



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS LAGES
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Fernando Fiuza Filho

**Aplicação da Metodologia de Análise PM na Solução de Falha no Elevador de Maços em
Uma Empresa Produtora de Sacos Industriais**

LAGES

2022

Fernando Fiuza Filho

**Aplicação da Metodologia de Análise PM na Solução de Falha no Elevador de Maços em
Uma Empresa Produtora de Sacos Industriais**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa
Catarina como requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Rafael Gustavo Schreiber.

Coorientadora: Eng. Carla Costa Poltronieri.

LAGES

2022

Fernando Fiuza Filho

**Aplicação da Metodologia de Análise PM na Solução de Falha no Elevador de Maços em
Uma Empresa Produtora de Sacos Industriais**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica e aprovado em sua forma final pelo Curso de graduação em Engenharia Mecânica

Lages, 06 de dezembro de 2022.

Prof.^a MSc. Natalia Madalena Boelter
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Eng. Carla Costa Poltronieri
Coorientadora
Klabin

Eng. Rafael Gustavo Schreiber
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. MSc. Fernando da Silva Osório
Avaliador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof.^a Dr. Larisse Kupski
Avaliadora
Instituto Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, minha namorada e as minhas queridas irmãs.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todos aqueles que um dia me ensinaram algo, em especial ao meu orientador Rafael Gustavo Schreiber e aos demais professores do Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Lages. A minha coorientadora Carla Costa Poltronieri e em seu nome toda a equipe que executou comigo a análise apresentada neste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Fernando Fiuza e Claudia de Albuquerque Fiuza que sempre me influenciaram positivamente na minha formação profissional e na construção do meu caráter. Também a minha namorada Thaísa Floriani Medeiros que esteve comigo em todos os anos da minha graduação, me apoiou nos meus piores momentos e sorriu todas as minhas vitórias.

Agradeço finalmente aos meus amigos, da faculdade ou não, que me inspiram e fazem parte de quem eu sou. Em particular agradeço aos queridos colegas da equipe Galha Azul com os quais compartilhei doces momentos da minha graduação.

RESUMO

A presença da manutenção é parte fundamental de qualquer processo industrial moderno, tendo como desafio a busca pela redução de indisponibilidades frente ao aumento da produção. Com o avanço das técnicas aplicadas neste importante setor, diversas abordagens sobre o manutenção das máquinas têm sido desenvolvidas e aplicadas, porém defeitos inesperados e falhas pouco recorrentes trazem uma camada desafiadora para os profissionais do meio. Nesse sentido, as práticas nipônicas tem surtido efeitos bastante positivos para os que usufruem destas, dentre elas se destaca a famosa Manutenção Produtiva Total - MPT e suas ferramentas da qualidade. A presente obra apresenta a implementação de uma destas ferramentas, a análise PM (*Phenomenon Mechanism*), aplicada em uma máquina elevadora de maços presente no processo de fabricação de sacos industriais. Este estudo foi realizado por um grupo multisetorial e teve como objetivo mitigar a falha de caída de maços no elevador de uma linha de produção. Como resultado, a condição de “Quebra Zero” foi alcançada, um alvo desejado na implementação da MPT, segundo o Instituto Japonês de Manutenção de Plantas.

Palavras-chave: Manutenção Produtiva Total; Análise PM; Manutenção; Quebra Zero.

ABSTRACT

The presence of maintenance is fundamental part of any industrial modern process, with the challenge of seeking the reduce unavailability's against the increase of production. With the advanced of technics applied at this important sector, diverse approaches about maintenance have been developed and applied, but unexpected defects and little recurrent failures bring a new challenging layer to the professionals in the field. This way, the Japanese practices have been had very positive effects for who enjoy these, among them stands out the famous Total Productive Maintenance – TPM and it is quality tools. The present work shows an implementation of one of these tools, the PM (Phenomenon Mechanism) analyses, applied at one elevator machine of packets present in an industrial sack manufacturing process. This study was executed by one multisectoral team and had as objective mitigated a failure of falling packets on the elevator of one product line. As a result, the conditional of “Zero Loses” was achieved, a desired target at the of TPM, according to the Japan Institute of Plant Maintenance.

Keywords: Total Productive Maintenance; PM analyses; Maintenance; Zero Loses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares do TPM	19
Figura 2 - Curva Performance X Tempo	21
Figura 3 - Exemplo de um gráfico de Pareto.....	26
Figura 4 - Padrão de Diagrama de Ishikawa.....	27
Figura 5 - O que é análise PM	28
Figura 6 - Passos da Análise PM.....	28
Figura 7 - Modelo padrão de Saco Industrial	32
Figura 8 - Fluxo de Processo	32
Figura 9 - Perdas por Máquina	34
Figura 10 - Vinte maiores perdas na Aplicadora de Fundos da Linha K	35
Figura 11 - Histórico de Quebras no Elevador da Aplicadora de Fundos da Linha K.....	35
Figura 12 - Elevador de maços da linha K	36
Figura 13 - Registros feitos após o evento	41
Figura 14 – Elevador com indicação das Câmeras (a),	42
Figura 15 - Travamento da Esteira do Elevador.....	43
Figura 16 - Falha registrada pelo técnico	44
Figura 17 - Estatísticas da folha de medição	45
Figura 18 - Desenho em vista Isométrica do elevador de maços	46
Figura 19 - Maquete do elevador.....	46
Figura 20 - Condição atual	47
Figura 21 - Condição ideal	47
Figura 22 - Descrição do fenômeno físico.....	48
Figura 23 - Componentes do elevador.....	48
Figura 24 - Medidas de diâmetro do cilindro	53
Figura 25 - Regiões medidas no cilindro (a) e Processo de leitura da rugosidade (b)	53
Figura 26 - Teste do sensor com barreira	54
Figura 27 - Teste de variação de posição do sensor. Sensor sem acionamento (a),	55
Figura 28 – Vista lateral da posição do maço de sacos na entrada da esteira	56
Figura 29 - Triangulo retângulo de posição dos sacos	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perguntas do 5W2H	26
Tabela 2 - Itens Reestabelecidos à Condição Básica.....	38
Tabela 3 - 5W1H da quebra.....	44
Tabela 4 - Folha de observação	45
Tabela 5 - Correlações entre mecanismos e fenômeno	49
Tabela 6 - Correlações primárias e secundárias com 4M.....	50
Tabela 7 - Resultados de rugosidade	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TPM – *Total Productive Maintenance*

PM – *Phenomenon Mechanism*

MTBF – *Mean Time Between Failure*

MTTR – *Mean Time To Repair*

4M – *Mão de Obra, Máquina, Materiais e Método*

JIPM – *Japan Institute of Plant Maintenance*

5W2H – *What, Where, When, Who, Why, How e How much*

SUMÁRIO

1.	Introdução	14
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Objetivo Específico	15
2.	Revisão Bibliográfica.....	16
2.1	Sistema TPM de Gestão.....	16
2.1.1	Prática do TPM.....	17
2.1.2	Pilares do TPM	17
2.2	Manutenção.....	20
2.3	Conceito de Quebra	22
2.4	Indicadores de Manutenção	23
2.5	Ferramentas da Qualidade	25
2.5.1	Gráfico de Pareto	25
2.5.2	5W2H	26
2.5.3	Diagrama de Ishikawa.....	27
2.6	Análise PM	27
2.6.1	Passo 1 - Esclarecer o Fenômeno.....	29
2.6.2	Passo 2 - Conduzir uma Análise Física	29
2.6.3	Passo 3 - Definir Condições que Compõem o Fenômeno	30
2.6.4	Passo 4 - Estudar 4M's como Fatores de Causa	30
2.6.5	Passo 5 - Definir Condições Ótimas	30
2.6.6	Passo 6 - Planejar a Investigar o Método de Medição.....	31
2.6.7	Passo 7 - Analisar as Anomalias	31
2.6.8	Passo 8 - Definir e Implementar as Melhorias	31
2.7	Produção de Sacos Industriais	31
3.	Materiais e Métodos	34
4.	Resultados e Discussões.....	38

2.1	Aplicação do Passo 1	41
2.2	Aplicação do Passo 2	46
2.3	Aplicação do Passo 3	48
2.4	Aplicação do Passo 4	50
2.5	Aplicação dos Passos 5 e 6	51
2.6	Aplicação do Passo 7	52
2.7	Aplicação do Passo 8	57
5.	Conclusão	58
6.	Referências	59

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o mundo passou por uma série de revoluções, sejam elas políticas, econômicas, sociais, tecnológicas ou industriais. Vinculado a isso há o fator da globalização e a consequente democratização da informação (LOBO, 2010). Todos esses fenômenos têm proporcionado um solo fértil para a competição entre empresas, gerando assim um mercado aquecido na procura por inovação. Como se vê da obra de Carrijo (2008), as indústrias brasileiras compartilham do mesmo cenário competitivo, enfrentando elevada cobrança dos clientes pela exigência de constante melhoria da qualidade e velocidade de entrega dos produtos.

Nessa condição, a qualidade deixa de ser um diferencial e passa a ser uma obrigação para que a empresa se mantenha competitiva (AGUIAR, 2014). Assim, para que seja possível a manutenção e melhoria dos processos produtivos, as indústrias têm optado por metodologias de gestão que possibilitem melhores resultados no negócio (DOS REIS, 2020).

Dentre as metodologias aplicadas, a Manutenção Produtiva Total, ou no termo original *Total Productive Maintenance* (TPM), se destaca como uma das mais utilizadas atualmente nas empresas (REGGIORI, 2018), tendo como característica sua implementação em todos os setores da indústria e sua mudança de cultura por meio do incentivo do envolvimento da operação na sua prática (BIASOTTO, 2006) e (TAKAHASHI; OSADA, 2013). Dessa maneira, a TPM possibilita o alcance de uma maior confiabilidade dos equipamentos, uma superior produtividade e um ambiente mais seguro (LOPES, 2019), mediante a busca pelo “zero acidente, zero defeito e quebra zero” (CARRIJO, 2008).

Dentre as ferramentas disponíveis no TPM, encontra-se a análise PM, cuja sigla corresponde a *Phenomenon Mechanism*, ou, no português, Fenômeno Mecanismo. Esse método se caracteriza por ter uma aplicação mais específica e por ser mais avançado dentro da implementação do TPM (REGGIORI, 2018). A *Phenomenon Mechanism* destaca-se pela sua utilização na mitigação de falhas crônicas e por ser, além de uma metodologia, uma forma diferente de observar o problema (BOCHNIA, 2012) e (DOS SANTOS, 2015).

Um dos exemplos é a obra de dos Santos (2015) em que foi realizada a análise PM para a mitigação de defeitos de qualidade com canudos tortos, por uma equipe interna. A partir dessa análise foi efetivamente reduzida a ocorrência da falha, o autor cita ainda, que com o trabalho realizado gera-se a base de conhecimento que se aplicou a uma máquina específica, mas que permite ser replicada para as outras máquinas da fábrica. Ainda, Reggiori (2018) apresenta outra

aplicação da PM, dessa vez em uma linha de fabricação de chocolates, que a partir das reclamações dos clientes, foram encontrados produtos com dimensionamento incorreto, havendo assim a necessidade de um estudo mais aprofundado para que fosse encontrada a causa geradora da falha. Com a aplicação do método foi alcançada a redução em 100% no índice de reclamações por ocorrências de “Produto Mordido” (módulo de falha atacado no trabalho).

Outro estudo que utiliza a análise de Fenômeno Mecanismo é o citado na monografia de Bochnia (2012), em que é tratada a ocorrência da queda da corrente do motor de uma máquina extrusora, porém a análise se difere das realizadas nas obras supracitadas por não se tratar de um defeito em qualidade, e sim uma falha em manutenção, tal qual a apresentada no presente trabalho. Como conclusão do estudo o autor cita que foi possível evidenciar o fenômeno gerador do problema, até mesmo determinar alguns dos fatores causais, além disso houve um grande amadurecimento dos envolvidos no método sobre o equipamento e sua manutenção.

A aplicação do método PM desenvolvida nesta monografia foi utilizada para promover a análise de quebra ocorrida na etapa de elevação de maços em uma indústria fabricante de sacos industriais. O estudo contou com a participação de uma equipe multisetorial dedicada à análise do fenômeno e à mitigação da falha de travamento do elevador.

1.1 OBJETIVO GERAL

Mitigar a falha específica de travamento no elevador em uma linha de produção de sacos industriais, por meio da aplicação da metodologia da análise PM.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Investigar as possíveis fontes para o fenômeno de travamento do elevador maços;
- Estudar a necessidade de recondicionamento de máquina aos padrões originais ou realização de alteração de projeto;
- Propor solução para a causa raiz do problema;
- Proporcionar a redução de paradas inesperadas na produção;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta conceitos importantes para a compreensão do trabalho desenvolvido nesta obra. Em específico são abordados temas práticos e conceituais sobre a atuação do setor de manutenção, a empresa e seu sistema de gestão fabril, ferramentas da qualidade e sua aplicação e um subcapítulo dedicado aos passos de implementação do método PM.

2.1 SISTEMA TPM DE GESTÃO

Desde o início das práticas de gestão da manutenção em uma planta industrial é possível perceber que em curto prazo já se podem obter bons resultados destas metodologias, dentre elas se enquadra o TPM, vinculando a participação de todos os colaboradores da planta fabril em prol de uma manutenção produtiva, demonstrando-se uma das mais efetivas formas de gestão do gênero (TAKAHASHI; OSADA, 2013).

Segundo Reggiori (2018), mediante a introdução do conceito de manutenção preventiva na década de 50, surge a filosofia do TPM no Japão. Em 1953, 20 empresas japonesas se uniram em parceria com pesquisadores, com a intenção do estudo da manutenção. Este grupo, após uma viagem para estudos nos Estados Unidos, fundou em 1969 o órgão conhecido hoje como Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM), este órgão começou seus trabalhos em comunhão com a empresa Nippondenso, criando nos anos seguintes, em 1971, a metodologia da Manutenção Produtiva Total.

Em seu site, a JIPM compreende o TPM como uma técnica de manutenção focada em equipamentos e pessoas que preconiza excelência na produção, com atingimento de zero perdas e reforçando a fundação da fabricação (JIPM, 2022).

2.1.1 Prática do TPM

A gestão fabril por meio da TPM tem alguns objetivos bem claros, como visto na obra de Gregório e da Silveira (2018), dentre eles podemos citar: a qualificação dos colaboradores que exercem trabalho prático com as máquinas; o aperfeiçoamento dos equipamentos; a redução das paradas de máquinas; o aumento da produtividade; a diminuição de custos; a implementação de tecnologias inovadoras e a criação do sentimento de “dono” do equipamento pelos operadores das máquinas (COUTINHO, 2017).

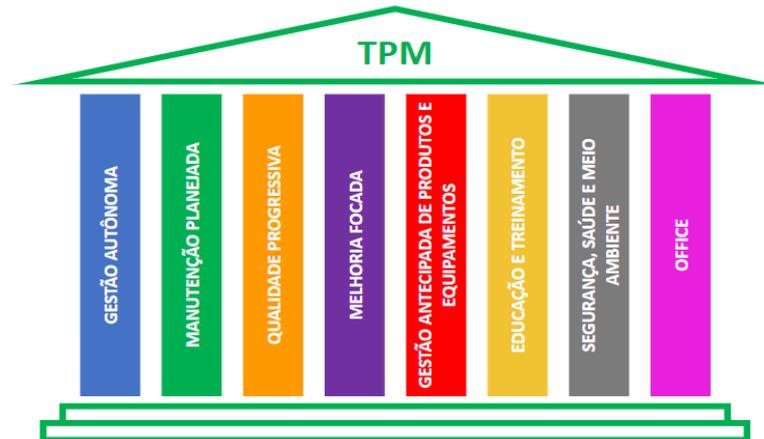
De partida, os colaboradores da operação passam a realizar as tarefas mais simples de manutenção das máquinas, como a limpeza, lubrificação, ajustes ou trocas de componentes com desgaste regular, bem como filtros ou lâmpadas. Com o decorrer da implementação da metodologia, os funcionários da operação passam a adquirir novos atributos, permitindo-os identificar pequenas falhas, ter maior compreensão sobre os mecanismos e sistemas constituintes de seu equipamento, entender a relação entre os ajustes da máquina e a qualidade do produto e realizar intervenções simples no equipamento para prolongar a vida útil de sua máquina.

2.1.2 Pilares do TPM

Na prática da TPM é fundamental a necessidade da implementação dos pilares de sustentação da metodologia, geralmente oito, como visto na

Figura 1. Estes pilares são responsáveis por gerarem um engajamento maior entre o chão de fábrica e as áreas de gestão defendidas por cada pilar. Em condições de atuação adequada esses pilares são extremamente eficientes para o alcance das pretensões do método (COUTINHO, 2017).

Figura 1 - Pilares do TPM



O Pilar de Gestão Autônoma é responsável pela orientação da mão de obra nas práticas de manutenção da máquina, desde a limpeza e lubrificação até os ajustes, regulagens e trocas de componentes do equipamento, é responsável também pela criação e incentivo do sentimento de posse do operador para com a máquina, e por estreitar a relação entre o pessoal da manutenção e o da operação. A organização dessa mão de obra é feita por meio dos Grupos Internos de Gestão Autônoma, os GIGA's, este é representado pelas pessoas que compõe a operação de um determinado equipamento ou área da empresa, o GIGA é o dono da máquina e é o responsável por manter vivas as melhorias metodológicas implementadas pelos pilares (BIASOTTO, 2006).

A Manutenção Planejada tem por objetivo evitar qualquer parada da máquina por problemas imprevistos, para tal, as principais ferramentas utilizadas são a manutenção preventiva (com enfoque na troca antecipada dos componentes da máquina antes que ocorra a falha e na gestão de peças sobressalentes), e a manutenção preditiva (direcionada na constante investigação da condição das peças e nas condições de serviço para prever o momento de falha e realizar a troca planejada da mesma).

O pilar da Qualidade Progressiva possui como finalidade mitigar qualquer falha da qualidade no produto final e busca promover a excelência na fabricação desde as etapas iniciais de processamento. Esse resultado é alcançado por meio da padronização dos procedimentos, pela eficiência na detecção, pelo controle de falhas e pela intervenção guiada nos parâmetros de ajuste de fabricação.

Na Melhoria Focada são observados de maneira global os indicadores de indisponibilidade de máquina, índice de refugos, qualidade, eficiência e as demais variáveis resultantes do processo, o pilar busca compreender junto da qualidade, produção e manutenção quais os maiores geradores dos distúrbios indesejados nos resultados da

fabricação, para que sejam focalizadas as análises de melhoria e aplicação das ferramentas de qualidade.

No contexto da produtividade e lucratividade na produção, parte do foco da metodologia se volta para a inovação na criação de novos produtos e de novas maneiras de produzir, o que se vincula a Gestão Antecipada de Produtos e Equipamentos. Na procura pela melhoria, o pilar se concentra na garantia da performance das máquinas, na praticidade e velocidade de produção e na engenharia dos produtos.

Para que as práticas de manutenção, gestão, produção ou da própria execução da metodologia sejam efetivas, é necessário que a mão de obra esteja capacitada sobre os termos e métodos que permeiam estas práticas, nessa frente é que o pilar de Educação e Treinamento atua, proporcionando os meios para que seja alcançada essa maturidade do conhecimento e rastreando onde se encontram as oportunidades de melhoria no aprendizado da fábrica.

O pilar de Segurança, Saúde e Meio Ambiente cuida de seus colaboradores e do meio ambiente, sendo uma obrigação para uma indústria pertencente ao atual período. Com esse pensamento, o sétimo pilar se concentra na segurança das práticas e serviços de uma fábrica, bem como da condição da saúde dos colaboradores que as executam. A segurança se estende também ao cuidado com os insumos da fabricação, como a água, que serão devolvidos à população pertencente à região onde a fábrica está inserida, igualmente o pilar concentra esforços na redução dos rejeitos e quando não for possível, no apropriado fim para este refugio.

Nos setores administrativos da empresa muitas fontes de desperdício podem ser mitigadas, tal qual na operação. Para realizar essa gestão no trabalho destes setores, o pilar Office deve promover os parâmetros que nortearam essa evolução no modo de se laborar, e assim como na produção, tem-se os GIGA's administrativos, para focalizar a organização prática das melhorias alcançadas para cada área.

2.2 MANUTENÇÃO

Segundo Gregório e da Silveira (2018) a manutenção teve seus conceitos e distribuições lógicas concebidas conforme as requisições impostas pela história da humanidade, passando pelas manutenções básicas de máquinas constituintes da lubrificação e limpeza, bem como pelos transtornos ocasionados pelo pós-guerra, com a escassez de

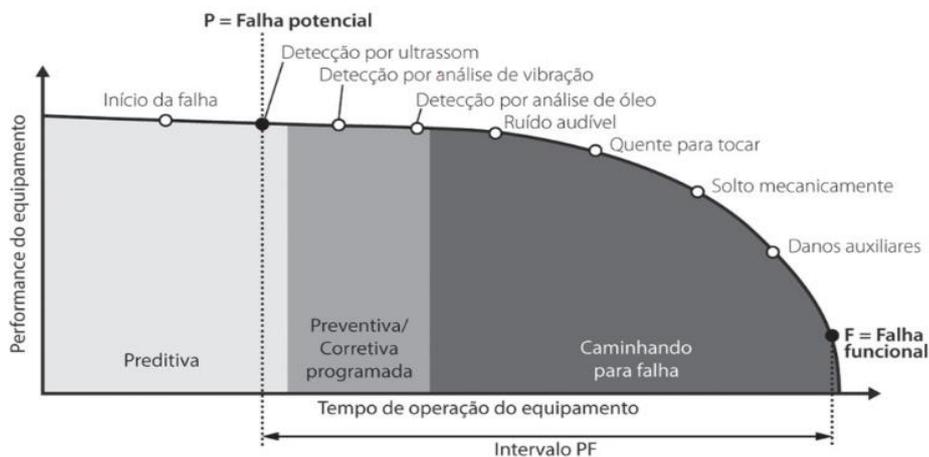
matéria-prima e chegando, enfim, na manutenção de excelência, com a gestão de ativos visando a disponibilidade e produtividade máxima. Contudo, nesse decorrer de tempo, chegou-se à concordância entre boa parte dos autores, em três principais e primários métodos de manutenção: a corretiva, a preditiva e a preventiva.

Indesejada, porém necessária, a manutenção corretiva trata de realizar o conserto em máquina após a ocorrência do fenômeno da quebra, podendo essa ser caracterizada pelo fim da capacidade de trabalho ou redução de suas características ideais (PINTO e XAVIER apud GREGÓRIO; DA SILVEIRA, 2018). De maneira ampla as organizações industriais buscam reduzir o uso dessa técnica, procurando substituí-la pela preventiva ou preditiva. No entanto, seja por falta de maturidade ou pela complexidade dos processos, a prática de manutenção corretiva permanece sendo presente no dia a dia da maioria das fábricas.

Com a pretensão de prever uma potencial falha, preparar os mantenedores para uma atuação planejada e também para proporcionar o maior aproveitamento da vida útil de um componente, a manutenção preventiva atua por meio da coleta instrumentada de dados de funcionamento, do acompanhamento contínuo do equipamento e da constante comparação do funcionamento padrão com o realizado (FONTES, 2018). Em sua publicação TELES (2017) aponta que a partir da atuação preditiva pode ser traçada uma curva Performance x Tempo, vista na

Figura 2, que se inicia com a detecção de uma falha potencial, se estende com gradual redução da performance e culmina na falha funcional do equipamento.

Figura 2 - Curva Performance X Tempo



Fonte: (GREGÓRIO; DA SILVEIRA, 2018)

A manutenção preventiva é aplicada para equipamentos que ainda não estão em condição de falha. Esta abordagem prevê a intervenção em máquina de maneira prévia aos sintomas de quebra (GREGÓRIO; DA SILVEIRA, 2018). Com o estudo do histórico de um componente, boas práticas de mercado, recomendações do fabricante e/ou condições ambientais do local de instalação, são previstos períodos para que haja uma parada programada preventiva no equipamento, como: 200 horas de máquina rodando; uma vez por ano; a cada 300 produtos fabricados. Assim como na prática da preditiva, aqui também são utilizados instrumentos para compreender a condição do equipamento. No entanto, o momento de atuação da máquina é outro.

2.3 CONCEITO DE QUEBRA

Na NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), tem-se que: a falha ocorre quando há a interrupção da capacidade de um item em realizar a função para qual foi projetado; quando a falha ocorrer, o item estará em estado de pane, caracterizada pela impossibilidade de desempenhar uma função requerida.

Assim, ainda que não haja um conceito estabelecido nesta NBR para quebra, podemos considerar que a definição apresentada para falha se adequa perfeitamente para quebra, tendo em vista a prática das análises que serão apresentadas à frente.

Em outra instância, para Carneiro (2019) quebra/falha são quaisquer paradas em equipamentos com tempo de reparo maior que 10 minutos havendo ou não troca de componentes. A empresa em que está instalada a análise presente neste trabalho, tem definição para quebra qualquer intervenção de recomposição de estado da máquina realizada pela equipe de manutenção sem planejamento prévio e que dure um período maior ou igual a 10 minutos, o que é análoga a de Carneiro.

As paradas menores que 10 minutos serão denominadas de Chokotei. Este termo remonta do Japão de 1967, que denominava pequenas paradas como choko choko tomari (em tradução literal “enguiçar, enguiçar, parar”) e mais adiante foi renomeado com Chokotei (SUEHIRO, 1939). O termo pode expressar conceitos diferentes dependendo da empresa em que é utilizado, nesta obra se refere a equipamentos que sofrem paradas por falha.

2.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Parte do desafio da manutenção industrial está na rastreabilidade dos defeitos e dos resultados obtidos pela atuação nas máquinas. Para que exista uma estratégia de planejamento bem traçado, é necessário que haja indicadores gerenciais e com eles metas a serem alcançadas. Estes indicadores serão fundamentais para possibilitar o alcance dos padrões de confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos (KAROLINE apud MACEDO NETO, 2019).

Os indicadores que atualmente estão presentes nas práticas da empresa em que foi realizado o estudo são o MTBF, MTTR, custo fixo de manutenção, indisponibilidade de manutenção e quantidade de quebras. Estes indicadores orientam boa parte dos motivos que levaram a escolha pela atuação demonstrada nesta obra.

Mean Time Between Failure (MTBF), ou Tempo Médio Entre Falhas é dado pelo produto do tempo em horas em que a máquina esteve operando e número de quebras ocorridas no equipamento como visto na Equação (1) (VIANA, 2002).

$$MTBF = \frac{TD}{NQ} \quad (1)$$

Onde:

$MTBF$ = Tempo médio entre falhas (-)

TD = Tempo de Disponibilidade (h)

NQ = Número de quebras (cada)

Quanto maior o MTBF, melhor está o indicador. Isso significa que a máquina está com uma disponibilidade maior e que a equipe da manutenção tem reduzido as atuações corretivas.

Mean Time to Repair (MTTR), o tempo médio de reparos é dado pela relação entre o tempo total em horas de indisponibilidade de uma máquina e o número de quebras ocorridas no equipamento, representado pela Equação (2) (VIANA, 2002).

$$MTTR = \frac{TI}{NQ} \quad (2)$$

Onde:

$MTTR$ = Tempo médio de reparos (-)

TI = Tempo de total de indisponibilidade (h)

NQ = Número de quebras (cada)

Quanto menor o MTTR melhor está o indicador, afinal, isto reflete que a condição da(s) máquinas(s) está sendo reestabelecida mais rapidamente e que o período de disponibilidade para produção é maior.

Para o controle de gastos com manutenção, é importante que haja limites traçados com base no histórico prático do setor, claro, com um fator percentual de redução neste custo. Com isso, o custo fixo de manutenção fundamenta o funcionamento dos gastos com ferramentas, materiais, mão de obra externa, serviços, insumos e peças. O acompanhamento deste indicador é essencial, para que a manutenção não seja pura e simplesmente um serviço de substituição de peças, mas para que seja um sistema ordenado de atuação visando o mínimo desperdício financeiro e fazendo com que os custos sejam compensados pelos resultados em produção (HILDEBRANDO, 2022).

A indisponibilidade de manutenção corresponde ao tempo tomado pelo setor para atuar em máquina, causando o impedimento da produção, podendo essa indisponibilidade ser gerada de maneira programada ou não. Ainda, este indicador geralmente é apresentado de maneira percentual, esse valor parcial é obtido pela Equação (3).

$$\text{Indisponibilidade (\%)} = \frac{TM}{TS - TsF} \quad (3)$$

Onde:

TM . = Soma do tempo de atuação de manutenção em intervenções que provocam parada do(s) equipamento(s) (min);

TS = Tempo total do período analisado (min);

TsF = Soma do tempo em que o(s) equipamento(s) estiveram fora de funcionamento por motivo de feriado ou falta de demanda (min).

O número de quebras é a soma dos eventos de quebra em um período específico analisado ou em um comparativo entre períodos, entre tipos de falha, entre máquinas ou grupos. Esse indicador auxilia a localizar a recorrência de quebras em um grupo de máquinas, em um equipamento ou em um modo de falha específico. Frequentemente esse indicador é apresentado em forma de um gráfico de Pareto, justamente para representar o acúmulo de quebras em um grupo específico.

2.5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

O gerenciamento com qualidade da manutenção depende boa parte em saber localizar as fontes dos defeitos e das quebras ocorridas nos equipamentos para que então, possam ser planejadas a forma ideal de resolvê-los (PENEDO, DE CARVALHO, *et al.*, 2020).

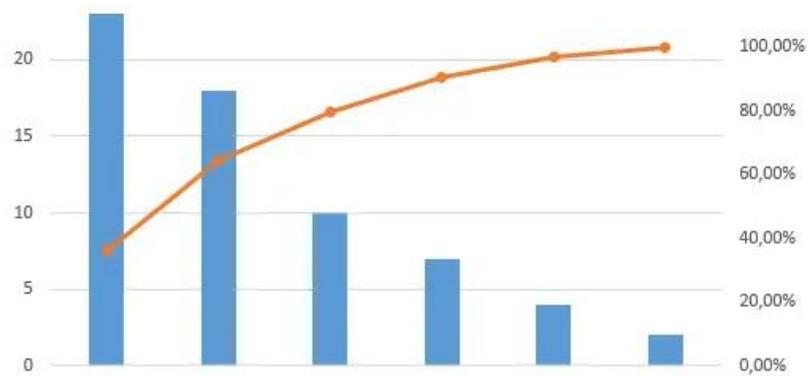
Para esse fim as ferramentas da qualidade são utilizadas para potencializar as análises e guiar a competente atuação da equipe, dando forma técnica para a identificação das possíveis causas de um fenômeno e para descobrir como solucionar um problema (DANIEL; MURBACK, 2014).

2.5.1 Gráfico de Pareto

Esta ferramenta se trata de um gráfico, como o título já denuncia, de barras verticais que organizam os dados de forma visualmente evidente, por agrupamento de determinados temas para que seja tomado como ponto de partida os conjuntos de causas mais prováveis para um fato global (LEONEL, 2008). Vinculado ao gráfico existe o princípio de Pareto, que consiste da consideração de que cerca de 20% dos motivos de falha, quando mitigados, são responsáveis por 80% da solução de um problema (ROCK CONTENT, 2018), a relação deste percentual é representada por uma linha crescente com a somatória total de 100%, cruzando o gráfico de barras, como visto na

Figura 3.

Figura 3 - Exemplo de um gráfico de Pareto



Fonte: (COUTINHO, 2018)

2.5.2 5W2H

O 5W2H é um método de expressar um problema de forma clara por meio de 7 perguntas originalmente de língua inglesa: *What, Where, When, Who, Why, How e How much*, esses questionamentos são traduzidos para o português em: O quê? Onde? Quando? Quem? Por quê? Como? Quanto? (REGGIORI, 2018). Com as respostas dessas perguntas (vistas na Tabela 1) é possível montar a condição em que ocorreu o evento, ou em outras palavras, ter o cenário da falha.

Tabela 1 - Perguntas do 5W2H

Item	Descrição
What (O quê?)	O que está acontecendo?
Where (Onde?)	Onde está acontecendo?
When (Quando?)	Existe variação relacionada ao tempo ou período?
Who (Quem?)	Existe relação com a habilidade das pessoas que operam o sistema?
Why (Por quê?)	Por que o problema ocorre? Existe alguma tendência característica?
How (Como?)	Como a situação da condição varia de normal para anormal?
How much (Quanto?)	Qual a intensidade da ocorrência do problema/ qual o número de defeitos gerados?

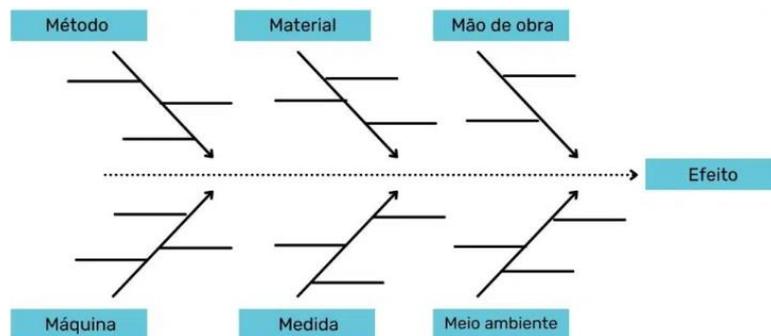
Fonte: (REGGIORI, 2018)

Ainda, essa ferramenta pode ser aplicada em outra vertente, em que a sigla muda para 5W1H e se perde uma das perguntas (*How Much*), como a aplicada na obra de Moretti, Crus e Guimarães (2019).

2.5.3 Diagrama de Ishikawa

Conhecido também como diagrama espinha de peixe, diagrama 6M ou matriz causa e efeito, o diagrama de Ishikawa leva o nome de seu criador, Kaoru Ishikawa e é uma técnica que visa enumerar de maneira visual, simples e eficiente possíveis causas para um fenômeno, em 6 grandes grupos: Mão de Obra; Medida; Máquina; Materiais; Meio Ambiente e Método (MARIANI, 2005), como visto na Figura 4.

Figura 4 - Padrão de Diagrama de Ishikawa

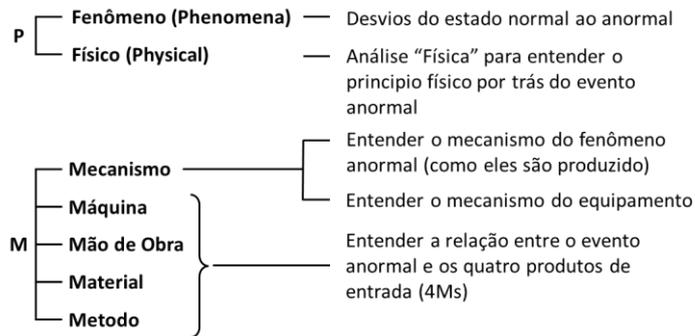


Fonte: (KATAGUIRE, S.D.)

2.6 ANÁLISE PM

Utilizada para a análise de fenômeno de falhas, a PM é uma técnica que, por meio do estudo dos princípios físicos e mecânicos dessa falha, com relação a 4 das 6 variáveis de Ishikawa, como visto na Figura 5, visa proporcionar a solução da falha. A análise PM tem seu uso especialmente em eventos com grande complexidade, problemas que persistem após aplicação de outros métodos ou problemas crônicos (SUZUKI, 1994).

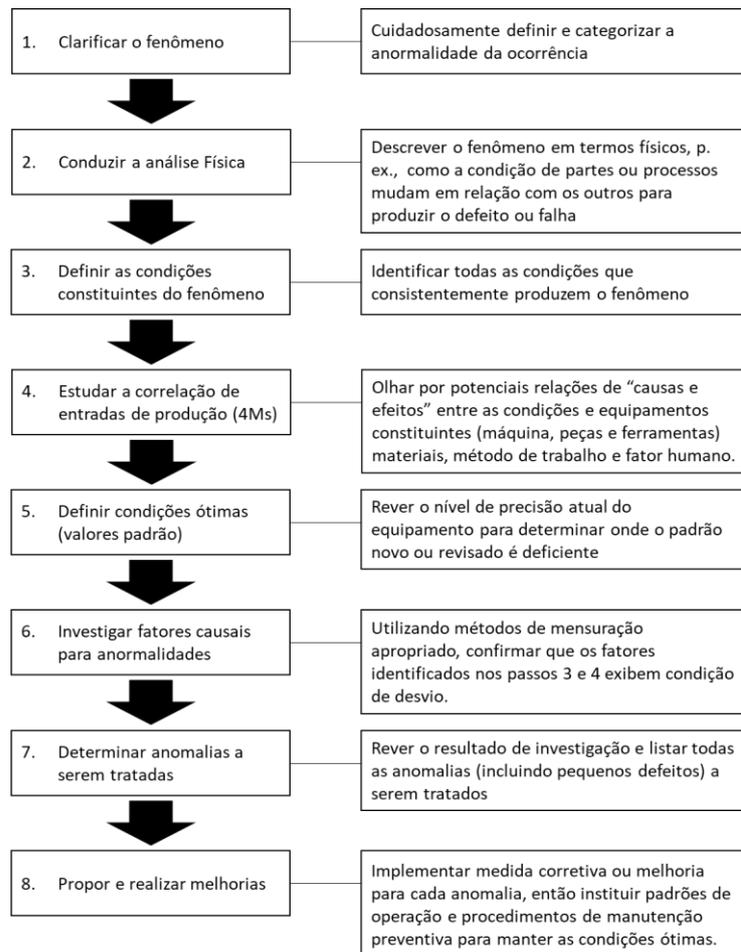
Figura 5 - O que é análise PM



Fonte: SHIROSE, KIMURA; KANEDA, 2014

A aplicação do método se embasa em 8 passos, apresentados na Figura 6, para a condução do entendimento da ocorrência física, suas variáveis, suas causas e como intervir para garantir que o problema seja evitado. Ainda, como visto na obra Bochnia (2012), pode existir um passo 0, de recomposição de estado original da máquina, comumente implementada nessa técnica.

Figura 6 - Passos da Análise PM



Fonte: SHIROSE, KIMURA; KANEDA, 2014

2.6.1 Passo 1 - Esclarecer o Fenômeno

Nessa etapa os esforços estão sobre a ação de clarificar o fenômeno, enxergá-lo da maneira mais clara possível. Nesse ponto é necessário que os participantes da análise se dirijam até o chão de fábrica e observem com seus próprios olhos a ocasião da falha, se for possível, mais do que apenas ver a falha, é importante que os componentes do projeto se questionem sobre as condições daquele ocorrido, perguntas como: Durante qual operação específica ocorre o fenômeno? As circunstâncias são sempre as mesmas? Ocorre com regularidade? Melhora ou piora com o tempo? Ocorre apenas nessa máquina? Ocorre apenas em aplicações específicas? (SHIROSE, KIMURA; KANEDA, 2014).

Para auxiliar na clarificação do fenômeno, é utilizado o 5WIH, ferramenta citada anteriormente, para que possa ser descrita objetivamente a ocorrência.

2.6.2 Passo 2 - Conduzir uma Análise Física

Apenas com as impressões tidas através do primeiro passo, pode-se chegar em conclusões pela experiência, como “Sempre foi assim”, pela intuição “deve ser isso...” ou por uma impressão “deve ser por isso...” (SHIROSE, KIMURA; KANEDA, 2014). Para evitar conclusões precipitadas, o segundo passo sugere uma análise sobre a física do problema, para que se investigue as interações entre elementos (SUZUKI, 1994).

O segundo passo pode ser dividido em etapas: 1ª etapa – Identificar os princípios de operação, estudar as interações físicas e mecânicas e registrar o fluxo e as relações diretas entre os mecanismos; 2ª etapa – Estabelecer as condições de trabalho em condições normais, quando o fenômeno não ocorre, como a máquina trabalha? 3ª etapa – Identificar a interação entre elementos, analisar o fenômeno considerando relações entre causas e efeitos, em que a causa se refere a condição da máquina e o efeito ao resultado obtido pela variação. Diagramas das causas e efeitos neste ponto podem auxiliar na análise do fenômeno, melhor ainda se puder ser visualmente representada; 4ª etapa – Quantificar a variação física, uma vez identificados e diagramados os elementos de interação, é necessário quantificar as mudanças físicas ocorridas em seu relacionamento, utilizando unidades físicas básicas e/ou constantes (SHIROSE, KIMURA; KANEDA, 2014).

2.6.3 Passo 3 - Definir Condições que Compõem o Fenômeno

Nessa etapa devem ser listadas e revisados todas as condições que consistentemente dão origem ao problema, estas são condições suficientes e necessárias para que o fenômeno físico ocorra. É importante que qualquer condição seja pautada e listada, independentemente de aspectos preestabelecidos sobre o equipamento, sem que haja julgamentos com embasamento prévio (SHIROSE, KIMURA; KANEDA, 2014).

2.6.4 Passo 4 - Estudar 4M's como Fatores de Causa

Através dos pontos levantados nos passos anteriores, devem ser verificadas as relações entre as condições necessárias dos fenômenos e fatores primários e secundários dos 4M's. E ainda listar e enumerar todos os fatores que possivelmente estão envolvidos da produção destas condições (SUZUKI, 1994).

2.6.5 Passo 5 - Definir Condições Ótimas

Nos passos de 1 a 4, foram determinados aspectos da anomalia, os fatores que justificam o erro. Agora é necessário elucidar qual a condição ótima, e seguindo a vertente racional da análise PM, é claro que esse conceito não pode ser meramente subjetivo. Para que seja determinada a condição ideal, é necessário determinar quais variáveis de processo precisão ser analisadas para que seja garantida a confiabilidade do processo (SHIROSE, KIMURA; KANEDA, 2014).

2.6.6 Passo 6 - Planejar a Investigar o Método de Medição

O passo 6 geralmente é executado juntamente ao 5, pois nessa etapa são definidos os padrões confiáveis para realizar a medição das condições de processo ideal recém levantados na etapa anterior (SUZUKI, 1994).

2.6.7 Passo 7 - Analisar as Anomalias

Agora que já estão estabelecidos, por meio dos passos 5 e 6 as condições de monitoramento do perfil ideal de funcionamento, no passo 7 deve ser efetuada a coleta de dados das anomalias ocorridas em máquina. Todos os fenômenos listados devem ser analisados através das condições ótimas (BOCHNIA, 2012).

2.6.8 Passo 8 - Definir e Implementar as Melhorias

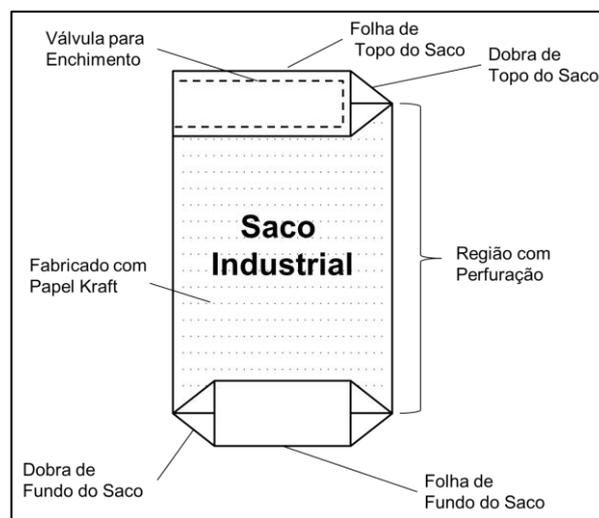
Esse passo é reservado para que, após realizadas todas as análises, a equipe de projeto defina e priorize as melhorias a serem implementadas, levando em consideração a possibilidade de efetividade, o custo e a complexidade de cada ação. Com a implementação destas melhorias, é importante também acompanhar o avanço dessa aplicação, observar se o fenômeno volta a acontecer. Caso seja constatado o sucesso, o desafio é manter a condição alcançada e tornar vivo o registro das ações.

2.7 PRODUÇÃO DE SACOS INDUSTRIAIS

O ramo de produção de sacos industriais encontra-se como fornecedor de outras empresas, que utilizarão estas embalagens como recipientes de seus próprios produtos. A produção de sacos encontra mercado nos mais diversos ramos, dentre os quais se destacam

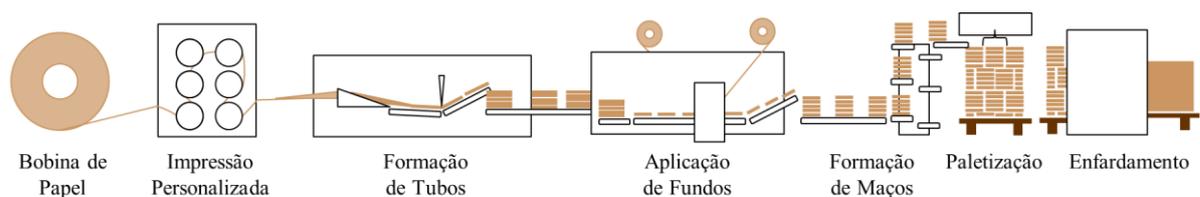
produtos como farináceos, sementes, rações, cimentos e carvão (HILDEBRANDO, 2022). Esta produção por ter uma clara variação de aplicações, também apresenta variação nas formas de fabricação, podendo ter mais ou menos folhas na formação do saco; aplicação de lâmina plástica na estrutura; apresentar micro furações no corpo do saco para alívio das pressões no envase; ter diversificação na forma de colagem dos fundos dos sacos; contar com a presença de válvula para facilitação da introdução do produto no saco; alternar entre tamanhos maiores e menores; até mesmo a quantidade de cores de impressão da logomarca pode variar. O modelo básico de um saco produzido pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Modelo padrão de Saco Industrial



Na conversão da bobina de papel em saco industrial, o papel passa por uma série de etapas com possível variação em cada uma delas, como citado anteriormente. Ainda que não seja um processo fixo, este tem etapas bem estabelecidas e que podem ser organizadas em grandes grupos, como visto na Figura 8.

Figura 8 - Fluxo de Processo



Conforme apresentado na Figura 8, a matéria-prima de confecção dos sacos vem na forma de bobina de papel *kraft*, fabricado por um mix de fibras de pinus e eucalipto, passa para a etapa de impressão personalizada por clichês (espécie de carimbo) que colorem o papel com tinta à base de água conforme o pedido do cliente. Com a impressão, a bobina passa pelo processo de formação de tubos. Esses, seguem para a máquina de aplicação de fundos, formando o saco em seu formato final. Em seguida, os sacos, passam para a etapa de formação de maços, em seguida paletização e finalmente enfardamento para que sejam encaminhados ao cliente.

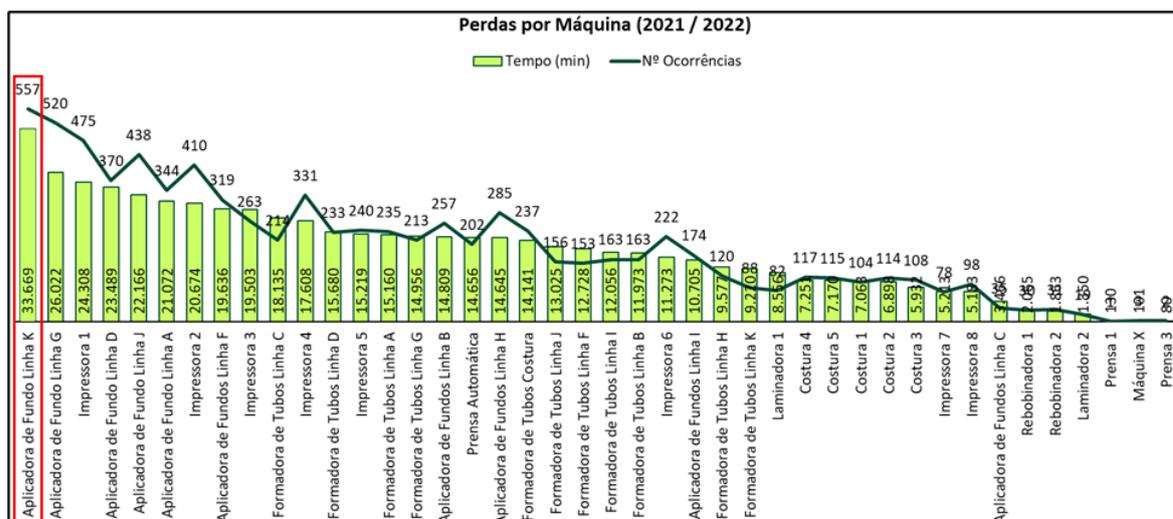
Em suma, o ramo visa contemplar a maior fatia possível do mercado, na conversão da bobina de papel nos mais diversos modelos de sacos industriais, promovendo inovação e sanando com soluções engenhosas os requisitos apresentados pelos seus clientes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta obra, a metodologia utilizada foi a de estudo de caso em uma empresa do ramo de fabricação de sacos industriais localizada na cidade de Lages – SC. O estudo foi realizado em uma máquina aplicadora de fundos de uma linha produtiva, chamada genericamente como “Linha K”, na etapa de paletização de maços no mecanismo de elevação de sacos.

A decisão por atuar nesta falha específica foi tomada através da análise de uma série de indicadores. O primeiro deles, visto na Figura 9, é um gráfico de Pareto contendo a quantidade de quebras e o tempo de intervenção em todas as máquinas do pátio fabril entre o ano de 2021 e início de 2022.

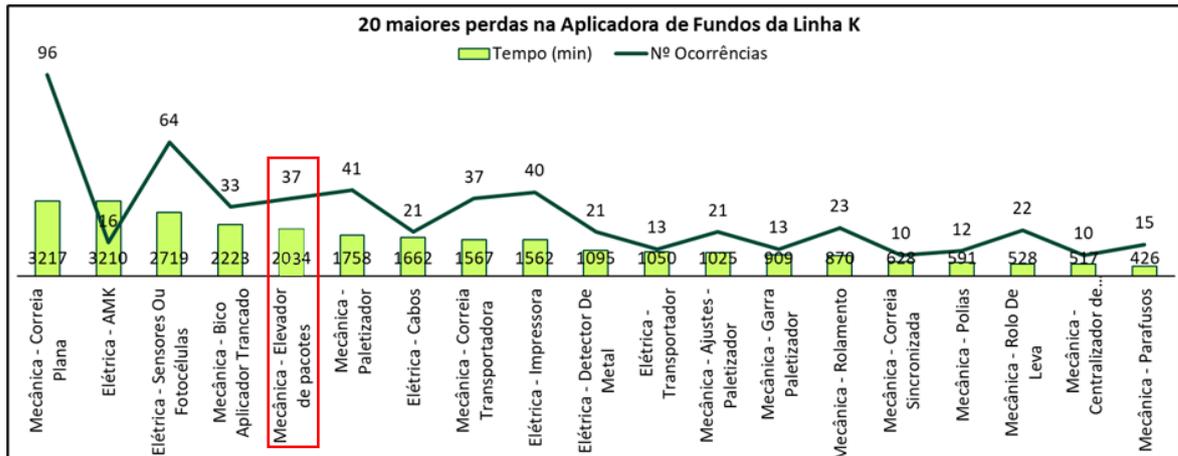
Figura 9 - Perdas por Máquina



Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Por este indicador é possível observar que o maior número de quebras e maior tempo em intervenções, com 33.669 minutos e 557 quebras respectivamente, pertencem a Aplicadora de Fundos da Linha K. Partindo deste ponto foram abertos os motivos de quebra em um segundo gráfico, mostrado na Figura 10, que aborda os motivos de quebra de março de 2021 até março de 2022.

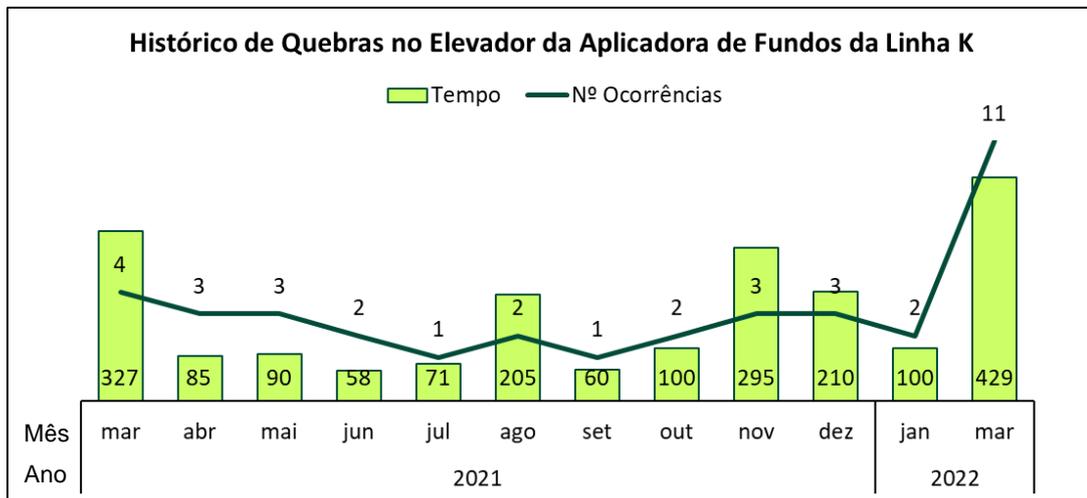
Figura 10 - Vinte maiores perdas na Aplicadora de Fundos da Linha K



Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Dentre os apontamentos de quebra apresentados, o de “Mecânica – Elevador de pacotes” aparece em quinto lugar com indisponibilidade de 2.034 minutos que corresponde a 37 quebras. Essa falha em específico foi escolhida para ser trabalhada por conta das outras maiores já estarem sendo tratadas em outros projetos e por ter um caráter de recorrência claramente expressado na Figura 11.

Figura 11 - Histórico de Quebras no Elevador da Aplicadora de Fundos da Linha K



Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

O fator de recorrência, alinhado com a gravidade de custos e indisponibilidade de cada ocorrência de quebra e com a causa obscura do fenômeno, tendo ele sido investigado por meio de outras iniciativas, porém sem sucesso, foram os determinantes para a decisão da formação do projeto e do uso da metodologia da análise PM.

A aplicação do método PM no elevador de maços localizado na linha K, visto na Figura 12, teve seu berço no pilar de manutenção planejada, todavia foi realizado por um grupo de estudo multisetorial, sendo os membros: engenheira de manutenção; supervisor de manutenção; operador de máquina; mecânico; técnico de manutenção mecânica; eletricitista; estagiário de manutenção; planejador de manutenção e analista de qualidade. Os encontros dessa equipe foram registrados em planilha de Excel e ocorreram semanalmente, sendo que nestas datas eram trocadas as informações obtidas pela ótica de cada participante.

Figura 12 - Elevador de maços da linha K



Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

A realização do projeto teve três grandes momentos de desenvolvimento, o primeiro deles foi a observação do fenômeno e de suas características básicas. Em especial, neste período a verificação do evento foi feita por meio de câmeras instaladas no conjunto analisado, pois sua recorrência acontecia na ordem de meses, dificultando a observação. Este período é marcado pelos passos 1 e 2 da análise PM.

Em sequência, com os passos 3, 4, 5 e 6, foram realizadas as análises práticas sobre a condição do fenômeno de maneira mecânica, elétrica e pela interferência humana e a correlação destes tópicos com o resultado do evento. Também, para que fosse realizado um comparativo prático e mensurável, convencionou-se o perfil ideal de funcionamento da máquina na etapa observada.

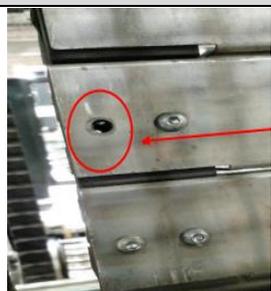
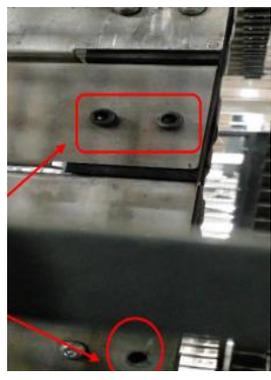
Em um último momento, com os passos 7 e 8, foram observadas as anomalias do fenômeno com a medição prática das variáveis consideradas como geratrizes do

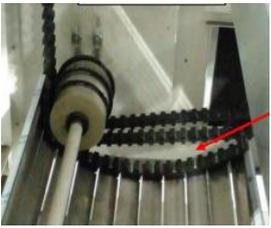
acontecimento, para constatar seu impacto prático. E pelos resultados, foram implementadas as melhorias para conquistar a mitigação da quebra. No período que se seguiu após a intervenção foram observados os resultados obtidos e seus impactos nos indicadores.

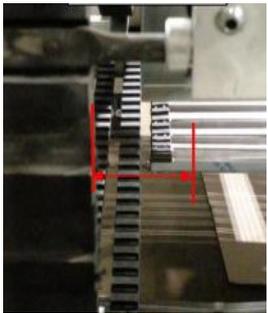
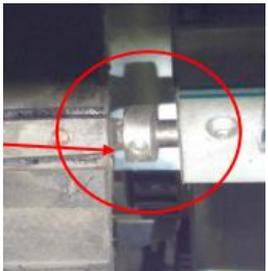
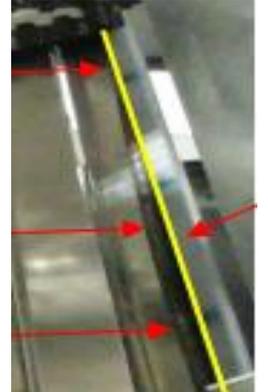
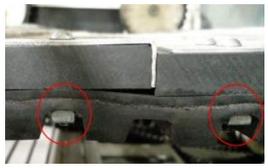
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

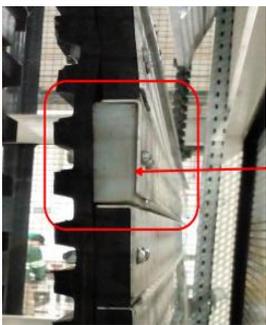
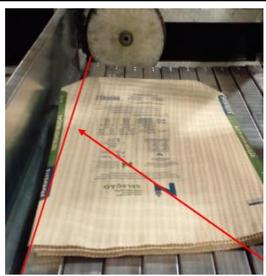
Para o estudo e promoção da solução da falha no elevador de maços, foi utilizada a ferramenta da análise PM, como já citado. Contudo, antes de iniciar a aplicação dos oito passos do método, foram analisadas as oportunidades de reconstituição das condições básicas de estado original de máquina. Tais atuações de reparo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Itens Reestabelecidos à Condição Básica

Ponto Reparado	Variação	Função	Reestabelecimento
	Falta de parafusos em alguns pontos nas chapas da esteira	Fixação das chapas nas esteiras de elevação	1. Realizado o restabelecimento da condição 2. Realizada a fixação de forma padronizada
	Parafusos inadequados em alguns pontos nas chapas da esteira	Fixação das chapas nas esteiras de elevação	1. Padronizada a utilização e aperto dos parafusos conforme descrição do fabricante
	Varetas de fixação das esteiras estão montadas com a posição do angulo invertidas podendo contribuir para o desalinhamento das esteiras nas polias de tração.	Fixar as esteiras na correia de transmissão	1. Realizada a montagem de acordo com o padrão

Ponto Reparado	Variação	Função	Reestabelecimento
	<p>Algumas varetas de fixação das esteiras estão tortas, o que pode contribuir para o desalinhamento da correia</p>	<p>Fixar as esteiras na correia de transmissão</p>	<p>1. Substituídas as varetas de fixação que estão tortas</p>
	<p>Chapas das esteiras tortas ocasionando deformação na posição das esteiras</p>	<p>Manter a esteira uniforme em todo o ciclo, recebendo a sacaria para elevação da mesma</p>	<p>1. Substituídas as chapas danificadas e tortas das esteiras do elevador</p>
	<p>Tensionamento inadequado das correias de transporte da esteira. Um lado mais tencionado que o outro, gerando desalinhamento.</p>	<p>Realizar o movimento de transmissão e transporte das esteiras de forma uniforme</p>	<p>1. Realizo o ajuste de tenção conforme procedimento e indicação do fabricante</p>
	<p>Rompimento da camada de tração e desgaste na correia de transmissão elevador. Alguns pontos na correia estão com a camada rompida.</p>	<p>Realizar o movimento de transmissão e transporte das esteiras de forma uniforme</p>	<p>1. Realizada a substituição das correias de transmissão</p>

Ponto Reparado	Variação	Função	Reestabelecimento
	<p>Esteiras trabalhando fora de centro ou com folga lateral. Verificado que as esteiras podem estar trabalhando descentralizada e alguns pontos as buchas de limitação estão fora da posição</p>	<p>As buchas e suportes tem como função limitar a posição de trabalho e centralização das esteiras</p>	<p>1. Realizado o ajuste e alinhamento das esteiras</p>
	<p>Buchas de centralização das esteiras fora de posição</p>	<p>As buchas e suportes tem como função limitar a posição de trabalho e centralização das esteiras</p>	<p>1. Realizado o ajuste e posicionamento das esteiras de forma centralizada</p>
	<p>Eixo tubo transversal torto. verificado que alguns eixos de sustentação das esteiras estão tortos ou com desgaste interno.</p>	<p>Manter a esteira alinhada em ambos os lados na posição longitudinal e estável em todo o ciclo de deslocamento da esteira</p>	<p>1. Realizada a substituição dos tubos nas esteiras de elevação</p>
	<p>Falta de padrão no torque de aperto parafusos de fixação chapas gerando deformação da correia de base inferior. A deformação gera pontos de ondulações e conseqüentemente mal posicionamento das chapas nas esteiras.</p>	<p>Fixação de forma uniforme entre as chapas e a correia de transporte</p>	<p>1. Restabelecidas as condições básicas e padronizado o torque de aperto de forma uniforme nas esteiras</p>

Ponto Reparado	Variação	Função	Reestabelecimento
	Suporte da base inadequado	Manter as chapas equidistantes e na altura correta de trabalho entre as chapas e a correia de transmissão	1. Padronizado o material e tipo de suporte
	Posicionamento dos tubos ao entrar na esteira fora de padrão (descentralizados)	Elevação dos tubos nas esteiras	1. Verificado o posicionamento de entrega dos pacotes na entrada das esteiras, e ajustado a forma que o pacote entra na esteira alinhado e centralizado.

Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Depois de feitos os recondicionamentos citados, foram aplicadas as etapas de desenvolvimento do método de análise de fenômeno sem que houvesse a possibilidade de a interferência das condições inadequadas afetarem o resultado do estudo.

2.1 APLICAÇÃO DO PASSO 1

No primeiro passo da análise PM, a equipe deve realizar a observação do fenômeno da falha pessoalmente, no entanto, por conta da esporadicidade do evento e, por após ocorrido, a máquina ter seu processo interrompido (o que impede visualizar a falha em movimento), os registros, vistos na Figura 13, não proporcionavam maiores conclusões além do próprio fato da queda dos maços.

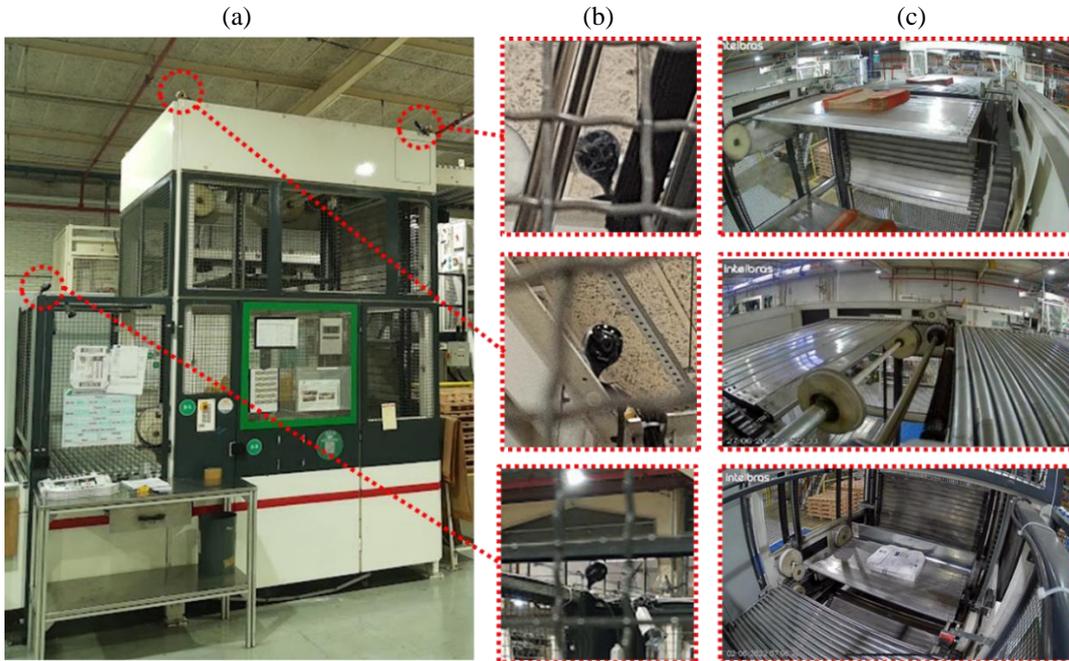
Figura 13 - Registros feitos após o evento



Fonte: arquivo interno da empresa

Sendo assim, para a observação do fenômeno, foram instaladas três câmeras nos locais que acreditavam-se ser possíveis ocorrer a falha.

Figura 14 – Elevador com indicação das Câmeras (a),
Vista ampliada das câmeras (b) e Imagens registradas por cada câmera Instalada (c)

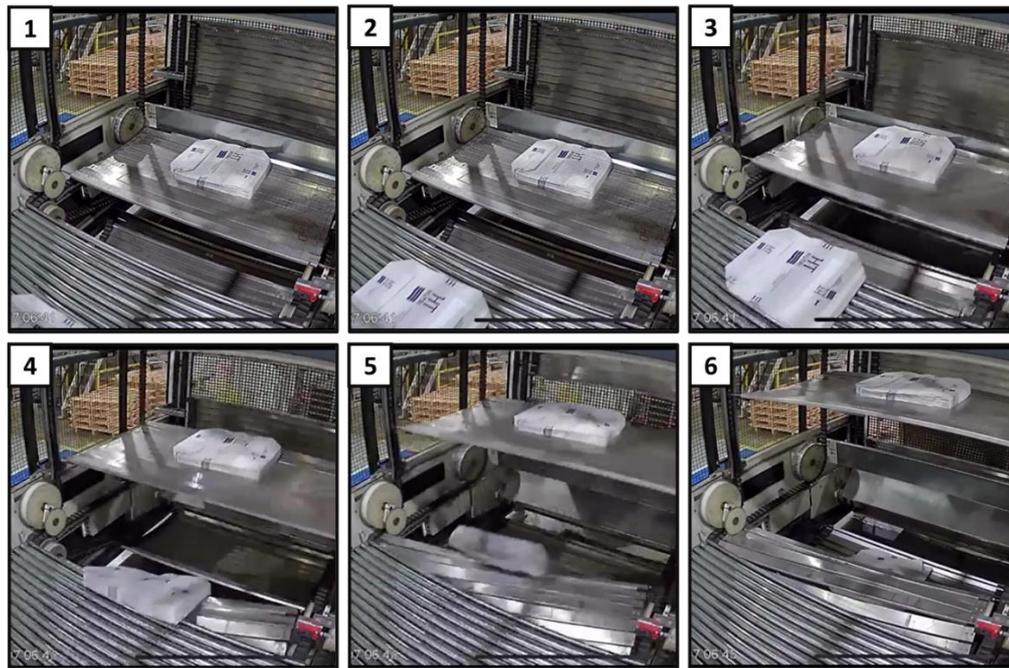


Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Figura 14, é visto o elevador de maços com a posição de instalação das câmeras em (a), as câmeras instaladas em (b), sendo a primeira delas colocada no topo da máquina, direcionada para a esteira do elevador, a segunda foi instalada também no topo, porém entre a esteira e os roletes de recebimento para o próximo processo; e, a terceira, na entrada do elevador, entre os roletes de entrada e a esteira, proporcionando assim, as vistas apresentadas em (c).

Após instaladas as câmeras, foi possível observar o evento da falha ocorrido na entrada do elevador registrado por vídeo e apresentado pelos frames na Figura 15.

Figura 15 - Travamento da Esteira do Elevador



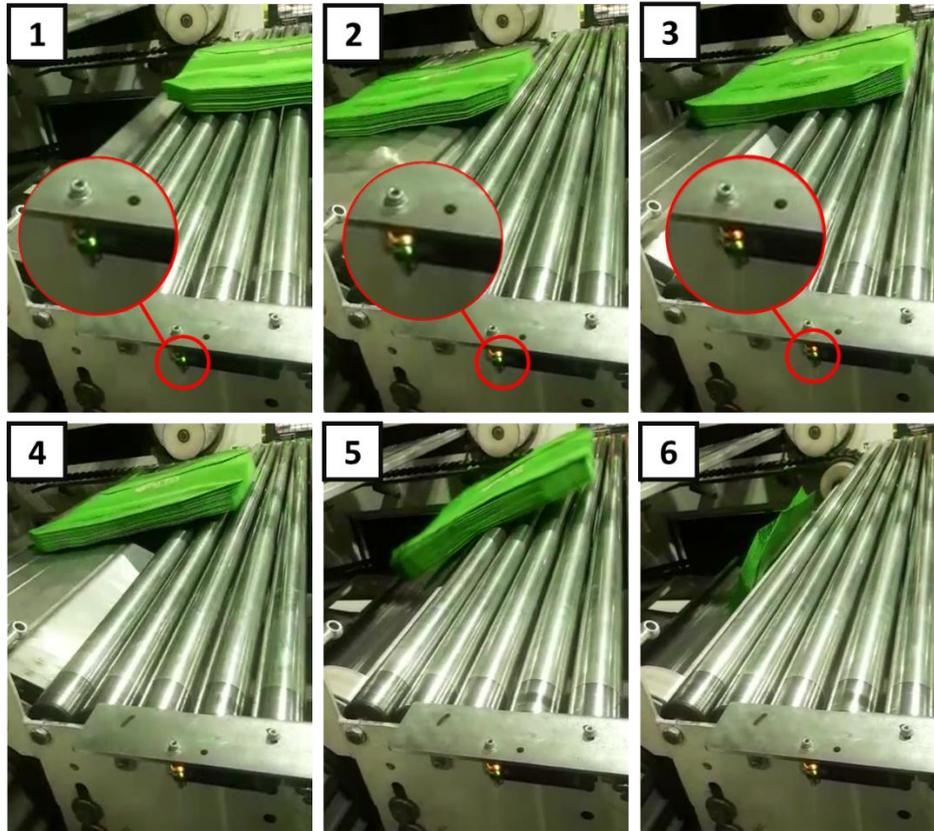
Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Na primeira imagem, é visto apenas um saco disposto sobre a esteira de elevação, entre as imagens 2 e 3, um novo saco se aproxima, na 4 a esteira que se ergue em sequência já apresenta falha, com o enviesamento de suas chapas entre o lado direito e esquerdo e, finalmente, entre as imagens 5 e 6, o saco é derrubado e a esteira travada, causando a interrupção imediata do funcionamento do elevador. Em decorrência deste registro, os focos da análise se voltaram principalmente para a observação da etapa de entrada dos maços no elevador. Como fruto destas observações focadas nessa etapa específica do processo, outro evento foi registrado, porém dessa vez por meio do aparelho celular do técnico em mecânica, participante da equipe de análise.

O vídeo do ocorrido apresenta mais uma vez um maço de sacos caindo no vão entre a esteira de entrega e o elevador, no entanto, dessa vez a posição da câmera é na lateral da máquina, fato que proporcionou a observação de um detalhe que não seria percebido com as outras imagens antes registradas. O sensor que indica a presença do maço e aciona o elevador pisca rapidamente logo após a passagem do produto. Na Figura 16, no frame 1, quando os sacos estão em frente ao sensor, mantém-se acesa apenas a luz verde do mesmo, indicando que este estava sendo acionado, no frame 2, os sacos passam para o elevador, saindo assim da frente do sensor e fazendo com que ele deixe de ser acionado (demonstrado pela luz amarela ligada). Quando o próximo maço passa pelo mesmo processo que o anterior, a luz do sensor pisca rapidamente, o que pode ser percebido pela baixa intensidade no tom de amarelo no

frame 3, na sequência, mais um saco passa ainda sem que a falha ocorra em “4” e finalmente entre os frames 5 e 6 a falha ocorre.

Figura 16 - Falha registrada pelo técnico



Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Com a junção destas observações, foi formatada a descrição do fenômeno, por meio da Tabela 3 - 5W1H da quebra.

Tabela 3 - 5W1H da quebra

5W1H	
What? O que aconteceu?	Queda dos maços
When? Quando aconteceu?	Quando não há o acionamento do elevador
Where? Onde aconteceu?	Entre a esteira de entrada e o Elevador
Who? Quem? Com quem?	Ocorre de forma aleatória e não depende de habilidade humana
Why? Por que aconteceu?	Porque o sensor apresenta a falha de leitura
How? Como aconteceu?	confundindo a comunicação em relação ao sistema de elevação
Descrição do Fenômeno (Montar o texto seguindo o sequenciamento das respostas acima)	Queda dos maços entre o intervalo das chapas e esteira quando não há o acionamento do elevador devido a falha de leitura de presença do produto, confundindo a comunicação com o sistema de elevação. Ocorre de forma aleatória e não depende da habilidade humana.

Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

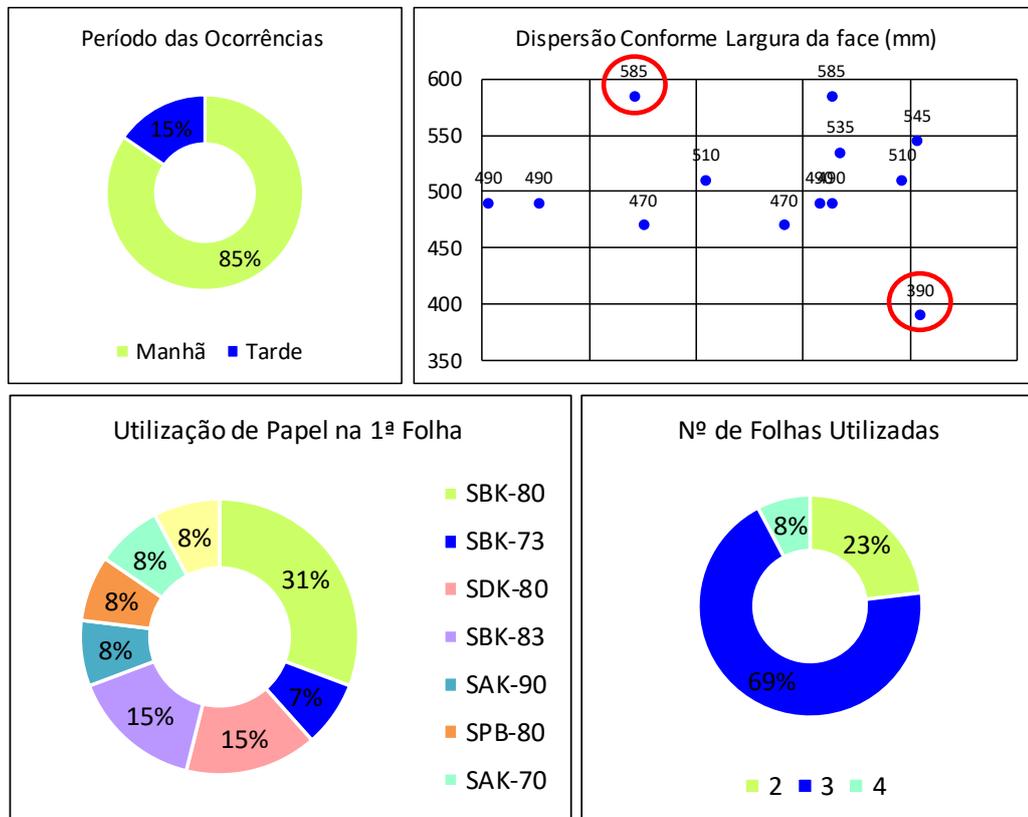
Ainda, para prosseguir com os seguintes passos e compreender ainda mais aspectos da falha, foi formatada a Tabela 4 - Folha de observação, contendo as informações registradas no momento das quebras mais recentes e dela derivados os gráficos da Figura 17.

Tabela 4 - Folha de observação

Data da Ocorrência	Turno	Face (mm)	Altura (mm)	1° Papel Externo	2° Papel Interno	3° Papel Interno	4° Papel Interno	Número de Folhas
19/jan	Manha	535	605	SBK-80	SAK-90			2
24/jan	Manha	510	635	SBK-73	SAK-71			2
04/mar	Manha	510	575	SBK-80	PAX-10	SAK-85		3
01/mar	Tarde	490	605	SAK-90	SAK-90			2
02/mar	Tarde	490	545	SBK-80	PAX-8	SAK-71		3
03/mar	Manha	390	475	SPB-80	SLF-80	PAX-15	SLF-80	4
06/mar	Manha	490	475	SAK-70	PAS-8	SAK-70		3
07/mar	Manha	490	545	SDK-70	SAK-70	SAK-70		3
10/mar	Manha	585	695	SBK-80	SAK-70	SAK-70		3
13/mar	Manha	470	530	SDK-80	SAK-70	SAK-70		3
14/mar	Manha	470	560	SBK-83	PAX-10	SAK-85		3
20/mar	Manha	545	675	SDK-80	SAK-70	SAK-70		3
25/mar	Manha	585	720	SBK-83	SAK-75	SAK-85		3

Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Figura 17 - Estatísticas da folha de medição

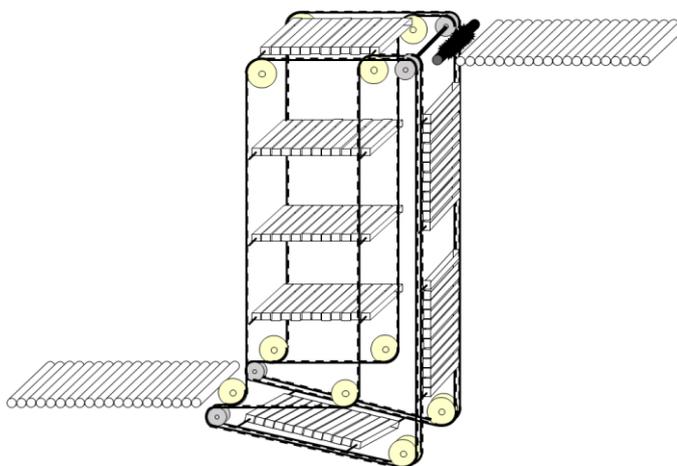


Fonte: arquivo interno da empresa

2.2 APLICAÇÃO DO PASSO 2

Para dar princípio à análise física, duas ações foram tomadas para facilitar a condução da etapa, primeira, providenciar um desenho em vista isométrica da etapa (inclusive para auxiliar na diagramação da falha) e a segunda foi fazer uma maquete para trazer à tona, de forma enfática, o físico do problema.

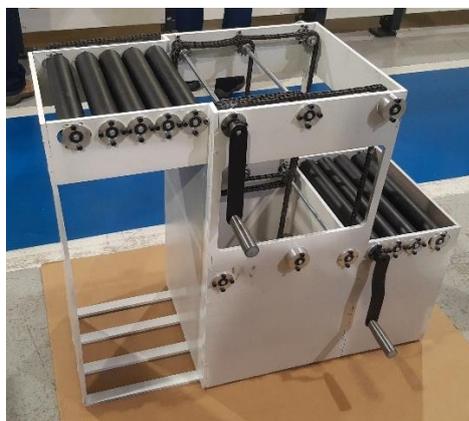
Figura 18 - Desenho em vista Isométrica do elevador de maços



Fonte: arquivo interno da empresa

Na Figura 18 é apresentado o desenho do elevador, constituído a partir da esteira de roletes na entrada, passando pelo conjunto principal de elevação (contendo os elementos mecânicos de transmissão) e passando para a esteira de entrega no topo. Contendo os mesmos componentes do processo, na Figura 19 está a maquete que possui duas manivelas que proporcionam a simulação do movimento análogo a máquina real.

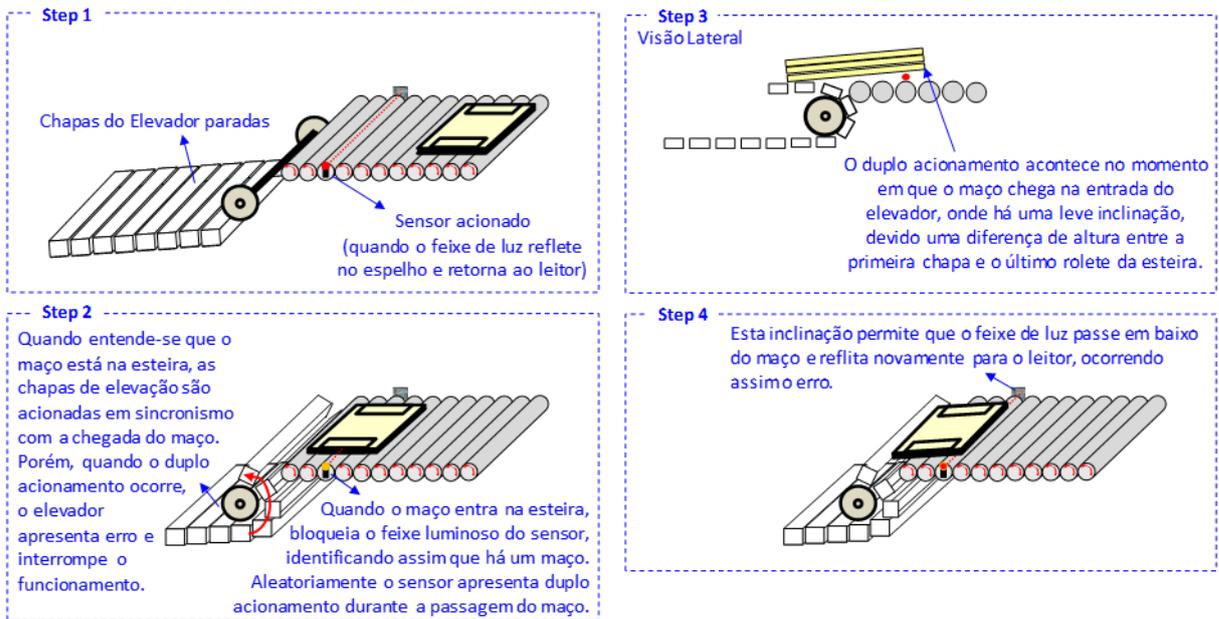
Figura 19 - Maquete do elevador



Fonte: arquivo interno da empresa

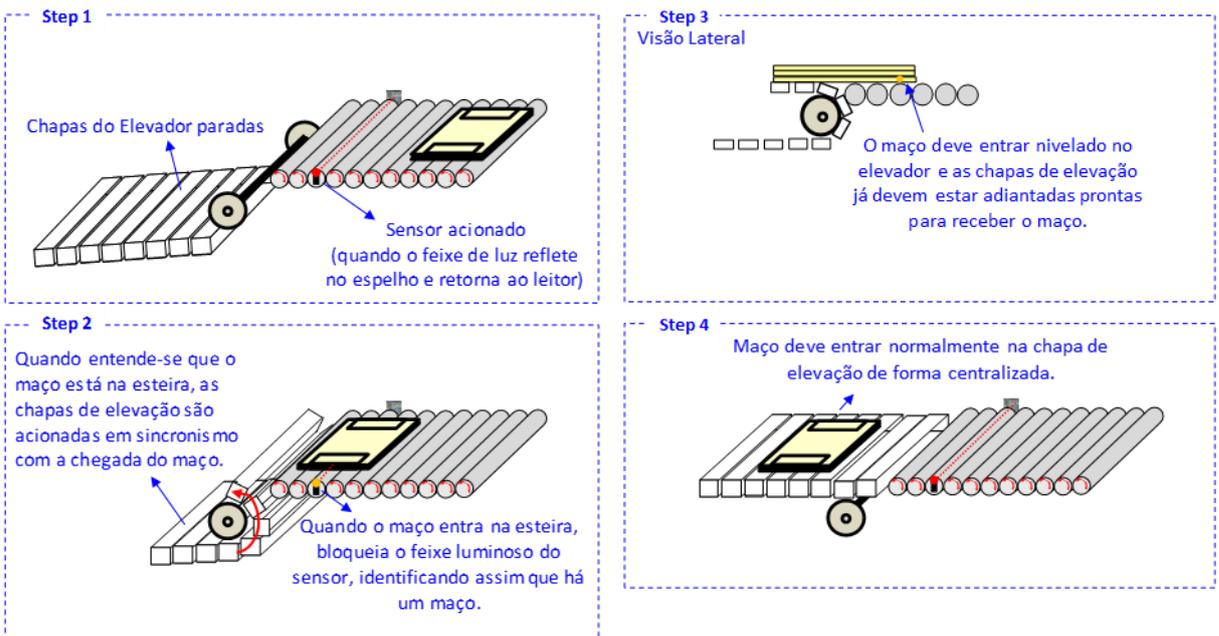
Das observações dessa etapa, surge uma importante consideração esperada no 2º passo da análise PM, o comparativo entre a condição atual (Figura 20) e ideal (Figura 21) do fenômeno, descritas por *Steps*. Nessa etapa o grupo pode explorar os meios pelos quais a falha se faz possível, para que nos passos seguintes essa interpretação seja ainda mais aprofundada.

Figura 20 - Condição atual



Fonte: arquivo interno da empresa

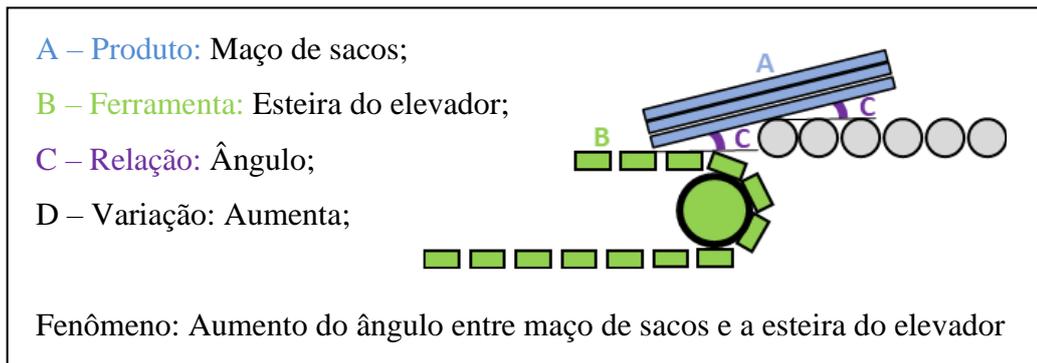
Figura 21 - Condição ideal



Fonte: arquivo interno da empresa

Na Figura 20 - Condição atual, no *Step 2*, o evento apresentado Figura 16 é citado como “duplo acionamento” do sensor e em seguida, no *Step 3*, é considerado que, para que isso ocorra, o maço de sacos abre por um instante um vão para que o sensor comute. Essa condição é a constituinte básica que será explorada no passo 3, e como recomendado por Shirose, Kimura e Kaneda (2014), pode ser descrita na Figura 22 pelos elementos A - Produto; B - Ferramenta; C - Relação entre A e B; D - Variação na relação C.

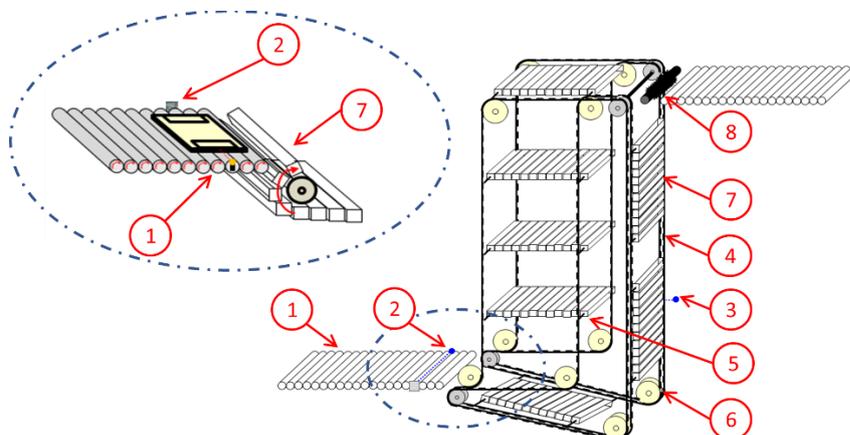
Figura 22 - Descrição do fenômeno físico



2.3 APLICAÇÃO DO PASSO 3

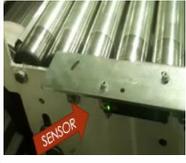
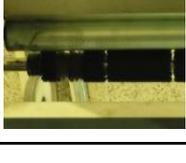
Para que fossem interpretados os mecanismos do elevador que podem ou não compor o fenômeno, estes foram apontados na Figura 23 e estudados na Tabela 5. Nessa etapa, foram levados em consideração todos os conjuntos que compõe o sistema de elevação, quais suas funções básicas, condições anormais e possíveis causas para que ocorram.

Figura 23 - Componentes do elevador



Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Tabela 5 - Correlações entre mecanismos e fenômeno

Item	Mecanismo	Função	Há interação com o Fenômeno?	Quais?	Possíveis causas do problema	Como o componente trabalha quando o fenômeno não acontece?
1	Esteira de roletes 	Transportar o Maço até a entrada da esteira do elevador.	Sim	Desalinhamento do maço pela diferença de altura com a chapa.	1.1 - Roletes Lisos; 1.2 - Rolete Parado; 1.3 - Variação no diâmetro do rolete; 1.4 - Abastecimento Manual; 1.5 - Sincronismo com a próxima etapa.	Acionamento automaticamente e conduz os maços conforme velocidade programada.
2	Sensor de presença 	Detectar a presença do maço e enviar a informação ao elevador.	Sim	Duplo acionamento durante a passagem de um mesmo maço.	2.1 - Trajetória do feixe de luz desviada pela reflexão no rolete.	Aciona com a reflexão do feixe de luz no espelho até que um maço interrompa este sinal pondo-se a frente do feixe. Essa condição é enviada ao CLP.
3	Sensor de posição 	Responsável pelos sinais para sincronismo entre parada e retomada do ciclo de elevação dos maços.	Não	-	-	-
4	Correia de Transmissão 	Conduzir as esteiras do sistema de elevação.	Não	-	-	-
5	Haste metálica 	Fixação das esteiras na correia de transmissão.	Não	-	-	-
6	Roldana de nylon 	Suportar e tencionar a correia de transmissão.	Não	-	-	-
7	Chapa de Elevação 	Condução dos maços até a mesa de transporte superior.	Sim	Inclinação do maço na mesa de roletes e sincronismo em relação a chegada do maço.	7.1 - Diferença de altura em relação a mesa de roletes;	Se posicionam niveladas com a esteira de entrada assim que for acionado o sensor, em seguida conduz o maço ao topo, o entrega para os roletes de saída e retorna para o início.
8	Rolo escova 	Alinhamento do maço entre a esteira e a mesa de transporte superior.	Não	-	-	-

Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Dessa observação concluiu-se que os conjuntos que poderiam interferir para a geração da falha eram os itens 1, 2 e 7 da Tabela 5, e as possíveis causas levantadas foram avaliadas em seguida, no passo 4.

2.4 APLICAÇÃO DO PASSO 4

No passo 4, foram estudadas as correlações primárias e secundárias dos 4M's e os possíveis causadores da falha. Na Tabela 6 são vistas as relações encontradas, através das três últimas colunas apresentadas.

Tabela 6 - Correlações primárias e secundárias com 4M

Item	Mecanismo	Possíveis causas do problema	Correlação PRIMÁRIA de 4M	Correlação SECUNDÁRIA de 4M
1	Esteira de roletes 	1.1 - Roletes Lisos; 1.2 - Rolete Parado; 1.3 - Variação no diâmetro do rolete; 1.4 - Abastecimento Manual; 1.5 - Sincronismo com a próxima etapa.	1.1.1 - Desgaste dos roletes; 1.2.1 - Rolamentos trancados; 1.2.2 - Falta de Transmissão; 1.3.1 - Desgaste do rolete; 1.4.1 - Produtos devolvidos ao processo; 1.5.1 - Falha de comunicação; 1.5.2 - Falha no programa de acionamento.	1.1.1.1 - Abrasão dos maços nos roletes; 1.2.1.1 - Falta de trocas sistemáticas dos rolamentos; 1.2.2.1 - Arrebitamento de correias de transmissão; 1.3.1.1 - Abrasão dos maços nos roletes; 1.4.1.1 - Procedimento operacional; 1.5.1.1 - Duplo acionamento do sensor; 1.5.2.1 - Erro de projeto fabricante.
2	Sensor de presença 	2.1 - Trajetória do feixe de luz desviada pela reflexão no rolete.	2.1.1 - Rolete espelhado o suficiente para que ocorra a reflexão; 2.1.2 - Propriedade do feixe de luz do sensor possibilitando a reflexão.	2.1.1.1 - Superfície polida; 2.1.2.1 - Luz "tocando" no cilindro e em seguida no espelho; 2.1.2.2 - Luz refletindo diretamente no cilindro e retornando no sensor.
7	Chapa de Elevação 	7.1 - Diferença de altura em relação a mesa de roletes;	7.1.1 - Erro de projeto do fabricante do equipamento 7.1.2 - Inclinação do maço ao entrar na esteira do elevador	7.1.1.1 - Código do CLP não prevê erro de acionamento; 7.1.1.2 - Diferença de altura entre mesa de roletes e esteiras de elevação

Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Dessa observação, surgirão doze componentes do fenômeno que serão estudadas por meio dos métodos bolados nos passos 5 e 6.

2.5 APLICAÇÃO DOS PASSOS 5 E 6

Como citado anteriormente, é comum a aplicação dos passos 5 e 6, pois estes permeiam as mesmas funções, quais sejam, determinar a condição ideal de funcionamento das correlações secundária com o 4M e estabelecer os meios adequados para medir a variação entre o que é visto em processo e o que foi idealizado. Assim, para os doze itens levantados no passo 4, foi proposto o seguinte:

- 1.1.1.1 e 1.3.1.1 - Abrasão dos maços nos roletes:
 - Condição ideal: a superfície e o diâmetro do cilindro devem se manter com o mesmo acabamento superficial de quando novo;
 - Método de investigação: medição de rugosidade (rugosímetro) e de diâmetro (paquímetro).

- 1.2.1.1 - Falta de trocas sistemáticas dos rolamentos:
 - Condição ideal: os rolamentos instalados devem girar livres e (se necessário) devem-se constatar que são feitas trocas periódicas dos mesmos;
 - Método de investigação: observação da condição dos componentes em loco.

- 1.2.2.1 - Arrebetamento de correias de transmissão:
 - Condição ideal: a correia deve estar íntegra e transmitindo o movimento para todos os roletes;
 - Método de investigação: observação da condição dos componentes em loco.

- 1.4.1.1 - Procedimento operacional:
 - Condição ideal: o processo de devolução dos sacos para a máquina deve ter procedimento padrão registrado e ser seguido;
 - Método de investigação: observação da documentação de operação da máquina e entrevista com operadores e supervisores.

- 1.5.1.1 - Duplo acionamento do sensor:
 - Condição ideal: a altura entre a extremidade do maço e os roletes no momento em que os sacos tombam sobre as chapas da esteira deve ser menor que a posição vertical do sensor;
 - Método de investigação: comparação entre valores através do cálculo da posição.

- 1.5.2.1 - Erro de projeto fabricante:
 - X - não é possível investigar, pois o CLP é bloqueado pela fabricante.

- 2.1.1.1 - Superfície polida:
 - Condição ideal: a superfície do cilindro não deve estar polida o suficiente para que provoque um direcionamento indesejado do feixe de luz do sensor;
 - Método de investigação: avaliar a rugosidade e o comportamento do feixe de luz no cilindro com testes práticos.

- 2.1.2.1 - Luz "tocando" no cilindro e em seguida no espelho:
 - Condição ideal: O sensor deve atuar apenas com o reflexo do espelho;
 - Método de investigação: avaliar o comportamento do feixe de luz no cilindro com testes práticos.

- 2.1.2.2 - Luz refletindo diretamente no cilindro e retornando no sensor:
 - Condição ideal: O sensor deve atuar apenas com o reflexo do espelho;
 - Método de investigação: avaliar o comportamento do feixe de luz no cilindro com testes práticos.

- 7.1.1.1 - Código do CLP não prevê erro de acionamento:
 - X - não é possível investigar, pois o CLP é bloqueado pela fabricante.

- 7.1.1.2 - Diferença de altura entre mesa de roletes e esteiras de elevação:
 - Condição ideal: a mesa e os roletes devem estar no mesmo nível, ou então que essa variação não interfira nos demais pontos de processo lógico da produção;
 - Método de investigação: medição da altura (trena).

2.6 APLICAÇÃO DO PASSO 7

Dadas as considerações sobre as variantes a serem avaliadas e os métodos de medição tratados nos passos que se antecederam, foram conduzidos os experimentos para a análise das anomalias.

Para as seis medições do diâmetro em diferentes pontos do rolo de leva, vista na Figura 24, foram considerados apenas valores inteiros em milímetros, pois para que houvesse interferência no processo, variações menores que esta não seriam consideravelmente impactantes. No entanto, nenhuma leitura teve diferença do valor nominal de 50mm.

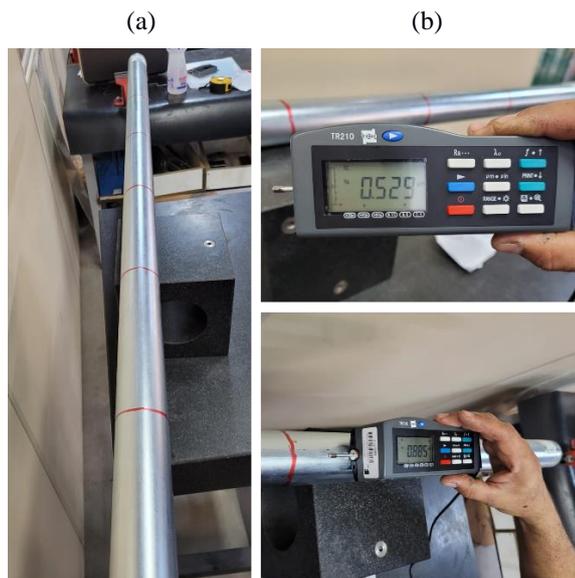
Figura 24 - Medidas de diâmetro do cilindro



Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

Os testes de rugosidade foram realizados em dois cilindros, um que nunca havia sido utilizado e um que estava instalado em máquina, para que houvesse um comparativo entre os resultados. Ao todo, para cada cilindro, foram feitas 12 leituras do parâmetro Ra de rugosidade, sendo elas divididas em grupos de 3 para 4 regiões delimitadas no corpo de prova, como visto na Figura 25 (a) e a medição feita sobre apoio de cerâmica, visto em (b), para que não houvessem interferências.

Figura 25 - Regiões medidas no cilindro (a) e Processo de leitura da rugosidade (b)



Fonte: arquivo interno da empresa

Tabela 7 - Resultados de rugosidade

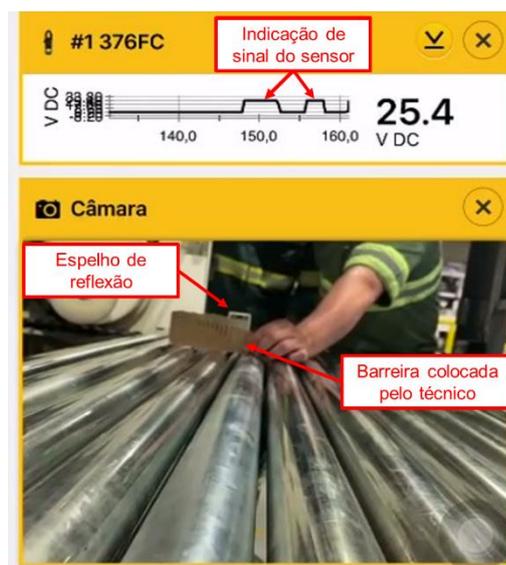
Cilindro Novo		Cilindro Usado	
Ensaio	Resultado (Ra)	Ensaio	Resultado (Ra)
1	0,885 μm	1	0,269 μm
2	0,884 μm	2	0,247 μm
3	0,861 μm	3	0,240 μm
4	0,794 μm	4	0,237 μm
5	0,739 μm	5	0,210 μm
6	0,731 μm	6	0,223 μm
7	0,715 μm	7	0,213 μm
8	0,693 μm	8	0,210 μm
9	0,652 μm	9	0,207 μm
10	0,614 μm	10	0,204 μm
11	0,529 μm	11	0,164 μm
12	0,510 μm	12	0,381 μm
Média:	0,717 μm	Média:	0,234 μm

Fonte: arquivo interno da empresa

Como visto na Tabela 7, os resultados médios obtidos foram de 0,717 μm para o cilindro novo e 0,234 μm para o usado, uma diferença de 0,483 entre medidas, o que comprova uma alteração na qualidade de rugosidade do cilindro instalado em máquina.

Para a análise de trajetória do feixe de luz do sensor, dois experimentos foram feitos, no primeiro uma barreira foi posta em frente ao espelho de reflexão, impedindo a interação direta entre a luz e o espelho, enquanto o técnico manipulava o sensor com o feixe de luz direcionado contra os cilindros, na tentativa de refletir neles e em seguida no espelho. Enquanto isso a condição do sensor era observada através de um aplicativo de celular que apresenta um gráfico de condição do sensor em relação ao tempo, visto na Figura 26.

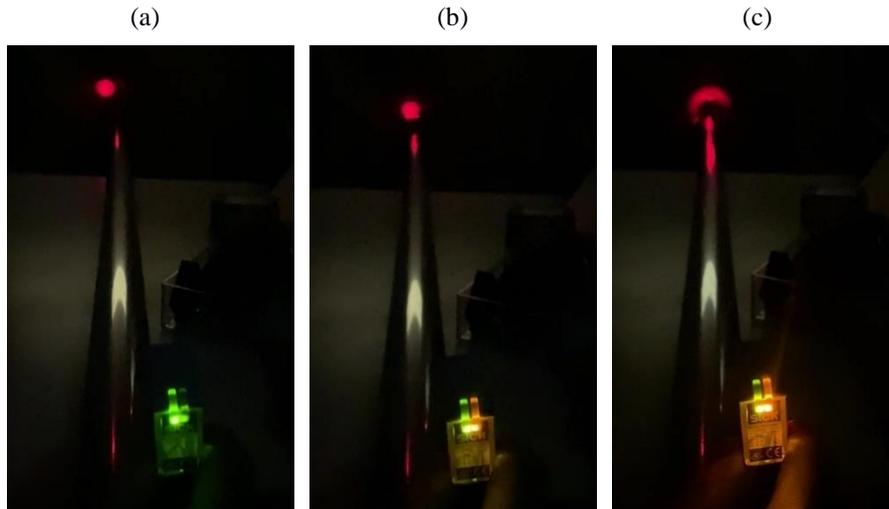
Figura 26 - Teste do sensor com barreira



Fonte: arquivo interno da empresa, adaptado pelo autor

O segundo teste consiste no mesmo princípio básico do primeiro, apontar a luz para o cilindro, atingir o espelho e retornar um sinal positivo para o sensor, porém dessa vez o método de visualização foi feito pela observação do comportamento da luz emitida e dos LEDs do sensor. O experimento, apresentado na Figura 27, foi realizado em um quarto escuro para destacar o comportamento do feixe de luz.

Figura 27 - Teste de variação de posição do sensor. Sensor sem acionamento (a), Sensor acionado apontado diretamente contra o espelho (b) e Sensor acionado refletindo no cilindro.

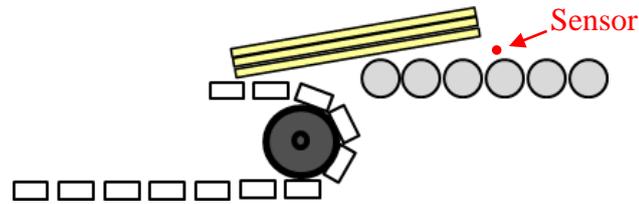


Fonte: arquivo interno da empresa

Na Figura 27 (a), é apresentada a condição do sensor sem que esteja acionado, em (b) o sensor está acionado através do reflexo direto do espelho e em (c) o sensor apresenta-se novamente acionado, no entanto o feixe passa primeiro refletindo no cilindro e em sequência acerta o espelho. Em conjunto, o primeiro e o segundo teste comprovam que o sensor pode ser ativado não só diretamente com o espelho, mas também com o desvio sobre o cilindro, contudo o acionamento unicamente pela reflexão da luz no cilindro, sem a interferência do espelho, é impossível.

A próxima análise feita foi a de posição entre o sensor e a extremidade do maço de sacos no momento em que passam dos rolos transportadores para a esteira do elevador (Figura 28). Para que fosse descoberta essa medida, três dados foram levantados, primeiro: a medida da diferença de altura entre os roletes e a esteira (na posição de recebimento dos sacos), segundo: a maior e menor dimensão de face dos sacos, retirados da Tabela 4 e terceiro: a distância horizontal do último rolete até o sensor.

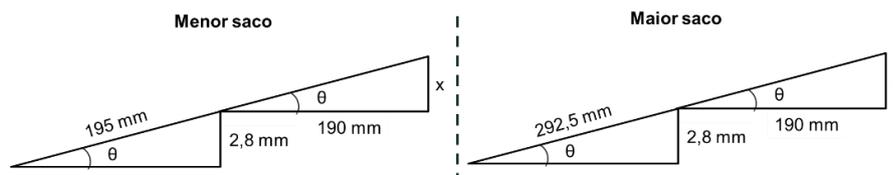
Figura 28 – Vista lateral da posição do maço de sacos na entrada da esteira



Fonte: arquivo interno da empresa

Os dados levantados foram 2,8mm para a diferença entre alturas, 390mm para a menor fase dentre os produtos, 585mm para o maior e a posição do sensor de 190mm. Com os valores, e considerando que o maço “tomba” quando metade dele já está em cima da esteira, foram desenhados triângulos retângulos (Figura 29) para calcular a altura da extremidade do maço.

Figura 29 - Triângulo retângulo de posição dos sacos



Então, através de trigonometria básica para triângulo retângulos, foram calculados os valores de $\theta = 0,82^\circ$ e $X = 2,7\text{mm}$ para o menor saco e $\theta = 0,55^\circ$ e $X = 1,82\text{mm}$ para o maior. Comparando os resultados com a posição horizontal do sensor, de 1,7mm, comprovou-se que haveria a possibilidade do sensor “passar por baixo” dos sacos e comutar em um pequeno espaço de tempo.

Quanto às observações dos componentes instalados em máquina conclui-se que, para os rolamentos não haviam travamento que poderiam acarretar no fenômeno de falha e para a correia, a condição de conservação estava dentro dos conformes e ainda que viesse a romper, o modo de falha divergiria do estudado, pois o conjunto todo de roletes pararia de funcionar impedindo que o maço se movimentasse, logo ele não viria a cair.

No que tange o procedimento de operação de reinserção dos maços na máquina, foi visto que já havia um procedimento padrão para a reinserção dos maços na máquina, sendo assim, pouco provavelmente que a falha se originaria desse fato.

Com o fim das análises, concluiu-se que o fenômeno físico que ocorria quando havia a falha é que o saco, quando passava dos roletes para a esteira, eventualmente proporcionava um vão por onde o laser conseguia se comunicar, e logo após o interrompia, gerando uma falha na lógica da programação. Ainda, os fatores do sensor não necessitar da reflexão direta no espelho, e do cilindro estar menos rugoso, logo mais brilhoso, pouco colaboravam para o resultado final, pois a reflexão do feixe de luz funcionava apenas em uma região muito próxima do espelho, com essas condições o vão de passagem do feixe de luz não deveria variar muito do valor de 1,82mm.

2.7 APLICAÇÃO DO PASSO 8

Para solucionar a falha que foi estudada até este ponto, algumas alternativas poderiam ser exploradas, como: alterar o programa de comando do “Controlador Lógico Programável” para que o pulso indevido do sensor não ocasione interferência; corrigir a sincronia entre roletes e esteira para reduzir o degrau na passagem do maço; substituir o sensor por outro, com propriedade de detecção diferente; ou reposicionar o sensor original.

Nessas condições, alguns fatores foram levados em conta para deliberar sobre qual ação tomar. Primeiro, quaisquer alterações nos parâmetros lógicos computacionais estavam fora de questão, pois a empresa fabricante da máquina mantém a edição destes bloqueada, impossibilitando esta opção. Outro ponto é que corrigir a sincronia entre etapas de processo seria demasiadamente complicado do ponto de vista mecânico e elétrico, e ainda mais dificultado por conta da restrição imposta pela fabricante. E finalmente, a troca do sensor descaracterizaria a condição original de fábrica do elevador, além de que a característica de funcionamento em si do componente não era a causadora da falha. Portanto a alternativa de troca de posição do sensor foi a mais simples, a menos invasiva, sendo assim a escolhida para ser implementada.

Compreendendo estes fatores, o sensor, que originalmente era posicionado a 1,7mm de distância da extremidade do rolete foi reposicionado em 3,1mm distante do mesmo referencial.

5. CONCLUSÃO

Com o término do projeto de aplicação da análise PM na solução de falha no elevador, e como conclusão dessa obra, foram possíveis conquistar todos os objetivos almejados no início. Em correspondência aos objetivos específicos, podem ser citados as conclusões abaixo:

1. Não apenas foram levantadas as hipóteses para a falha de derrubada de maços pelo não funcionamento do elevador, como foi comprovada uma destas hipóteses: a de duplo acionamento do sensor pela passagem do feixe de luz por debaixo dos sacos;
2. O recondicionamento de máquina foi reconhecido e realizado na máquina, inclusive para eliminar os fatores básicos causadores de falha, facilitando assim a busca pelos causadores ocultos. Em relação a realização de alterações de projeto, apenas a posição do sensor de identificação dos maços na entrada do elevador foi realizada, porem tal mudança teve um efeito grande na condição do processo;
3. Com aplicação do passo 8 da metodologia, foi compreendido que o reposicionamento do sensor de entrada dos maços no elevador viria a solucionar o evento de falha observado pela equipe;
4. Após a implementação da solução para a causa raiz realizada em agosto de 2022, a falha caracterizada pelo não funcionamento do elevador não voltou a acontecer nos três meses seguintes, o que implica na redução de paradas inesperadas na produção e de acordo com os padrões seguidos pela empresa caracteriza “Zero Quebra” para a falha solucionada. Resultado este muito procurado pelas empresas que aplicam a TPM como seu sistema de gestão industrial.

Como resultado adicional, a empresa tomou para si os aprendizados com o método e acrescenta a análise PM como mais uma ferramenta da qualidade no seu escopo, podendo esta ser novamente aplicada para perdas tratadas pela manutenção planejada, mas também por outros pilares da fábrica.

6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. C. **Análise de Causa Raiz: Levantamento dos Métodos e Exemplificação.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 153. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade.** Rio de Janeiro. 1994.

BIASOTTO, E. **Aplicação do BSC na Gestão da TPM – Estudo de Caso em Indústria.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 170. 2006.

BOCHNIA, A. L. **Utilização da Metodologia Análise PM para Solução de Problema.** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. PONTA GROSSA, p. 62. 2012.

CARNEIRO, V. C. D. A. **Manutenção Planejada: Um Estudo Sobre a Aplicabilidade da Metodologia em uma Fábrica de Garrafas Plásticas.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Recife, p. 112. 2019.

CARRIJO, J. R. S. **Adaptações do Modelo de Referência do Total Productive Maintenance para Empresas Brasileiras.** UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA. Santa Bárbara D'Oeste, p. 181. 2008.

COUTINHO,. O que é Diagrama de Pareto? Conheça uma das mais Importantes Ferramentas da Qualidade. **Voitto**, 2018. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/diagrama-de-pareto>>. Acesso em: 2 Julho 2022.

COUTINHO, T. O que é a Ferramenta TPM (Manutenção Produtiva Total)? **Voitto**, 2017. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/ferramenta-tpm>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

DANIEL, É. A.; MURBACK, F. G. R. Levantamento Bibliográfico do Uso das Ferramentas da Qualidade. **Revista do Curso de Administração / PUC - Minas**, Poços de Caldas, p. 43, Dezembro 2014.

DOS REIS, C. L. F. **O Aperfeiçoamento do TPM em Setores Industriais do Estado do Ceara: Uma Revisão Bibliográfica.** Unifametro. MARACANAÚ, p. 43. 2020.

DOS SANTOS, D. F. I. **Melhoria da Qualidade do Produto numa Empresa de Produção por Lotes.** INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA. Lisboa, p. 157. 2015.

FONTES, A. Manutenção Preditiva: O que é e Como Usar Essa Técnica Industrial? **Voitto**, 2018. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/manutencao-preditiva>>. Acesso em: 11 jun. 2022.

GREGÓRIO, G. F. P.; DA SILVEIRA, A. M. **Manutenção Industrial**. 1ª. ed. Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÃO S.A., 2018. 182 p.

HILDEBRANDO, L. **Aplicação da Ferramenta Metodológica AQF em uma Impressora Flexográfica Automática de uma Empresa do Ramo de Embalagens Para Melhorar a Disponibilidade**. INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA CÂMPUS LAGES. Lages, p. 72. 2022.

JIPM. What is TPM? **Japan Institute of Plant maintenance**, 2022. Disponível em: <<https://jipmglobal.com/about/tpm>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

KATAGUIRE, T. Diagrama de Ishikawa: Descubra o que é e Como Colocar em Prática! **zeev**, S.D. Disponível em: <<https://blog.zeev.it/diagrama-de-ishikawa/>>. Acesso em: 2 Julho 2022.

LEONEL., **Aplicação Prática da Técnica do PDCA e das Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais para Melhoria e Manutenção de Resultados**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. JUIZ DE FORA, p. 85. 2008.

LOBO, R. N. **Gestão de Produção**. 1ª. ed. São Paulo: Érica Ltda., 2010.

LOPES, L. C. **Implementação do Pilar de Manutenção Autônoma em uma Fábrica de Equipamentos Odontológicos e Médicos**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. ITUIUTABA, p. 58. 2019.

MARIANI, C. A. Método PDCA e Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais: Um Estudo de Caso. **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 2, p. 18, 2005.

MORETTI, I. C.; CRUS, P. G.; GUIMARÃES, T. C. Planejamento e Controle da Manutenção (PCM): Um Estudo de Caso em Uma Empresa de Confeção de Bonés. **IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa, 4 à 6 Dezembro 2019. 11.

PENEDO, L. S. et al. Utilização das Ferramentas da Qualidade nos Processos de Manutenção, Visando o Desperdício de Tempo e a Produtividade. **Revista Teccen**, Vassouras, p. 9, Março 2020.

REGGIORI, B. D. M. **Aplicação da Metodologia Análise Phenomenon-Mechanism Para Redução do Índice de Não-conformidades em uma Linha de Produção de Chocolates**. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA. Lorena, p. 64. 2018.

ROCK CONTENT. Entenda a Ciência por Trás do Princípio de Pareto e Saiba como Aplicá-lo em Diferentes Áreas da Empresa. **Rock Content**, 2018. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/principio-de-pareto/>>. Acesso em: 2 Julho 2022.

SHIROSE, K.; KIMURA, Y.; KANEDA, M. **P-M Analysis An Advanced Step in TPM Implementation**. Boca Raton: Productivity Press, v. 1, 2014.

SUEHIRO, K. **Eliminating Minor Stoppages on Automated Lines**. Nova York: Productivity Press, 1939. 249 p.

SUZUKI, T. **TPM em Indústrias de Processo**. Nova York: Productivity Press, 1994.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **TPM Total Productive Maintenance MPT Manutenção Produtiva Total**. 5ª. ed. São Paulo: IMAM, 2013. 322 p.

TELES, J. Curva PF: O que é e Como Usar. **ENGETELES**, 2017. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/curva-pf/>>. Acesso em: 11 jun. 2022.

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