indicador permite calcular os custo de reparo das tarefas. Esse indicador é determinado conforme equação (2).

$$MTTR = \frac{\sum \text{dos tempos de reparo da falha funcional}}{\text{número de intervenções realizadas}} \quad (2)$$

2.4.3 Disponibilidade inerente

Indicador que demonstra em porcentagem o quanto um equipamento ficou disponível em um determinado intervalo de tempo. Esse indicador é determinado conforme equação (3).

$$\% \text{ Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (3)$$

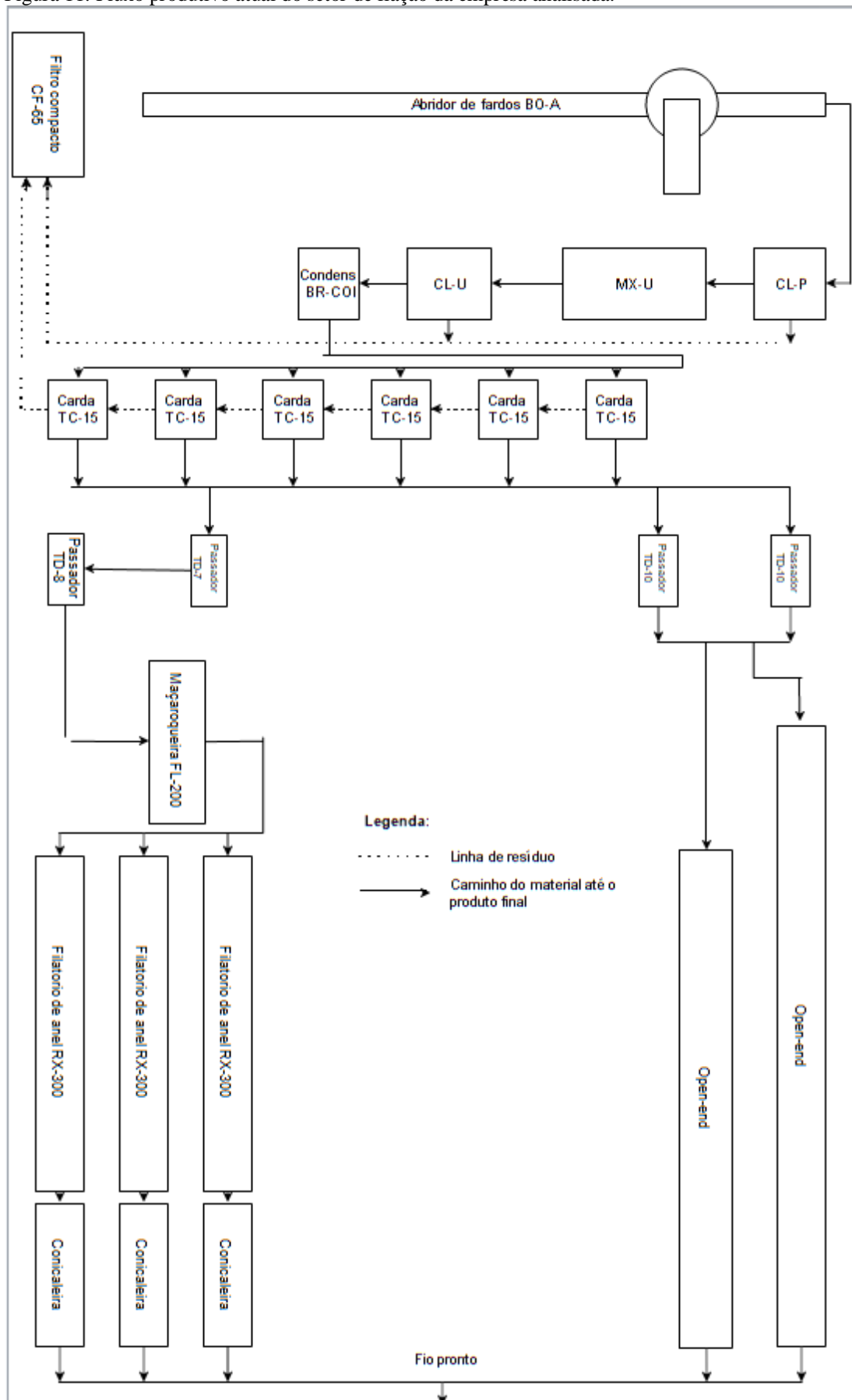
2.5 Fiação de algodão

O Processo denominado fiação têxtil consiste no processamento de fibras naturais, artificiais e sintéticas utilizadas como matéria prima que são processadas através de diversas operações como: abertura e limpeza da fibra, orientação das fibras, paralelização parcial das fibras, paralelização final das fibras, titulação, torção e bobinamento (PEREIRA, [201-?]).

Existem dois tipos básicos de fiação têxtil, que são fiações convencionais também denominadas de fiação de anel, e fiações de rotor também denominada de fiação *open end*, a função primária é a mesma para ambos os tipos, que é produção do fio, o que difere uma em relação à outra é o processo de fabricação e a qualidade do fio (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2015).

Segundo Ladchumananandasivam (2002), as máquinas utilizadas para o processamento da fibra são selecionadas de acordo com o tipo de fio que se deseja fabricar, utilizando como exemplo a fiação convencional e a fiação a rotor, algumas máquinas são em comum em ambos os modelos.

Figura 11: Fluxo produtivo atual do setor de fiação da empresa analisada.



Fonte: O Autor.

A figura 11 demonstra a sequência do processamento da fibra desde a abertura dos fardos de algodão até o produto acabado, permitindo analisar a importância da máquina analisada.

2.5.1 *Roving frame* (maçaroqueira)

Roving frame ou popularmente conhecida como maçaroqueira é uma máquina utilizada para a preparação das fitas oriundas dos processos anteriores em que sua função primária é realizar a estiragem das fitas e aplicar uma breve torção, transformando as fitas em pávio, esse processo se faz necessário uma vez que conforme as fitas são processadas elas tendem a afinar, diminuindo a gramatura tornando a resistência cada vez menor, logo, se esse processo não for realizado, não é possível o desenrolamento do pávio no filatório de anel (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2015). A figura 12 demonstra uma maçaroqueira do modelo FL-200 do fabricante Toyota.

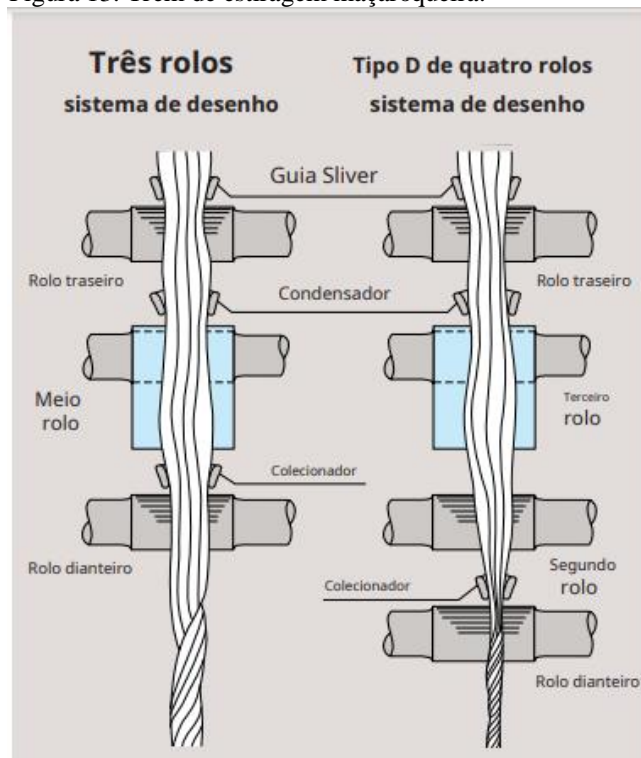
Figura 12: *Roving frame* (Maçaroqueira) FL-200 Toyota.



Fonte: O Autor.

A estiragem da fita é feita através do trem de estiragem que são compostos por cilindros ranhurados que podem ser constituído por três ou quatro cilindros e essa estiragem se dá pela diferença de rotação dos cilindros, a alimentação do material é realizada através de uma gaiola de alimentação que guia as fitas para a zona de pré-estiragem onde sofre a primeira estiragem que gira em torno de 1,1 a 1,8 vezes, ao sair da zona de pré-estiragem o material é direcionado para zona de estiragem principal e por fim a zona de condensação (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2015).

Figura 13: Trem de estiragem maçoarqueira.



Fonte: Adaptado (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION, 2007, p. 6).

A figura 13 demonstra simplificadaamente como é o funcionamento do trem de estiragem de três e quatro cilindros.

2.5.2 Sistema de descarregamento simultâneo de maçoaroca tipo FRD

O sistema de descarregamento simultâneo de maçoaroca é responsável por retirar as bobinas cheias e inserir bobinas vazias na máquina, esse sistema é importante dentro do contexto operacional da maçoarqueira uma vez que diminui o tempo de *setup*, isso permite um ganho considerável na produtividade, o tempo de inatividade produtiva para fazer a troca é de 3.5 minutos (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION, 2007).

O sistema conta com três principais componentes, para fazer os procedimentos de troca, são eles:

- a) Elevador: é responsável por inserir as bobinas vazias no garfo e retirar as bobinas cheias que posteriormente serão encaminhadas automaticamente através de um trilho transportador para os filatorios, o mesmo se desloca verticalmente onde recebe as bobinas vazias do transporte de maçoaroca e entrega as bobinas vazias para o garfo e retira as cheias;
- b) Garfo: é responsável por segurar as bobinas cheias e vazias;

- c) Carro transportador: é responsável por transportar as bobinas cheias para a posição de coleta do elevador, e levar as bobinas vazias até a mesa da maçarqueira.

Figura 14: Retirada das bobinas cheias e inserção das bobinas vazias na máquina



Fonte: O Autor.

A Figura 14 demonstra a etapa de carga e descarga de bobinas em que a parte de trás dos garfos retira as bobinas cheias da máquina, e leva para a posição de recebimento das bobinas vazias, após, o garfo entrega as bobinas vazias para a máquina e leva o carro para a posição em que o elevador recolhe as bobinas cheias.

Figura 15: Coleta das bobinas cheias pelo elevador.



Fonte: O Autor.

A figura 15 demonstra o elevador carregado com as bobinas cheias, após a finalização do processo de arriada automática, o sistema recebe o comando para o trilho levar as bobinas cheias até o trocador, que alimentará os trilhos do filatório.

3 METODOLOGIA

A metodologia consiste na aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) para investigar quais as causas fundamentais que geram a falha [posição de origem não foi definida] em um sistema de descarregamento simultâneo de maçaroca em uma máquina utilizada no setor de fiação da indústria têxtil, essa máquina é denominada de *Roving frame* popularmente conhecida como maçaroqueira, após a investigação das possíveis causas fundamentais, foi realizada a aplicação do plano de ação visando mitigar a falha ou reduzir os efeitos da mesma, para atingir os resultados esperados, as etapas de execução das atividades seguem um roteiro proposto no quadro 01.

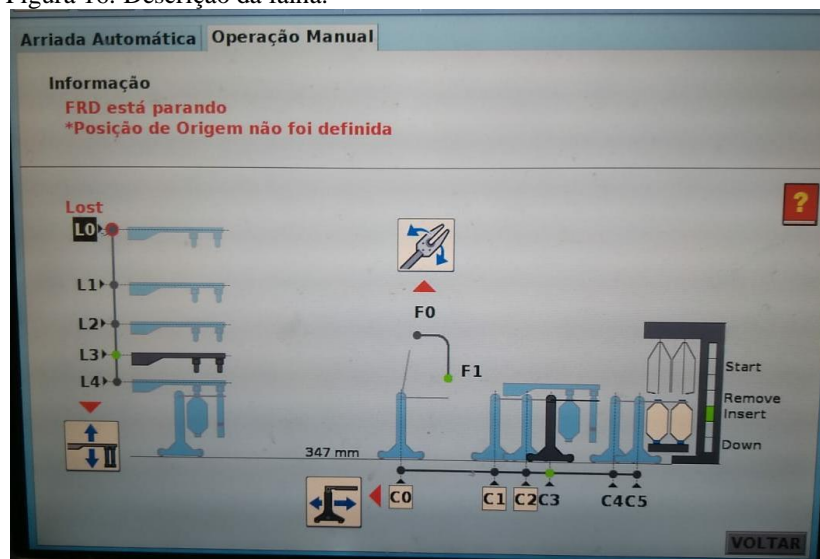
3.1 Fases do planejamento

Dentro das fases do planejamento estão distribuídos quatro processos e em cada processo existem diferentes tarefas, os processos estão subdivididos em: Identificação do problema, Observação, Análise e Plano de Ação.

3.1.1 Identificação do problema

A escolha da falha [posição de origem não foi definida] se faz necessário devido ao impacto da mesma, causado pela sua repetitividade, a figura 16 demonstra como a falha se apresenta na máquina.

Figura 16: Descrição da falha.



Fonte: O Autor.

Essa falha ocorre durante o procedimento de descarregamento simultâneo de maçaroca, impossibilitando a finalização do processo causando atrasos produtivos, gerando ordem de serviço para a equipe de manutenção, banco de horas / horas extras e baixa confiabilidade do sistema uma vez que a falha se torna imprevisível, pois não demonstra um padrão de ocorrência e acontece de forma inesperada.

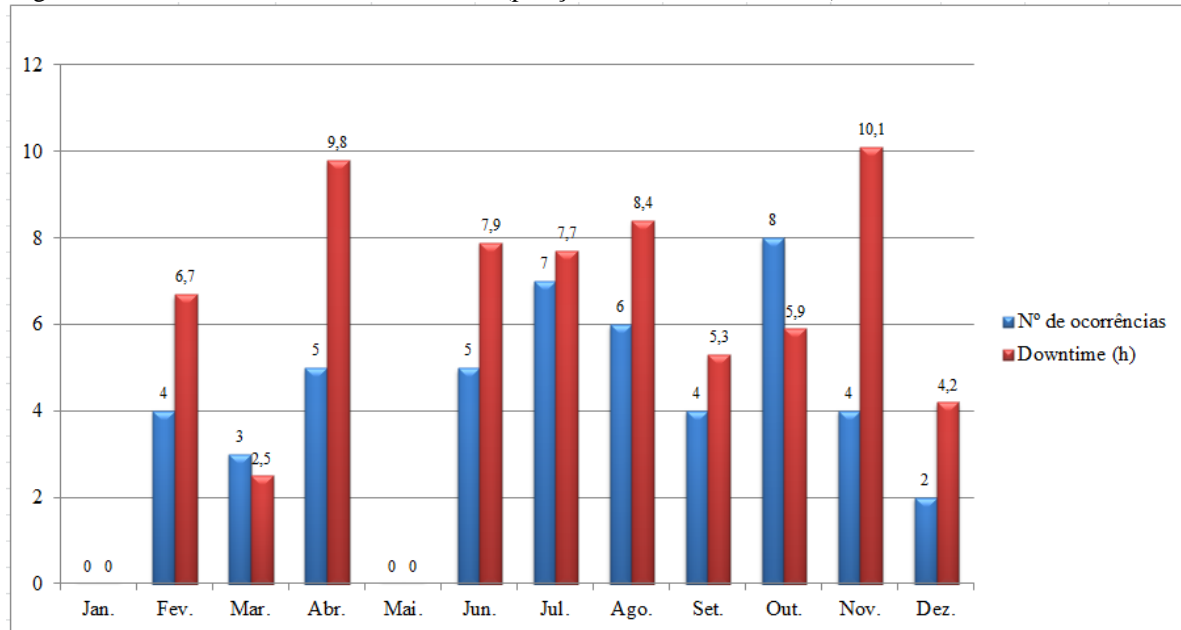
Quando a falha ocorre, para repor as condições de operação é necessário retornar o sistema a suas posições de origem que estão dispostas na posição L0, C0 e F0, contudo, para isso deve-se intervir mecanicamente, pois muitas vezes na posição em que a falha ocorre o sistema bloqueia a operação, desta forma é necessário recolocar o sistema nas posições de origem de forma manual.

3.1.1.1 Levantamento Histórico

A Falha [posição de origem não foi definida] como já mencionado anteriormente apresenta um caráter imprevisível, pois, a falha não apresenta sinais de que vai ocorrer. Para a análise em questão foi realizado o levantamento histórico das falhas registradas em ordens de serviço e planilha de ocorrências que é um sistema adotado pelo setor onde cada encarregado descreve as ocorrências de seus turnos, outra forma de coletar esses dados foi à implantação de uma lista de verificação, uma folha que fica a disposição do próprio operador para registrar todas as falhas do seu turno. O período de análise do histórico foi realizado entre os meses de fevereiro a dezembro do ano de 2020, para possibilitar o comparativo antes e depois da aplicação do plano de ação.

Após o levantamento realizado através das ordens de serviço e planilha de ocorrências tornou-se possível uma análise quantitativa das falhas do referido período, verificando o número de ocorrências e o *downtime* causado por essa falha, cabe ressaltar que esse tempo considerado no *downtime* é a soma de todos os tempos de parada causados pela falha do início de cada falha até o momento em que a máquina é recolocada em funcionamento, a figura 17 demonstra o número de ocorrências no ano de 2020.

Figura 17: Número de ocorrência e *downtime* (posição não definida elevador) ano 2020.



Fonte: O Autor

No gráfico de barras é possível observar que a falha não ocorre de forma padrão à mesma acontece de forma aleatória, outra observação que é possível relatar é que o *downtime* não está totalmente ligado ao número de falhas, uma vez que essas horas foram consideradas do momento em que a falha ocorreu até a liberação do equipamento para retornar a produção, a equipe de manutenção no ano de 2020 trabalhava em horário administrativo já o setor de fiação trabalha em horários 12x36 tanto nos turnos diurnos e noturnos, logo, as falhas que ocorriam fora do horário de atuação da equipe de manutenção geraram períodos maiores de parada uma vez que, quando a falha ocorria aos finais de semana era necessário acionar o plantão, já quando a falha acontecia no período noturno o equipamento ficava parado até a equipe de manutenção chegar, dessa forma gerando em algumas falhas longos períodos de parada.

3.1.1.2 Perdas e ganhos possíveis

Após realizar todo o levantamento histórico envolvendo essa falha torna-se possível uma estratificação dos custos envolvidos. Para o cálculo foram considerados os custos diretos e indiretos envolvidos na falha como: Homem hora (H.H) empregado na manutenção corretiva, ociosidade operacional e o lucro cessante.

Para o cálculo do H.H aplicado na corretiva foi considerado o tempo de execução das atividades corretivas para recolocar o sistema em funcionamento.

Custo do H.H: R\$ 18,00

Tempo médio na execução da correção da falha: 38 min

Nº de ocorrências: 48

Custo do H.H empregado na corretiva: $[(38 \times 48) / 60] \times 18,00 = \text{R\$ } 547,20$

O cálculo da ociosidade operacional foi considerado a hora de trabalho do operador multiplicada ao *downtime* relacionada à falha.

Custo H.H: R\$ 08,50

Downtime: 68 horas e 30 min

Custo de ociosidade operacional: $68,5 \times 8,50 = \text{R\$ } 582,25$

O Prejuízo/ hora de máquina parada foi fornecido pela empresa, no montante estão considerados os custos de matéria prima, consumo energético dos processos anteriores, mão de obra e manutenção, foi fornecido os seguintes dados:

Capacidade produtiva considerada: 114 kg/h

Perda produtiva total causada pela falha: 7809 kg

Custo/kg: R\$ 15,00

Lucro cessante/ hora: $114 \times 15 = \text{R\$ } 1.710,00$

Lucro cessante ano 2020: $68,5 \times 1710,00 = \text{R\$ } 117.135,00$

O lucro cessante é considerado como custo indireto causado pela falha é pode ser definido como o prejuízo devido à interrupção do processo produtivo, logo, é possível interpretar, que é um valor quantitativo que representa o impacto da falha no processo produtivo e não são valores retirados do caixa da empresa, mas sim valores potenciais. Desta forma, os impactos causados pela falha é a soma de todos esses custos que representa um valor de R\$ 118.264,45.

Os ganhos com a eliminação ou redução considerável da ocorrência dessa falha são inúmeros, alguns mais notáveis quais sejam: a redução do lucro cessante causado pela falha, redução do *Backlog* da equipe de manutenção e o aumento da disponibilidade e confiabilidade do ativo.

3.1.1.3 Formação da equipe

Segundo Pinto e Xavier (2019) para a formação de uma equipe que utiliza o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) como método de investigação, se faz fundamental a multidisciplinaridade, assim selecionar pessoas com diferentes habilidades relacionadas à natureza da falha, como profissionais dos departamentos de operação e manutenção, são importantes pelo fato de potencializar a identificação de informações importantes que muitas vezes não foram descritas nos documentos históricos daquela falha.

Seguindo essa premissa a montagem do grupo de análise foi constituída a partir da observação inicial do cenário dessa falha, a máquina contém dispositivos elétricos, eletrônicos e mecânicos, dessa forma foi tomado o cuidado de envolver profissionais que possuem conhecimento de cada área, o quadro 03 demonstra a composição da equipe descrevendo os membros e as principais funções.

Quadro 03: Composição da equipe de análise da falha.

| Composição da equipe | |
|---------------------------------|--|
| Membros | Principais Funções |
| Supervisor de Manutenção | Atuar como facilitador, instruindo a equipe e direcionando a metodologia da análise. |
| Técnico em eletrotécnica | Analisar os componentes eletrônicos e elétricos que podem estar relacionados à falha |
| Técnico em Mecânica | Analisar os componentes mecânicos que podem estar relacionados à falha |
| Operador | Suporte com informações relevantes sobre a falha |

Fonte: O Autor

No quadro 03 foi descrito apenas as principais funções de cada membro, mas os mesmos não se limitavam a essas ações, todos contribuíam inteiramente com a análise e coleta de dados para que o plano de ação pudesse ser o mais assertivo possível, dessa forma a análise não se limitava a visão de apenas um membro e sim a visão de todos do grupo.

3.1.2 Observação

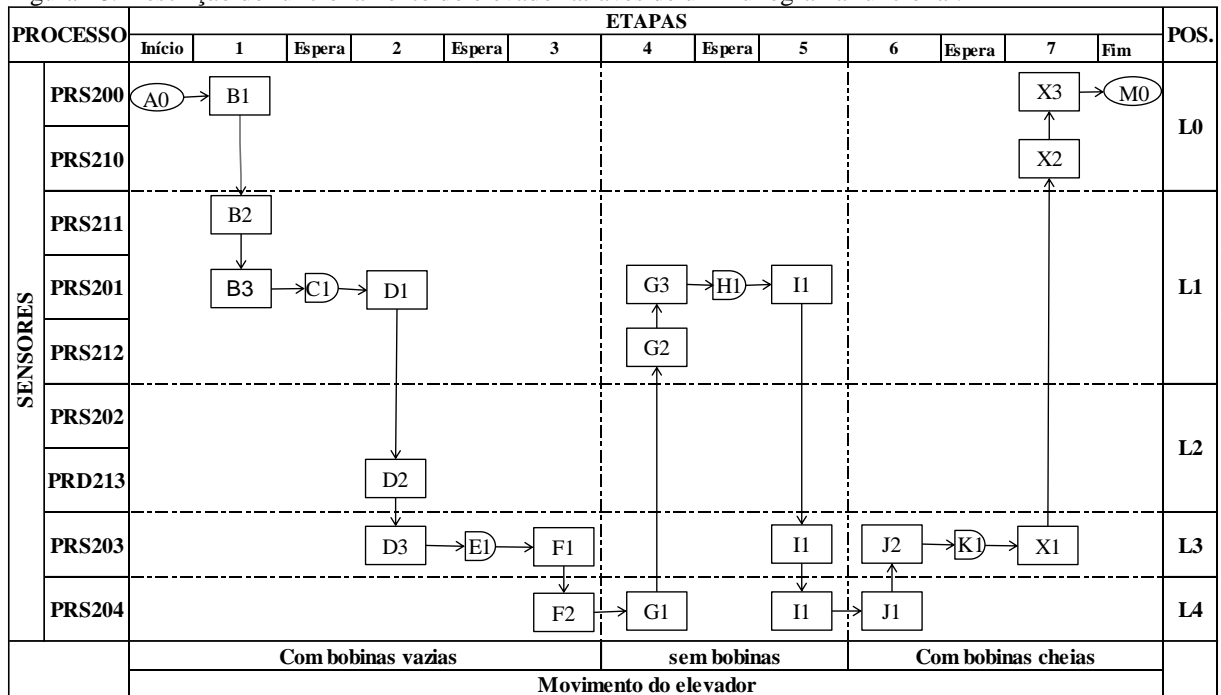
Nesse processo foi realizado a análise em campo com a equipe envolvida, com o objetivo de observar como a falha se apresentava e localizar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob diversos pontos de vista, a equipe multidisciplinar pode analisar as características da falha sob diferentes situações, é nessa fase que a equipe pôde

analisar as primeiras possibilidades da causa do problema, assim dando embasamento para as etapas futuras da análise, nesse ponto todos observaram em campo o funcionamento da máquina realizando anotações de todos os pontos relacionados ao elevador do sistema de descarregamento simultâneo.

3.1.2.1 Etapas de funcionamento do elevador no sistema de descarregamento simultâneo FRD

Primeiramente para investigar a falha deve-se entender o funcionamento do sistema referente ao elevador, para isso foi feita a observação de alguns descarregamentos para coletar informações, a primeira observação foi analisar quais as etapas do descarregamento de forma automática. O fluxograma funcional representado pela figura 18 demonstra de forma sequenciada o funcionamento apenas do elevador.

Figura 18: Descrição do funcionamento do elevador através de um fluxograma funcional.



Fonte: O Autor

Para compreender cada etapa de execução do elevador foi elaborada uma legenda que assimila cada código do fluxograma com a descrição das atividades, o quadro 04 descreve as atividades em cada ponto do fluxograma.

Quadro 04: Descrição dos movimentos do elevador.

| LEGENDA | |
|----------------|--|
| Código | Descrição das atividades |
| A0 | Início |
| B1 | Elevador inicia o movimento em velocidade normal |
| B2 | Elevador reduz a velocidade de deslocamento |
| B3 | Elevador para |
| C1 | Aguardando o carro retirar as maçarocas cheias na máquina |
| D1 | Elevador inicia o movimento em velocidade normal |
| D2 | Elevador reduz a velocidade de deslocamento |
| D3 | Elevador para |
| E1 | Aguardando o posicionamento do carro para inserção de bobinas vazias |
| F1 | Elevador inicia o movimento em velocidade reduzida |
| F2 | Elevador deposita bobinas vazias no carro |
| G1 | Elevador inicia o movimento em velocidade normal |
| G2 | Elevador reduz a velocidade de deslocamento |
| G3 | Elevador para |
| H1 | Aguardando o carro inserir bobinas vazias na máquina |
| I1 | Elevador inicia o movimento em velocidade normal |
| I2 | Elevador reduz a velocidade de deslocamento |
| I3 | Elevador coleta bobinas cheias no carro |
| J1 | Elevador inicia o movimento em velocidade reduzida |
| J2 | Elevador para |
| K1 | Aguardando carro se posicionar |
| X1 | Elevador inicia o movimento em velocidade normal |
| X2 | Elevador reduz a velocidade de deslocamento |
| X3 | Elevador para |
| M0 | Fim |

Fonte: O Autor.

Compreendendo como o sistema funciona possibilita prosseguir para outra avaliação, que é entender como o elevador realiza o reconhecimento de cada posição, assim torna possível analisar qual o sistema responsável por alertar que a posição de origem não está definida, uma pergunta foi feita nesse ponto “como o sistema reconhece a posição que o elevador está?”, para isso foi consultado o manual do fabricante. Ao longo do deslocamento do elevador são posicionados alguns sensores magnéticos, esses sensores são responsáveis por comunicar ao sistema em qual posição o elevador se encontra (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION; 2019) o quadro 05 lista os sensores posicionados no pilar de deslocamento do elevador e descreve as funções de cada um deles.

Quadro 05: Lista de sensores.

| Sensor | Objeto de detecção |
|--------|----------------------------------|
| PRS200 | Posição de parada do elevador L0 |
| PRS201 | Posição de parada do elevador L1 |
| PRS202 | Posição de parada do elevador L2 |
| PRS203 | Posição de parada do elevador L3 |
| PRS204 | Posição de parada do elevador L4 |
| PRS210 | Posição de desaceleração L0 |
| PRS211 | Posição de desaceleração L1 |
| PRS212 | Posição de desaceleração L2 |
| PRS213 | Posição de desaceleração L3 |

Fonte (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION; [2019]).

As posições físicas de cada sensor são sugeridas pelo manual do fabricante, essas posições são ajustadas manualmente, e permitem que o sistema consiga depositar as bobinas vazias e retire as bobinas cheias. A figura 19 demonstra como é o posicionamento dos sensores no pilar, também é possível identificar o suporte responsável por gerar o pulso nos sensores magnéticos.

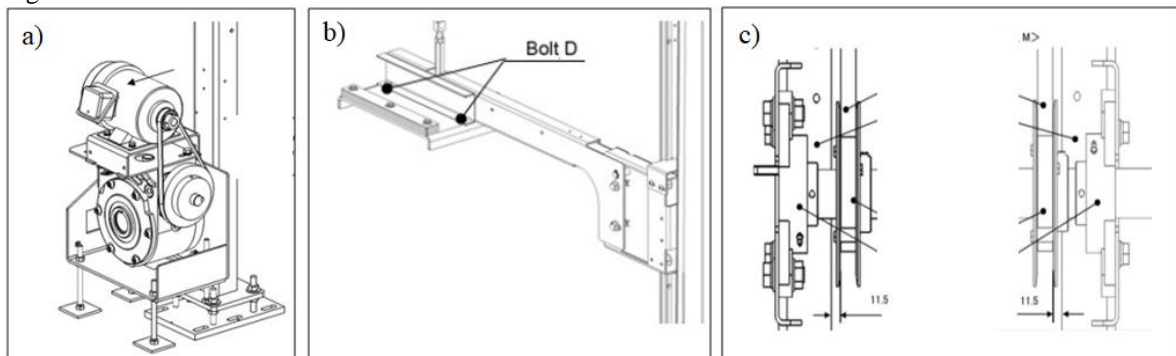
Figura 19: Posicionamentos dos sensores no pilar.



Fonte: o Autor.

Para entender como o sistema detecta que a posição de origem não está definida é necessário primeiramente compreender como o elevador se movimenta. O acionamento do elevador é realizado por um conjunto motoredutor que é acoplado em um eixo de transmissão denominado de eixo de elevação e ao longo desse eixo está fixado oito polias de elevação, esse sistema é responsável por enrolar e desenrolar as correias de elevação, possibilitando com que o elevador se movimente na vertical (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION, 2019), figuras 20 demonstra um quadro de figuras do acionamento do sistema.

Figura 20: Sistema de transmissão do elevador.

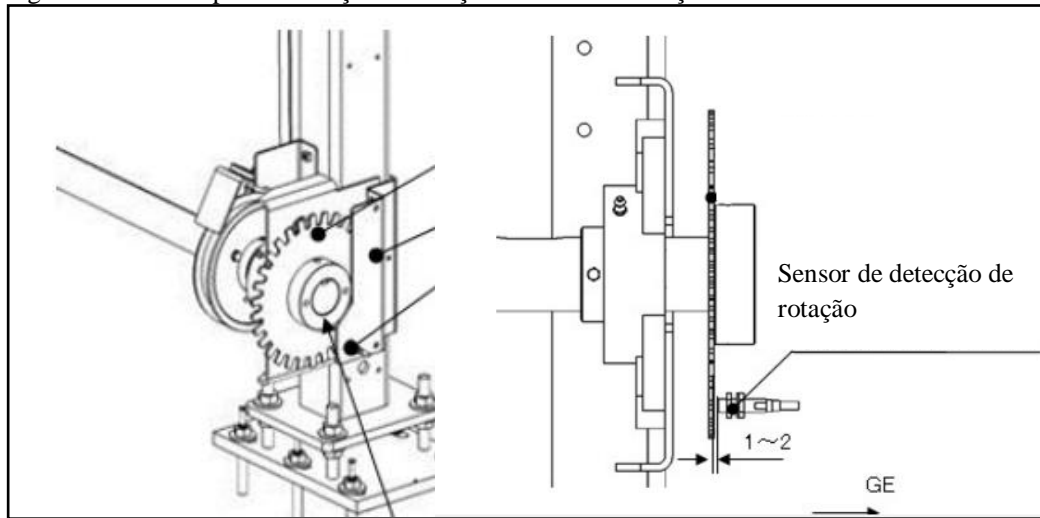


Fonte: (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION, [2019]).

- a) Conjunto motoredutor, responsável por tracionar o eixo de elevação;
- b) Braço de elevação, o sistema conta com quatro braços de elevação responsáveis por sustentar o trilho de transporte de maçarocas;
- c) Polias de elevação, o sistema contém oito polias fixadas ao longo do eixo de elevação responsáveis por guiar o enrolamento das correias.

Em uma das extremidades do eixo de elevação, está posicionado o sensor de detecção de rotação (PRS250), esse sensor detecta a quantidade de pulsos gerados pelo deslocamento do elevador, esses pulsos são gerados por um disco que está fixo ao eixo de elevação, desta forma ao rotacionar o eixo o disco acompanha a rotação, o disco é serrilhado em sua extremidade permitindo com que o sensor receba e registre os pulsos, a figura 21 demonstra o sistema.

Figura 21. Sistema para a detecção de rotação do eixo de elevação.



Fonte: (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION, [2019]).

Após o posicionamento dos sensores o sistema deve ser submetido a uma operação de ensino do elevador que é realizada através do painel de operação, nessa fase o sistema é acionado, onde o elevador vai descer e subir com uma velocidade reduzida com o objetivo de reconhecer cada posição e gravar essas informações na memória da máquina, logo, para monitorar se a operação de subida e descida do elevador não contém erros, o sensor PRS250 armazena a contagem de pulsos, os sensores PRS200 a 213 informam a posição do elevador e o sistema confronta as informações dos sensores de posicionamentos com o sensor de contagem de pulsos (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION, 2019). Para facilitar o entendimento foi montado uma lógica de funcionamento do sistema baseado nas informações técnicas dispostas no manual do fabricante, que demonstram a quantidade de pulsos gerados pelo sensor PRS250 e a posição que o elevador deve estar ao registrar essa quantidade de pulsos, a figura 22 representa a lógica de funcionamento dos sensores.

Figura 22: Lógica de funcionamento dos sensores.

| | | Sensor PRS250 | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------|---------------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|---|---|
| | | Início | 80 | | 132 | | 138 | | 195 | | 252 | | 256 | | 392 | | |
| Condições dos sensores | | on | off | on | off | on | off | on | off | on | off | on | off | on | off | | |
| Sensores | Contagem de pulsos | ● | | | | | | | | | | | | | | ● | |
| | PRS200 | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● |
| | PRS210 | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● |
| | PRS211 | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● |
| | PRS201 | | ● | ● | | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● |
| | PRS212 | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● |
| | PRS202 | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● |
| | PRD213 | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● |
| | PRS203 | | ● | | ● | ● | | | ● | | ● | | ● | | ● | | ● |
| PRS204 | | ● | | ● | | ● | ● | | | ● | | ● | | ● | | ● | |

Fonte: O Autor.

A figura 22 regista a mesma lógica de funcionamento demonstrada na figura 18, porém, neste caso foram representadas apenas as posições de paradas do elevador, qualquer divergência dessa lógica o sistema acusa a mensagem [FRD-E-3-14 Pulso da Pos. de parada do conjunto de elev. Está anormal (PRS250)] e após acusa a mensagem [FRD-W-3-10 Origem Perdida do conj. De elevação] que é a falha de posição de origem não foi definida, isso significa que em algum momento o sensor PRS250 recebeu os números de pulsos memorizados na função de ensino, porém, não recebeu a informação do sensor de posicionamento, gerando assim uma inconsistência na lógica, o contrário também é verdadeiro, se os sensores de posicionamento recebem pulso antes do número de pulsos ideal referente aquela posição o sistema vai gerar as mesmas mensagens de erro.

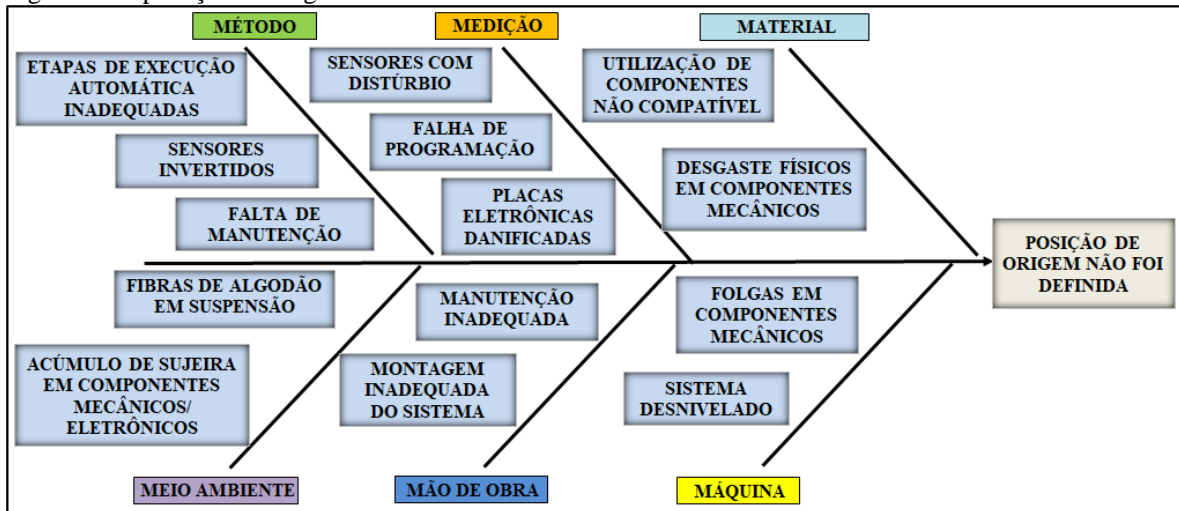
Foram realizados testes práticos para comprovar essa lógica, o primeiro teste foi atuar o sensor de posição antes do número de pulsos referente aquela posição, o segundo teste foi afastar o sensor magnético de forma que o dispositivo não acionasse o mesmo, em ambos os testes a falha foi gerada.

3.1.3 Análise

Nessa fase o foco principal é analisar as possíveis causas que influenciam na falha, como nos processos anteriores foi possível entender como o sistema funciona, aqui a equipe já era capaz de sugerir possíveis causas que influenciavam no processo, para isso foi realizado um *brainstorming* para listar as sugestões de cada membro conforme a observação do sistema em funcionamento.

Na fase posterior foi realizada uma discussão para eliminar as causas menos prováveis, por fim através de discussões com a equipe foram listadas algumas causas que poderiam estar causando a falha, cabe ressaltar que um problema pode ser gerado por uma ou mais causas, logo, para a etapa posterior foi utilizado o diagrama de Ishikawa para investigar as possíveis causas listadas, a figura 23 demonstra a aplicação da ferramenta diagrama de Ishikawa para investigá-la as possíveis causas geradoras do problema.

Figura 23: Aplicação do diagrama de Ishikawa.



Fonte: O Autor.

Após a execução do diagrama de Ishikawa, a equipe passou a trabalhar em torno das causas listadas, em que o objetivo é encontrar a causa raiz do problema, nessa fase a utilização da técnica dos 5 porquês foi fundamental, ao analisar foi observado que em alguns momentos a roldana guia do elevador não estava rodando causando trepidação ao longo do deslocamento, logo, ao parar nos sensores de posicionamento algumas das vezes o braço de elevação não parava na posição de leitura do sensor, causando uma incompatibilidade com a lógica de funcionamento dos sensores descrita na figura 22, em primeiro momento foi realizada a troca do componente, contudo, após cerca de 30 dias ocorreu a falha novamente, nesse momento foi encontrado um grande acúmulo de sujeira na roldana guia, a figura 24 demonstra a roldana guia retirada após a identificação do acúmulo de sujeira.

Figura 24: Acúmulo de sujeira na roldana guia do elevador.



Fonte: O Autor.

Esse acúmulo de sujeira causa o travamento da roldana em alguns momentos, isso faz com que o braço de elevação trepide ao longo do deslocamento do elevador, para chegar nessa observação foi aplicado a técnica dos 5 porquês, abaixo está um dos exemplos utilizados na elaboração dos 5 porquês representado pela figura 25.

Figura 25: Aplicação da Técnica dos 5 porquês.

| Falha: posição de origem não definida | | | |
|---|---|--|--|
| Pergunta fundamental: porque a falha de posição não definida acontece? | | | |
| Por que? (1) | Por que? (2) | Por que? (3) | Por que? (4) |
| O sensor PRS 250 registra pulsos anormais | A lógica de atuação dos sensores é incorreta | O braço de elevação não para na posição de atuação do sensor | O braço do elevação estava trepidando ao longo do deslocamento |
| Por que? (5) | Por que? (6) | Por que? (7) | Causa fundamental |
| A roldana guia estava travando | Havia uma grande concentração de fibras de algodão na roldana | Ambiente contém muita fibra de algodão em suspensão | Acúmulo de sujeira na roldana guia |

Fonte: O Autor.

Após encontrar a causa mais provável deve-se submeter a um teste de consistência, para averiguar se de fato será possível eliminar a ocorrência da falha, para isso é importante verificar se a causa pode ser bloqueada. O acúmulo de sujeira na roldana guia é causado pela produção de maçarocas que geram fibras em suspensão das quais se depositam em vários pontos da máquina, logo, não é possível eliminar a fonte geradora uma vez que a geração de fibras em suspensão é inerente ao processo.

O processo de fiação conta com centrais de climatização que controlam a temperatura e umidade da sala, fazendo com que a circulação de ar retire essas fibras, contudo, não é suficiente para fazer a sucção de 100% das fibras em suspensão, assim partes dessas fibras não são retiradas e se acumulam em outros locais, a figura 26 demonstra como o sistema fica carregado de sujeira após aproximadamente 30 dias em operação.

Figura 26: Nível visual de sujeira no pilar do elevador.



Fonte: O Autor.

Na Figura 26 é possível observar o nível de sujeira que se acumula em um intervalo relativamente curto nos componentes mecânicos e eletrônico, cabe ressaltar que esse pilar é coberto com uma tampa de proteção, logo, embora os sensores sejam magnéticos e a sujeira de fibra de algodão não interfira no funcionamento do mesmo, a sujeira ao longo do tempo pode entrar na folga entre o sensor e o suporte do braço de elevação e retirar o sensor da sua posição, haja vista que o distanciamento entre o sensor e a chapa é de 0,8 mm, assim ao entrar excesso de sujeira, o sensor será retirado da posição ou até mesmo danificado, certamente ocorrendo à falha.

3.1.4 Plano de ação

Após a identificação de que a causa mais provável seria o acúmulo de sujeira nos componentes, principalmente na roldana guia do braço de elevação, foi elaborado um plano de ação para realizar o teste de consistência da causa, onde inicialmente foi estipulada uma manutenção preventiva baseada no tempo conforme o intervalo da última falha anterior que foi de aproximadamente 30 dias, sendo definido que a cada 20 dias seria realizada a limpeza do sistema com o objetivo de não deixar acumular sujeira, para definição do plano de ação foi utilizado a ferramenta 5W2H para organizar e padronizar as informações.

- a) Ação (*what*)? Realizar manutenção preventiva baseada no tempo;
- b) Por que (*why*)? Para retirar o acúmulo de sujeira nos componentes mecânicos/ eletrônicos;
- c) Quem (*who*)? Mecânico e auxiliar de manutenção;
- d) Quando (*When*)? Em intervalos de 20 em 20 dias conforme plano de ação;
- e) Onde (*where*)? Nos pilares do elevador do sistema de descarregamento simultâneo da máquina *roving frame* (maçaroqueira);
- f) Como (*how*)? Desenvolver procedimento operacional padrão para executar a manutenção;
- g) Quanto custa (*how much*)? R\$16.496,94 por ano.

Para o cálculo do custo das atividades de manutenção preventiva foram considerados: O H.H empregado na manutenção e o lucro cessante.

Custo H.H do mecânico: R\$ 18,00

Custo H.H do auxiliar de manutenção: R\$ 08,52

Tempo estimado para execução da manutenção preventiva: 30 min

Lucro cessante/ hora: R\$ 1.710,00

Número de preventiva em um ano considerando intervalos de 20 dias: 19 paradas

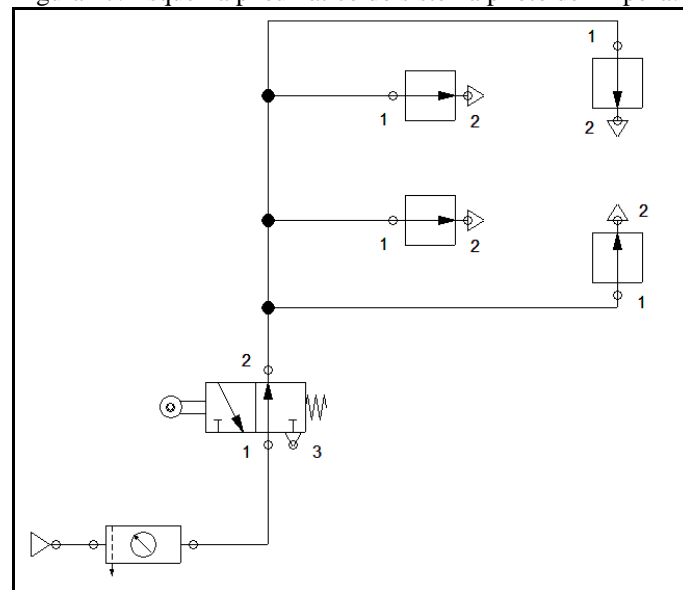
Custo da manutenção preventiva/ ano: $\{[(30 \times 19) / 60] \times [18,00 + 08,52 + 1710,00]\} =$ R\$ 16.496,94

As ações foram feitas conforme o plano de ação a cada 20 dias durante 04 meses, ao decorrer desses meses ocorreram duas falhas, onde foi investigado o possível motivo, foi observado que ainda havia o acúmulo da sujeira nas roldanas, foi sugerido diminuir o tempo de intervenção, porém, aumentaria o número de paradas da máquina, gerando um custo ainda maior.

Analisando o custo anual da parada da máquina para realização da preventiva nos quatro pilares, a equipe propôs a aplicação de um sistema piloto de limpeza automático em paralelo com a manutenção preventiva haja vista que a manutenção preventiva demonstrou uma diminuição da ocorrência de falha, o objetivo do sistema piloto era analisar se o mesmo substituiria a limpeza feita de forma manual, o sistema seria instalado no pilar que há o sensoriamento, dessa forma poderia comparar os resultados com os pilares que não contém o sistema piloto de limpeza.

No pilar que há os sensores seria aplicado bicos injetores de ar direcionados nos pontos chave do braço do elevador que são: As roldanas e os sensores, totalizando quatro bicos. Para verificar a viabilidade econômica foi realizado um esquema pneumático para visualizar previamente o que seria necessário para a instalação, à figura 27 demonstra o esquema pneumático utilizado na montagem do sistema piloto de limpeza.

Figura 27: Esquema pneumático do sistema piloto de limpeza.



Fonte: O Autor.

A proposta foi à fixação dos bicos injetores no próprio braço de elevação em que o sistema utiliza uma válvula direcional 3/2 vias normal aberta com acionamento mecânico que está fixada no pilar, logo, no momento em que o elevador se encontra na posição inicial L0 o próprio braço de elevação atua a válvula fechando a passagem de ar, quando o elevador se movimentar para fazer à troca das maçarocas a válvula é liberada permitindo a saída de ar pelos bicos injetores, dessa forma ao se movimentar verticalmente, os bicos injetores que estão fixados no braço de elevação injetam ar constantemente durante 2,5 minutos retirando a sujeira das roldanas e dos sensores. O tempo médio entre cada descarregamento é de

aproximadamente 1 hora e 40 minutos, ao longo de um dia o sistema limpa automaticamente 13 vezes os componentes, impedindo o acúmulo da sujeira nas roldanas e sensores, a limpeza realizada pelos bicos injetores ocorre com frequência, assim não gera o problema de jogar a sujeira para outro lugar, a sujeira fica apenas impedida de se acumular onde não deveria.

Com isso foi realizado o levantamento dos custos envolvidos para instalar o sistema piloto de limpeza considerando os seguintes custos: mão de obra, materiais utilizados, consumo anual de ar comprimido e lucro cessante causado pela instalação, A tabela 01 estratifica todos os custos envolvidos para a instalação do sistema.

Tabela 01: Custos envolvidos na instalação do sistema piloto de limpeza automático.

| ITENS | QAUNT. | INVESTIMENTO |
|---|---------------|---------------------|
| Váuvula FESTO RW/0-3-1/8 4937 K643 | 1 pç. | R\$ 612,74 |
| Regulador De Pressão Rosca 1/4 - Pressão 0- 10 Bar Completo | 1 pç. | R\$ 43,85 |
| Mangueira PU 8mm | 20 m | R\$ 70,00 |
| Conexao T Tubo Nylon Engate Rap 8mm | 4 un. | R\$ 20,00 |
| Y União Tubo 8 mm - PY | 2 un. | R\$ 6,90 |
| Parafuso M3 X 50mm Allen | 2 un. | R\$ 4,30 |
| Parafuso Sextavado M4 X 40 C/porca E Arruela C/10 Unidades | 6 un. | R\$ 14,00 |
| Abraçadeira Foxlux – Nylon – 140 x 2,5mm | 50 un. | R\$ 5,00 |
| Bocal de baixo ruído com rosca macho; | 4 pç. | R\$ 8,99 |
| Suporte de chapa galvanizada 2mm | 1 pç. | R\$ 15,00 |
| Custo mão de obra | 4 h. | R\$ 72,00 |
| Lucro cessante | 30 min. | R\$ 855,00 |
| Total | | R\$ 1.727,78 |

Fonte: O Autor.

Para o cálculo do consumo de ar comprimido foi considerado uma instalação com mangueira PU 8 mm com um orifício de saída de ar de 6 mm e uma pressão de trabalho de 4 bar, possibilitando estimar a vazão do sistema, para isso foi utilizado a tabela 02 para encontrar o fluxo livre de ar comprimido através de orifícios.

Tabela 02: Fluxo livre de ar comprimido através de orifícios em pés³/mim.

| Ø (mm) | psi | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | 30 | 44 | 58 | 72 | 87 | 100 | 116 | 145 | 174 | 217 | 290 | 434 |
| 0,1 | 0,009 | 0,012 | 0,015 | 0,019 | 0,022 | 0,027 | 0,028 | 0,035 | 0,041 | 0,050 | 0,066 | 0,098 |
| 0,2 | 0,038 | 0,051 | 0,064 | 0,076 | 0,089 | 0,099 | 0,114 | 0,140 | 0,165 | 0,203 | 0,266 | 0,392 |
| 0,3 | 0,086 | 0,115 | 0,143 | 0,172 | 0,200 | 0,229 | 0,258 | 0,315 | 0,371 | 0,459 | 0,601 | 0,887 |
| 0,5 | 0,240 | 0,320 | 0,399 | 0,477 | 0,558 | 0,636 | 0,717 | 0,876 | 1,03 | 1,06 | 1,66 | 2,46 |
| 1,0 | 0,961 | 1,28 | 1,59 | 1,91 | 2,23 | 2,54 | 2,86 | 3,50 | 4,13 | 5,09 | 6,64 | 9,86 |
| 1,5 | 2,16 | 2,88 | 3,60 | 4,31 | 5,23 | 5,72 | 6,47 | 7,88 | 9,29 | 11,42 | 15,02 | 22,17 |
| 2,0 | 3,85 | 5,12 | 6,40 | 7,67 | 8,91 | 10,18 | 11,45 | 14,00 | 16,54 | 20,33 | 26,69 | 39,24 |
| 3,0 | 8,66 | 11,52 | 14,35 | 17,22 | 20,08 | 22,94 | 25,81 | 31,50 | 37,12 | 45,96 | 60,11 | 88,75 |
| 4,0 | 15,41 | 20,47 | 25,56 | 30,58 | 35,71 | 40,66 | 45,96 | 56,04 | 66,12 | 74,25 | 106,78 | 157,35 |
| 5,0 | 24,08 | 32,00 | 39,95 | 47,73 | 55,89 | 63,64 | 71,78 | 87,69 | 104,31 | 127,31 | 166,89 | 246,10 |
| 6,0 | 33,38 | 46,10 | 57,63 | 68,95 | 80,26 | 91,93 | 103,25 | 126,23 | 149,21 | 183,16 | 240,44 | 353,6 |
| 8,0 | 61,88 | 82,03 | 102,19 | 122,34 | 142,85 | 163,36 | 183,51 | 224,18 | 265,20 | 325,31 | 427,85 | 629,40 |
| 10,0 | 96,17 | 128,0 | 159,82 | 191,29 | 223,12 | 254,94 | 286,76 | 350,06 | 413,71 | 509,18 | 664,76 | 986,54 |
| 12,0 | 138,61 | 184,57 | 229,84 | 275,10 | 321,42 | 367,74 | 413,00 | 505,64 | 597,58 | 731,951 | 961,79 | 1417,9 |
| 15,0 | 216,75 | 288,18 | 360,67 | 431,39 | 502,11 | 572,83 | 645,32 | 788,52 | 929,96 | 1142,1 | 1502,8 | 2217,0 |
| 20,0 | 385,42 | 512,72 | 665,12 | 767,31 | 891,07 | 1018,3 | 1145,6 | 1400,2 | 1654,8 | 2033,2 | 2699,6 | 3924,9 |
| 25,0 | 601,12 | 799,13 | 997,15 | 1195,1 | 1396,7 | 1591,2 | 1792,7 | 2188,7 | 2584,8 | 3182,4 | 4172,4 | - |
| 30,0 | 866,32 | 1152,7 | 1435,6 | 1722,0 | 2008,4 | 2294,8 | 2581,2 | 3150,5 | 3712,8 | 4596,8 | - | - |
| 35,0 | 1251,7 | 1569,9 | 1955,4 | 2344,3 | 2733,3 | 3139,9 | 3511,2 | 4278,5 | 5091,8 | - | - | - |
| 40,0 | 1470,9 | 2047,3 | 2556,5 | 3058,6 | 3571,3 | 4066,4 | 4596,8 | 5622,2 | - | - | - | - |
| 45,0 | 1951,8 | 2591,9 | 3228,3 | 3889,6 | 4526,0 | 5162,5 | - | - | - | - | - | - |
| 50,0 | 2408,0 | 3200,0 | 3995,6 | 4773,6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 55,0 | 2913,0 | 3871,9 | 4808,9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 60,0 | 3468,8 | 46109,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Fonte: (PARKER, 2006).

Para obter o consumo de ar alguns parâmetros foram considerados, a pressão de trabalho, o orifício de saída e o tempo de funcionamento.

Pressão de trabalho: 4 bar = 58 psi

Orifício de saída: 6 mm

Vazão de ar comprimido na saída: 57,63 pés³/min = 1,63 m³/min

Tempo de injeção de ar por cada descarregamento: 2,5 min

Considerando o contexto operacional da máquina que deve operar a uma eficiência diária de 85 % a 950 Rpm para atingir a produção requerida com um tempo médio entre descarregamentos de 1 hora e 40 minutos, em um dia a máquina realiza em média 13 descarregamentos simultâneos, simulando uma situação real onde a máquina trabalha 615 horas por mês o consumo mensal de ar comprimido é de 1.564,8 m³.

Com essa informação é possível calcular o custo mensal do consumo de ar para verificar a viabilidade econômica do sistema piloto de limpeza, para isso foi necessário coletar a capacidade de produção de ar dos compressores da empresa e o consumo de energia elétrica, para tal produção o sistema de compressores da empresa é capaz de gerar 1.600 m³/h

com o consumo energético de 160 kW a empresa compra cada kW/h por R\$ 0,57, com esses dados foi possível estimar o custo mensal de ar do sistema.

Consumo mensal de ar comprimido: 1.564,8 m³

Custo do kW/h: R\$ 0,57

Consumo energético necessário para suprir a demanda: 156,5 kW

Custo mensal para a produção da demanda de ar comprimido: $156,5 \times 0,57 = \text{R\$ } 89,20$

3.2 Fase da ação

Nessa fase da metodologia o objetivo é executar as propostas elaboradas no plano de ação, conforme descrito nas etapas anteriores foi analisado os aspectos técnicos envolvidos na falha propondo soluções no qual foi verificado se as ações seriam viáveis economicamente, analisando a viabilidade de executar um sistema piloto de limpeza o mesmo foi instalado apenas no pilar que contém o sensor a fim de acompanhar se o sistema substituiria a manutenção preventiva baseada no tempo, o Apêndice A, mostra a instalação do sistema piloto de limpeza.

Como descrito anteriormente durante o período de fevereiro a maio de 2021, a manutenção preventiva baseada no tempo foi realizada com o propósito de realizar um teste de consistência verificando se a sujeira de fato estava prejudicando o funcionamento do sistema de descarregamento simultâneo FRD, após a instalação do sistema piloto de limpeza no mês de junho de 2021, a manutenção preventiva continuou sendo realizada na mesma frequência proposta no plano de ação.

3.3 Fase da verificação

Nessa fase o objetivo se faz verificar se os resultados obtidos após a aplicação das ações são viáveis assim como verificar se a falha foi eliminada, para isso é importante comparar os resultados antes e depois das ações.

Verificando a quantidade de ocorrências da falha do ano de 2020 comparadas com o ano de 2021 houve a diminuição de ocorrências, na tabela 03 é possível observar o número de falhas em cada mês.

Tabela 03: Comparativo dos resultados entre o ano de 2020 e 2021.

| Resultados 2020 | | | | | | |
|-----------------|---|--|----------------------------|-----------------------|---------------|----------------------|
| Meses | Nº de ocorrências Pos. de origem não definida | Downtime (h) Relacionado a falha | DADOS DE PRODUÇÃO | | | |
| | | | Atendimento ao programa | Metragem produzida | kg produzidos | Metas mensais(kg) |
| Jan. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fev. | 4 | 6,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mar. | 3 | 2,5 | 57% | 326872 | 29933,4 | 52700 |
| Abr. | 5 | 9,8 | 60% | 348308 | 31881,8 | 52700 |
| Mai. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jun. | 5 | 7,9 | 32% | 185492 | 16978,7 | 52700 |
| Jul. | 7 | 7,7 | 43% | 249908 | 22874,9 | 52700 |
| Ago. | 6 | 8,4 | 86% | 517877 | 47403,0 | 55180 |
| Set. | 4 | 5,3 | 93% | 532986 | 48786,0 | 52700 |
| Out. | 8 | 5,9 | 81% | 517359 | 47514,3 | 58900 |
| Nov. | 4 | 10,1 | 85% | 501761 | 49945,3 | 58900 |
| Dez. | 2 | 4,2 | 80% | 424368 | 42241,6 | 52700 |
| TOTAL | 48 | 68,5 | | 3604931 | 337558,9 | |
| Resultados 2021 | | | | | | |
| Meses | Nº de ocorrências Pos. de origem não definida | Downtime (h) Relacionado a falha | DADOS DE PRODUÇÃO | | | |
| | | | Atendimento ao programa | Metragem produzida | kg produzidos | Metas mensais(kg) |
| Jan. | 3 | 3,1 | 90% | 477885 | 47568,7 | 52700 |
| Fev. | 1 | 0,66 | 81% | 477249 | 47505,4 | 58900 |
| Mar. | 0 | 0 | 41% | 256680 | 25442,1 | 62000 |
| Abr. | 2 | 1,8 | 40% | 252011 | 24979,3 | 62000 |
| Mai. | 0 | 0 | 82% | 511319 | 50681,9 | 62000 |
| Jun. | 0 | 0 | 93% | 577502 | 57403,7 | 62000 |
| Jul. | 1 | 0,7 | 108% | 674161 | 67011,6 | 62000 |
| Ago. | 0 | 0 | 113% | 704312 | 70008,6 | 62000 |
| Set. | 4 | 3,5 | 102% | 633192 | 62939,3 | 62000 |
| Out. | 3 | 2,9 | 15% | 92182 | 9162,9 | 62000 |
| TOTAL | 14 | 12,66 | | 4656493 | 462703,5 | |

Fonte: O Autor.

É possível observar que as ações tomadas reduziram as ocorrências relacionadas à falha [posição de origem não foi definida], cabe ressaltar que a exigência produtiva no ano de 2021 foi superior ao ano de 2020 demonstrando um comparativo justo. Para maior precisão da análise foi realizado o comparativo entre os anos de 2020 e 2021 apenas com os meses em que as ações estavam sendo executadas, Tabela 04 demonstra o período de análise.

Tabela 04: Comparativos dos resultados após a execução das ações.

| Resultados 2020 | | | | | | |
|-----------------|---|--|----------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|
| Meses | Nº de ocorrências Pos. de origem não definida | Downtime (h) Relacionado a falha | DADOS DE PRODUÇÃO | | | |
| | | | Atendimento ao programa | Metragem produzida | kg produzidos | Metas mensais(kg) |
| Mar. | 3 | 2,5 | 57% | 326872 | 29933,4 | 52700 |
| Abr. | 5 | 9,8 | 60% | 348308 | 31881,8 | 52700 |
| Mai. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jun. | 5 | 7,9 | 32% | 185492 | 16978,7 | 52700 |
| Jul. | 7 | 7,7 | 43% | 249908 | 22874,9 | 52700 |
| Ago. | 6 | 8,4 | 86% | 517877 | 47403,0 | 55180 |
| Set. | 4 | 5,3 | 93% | 532986 | 48786,0 | 52700 |
| Out. | 8 | 5,9 | 81% | 517359 | 47514,3 | 58900 |
| TOTAL | 38 | 47,5 | | 2678802 | 245372,0 | |

| Resultados 2021 | | | | | | |
|-----------------|---|--|----------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|
| Meses | Nº de ocorrências Pos. de origem não definida | Downtime (h) Relacionado a falha | DADOS DE PRODUÇÃO | | | |
| | | | Atendimento ao programa | Metragem produzida | kg produzidos | Metas mensais(kg) |
| Mar. | 0 | 0 | 41% | 256680 | 25442,1 | 62000 |
| Abr. | 2 | 1,8 | 40% | 252011 | 24979,3 | 62000 |
| Mai. | 0 | 0 | 82% | 511319 | 50681,9 | 62000 |
| Jun. | 0 | 0 | 93% | 577502 | 57403,7 | 62000 |
| Jul. | 1 | 0,7 | 108% | 674161 | 67011,6 | 62000 |
| Ago. | 0 | 0 | 113% | 704312 | 70008,6 | 62000 |
| Set. | 4 | 3,5 | 102% | 633192 | 62939,3 | 62000 |
| Out. | 3 | 2,9 | 15% | 92182 | 9162,9 | 62000 |
| TOTAL | 10 | 8,9 | | 3701359 | 367629,5 | |

Fonte: O Autor.

As primeiras ações foram aplicadas no mês de fevereiro de 2021, mas para o comparativo o mês de fevereiro foi excluído, devido, a falta de lançamento dos dados produtivos no ano de 2020, o encerramento da análise foi em 6 de outubro de 2021.

Com relação aos resultados do sistema piloto de limpeza automático é possível observar que o mesmo demonstrou atender os propósitos para o qual foi testado que é manter o sistema sempre limpo substituindo a intervenção humana nas tarefas de limpeza, com isso caso o sistema fosse empregado em todos os pilares haveria redução do tempo de máquina parada aplicado para realização das manutenções preventivas, no Apêndice B é possível verificar os níveis de sujidades antes e depois da aplicação do sistema piloto de limpeza.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), tornou-se possível a análise do contexto da falha, onde a execução desse método possibilitou elencar de forma analítica a causa mais provável, qual seja o acúmulo de sujeira na roldana guia, com a utilização de ferramentas para auxílio na pesquisa permitiu-se ainda uma padronização das ações.

Após a execução do referido método, foi possível propor ações para mitigar a falha [posição de origem não foi definida], conforme definido no plano de ação foram realizadas duas ações, onde a primeira consistiu na manutenção preventiva baseado no tempo e aplicada como teste de consistência, a segunda consistiu na instalação de um sistema piloto de limpeza automático em um dos pilares, para identificar se o mesmo substituiria à manutenção preventiva. Ambas as ações se mostraram eficientes, o sistema piloto de limpeza automático demonstrou bons resultados em relação a manter os componentes sempre limpos e a aplicação da manutenção preventiva baseada no tempo continuou sendo executada nos intervalos propostos.

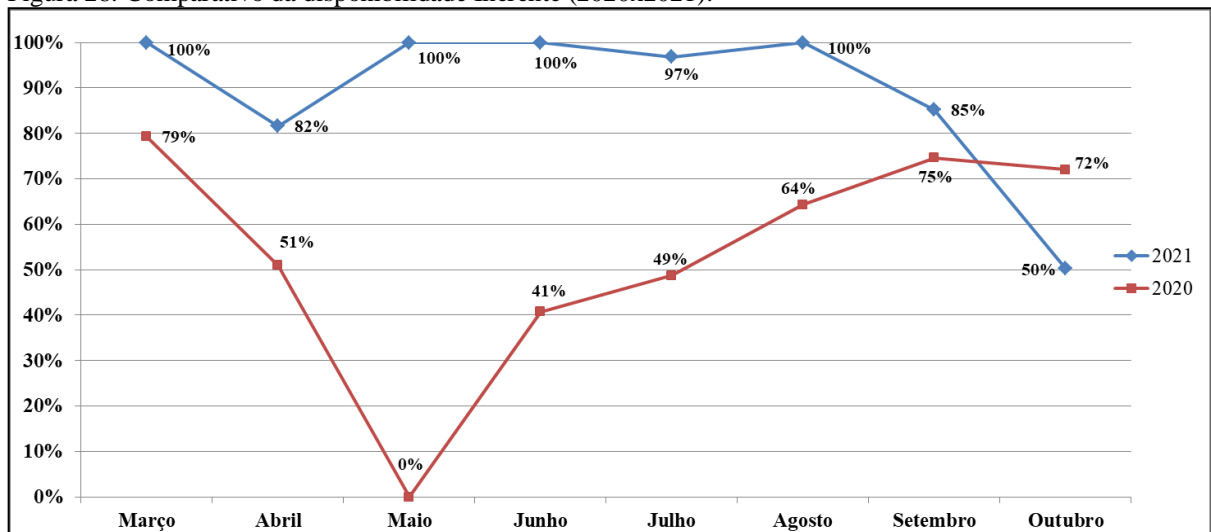
Comparando os resultados dispostos na tabela 04, houve redução de 73,68 % do número de ocorrências após a aplicação das ações no período de março a outubro de 2021, essa redução resultou na diminuição de 81,26% do *downtime* comparado com o mesmo período no ano de 2020.

Essa redução se justifica na medida em que, analisando a produção no mesmo período dos anos de 2020 e 2021, é possível identificar que no ano de 2021 houve o aumento da produção no montante de 49,82% kg produzidos e apesar disso a redução da falha.

Ademais, considerando uma capacidade produtiva da máquina de 114 kg/h, comparando em um mesmo período, no ano de 2020 a máquina operou 2.152,4 horas, já no ano 2021 a máquina operou 3.224,8 horas, comprovando que apesar da máquina operar por mais tempo no ano de 2021 as falhas reduziram.

Com a aplicação das ações refletiu-se nos resultados dos indicadores de manutenção, foi realizado um comparativo de três dos indicadores utilizados para a análise, são eles, MTBF, MTTR e disponibilidade inerente.

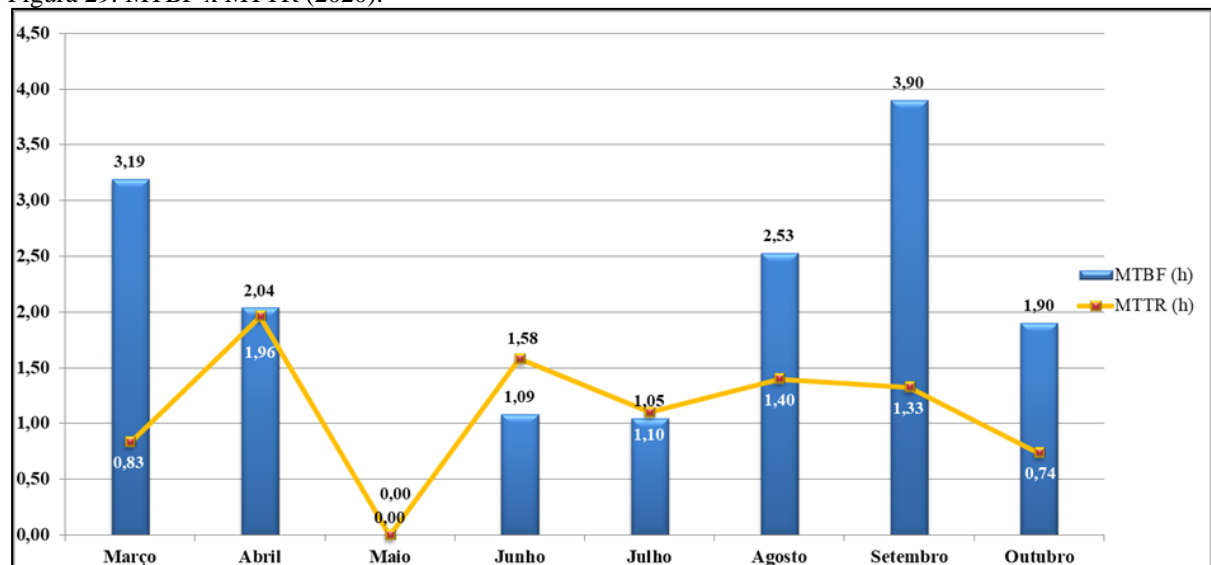
Figura 28: Comparativo da disponibilidade Inerente (2020x2021).



Fonte: O Autor.

A figura 28 através de um gráfico de linhas, representa os resultados entre a disponibilidade inerente no período de março a outubro dos anos de 2020 e 2021, percebe-se que após a aplicação das ações houve maior disponibilidade do elevador no ano de 2021 em relação ao ano de 2020 com exceção do mês de outubro devido ao termino da análise em 06 de outubro de 2021. Deve-se levar em consideração também que no ano de 2020 foi considerado o mês de outubro completo, ademais no mês de maio não houve produção devido a férias coletivas causada pela pandemia da COVID 19.

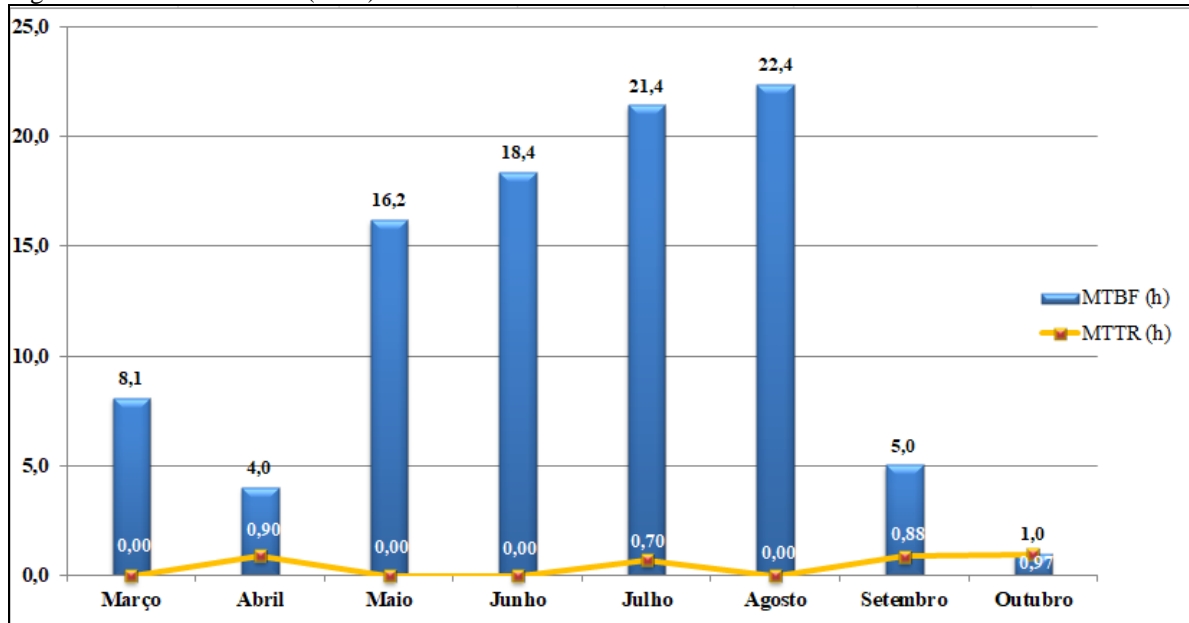
Figura 29: MTBF x MTTR (2020).



Fonte: O Autor.

A figura 29 representa os indicadores do MTBF (tempo médio entre falhas) e MTTR (tempo médio para reparo) do ano de 2020 no período de março a outubro.

Figura 30: MTBF x MTTR (2021).



Fonte: O Autor.

Com base na análise dos indicadores, nota-se que em relação ao elevador no ano de 2021 houve o aumento do MTBF (tempo médio entre falhas) e a diminuição do MTTR (tempo médio para reparo) o que é positivo, assim identifica-se que ocorreu menor tempo de paradas em decorrência da falha. O Apêndice C demonstra a tabela utilizada para geração dos indicadores.

Tabela 05: Resumo dos resultados.

| Resumo dos resultados no período entre Março a Outubro dos anos de 2020 e 2021 | | |
|---|---------------|---------------|
| | 2020 | 2021 |
| Nº de ocorrências | 38 | 10 |
| <i>downtime</i> | 47,5 | 8,9 |
| Prejuízos causados pela falha | R\$ 82.061,95 | R\$ 15.408,65 |
| Produção Total (kg) | 245372,05 | 367629,48 |
| Produção Total (h) | 2152,4 | 3224,8 |
| Custos das ações | | R\$ 13.461,16 |
| Redução do Nº de ocorrências | | 73,68% |
| Redução do <i>downtime</i> | | 81,26% |
| Redução dos prejuízos causados pela falha | | 81,22% |

Fonte: O Autor.

A tabela 05 demonstra os resultados obtidos com a aplicação das ações, percebe-se que as ações geraram ganhos significativos.

5 CONCLUSÃO

Diante de todo o exposto, conclui-se que embora não alcançado o objetivo de eliminar a falha [posição de origens não foi definida], a aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) detém uma lógica no desenvolvimento no qual permite a padronização das ações realizadas, possibilitando assim a visualização do processo de forma analítica.

Utilizando o referido método, tornou-se possível a investigação da falha e a identificação de uma das causas pela qual a falha se repetia, apesar de a falha [posição de origens não foi definida] ainda ocorrer, conforme demonstrado nos resultados em comparação aos anos de 2020 e 2021 houve o aumento da disponibilidade inerente do sistema e uma redução de 73,68% no número de ocorrência das falhas. De acordo com o próprio método, um efeito ou falha pode ser gerado por uma ou mais causas, logo, as falhas geradas após a aplicação das ações podem estar sendo constituídas por outras causas não identificadas na análise até o presente momento.

Durante o desenvolvimento das ações foi possível observar que o método mostra a importância na tratativa dos dados, a fase de planejamento é a primordial e mais extensa das fases, visto que, é no planejamento que se torna possível à identificação da viabilidade das ações, de mesmo modo nota-se que a aplicação das ferramentas contidas no método é de suma importância, pois, as mesmas permitem estruturar os resultados de forma organizada onde o histórico de falhas permite com que as informações sejam mais precisas.

Em um setor de manutenção a aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) auxilia na tomada de decisão em relação às ações que deverão ser realizadas para correção de falhas, pois mesmo que ainda aplicadas às ações preventivas e preditivas, os ativos estão sujeitos à falha, é um método no qual permite que as investigações sejam realizadas pautadas em dados reais e não no achismo possibilitando resultados satisfatórios.

Com base nos resultados obtidos na pesquisa, o sistema piloto de limpeza automático demonstrou resultados satisfatórios, logo, como sugestão de trabalhos futuros será realizada a proposta de substituição completa da manutenção preventiva baseada no tempo pela instalação do sistema piloto de limpeza automático nos quatro pilares que contém o braço de elevação possibilitando a automatização da atividade de limpeza. E ainda, seguindo o próprio contexto do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), para identificação das outras possíveis causas se faz necessário retornar a fase de observação com auxílio dos dados gerados na análise anterior girando o ciclo PDCA.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.
- BARROS, Elsimar; BONAFINI, Fernanda Cesar. (org.). **Ferramentas da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2014. 174 p.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC Controle da qualidade total: no estilo japonês**. 9. ed. Nova Lima: Falconi, 2014. 335 p.
- CUSTODIO, Marcos Franqui. (org.). **Gestão da qualidade e produtividade**. São Paulo: Pearson, 2015. 188 p.
- FARACO, Newton Nauro Tasso. **Gestão de equipes de manutenção**. Curitiba: Contentus, 2020. 106 p.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 265 p.
- GROUP FORLOGIC. **Ferramentas da qualidade o glossário definitivo sobre as ferramentas da qualidade: Fluxograma**. 2018. Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/fluxograma/>>. Acesso em: 06 de outubro de 2021.
- LADCHUMANANANDASIVAM, Rasiah. **Introdução à engenharia têxtil**. Natal: Universidade federal do Rio Grande do Norte, 2002. 108 p.
- LÉLIS, Eliacy Cavalcanti (org.). **Gestão da qualidade**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2018. 194 p.
- MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2011. 190 p.
- NAPOLEÃO, Bianca Minetto. **Ferramentas da qualidade o glossário definitivo sobre as ferramentas da qualidade: 5 porquês**. 2019. Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/5-porques/>> . Acesso em: 04 de maio de 2021.
- NAPOLEÃO, Bianca Minetto. **Ferramentas da qualidade: o glossário definitivo sobre as ferramentas da qualidade: 5W2H**. 2018. Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/5w2h/>> . Acesso em: 04 de maio de 2021.
- PEREIRA, Gislaine de Souza. **Introdução à tecnologia têxtil**. Araranguá: CEFET-SC, [201-?]. 101 p.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Julio de Aquino Nascif. **Manutenção função estratégica**. 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2019. 560 p., 23 cm.
- POSSARLE, Roberto. **Ferramentas da qualidade**. São Paulo: SENAI-SP, 2014. 256 p.
- POSSARLE, Roberto. **Método de Análise e Solução de Problemas (MASP): fundamentos**. São Paulo: SENAI-SP, 2017. 64 p.

SELEME, Robson. **Manutenção industrial**: mantendo a fábrica em funcionamento. Curitiba: Intersaberes, 2015. 143 p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. SENAI: **TÊXTIL**: fiação. São Paulo: SENAI-SP, 2015. 156 p.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE JA 1011: Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes**. 2009. 12 p.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE JA 1012: A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) Standard**. 2002. 57 p.

TELES, J. **Bíblia do RCM**: o guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na era da indústria 4.0. Brasília: Engeteles, 2019. 385p., 23 cm.

TELES, Jhonata. **Planejamento e controle de manutenção descomplicado**: uma metodologia passo a passo para implantação do PCM. Brasília: Engeteles, 2019. 240 p., 23 cm.

TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION. **Roving frame FL-200**. 2008. Disponível em: <<https://www.toyotatextilemachinery.com/fl200-2/>> . Acesso em 04 de maio de 2021.

TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION. FL 200: maçarqueira: manual de instruções [2019]..(Manual)

XENOS, Harilaus Georgius D' Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva**: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. 2. ed. Nova Lima: Falconi, 2014. 312 p.

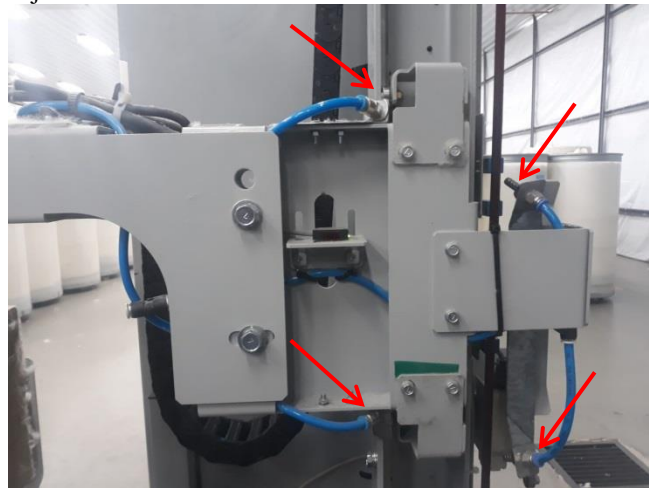
APÊNDICE A- Instalação do sistema piloto de limpeza automático

Figura 31: Braço de elevação antes da aplicação dos bicos injetores.



Fonte: O Autor.

Figura 32: Braço de elevação com adição dos bicos injetores.



Fonte: O Autor.

Figura 33: Fixação da válvula de acionamento do sistema.



Fonte: O Autor.

Figura 34: Regulador de pressão (4 bar).



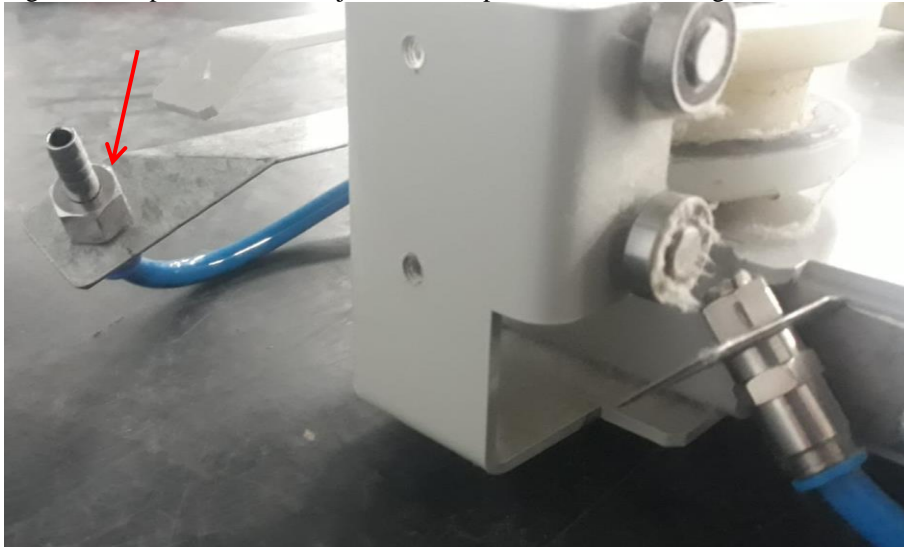
Fonte: O Autor.

Figura 35: Suporte de fixação dos bicos injetores da roldana.



Fonte: O Autor.

Figura 36: Suporte dos bicos injetores de limpeza dos sensores magnéticos..



Fonte: O Autor.

Figura 37: Suporte de fixação dos bicos injetores de limpeza dos sensores magnéticos.



Fonte: O Autor.

Figura 38: Passamento da mangueira pneumática pela esteira porta cabos.



Fonte: O Autor.

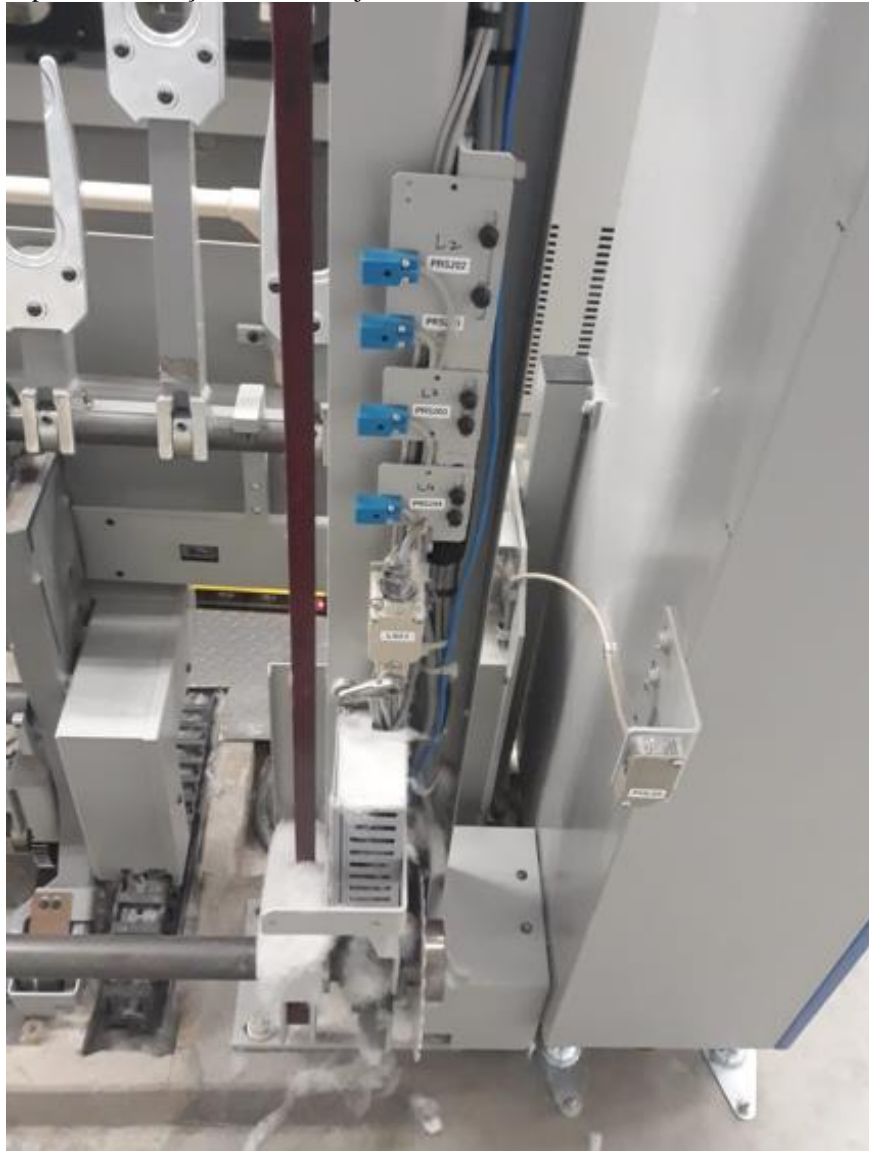
APÊNDICE B- Comparativo do nível de sujidade antes e depois da aplicação do sistema piloto de limpeza automático

Figura 39: Região dos sensores de posicionamento após 20 dias, antes da instalação dos bicos injetores.



Fonte: O Autor.

Figura 40: Região dos sensores magnéticos de posicionamento após 20 dias, depois da instalação dos bicos injetores.



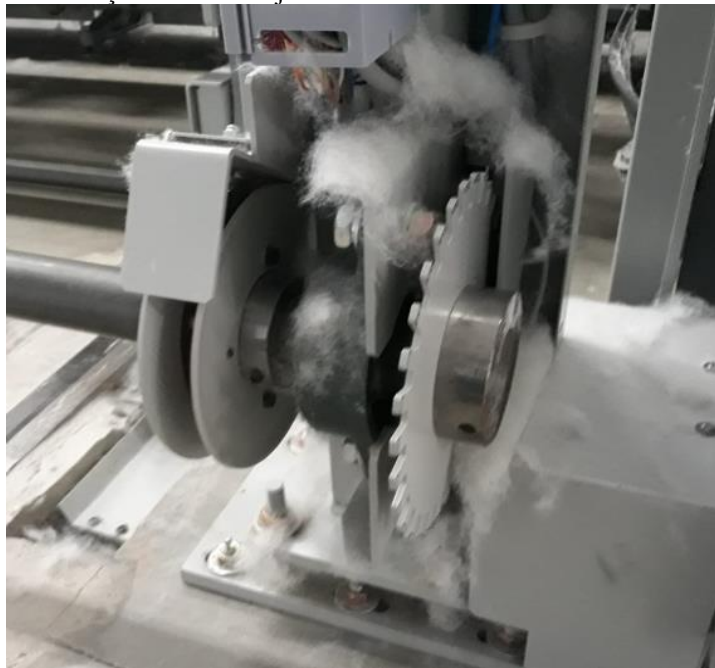
Fonte: O Autor.

Figura 41: Região do sensor de pulso PRS250 após 20 dias, antes da instalação dos bicos injetores.



Fonte: O Autor.

Figura 42: Região do sensor de pulso PRS250 após 20 dias, depois da instalação dos bicos injetores.



Fonte: O Autor.

Figura 43: Região dos rolamentos e roldana guia, antes da instalação.



Fonte: O Autor.

Figura 44: Acúmulo na roldana guia antes da instalação dos bicos injetores.



Fonte: O Autor.

Figura 45: condição da roldana guia após a instalação dos bicos injetores.



Fonte: O Autor.

Figura 46: Condição após a instalação dos bicos injetores.



Fonte: O Autor.

APÊNDICE C – Tabela de dados para geração dos indicadores

Tabela 06: Dados para indicadores.

| Dados para indicadores 2020 | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|--|-------------------|----------|----------|--------------------------|
| Tempo Médio entre descarregamentos (1,6 h) | Tempo total em funcionamento da máquina (h) | Nº total de descarregamento | Tempo total em bom funcionamento do elevador | Nº de ocorrências | MTBF (h) | MTTR (h) | Disponibilidade Inerente |
| Março | 262,6 | 164 | 9,6 | 3 | 3,19 | 0,83 | 79% |
| Abril | 279,7 | 175 | 10,2 | 5 | 2,04 | 1,96 | 51% |
| Maio | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0% |
| Junho | 148,9 | 93 | 5,4 | 5 | 1,09 | 1,58 | 41% |
| Julho | 200,7 | 125 | 7,3 | 7 | 1,05 | 1,10 | 49% |
| Agosto | 415,8 | 260 | 15,2 | 6 | 2,53 | 1,40 | 64% |
| Setembro | 427,9 | 267 | 15,6 | 4 | 3,90 | 1,33 | 75% |
| Outubro | 416,8 | 260 | 15,2 | 8 | 1,90 | 0,74 | 72% |

| Dados para indicadores 2021 | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-----|------|---|------|------|------|
| Março | 223,2 | 139 | 8,1 | 0 | 8,1 | 0,00 | 100% |
| Abril | 219,1 | 137 | 8,0 | 2 | 4,0 | 0,90 | 82% |
| Maio | 444,6 | 278 | 16,2 | 0 | 16,2 | 0,00 | 100% |
| Junho | 503,5 | 315 | 18,4 | 0 | 18,4 | 0,00 | 100% |
| Julho | 587,8 | 367 | 21,4 | 1 | 21,4 | 0,70 | 97% |
| Agosto | 614,1 | 384 | 22,4 | 0 | 22,4 | 0,00 | 100% |
| Setembro | 552,1 | 345 | 20,1 | 4 | 5,0 | 0,88 | 85% |
| Outubro | 80,4 | 50 | 2,9 | 3 | 1,0 | 0,97 | 50% |

Fonte: O Autor.