

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

HIGOR ANDREI SUFIATTI

**IMPLEMENTAÇÃO DO CICLO PDCA NA GESTÃO DE MANUTENÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA VISANDO REDUZIR A INDISPONIBILIDADE E
PERDAS DE PRODUÇÃO**

PATO BRANCO

2023

HIGOR ANDREI SUFIATTI

**IMPLEMENTAÇÃO DO CICLO PDCA NA GESTÃO DE MANUTENÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA VISANDO REDUZIR A INDISPONIBILIDADE E
PERDAS DE PRODUÇÃO**

**Implementation of the PDCA cycle in the maintenance management of a food
industry aiming to reduce downtime and production losses**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Sergio Luiz Ribas Pessa.

PATO BRANCO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

HIGOR ANDREI SUFIATTI

**IMPLEMENTAÇÃO DO CICLO PDCA NA GESTÃO DE MANUTENÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA VISANDO REDUZIR A INDISPONIBILIDADE E
PERDAS DE PRODUÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15/Junho/2023

Sergio Luiz Ribas Pessa

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Silvana Patricia Verona

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paulo Cezar Adamczuk

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2023

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio e incentivo fornecido durante minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientado Prof. Dr. Sergio Ribas Pessa, pela orientação e pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Agradeço aos gestores de manutenção da empresa analisada, que me proporcionaram a oportunidade e me incentivaram a realizar o trabalho.

Também, gostaria de deixar registrado o meu agradecimento e reconhecimento aos meus pais, que nunca deixaram de me apoiar durante a trajetória acadêmica, fornecendo todos os recursos necessários.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Com o aumento da competitividade entre as indústrias em um ambiente globalizado, surge a necessidade de reduzir custos e desperdícios. O presente trabalho teve como objetivo implementar o ciclo de melhoria contínua PDCA na gestão de manutenção de um setor de uma indústria alimentícia, visando reduzir a indisponibilidade de equipamentos e perdas de produção. Para isso, o trabalho contou com a implementação do ciclo de melhoria contínua PDCA, utilizando em suas etapas métodos e ferramentas de qualidade, como a definição de metas, estratificação utilizando diagramas de Pareto, diagramas de causa e efeito, plano de ação e análise de indicadores de manutenção. Durante a etapa de planejamento do ciclo, foram definidas metas de redução de indisponibilidade e redução de perdas de produção, e foi possível identificar os problemas crônicos nas linhas de produção através da estratificação por Pareto. Além disso, foram definidas ações sistêmicas e estratégicas para eliminar as falhas recorrentes. Como resultado, foi possível reduzir em 54,8% a indisponibilidade por manutenção no setor, e reduzir as perdas de produção em 50,1%. Portanto, a aplicação do ciclo PDCA na gestão de manutenção trouxe benefícios à empresa analisada com a redução de custos devido ao lucro cessante por paradas crônicas de equipamentos, e pode ser continuamente aplicada visando melhorar ainda mais os resultados.

Palavras-chave: Gestão de Manutenção; Ciclo PDCA; Pareto; Indisponibilidade.

ABSTRACT

With the increasing competitiveness among industries in a globalized environment, there is a need to reduce costs and waste. The objective of this study was to implement the Plan-Do-Check-Act (PDCA) continuous improvement cycle in the maintenance management of a department in the food industry, aiming to reduce equipment downtime and production losses. To achieve this, the study involved the implementation of the PDCA continuous improvement cycle, using quality methods and tools in its stages, such as goal setting, stratification using Pareto diagrams, cause-and-effect diagrams, action plans, and maintenance indicators analysis. During the planning stage of the cycle, goals were set to reduce equipment downtime and production losses, and chronic problems in the production lines were identified through Pareto stratification. Additionally, systemic and strategic actions were defined to eliminate recurring failures. As a result, maintenance-related downtime in the department was reduced by 54.8%, and production losses were reduced by 50.1%. Therefore, the application of the PDCA cycle in maintenance management brought benefits to the analyzed company by reducing costs associated with lost profits due to chronic equipment breakdowns, and it can be continuously applied to further results improvement.

Keywords: Maintenance Management; PDCA cycle; Pareto; Downtime.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de termografia aplicada à um componente	22
Figura 2 – Relação entre resultados, custos e tipos de manutenção	23
Figura 3 – A curva PF	24
Figura 4 - Acompanhamento do indicador de MTBF de um equipamento	26
Figura 5 - Relação entre o custo de manutenção de o custo de operação	28
Figura 6 - Exemplo de aplicação do diagrama de Pareto.....	30
Figura 7 – Exemplo de estratificação por diagramas de Pareto.....	31
Figura 8 – Exemplo de definição de meta	32
Figura 9 – Estruturação do diagrama de causa e efeito	34
Figura 10 - Inclusão das causas no diagrama de causa e efeito.....	35
Figura 11 – Exemplo de aplicação do método dos cinco porquês	35
Figura 12 – Etapas do Ciclo PDCA.....	37
Figura 13 – Representação da posição dos equipamentos do setor analisado	38
Figura 14 - Indisponibilidade no mês de Agosto e meta de melhoria.....	47
Figura 15 - Perda de produção no mês de Agosto e meta de melhoria.....	47
Figura 16 – Análise comparativa de perdas por linha de produção	48
Figura 17 – Diagrama de Pareto das perdas em função dos equipamentos na linha 03.....	49
Figura 18 – Diagrama de Pareto das perdas de produção no Transportador de Açúcar	50
Figura 19 – Diagrama de Pareto das perdas de produção na embaladora da linha 03	51
Figura 20 – Diagrama de Pareto das perdas por equipamentos em todo o setor	52
Figura 21 – Diagrama de pareto das perdas por problemas nas embaladoras .	53
Figura 22 – Diagrama de causa e efeito referente à falha de dosagem incorreta do transportador de açúcar.....	53
Figura 23 – Diagrama de causa e efeito das queimas de <i>driver</i> na embaladora da linha 03.....	55
Figura 24 – Sistema de rotação utilizando coletores na embaladora da linha 03	58

Figura 25 – Sistema de rotação por conectores rotativos na embaladora da linha 03	58
Figura 26 – Resultado de termografia aplicada aos drivers da embaladora	59
Figura 27 – Variação do indicador de MTBF da embaladora em função da semana de controle	60
Figura 28 – Variação do indicador de MTTR em função da semana de controle	61
Figura 29 – Variação do MTBF do Transportador de açúcar em função da semana de controle	62
Figura 30 – Variação do MTTR do Transportador de Açúcar em função da semana de controle.....	63
Figura 31 – Variação de indisponibilidade por mês no setor	64
Figura 32 – Variação das perdas de produção por mês no setor	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ferramenta 5W2H	36
Quadro 2 – Equipamentos do setor e função requerida no processo produtivo	39
Quadro 3 - Método PDCA aplicado à resolução de problemas	41
Quadro 4 - Etapas, ferramentas e métricas utilizadas nas fases do ciclo PDCA	42
Quadro 5 - Demonstração da estruturação da base de dados do histórico de falhas	46
Quadro 6 – Análise de MTBF, MTTR e perdas de produção dos equipamentos da linha 03	50
Quadro 7 – Análise de 5 Porquês aplicada às falhas no setor	56
Quadro 8 – Plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H.....	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	Problema	15
1.3	Justificativa	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	A evolução da manutenção	17
2.1.1	A primeira geração	17
2.1.2	A segunda geração	17
2.1.3	A terceira geração	18
2.1.4	A quarta geração	18
2.2	Manutenção	18
2.3	Lucro cessante	19
2.4	Manutenção corretiva	19
2.4.1	Manutenção corretiva emergencial	19
2.4.2	Manutenção corretiva programada	20
2.5	Manutenção preventiva	20
2.6	Manutenção preditiva	21
2.6.1	Termografia	21
2.7	Engenharia de manutenção	22
2.8	Falha potencial	23
2.9	Falha funcional	23
2.10	A curva PF (Falha Potencial)	24
2.11	Qualidade	24
2.12	Indicadores de desempenho	25
2.12.1	Tempo médio entre falhas (MTBF)	25
2.12.2	Confiabilidade	26
2.12.3	Tempo médio para reparo (MTTR)	27
2.12.4	Disponibilidade (D)	27
2.13	Custos de manutenção	28

2.13.1	Custos diretos.....	29
2.13.2	Custos de perdas de produção.....	29
2.13.3	Custos indiretos.....	29
2.14	Ferramentas	29
2.14.1	Análise de Pareto	29
2.14.2	Estratificação.....	30
2.14.3	Meta de Melhoria.....	31
2.14.4	Regressão linear simples	32
2.14.5	O Método dos Mínimos Quadrados.....	32
2.14.6	Coeficiente de Determinação (R^2)	33
2.14.7	Diagrama de Causa e Efeito.....	33
2.14.8	Os Cinco Porquês	35
2.14.9	Plano de ação (Ferramenta 5W2H).....	36
2.15	Ciclo PDCA.....	36
3	METODOLOGIA	38
3.1	Delimitação da área de análise.....	38
3.2	Coleta de informações	40
3.3	Implementação do ciclo PDCA.....	40
3.3.1	Etapa de planejamento.....	42
<u>3.3.1.1</u>	<u>Identificação do problema.....</u>	<u>43</u>
<u>3.3.1.2</u>	<u>Análise do fenômeno.....</u>	<u>43</u>
<u>3.3.1.3</u>	<u>Análise do processo</u>	<u>43</u>
<u>3.3.1.4</u>	<u>Desenvolvimento do plano de ação.....</u>	<u>44</u>
3.3.2	Etapa de execução.....	44
3.3.3	Etapa de Verificação	44
3.3.4	Etapa de padronização.....	45
4	RESULTADOS.....	46
4.1	Identificação do Problema.....	46
4.2	Análise do Fenômeno	48
4.3	Análise do Processo	53
4.4	Plano de Ação.....	56
4.5	Execução.....	58
4.6	Verificação	59
4.7	Padronização e Conclusão	63

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de alimentos é a maior do país, representando 10,6% do PIB brasileiro, se destacando por ser um dos maiores setores de empregabilidade, gerando 1,72 milhão de empregos no Brasil, dentre as 37,2 mil empresas do ramo no país (ABIA, 2022). Devido à elevada competitividade de mercado, indústrias de fabricação de alimentos estão cada vez mais preocupadas em atender os quesitos de inocuidade e qualidade de seus produtos e processos de beneficiamento (BELINELLI, 2015). Para Kardec & Nascif (2012), uma indústria competitiva deve apresentar um processo robusto e um sistema confiável, garantindo que estejam aptas a performarem em um mundo cada vez mais globalizado.

A gestão de qualidade é uma estratégia muito importante para alcançar a excelência organizacional, adequando-se para atender à necessidade do cliente (GROSBELLI, 2014). Todavia, de acordo com Andrade (2018), a qualidade na produção das empresas é um forte fator de diferenciação, gerando uma maior competitividade na sua área de atuação.

A melhoria contínua em uma organização se aplica através de metodologias sistêmicas, que permitem análises rigorosas dos problemas crônicos que afetam os resultados, identificando as causas raiz e possibilitando o desenvolvimento de planos de ação para a solução dos problemas (NECO, 2011). Uma metodologia muito utilizada pelas empresas para o gerenciamento da melhoria contínua é o ciclo PDCA (*plan, do, check, action*), garantindo o planejamento e a gestão estratégica de forma que a empresa alcance seus objetivos (SOUZA et al., 2014).

De acordo com Almeida (2015), a manutenção se refere ao conjunto de cuidados e procedimentos técnicos empregados para garantir o funcionamento e reparo de máquinas. Sendo assim, a manutenção industrial tem se destacado nas organizações, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, devido ao aumento da complexidade de equipamentos, dos avanços tecnológicos e das exigências de mercado por produtos sem defeitos (FONSECA et al., 2018).

Com o avanço da economia globalizada, verificou-se um aumento na demanda de produtos com melhor desempenho, surgindo a necessidade da redução da probabilidade de falhas, resultando na ênfase crescente em confiabilidade (FOGLIATTO & RIBEIRO, 2011).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo realizar a implementação do ciclo de melhoria contínua PDCA em um setor de manutenção de uma indústria de alimentos, visando a redução da indisponibilidade e das perdas de produção devido ao lucro cessante por falhas de manutenção.

1.1.2 Objetivos específicos

Identificar os principais problemas que impactam na disponibilidade do setor;
Realizar análises de causa raiz dos problemas mapeados;
Definir ações de melhorias dos problemas mapeados;
Identificar a efetividade das ações realizadas com base da análise de indicadores de desempenho;
Padronizar as ações que proporcionaram melhoria nos indicadores.

1.2 Problema

O setor da indústria analisada tem como característica a presença de problemas sistêmicos em equipamentos, gerando uma elevada indisponibilidade das linhas de produção. Como consequência, os equipamentos apresentam uma baixa confiabilidade, resultando em elevados custos de manutenção devido ao lucro cessante e manutenções corretivas emergenciais.

1.3 Justificativa

Com base na crescente competitividade industrial, surge a necessidade de garantir qualidade dos produtos e processos, bem como minimizar custos e desperdícios no ambiente industrial. Sendo assim, a importância da manutenção industrial em garantir o bom funcionamento dos equipamentos torna-se essencial para que as indústrias sejam capazes de atender às demandas de mercado e garantir a competitividade.

A indisponibilidade devido às falhas em máquinas e equipamentos no processo produtivo gera perdas inesperadas de produção, impactando diretamente nos custos do processo produtivo. Além disso, a elevada taxa de falhas atrelada à baixa disponibilidade implica na realização de manutenções em estado emergencial, gerando elevados custos de manutenção.

Nesse contexto, destaca-se a importância da implementação de uma metodologia de melhoria contínua estruturada em um setor de produção industrial, possibilitando o aumento da disponibilidade e da confiabilidade dos equipamentos, garantindo uma redução significativa nos custos de manutenção e nas perdas de produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A evolução da manutenção

A manutenção está presente na história humana desde o momento em que se iniciou o trabalho com instrumentos de produção. Hoje, a presença de equipamentos cada vez mais produtivos e sofisticados gerou um grande aumento na exigência de disponibilidade. Nesse sentido, as técnicas de organização, planejamento e controle de manutenção nas empresas sofreram uma grande evolução ao longo do tempo (VIANA, 2002).

O aumento do número e da diversidade de itens físicos, os novos enfoques das organizações sobre a manutenção e suas responsabilidades e o aumento da competitividade exigiram novas habilidades, atitudes e estratégias do setor de manutenção, desde os engenheiros e supervisores até os executantes das atividades, resultando no surgimento de quatro grandes gerações de manutenção ao longo do tempo (KARDEC & NASCIF, 2009).

2.1.1 A primeira geração

A primeira geração abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, onde a produtividade não era prioritária, não necessitando de uma manutenção sistematizada. A visão em relação às falhas era que todos os equipamentos se desgastavam com o tempo, vindo a sofrer quebras, necessitando apenas da habilidade do executante de manutenção em realizar o reparo necessário (KARDEC & NASCIF, 2009).

2.1.2 A segunda geração

A segunda geração ocorre após a Segunda Guerra Mundial, entre os anos de 1950 e 1970, onde as pressões do período de guerra aumentaram a demanda de diversos produtos, gerando um aumento da mecanização e da complexidade de instalações industriais, impactando na necessidade de maior disponibilidade, visando um aumento da produtividade (KARDEC & NASCIF, 2009).

Realizar manutenção era apenas o ato de consertar um equipamento danificado até meados de 1945. Com o avanço da Segunda Guerra Mundial, a

movimentação da economia global e a competitividade das indústrias crescia, de forma a inviabilizar a quebra de equipamentos do processo produtivo, surgindo então a manutenção preventiva (TELES, 2019).

2.1.3 A terceira geração

A partir de 1970, o processo de mudança nas indústrias se acelerou, e a paralização dos equipamentos diminuía a capacidade de produção e aumentava significativamente os custos, além de afetar na qualidade dos produtos. Os efeitos dos períodos de paralização se agravaram pela tendência *just-in-time*. Com o crescimento da automação e da mecanização, o conceito de confiabilidade começou a ser cada vez mais aplicado na manutenção. A utilização da manutenção preditiva se intensificou, e o avanço da informática permitiu a utilização de *softwares* para o planejamento e controle da manutenção. Novos projetos buscavam maior confiabilidade, e a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade começou a ser implementada (KARDEC & NASCIF, 2009).

2.1.4 A quarta geração

A quarta geração da manutenção, com nascimento nos anos 2000, se consolidou por garantir a disponibilidade, confiabilidade e produtividade dos ativos ainda na fase de projeto. A manutenção se tornou ainda mais estratégica, e nasceu o conceito de mantabilidade, reduzindo as intervenções em máquinas, e a forma dos equipamentos passaram a ser mais “enxutas” (TELES, 2019).

Algumas expectativas em relação à manutenção existentes na terceira geração ainda se persistem na quarta geração, como o controle de performance avaliado pela disponibilidade e a busca constante por confiabilidade. A sistemática adotada por empresas de classe mundial integrava as áreas de engenharia, manutenção e operação como fator de garantia de resultados, visando bons projetos, que resultam em produtos com qualidade desejada (KARDEC & NASCIF, 2009).

2.2 Manutenção

De acordo com a NBR 5462 (1994), manutenção se refere ao conjunto de ações técnicas e administrativas, visando manter um item em um estado no qual seja capaz

de desempenhar uma função requerida. Ainda, para Fogliatto & Ribeiro (2011), as manutenções visam prevenir falhas ou restaurar um equipamento a seu estado operante, no caso da ocorrência de uma falha, além de manter e melhorar a confiabilidade de um processo produtivo.

Segundo Carvalho (2017), a manutenção é uma atividade essencial em qualquer organização que possua bens físicos, pois garante a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos. Para Pires (2011), a manutenção deve ser vista como uma função estratégica em uma organização, pois tem relação direta com a produtividade e a qualidade do produto.

2.3 Lucro cessante

Na manutenção, o lucro cessante pode ser definido como a perda financeira que uma empresa pode ter devido à uma interrupção não programada de uma atividade, resultando em perdas de produção, que impactam nas vendas, reduzindo, como consequência, o lucro financeiro (LOPES et al., 2016). Para Oliveira & Pinto (2019), o lucro cessante está relacionado ao tempo necessário para reparar um equipamento, pelos custos de reparos, ou ainda, pelo custo de oportunidade gerado pela perda de produção. Dessa forma, o lucro cessante pode ser evitado ou reduzido através de estratégias de manutenção, reduzindo a ocorrência de falhas e aumentando a disponibilidade dos equipamentos.

2.4 Manutenção corretiva

Segundo a ABNT NBR 5262 (1994), manutenção corretiva é a “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”. Teles (2019) subdivide a manutenção corretiva em dois tipos: manutenção corretiva emergencial e manutenção corretiva programada.

2.4.1 Manutenção corretiva emergencial

A manutenção corretiva emergencial é a atuação realizada após o equipamento perder a capacidade de atender sua função requerida, onde o

equipamento é reparado em caráter de urgência, devido ao lucro cessante por conta da parada do equipamento durante a produção (TELES, 2019).

Ainda, Teles (2019) destaca que esse tipo de manutenção não contempla as etapas de planejamento e programação, pois é o equipamento quem decide o momento de atuação, justificando assim o fato de ser a manutenção mais cara, perigosa e demorada para a empresa.

2.4.2 Manutenção corretiva programada

A manutenção corretiva programada consiste na atuação nas situações onde o equipamento está operando, porém com rendimento inferior ao desejado, sendo planejado e programado para realização da intervenção necessária conforme disponibilidade de produção (QUEIROZ, 2015).

Para Kardec & Nascif (2012), esse tipo de manutenção possibilita o planejamento, tornando a manutenção corretiva programada mais barata e assertiva quando comparada à manutenção emergencial.

Além disso, esse tipo de atividade pode ser programada para ser realizada quando for conveniente para a empresa, se adequando às questões de produção, disponibilidade, custo e mão de obra (TELES, 2019).

2.5 Manutenção preventiva

De acordo com Kardec & Nascif (2012), a manutenção preventiva é a atuação de manutenção baseada em intervalos predeterminados de tempo de acordo com um plano elaborado, que visa reduzir ou evitar falhas ou a redução do desempenho de um equipamento. Ainda, a manutenção preventiva pode ser classificada como a manutenção realizada em máquinas ou equipamentos em condições operacionais ou em estado de zero defeitos (VIANA, 2002).

Para Xenos (1998), ao avaliar o custo total, em várias situações a manutenção preventiva se torna mais barata quando comparado à corretiva emergencial, pelo fato de se ter o controle das paradas de produção dos equipamentos, ao invés de estar sujeito a paradas inesperadas por falhas em caráter emergencial. No entanto, o custo da manutenção preventiva é o lucro cessante planejado, pois na maioria dos casos a manutenção preventiva é aplicada com o equipamento parado, fazendo com que a produção seja interrompida para a realização da atividade (TELES, 2019).

Nesse contexto, a manutenção preventiva traz resultados satisfatórios apenas em situações cujas falhas estão relacionadas com o tempo de operação. Isso se dá porque essa forma de atuação é realizada conforme períodos predeterminados de tempo, e nos casos de falhas estarem relacionadas à condição, a vida útil do componente não será completamente aproveitada (TELES, 2019).

2.6 Manutenção preditiva

A NBR 5462 (1994) define manutenção preditiva como

manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

O objetivo da manutenção preditiva é evitar falhas nos equipamentos por meio do acompanhamento de diversos parâmetros, de forma a permitir sua operação contínua pelo maior tempo possível, dando preferência à disponibilidade, uma vez que os acompanhamentos por meio de medições são efetuados em condição de operação (KARDEC & NASCIF, 2012).

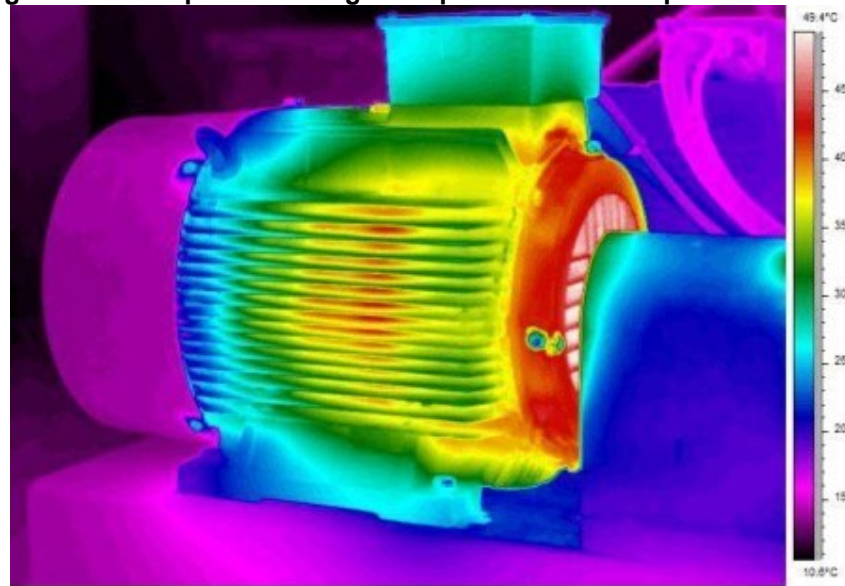
Para Almeida (2007), a premissa da manutenção preditiva é o monitoramento regular da condição real da máquina ou equipamento, de forma a assegurar o intervalo máximo entre os reparos, minimizar o número e o custo de paradas não-programadas, melhorar a produtividade e qualidade do produto, o lucro e a efetividade global das plantas industriais de produção.

2.6.1 Termografia

Teles (2019) define a termografia como uma manutenção preditiva que permite identificar, registrar e monitorar os níveis de temperatura de componentes, através de imagens termográficas. Essa técnica é realizada visando identificar uma falha potencial, com base nas alterações da temperatura padrão de um componente.

Dessa forma, a termografia pode ser aplicada, por exemplo, em painéis elétricos, onde alterações de temperatura podem ocorrer devido à alterações de carga, vibrações, fadiga, envelhecimento, afrouxamento de conexões elétricas, deterioração e corrosão. A figura 1 apresenta um exemplo de uma termografia aplicada à um componente.

Figura 1 – Exemplo de termografia aplicada a um componente



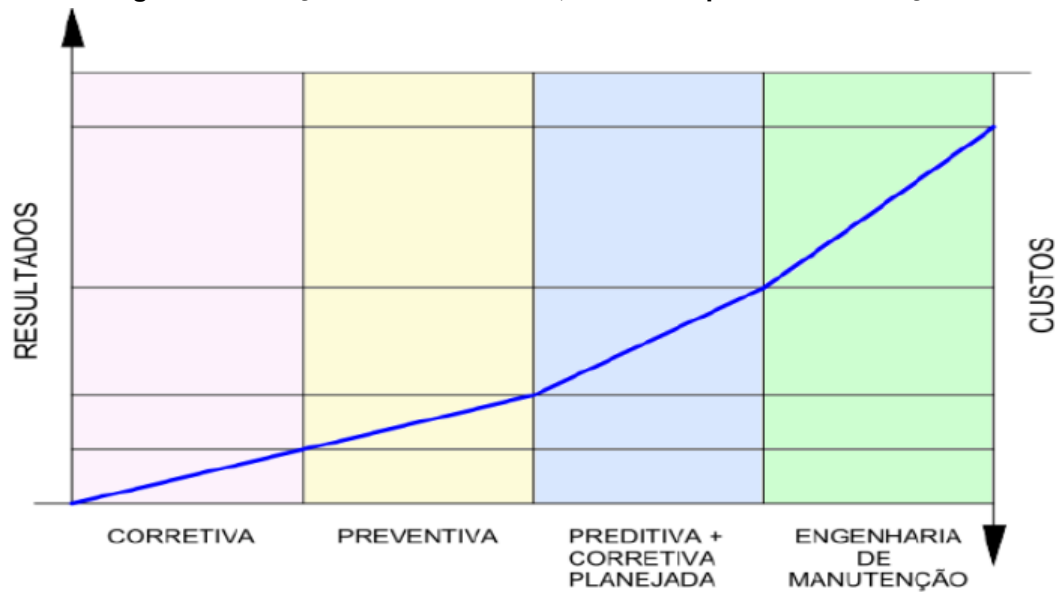
Fonte: Teles (2019)

2.7 Engenharia de manutenção

Para Kardec & Nascif (2012), a engenharia de manutenção se trata de uma mudança cultural, que significa perseguir *benchmarks* e aplicar técnicas modernas de manutenção, tendo como principais atribuições o aumento da confiabilidade, disponibilidade, fazer análises de falhas e estudos, elaborar planos de manutenção e de inspeção com base em análises críticas, acompanhar indicadores e zelar pela documentação técnica. Para Pires (2011), a engenharia de manutenção é responsável por buscar a melhoria contínua dos processos de manutenção e a redução do tempo de paradas não programadas de equipamentos.

Portanto, a engenharia de manutenção atua como uma ferramenta estratégica para a gestão empresarial, pois além de garantir a disponibilidade dos equipamentos, contribui para a redução de custos e melhoria da qualidade (OLIVEIRA et al., 2015). Kardec & Nascif (2012) relacionam a evolução dos tipos de manutenção com os resultados e custos, conforme demonstrado na figura 2, identificando que a engenharia de manutenção fornece os maiores resultados e os menores custos.

Figura 2 – Relação entre resultados, custos e tipos de manutenção



Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2012)

2.8 Falha potencial

A falha potencial é uma falha identificada em estágio inicial, e não compromete por completo o funcionamento do equipamento, porém diminui sua performance com o passar do tempo. Dessa forma, o equipamento não falha abruptamente, mas indica através de um sinal, como elevações em temperaturas de rolamentos, elevações dos níveis de vibração em motores e elevação nos níveis de ruído. O momento em que é possível detectar se a falha está ocorrendo ou prestes a ocorrer é definido como falha potencial (TELES, 2019).

Dessa forma, a gestão de manutenção realizada com base na análise de falhas potenciais pode trazer diminuições de custos com manutenção, bem como um aumento da disponibilidade de equipamentos, gerando grandes benefícios para as empresas (MACHADO et al., 2019).

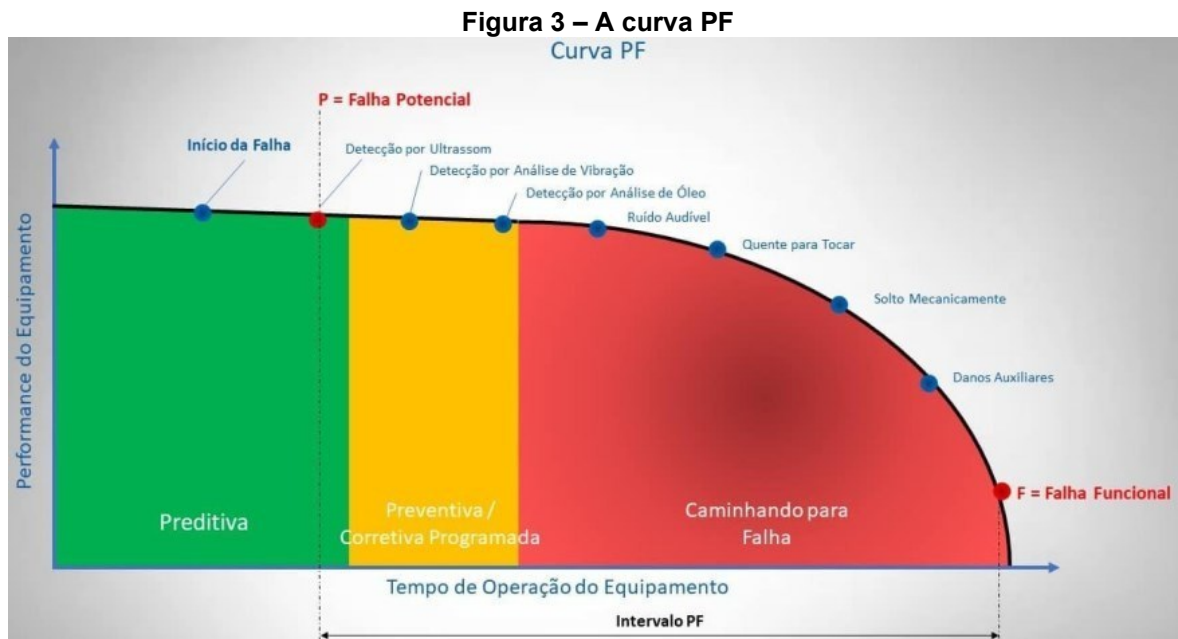
2.9 Falha funcional

De acordo com a ABNT NBR 5462:1994, a falha funcional é definida como a “incapacidade de um item em exercer uma função requerida, sob condições especificadas, por um período de tempo especificado”. Para Teles (2019), a falha funcional representa a incapacidade de um equipamento em atender o padrão de desempenho especificado em projeto.

Portanto, a ocorrência da falha funcional implica no lucro cessante, pois o equipamento deixará de desempenhar sua função requerida, gerando interrupções no processo produtivo. Logo, a prevenção de falhas funcionais em equipamentos se torna essencial para a redução de custos.

2.10 A curva PF (Falha Potencial)

A curva PF é um gráfico que conflita a *performance* de um equipamento em função do seu tempo de funcionamento, conforme exemplificado na figura 3, mostrando que o desempenho de um ativo declina ao longo do tempo. O objetivo é, portanto, determinar o intervalo de tempo entre a falha potencial e a falha funcional, (TELES, 2019).



Fonte: Teles (2019)

2.11 Qualidade

Britto (2016) compreende qualidade como o resultado da evolução histórica dos diversos processos fabris, inseridos nos contextos sociais e econômicos que surgiram ao longo do tempo. Dessa forma, espera-se dos fornecedores e dos segmentos que interagem com as empresas a disponibilização de produtos de qualidade.

A qualidade está presente em todos os setores, processos e atividades até o produto final em uma organização e, uma vez que esteja presente, não podemos

deixar de relacioná-la com os custos, devendo ser planejada, medida e controlada (MARTINELLI, 2009).

De acordo com Dhillon (2006), a qualidade na manutenção proporciona uma confiança que os itens reparados ou mantidos funcionam com segurança e confiabilidade, e uma manutenção de má qualidade pode levar a graves consequências.

2.12 Indicadores de desempenho

A utilização de indicadores de desempenho é uma forma de controlar e melhorar a qualidade e o desempenho de serviços e processos ao longo do tempo, pois são representações quantificáveis das suas características (SCARTEZINI, 2009). Para Teles (2019), grande parte do sucesso da política da manutenção se dá pelo controle, que é realizado através da implementação de indicadores, que servem como referência para a tomada de decisões e desenho de estratégias.

Portanto, a análise dos indicadores está relacionada ao controle e avaliação do resultado, identificando os pontos de sucesso e os pontos que necessitam ser melhorados (VIANA, 2020).

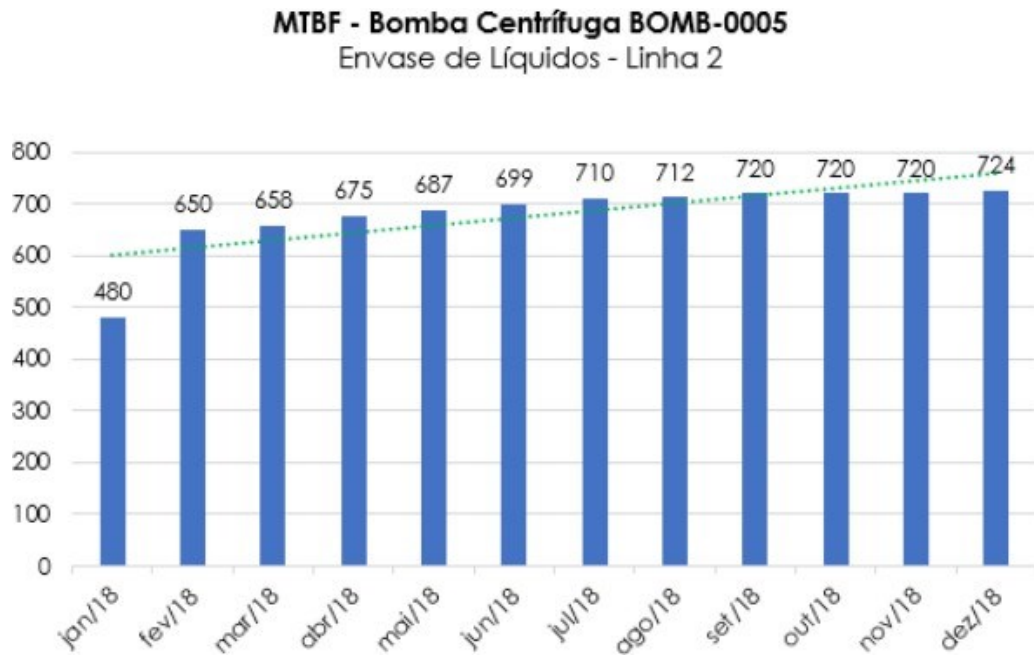
2.12.1 Tempo médio entre falhas (MTBF)

ABNT NBR 5462:1994 define o MTBF como "o tempo médio decorrido entre as falhas de um item em condições específicas de operação e manutenção". De acordo com Teles (2019), o MTBF consiste em um indicador que avalia o tempo médio entre uma falha e outra de um determinado equipamento, e pode ser calculado de acordo com a equação (1).

$$MTBF = \frac{\text{Tempo de produção planejada} - \text{Tempo indisponível}}{\text{Número de falhas funcionais}} \quad (1)$$

Para Santos (2018), o MTBF é um importante indicador para a gestão de manutenção, pois permite realizar a avaliação da confiabilidade de um equipamento, além de fornecer a base necessária para planejar ações preventivas para evitar a ocorrência de falhas. A figura 4 apresenta um exemplo de aumento do indicador de MTBF de um equipamento. Para Teles (2019), a tendência crescente do indicador apresentado é resultado de uma gestão de manutenção assertiva e eficiente.

Figura 4 - Acompanhamento do indicador de MTBF de um equipamento



Fonte: Teles (2019)

2.122 Confiabilidade

De acordo com a ABNT NBR 5462 (1994), confiabilidade se refere à “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. Para Teles (2019), a confiabilidade é a probabilidade avaliada sobre um item, sistema ou equipamento de manter-se em funcionamento durante um determinado período de tempo futuro.

Fogliato e Ribeiro (2011) definem a confiabilidade em função do tempo como:

$$R(t) = e^{-\lambda t}, t \geq 0 \quad (2)$$

onde λ representa a taxa de falhas, calculada de acordo com a equação 3 (TELES, 2019), enquanto t é a variável de tempo para analisar o percentual de confiabilidade.

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (3)$$

Portanto, a confiabilidade é uma das principais análises de um processo, pois está diretamente relacionada com a garantia de que o item irá desempenhar suas funções de forma segura e eficiente (BERGAMO & ALENCAR, 2010).

2.12.3 Tempo médio para reparo (MTTR)

Para Hinchcliffe & Smith (2004), o tempo médio para reparo (MTTR) é uma medida de quanto tempo, em média, um item levará para retornar ao estado de funcionamento ao ocorrer uma falha. De acordo com Pinto (2004), o MTTR pode ser calculado como:

$$MTTR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TTR_i \quad (4)$$

onde N representa o número de falhas ocorridas, enquanto TTR representa o tempo necessário para corrigir a falha e retornar o equipamento à sua função requerida.

De acordo com Cunha (2012), o MTTR é um importante indicador de desempenho na manutenção, pois permite avaliar a eficiência do processo de reparo. Ainda, Ferreira et al. (2016) define o MTTR como um indicador chave para a gestão de manutenção, pois está relacionado com a capacidade produtiva e o custo de produção.

2.12.4 Disponibilidade (D)

De acordo com Fogliato e Ribeiro (2011), a disponibilidade é definida como a capacidade de um equipamento de desempenhar sua função requerida em um determinado intervalo de tempo. Dessa forma, a disponibilidade está relacionada à porcentagem do tempo total disponível em que as máquinas se encontram em estado de bom funcionamento. Teles (2019) propõe o cálculo da disponibilidade (D) como:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5)$$

Para Pires (2011), a disponibilidade é um dos principais indicadores da manutenção, onde sua maximização deve ser buscada através de uma gestão eficaz e planejada das atividades de manutenção. Para isso, é necessário avaliar constantemente o indicador, identificando falhas e problemas que possam afetar a disponibilidade, realizando intervenções necessárias de forma a garantir o bom funcionamento do equipamento (CARVALHO, 2017).

A indisponibilidade (ID) é definida como a porcentagem do tempo em relação ao tempo de produção planejada em que o sistema ficou inoperante devido à falhas funcionais (TELES, 2019), e pode ser calculada como:

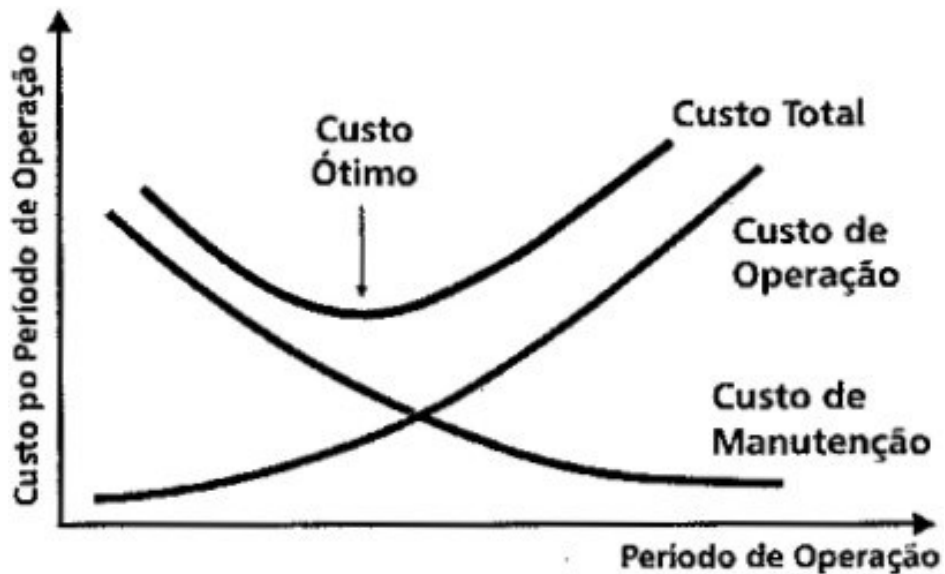
$$ID = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

2.13 Custos de manutenção

Para Xenos (1998), o lucro de uma empresa está diretamente relacionado ao bom gerenciamento dos custos, sendo garantido de acordo com metas periódicas de vendas. Logo, os custos de manutenção representam uma parcela dos custos totais da organização.

Os custos de manutenção aumentam de forma inversa aos custos de paradas de produção, desde que os aumentos dos custos de manutenção impliquem na redução de manutenções corretivas emergenciais. No entanto, a falta de manutenção provocaria paradas muito longas, que implicam em perdas maiores de produção (KARDEC & NASCIF, 2009). Dessa forma, é possível estabelecer um nível ótimo de intervenção, conforme ilustra o gráfico na figura 5, que apresenta o compromisso entre a disponibilidade, o nível de manutenção e os custos.

Figura 5 - Relação entre o custo de manutenção de o custo de operação



Fonte: Kardec & Nascif (2009)

2.13.1 Custos diretos

Os custos diretos são os custos de manutenção necessários para manter os equipamentos em estado de operação, como por exemplo os custos com manutenções preventivas, preditivas ou corretivas emergenciais e planejadas. Esse tipo de custo é subdividido entre: custos com mão de obra direta, com materiais e com serviços terceirizados (KARDEC & NASCIF, 2009).

2.13.2 Custos de perdas de produção

Os custos de perdas de produção estão relacionados às falhas do equipamento cuja causa seja ação imprópria de manutenção (KARDEC & NASCIF, 2009). Para Teles (2019), esse custo está relacionado ao lucro cessante, que corresponde à interrupção da atividade que gera receita à empresa devido à falha de um equipamento.

2.13.3 Custos indiretos

Os custos indiretos são aqueles relacionados à estrutura gerencial e de apoio administrativo, como por exemplo custos com estudos de melhorias e supervisão, aquisição de equipamentos e ferramentas. Dessa forma, são considerados como custos indiretos tudo que possui caráter geral e não pode ser alocado a um equipamento ou setor específico (KARDEC & NASCIF, 2009).

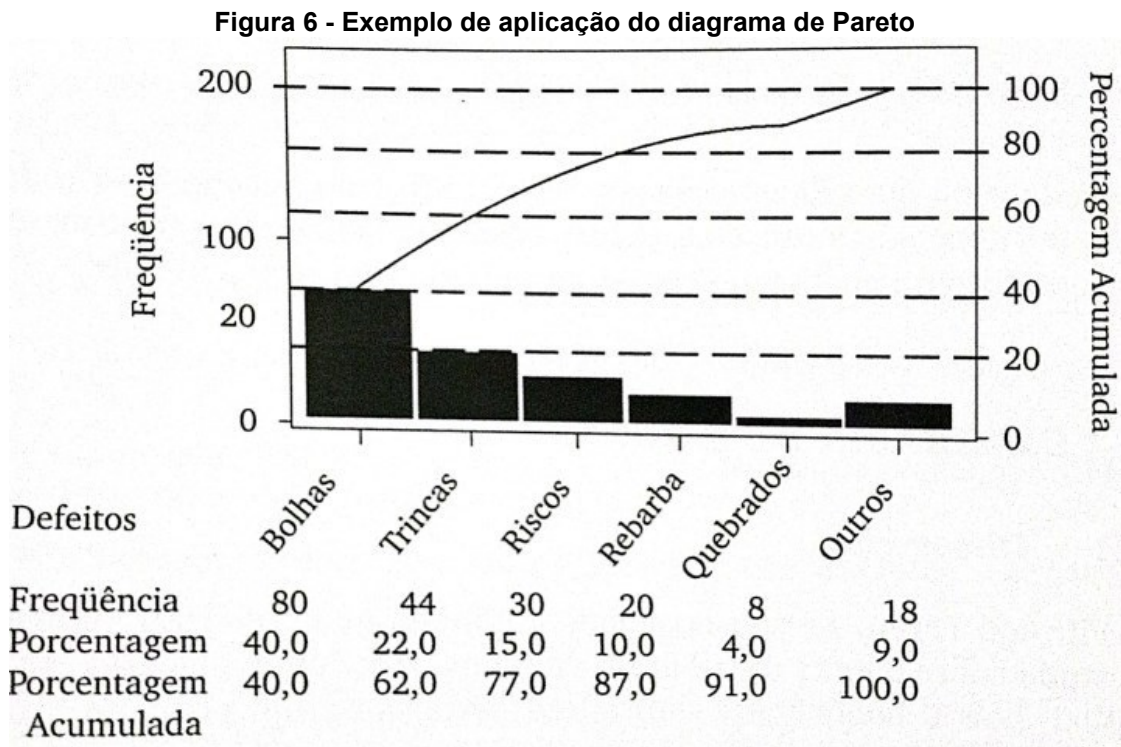
2.14 Ferramentas

2.14.1 Análise de Pareto

De acordo com Scartezini (2009), a análise de Pareto é uma ferramenta que visa a priorização de informações de acordo com uma ordem hierárquica de importância. Para Franklin (2006), a análise de Pareto permite determinar quais os problemas a serem resolvidos e qual a prioridade, definindo o ponto de partida para a solução, além de permitir a possibilidade de avaliar um progresso após a implantação da solução.

Para Ramos et al. (2013), o diagrama de Pareto é uma descrição gráfica de dados que visa apresentar informações de forma que se possa concentrar esforços

de melhoria nos pontos com maiores oportunidades de se obter ganhos. Dessa forma, a figura 6 apresenta um exemplo de diagramada de Pareto, definida por um gráfico de barras verticais, onde o eixo horizontal representa a separação por problemas ou causas, e o eixo vertical informa a soma dos valores do índice de controle para cada problema ou causa, enquanto uma curva é sobreposta para representar a porcentagem acumulada (RAMOS et al., 2013).



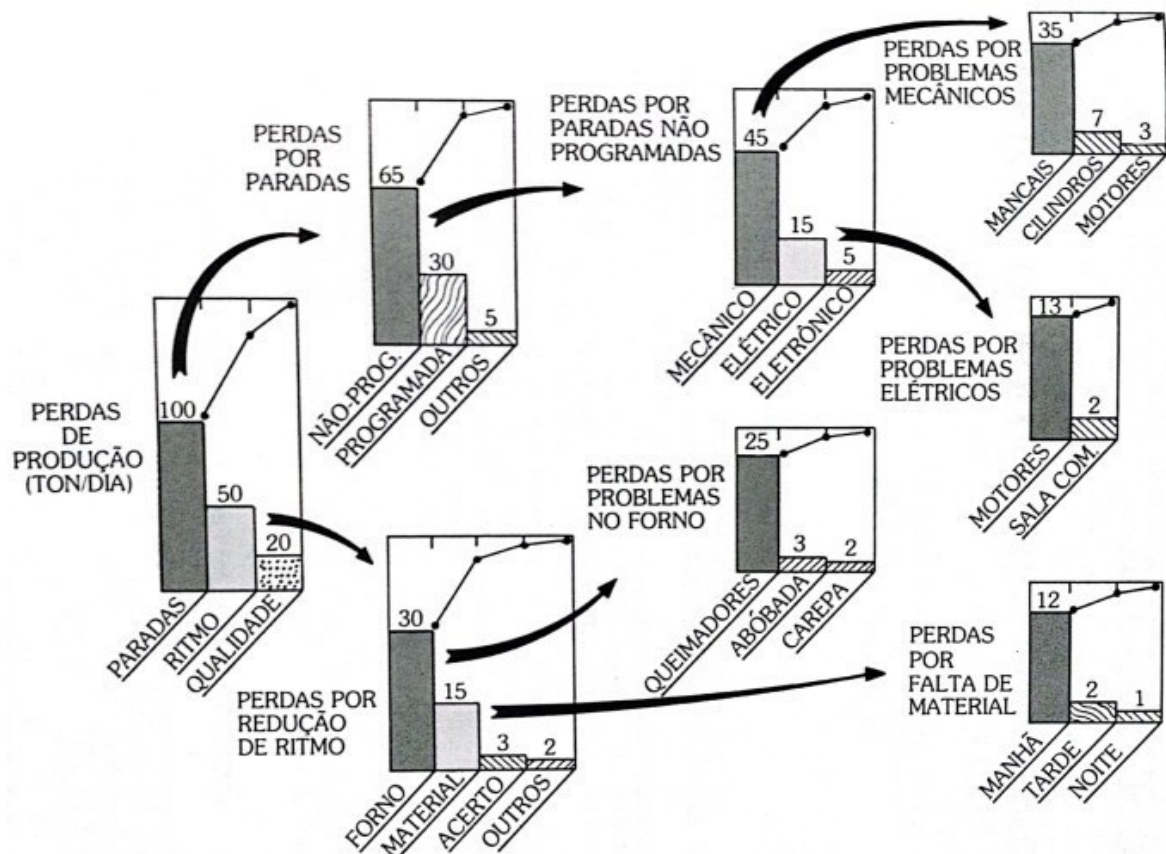
Fonte: Ramos et. al. (2013)

2.142 Estratificação

Para Falconi Campos (2013), a estratificação se trata da divisão de um problema em grupos distintos, sendo uma análise que possibilita a identificação clara da origem de um problema. De acordo com Rocha (2019), a estratificação nos aponta caminhos a seguir durante a resolução de um problema, mas, também, nos informa quais são os caminhos que não possuem relevância significativa, sendo útil, portanto, durante a tomada de decisão quando se necessita a priorização.

Segundo Santos (2020), para aplicar a estratificação, é necessário coletar e analisar dados sobre o problema em questão, classificando-o em categorias. Falconi Campos (2013) sugere o diagrama de Pareto como uma forma gráfica de representar a estratificação, conforme exemplificado na figura 7.

Figura 7 – Exemplo de estratificação por diagramas de Pareto



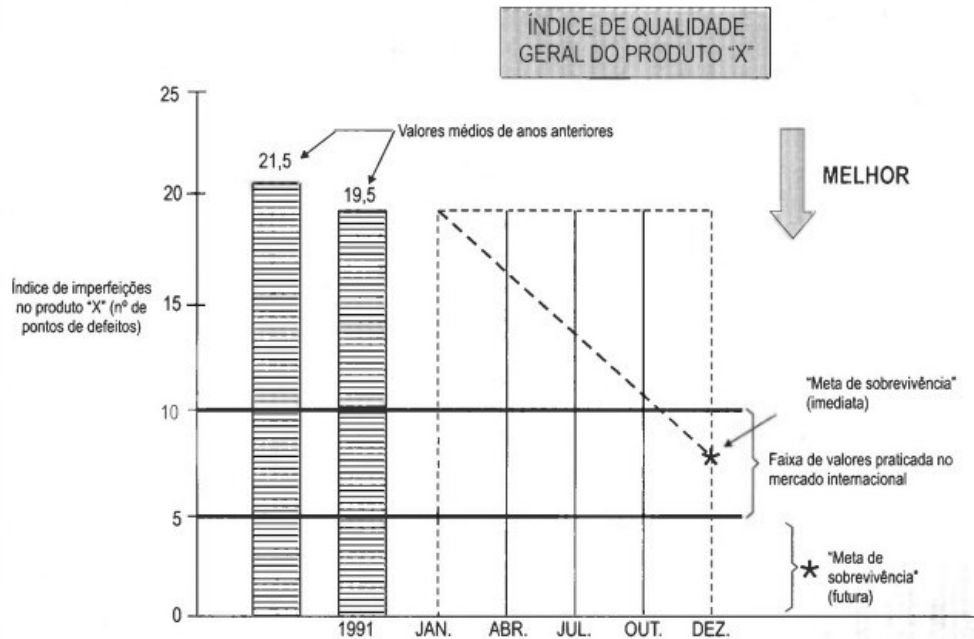
Fonte: Falconi Campos (2013)

2.14.3 Meta de Melhoria

De acordo com Falconi Campos (2013), metas são valores de níveis de controle que desejamos atingir, e devem proporcionar a melhoria contínua em uma organização, sendo necessidades para a sobrevivência, pois o mercado exige custos cada vez menores e entregas cada vez melhores.

Para Souza (2015), as metas definidas devem ser específicas, mensuráveis, alcançáveis, realistas, relevantes e possuir um prazo para atendê-las. Sendo assim, a figura 8 demonstra um exemplo de definição de metas de um índice de defeitos de um problema, definindo um valor a ser alcançado em um determinado período de tempo com base em um valor de referência da situação encontrada.

Figura 8 – Exemplo de definição de meta



Fonte: Falconi Campos (2013)

2.14.4 Regressão linear simples

De acordo com Sell (2005) a regressão linear estabelece uma equação matemática que descreve o relacionamento entre duas variáveis, sendo uma dependente e outra independente, dando a capacidade de estimar valores para uma variável, com base em outra de valores conhecidos.

Martins & Donaire (2012) propõem a regressão linear simples através da equação (7), onde a variável dependente é denominada Y e a variável independente X, a e b são os coeficientes linear e angular, respectivamente, sendo os parâmetros característicos da função.

$$Y = a + bX \quad (7)$$

2.14.5 O Método dos Mínimos Quadrados

De acordo com Martins & Donaire (2012), o método dos mínimos quadrados consiste na determinação dos parâmetros a e b da equação (7), minimizando as discrepâncias, proporcionando o melhor ajuste possível da curva aos dados amostrais. Dessa forma, os coeficientes b e a podem ser determinados através das equações (8) e (9), respectivamente.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (8)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - b \sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (9)$$

Nas equações (8) e (9), X e Y representam os valores das variáveis independentes e dependentes, respectivamente, enquanto n representa o tamanho amostra, ou seja, a quantidade de valores coletados para a análise.

2.14.6 Coeficiente de Determinação (R^2)

De acordo com Sell (2005), o coeficiente de determinação é uma medida que representa a aderência da equação de regressão linear aos dados amostrais. Sendo assim, um coeficiente de determinação muito próximo de 1 representa um ajuste de equação aos dados amostrais muito forte, enquanto um coeficiente próximo de 0 apresenta um um ajuste fraco. Para Nascimento & Araújo (2009), o coeficiente de determinação é cálculo através da equação 10, onde Y representa os valores da variável dependente identificados na amostra e Y_R representa os valores estimados pela equação de regressão linear simples.

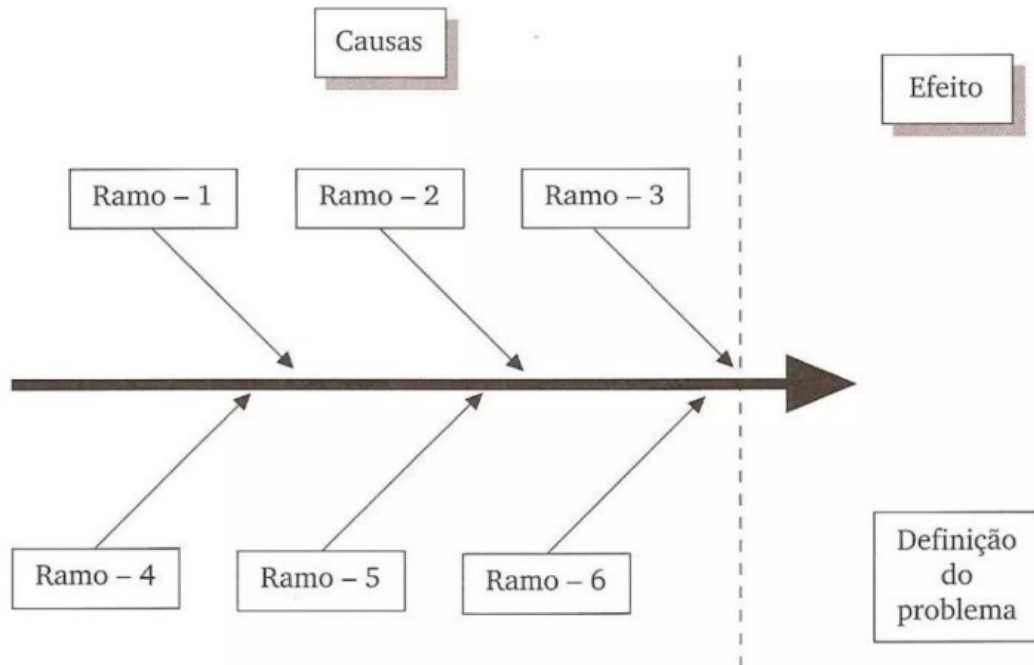
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{Ri})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n})^2} \quad (10)$$

2.14.7 Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de Causa e efeito visa ilustrar várias causas que afetam um processo por classificação e relação, onde para cada efeito existem inúmeras categorias de causas (LOBO, 2020). Para Scartezini (2009), O diagrama de causa e efeito contribui para determinar as causas prováveis de um problema ou um fator relevante de um resultado desejado.

Ramos et. al (2013) apresenta uma estruturação de diagrama de causa e efeito conforme a figura 9, onde o efeito (problema) é conectado aos ramos principais, definidos como grupos de causas.

Figura 9 – Estruturação do diagrama de causa e efeito



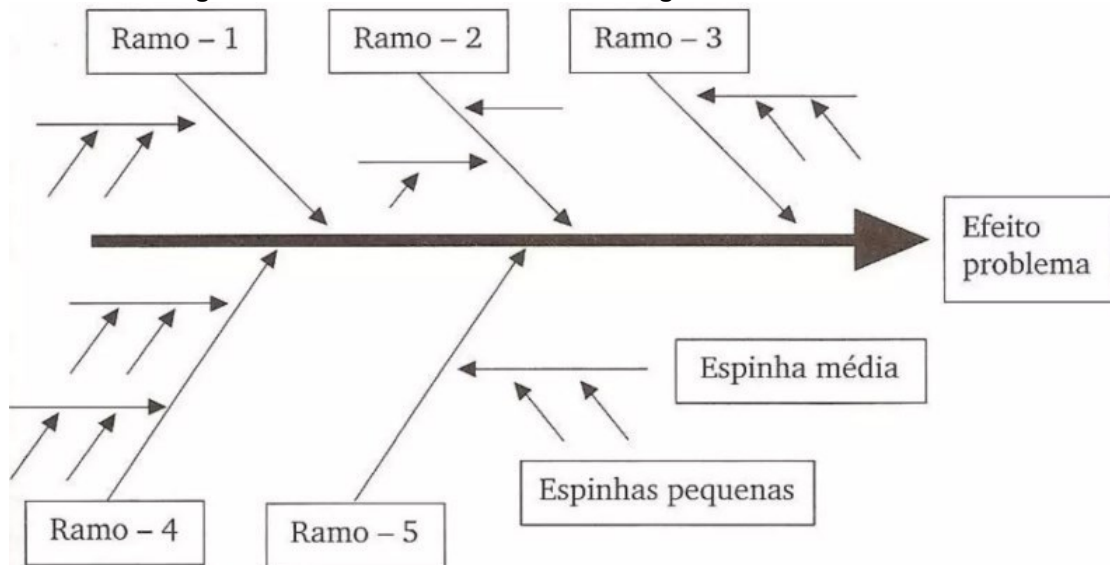
Fonte: Ramos et al. (2013)

De acordo com Ramos et. al (2013), os grupos de causas frequentemente utilizados são denominados “6Ms”, sendo amplamente empregados em análises relacionadas à manufatura, gestão da qualidade e solução de problemas. Nesse contexto, os “6Ms” são:

- Mão-de-obra;
- Materiais;
- Máquinas;
- Métodos;
- Meio ambiente;
- Medição.

Para cada ramo principal, deve-se listar as possíveis causas relacionadas, identificando-as como ramos menores. Além disso, se houver um nível maior de detalhamento de causas, as evidências podem ser registradas em novos ramos, conforme exemplificado na figura 10.

Figura 10 - Inclusão das causas no diagrama de causa e efeito

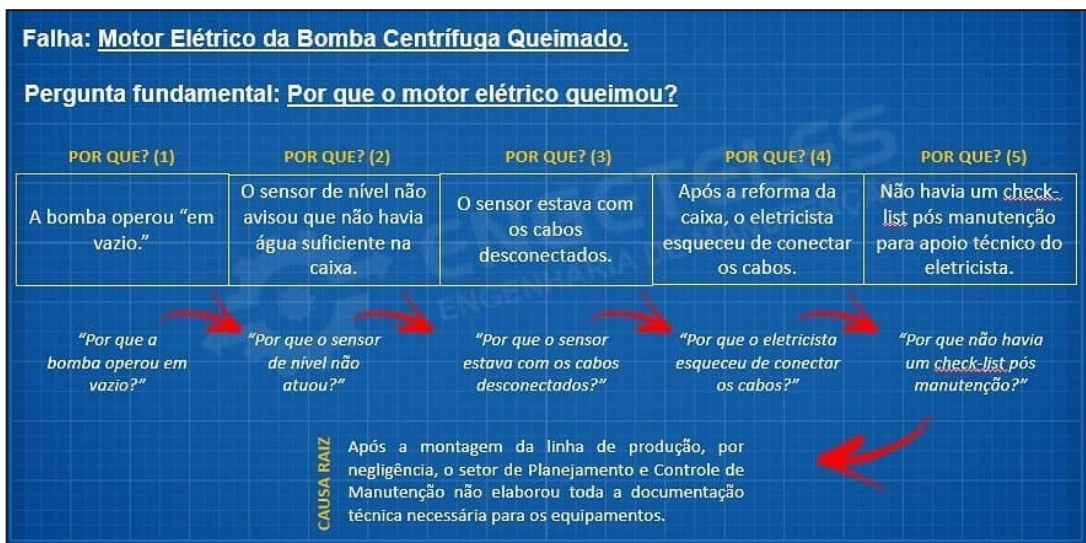


Fonte: Ramos et al. (2013)

2.14.8 Os Cinco Porquês

O método dos cinco porquês visa identificar a causa raiz e os efeitos de uma falha ocorrida, e consiste em perguntar o por quê ocorreu um determinado problema, cuja resposta também deverá ser realizada a mesma pergunta. Esse processo continuará até o momento em que a resposta forneça a causa raiz ou algo fundamental (TELES, 2019). A figura 11 representa um exemplo da metodologia dos cinco porquês aplicado à falha de queima de um motor elétrico de uma bomba centrífuga.

Figura 11 – Exemplo de aplicação do método dos cinco porquês



Fonte: Teles (2019)

A utilização do método dos cinco porquês na manutenção possui grande relevância na identificação da causa raiz de problemas em equipamentos, permitindo ações que visem evitar a recorrência de falhas (OLIVEIRA et al. 2018). Para Vieira et al. (2017), o método dos cinco porquês pode ser utilizado em conjunto com o diagrama de causa e efeito, permitindo uma identificação mais precisa das causas do problema.

2.14.9 Plano de ação (Ferramenta 5W2H)

O plano de ação 5W2H é uma ferramenta utilizada para referenciar decisões das etapas no desenvolvimento do trabalho, além de realizar a identificação e planejamento das ações, responsabilizando-as aos envolvidos no cumprimento do trabalho (MELLO *et al.*, 2016). Portanto, a ferramenta 5W2H busca definir com clareza o que será feito, porquê será feito, quando será feito, quem fará, onde, como e quanto custará realizar a determinada ação proposta, conforme metodologia exemplificada por Silva *et al.* (2019) no quadro 1.

Quadro 1 – Ferramenta 5W2H

MÉTODO DA FERRAMENTA 5W2H			
5W	WHAT	O que?	O que deve ser feito? Ações, etapas;
	WHY	Por que?	Porque será feito e executado dessa forma ? Justificativa;
	WHEN	Quando?	Quando será feito? datas;
	WHO	Quem?	Quais as pessoas envolvidas? Responsáveis;
	WHERE	Onde?	Onde ocorreu o problema? : local;
2H	HOW	Como?	Como será executado? Como definir as etapas? Método;
	HOW MUCH	Quanto Custa?	Quanto custará fazer: custos.

Fonte: Silva et al. (2019)

2.15 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA (*Plan, do, check, action*) tem o objetivo de promover a melhoria contínua através da identificação e organização das atividades de um processo de solução de problemas, garantindo o desenvolvimento eficaz de uma atividade planejada (LOBO, 2020). Para Bertolino (2010), a lógica do ciclo utilizado está no processo de Planejamento, seguido da execução da atividade, para então verificar se o que foi planejado e executado atendeu aos objetivos, finalizando o ciclo com a

padronização ou ação corretiva. Dessa forma, a figura 12 representa as atividades dentro de cada etapa do ciclo PDCA.

Figura 12 – Etapas do Ciclo PDCA



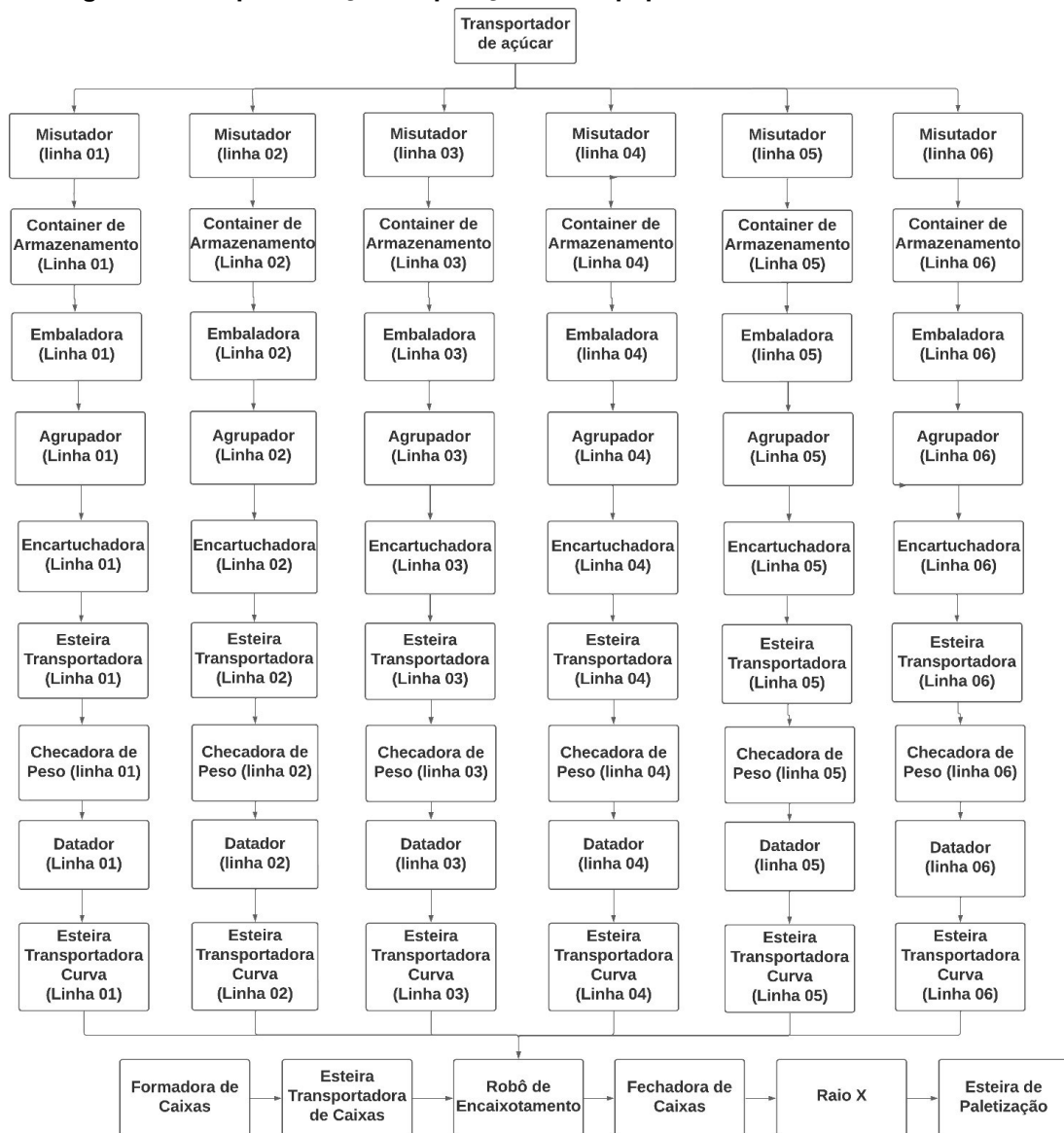
Fonte: Coutinho (2017)

3 METODOLOGIA

3.1 Delimitação da área de análise

A implementação do ciclo PDCA será realizada em um setor de manutenção de uma indústria alimentícia. A escolha do ciclo de melhoria contínua PDCA se deu visando reduzir as perdas de 6 linhas de produção ativas, definido como o principal problema pela empresa. Para isso, o setor foi subdividido em equipamentos, conforme demonstrado na figura 13. Essa subdivisão foi realizada visando separar e identificar em qual parte específica do setor estão localizadas as principais perdas de produção, de forma que seja possível priorizar e direcionar as análises e esforços de melhoria.

Figura 13 – Representação da posição dos equipamentos do setor analisado



Fonte: Autoria própria (2022)

Todavia, é importante evidenciar que os equipamentos que possuem o mesmo nome na figura 13, como os misturadores, por exemplo, possuem a mesma função requerida e são idênticos em todas as linhas de produção. Portanto, através da análise histórico, ao solucionar uma falha em um determinado equipamento, as ações realizadas podem ser aplicadas com abrangência nas demais linhas do setor, desde que apresentem a mesma falha mapeada. Nesse contexto, o quadro 2 apresenta a separação realizada e a função requerida de cada equipamento do processo produtivo.

Quadro 2 – Equipamentos do setor e função requerida no processo produtivo

Equipamento	Função requerida no processo
Transportador de açúcar	Realizar o abastecimento de açúcar conforme demanda em todas as linhas de produção.
Misturador	Realizar a mistura de todos os ingredientes do processo.
Container de armazenamento	Realizar o armazenamento do produto e encaminhá-lo conforme demanda à embaladora.
Embaladora	Realizar a dosagem correta de produto. Realizar a embalagem do produto em pacotes. Realizar a selagem dos pacotes. Realizar o corte dos pacotes. Posicionar os pacotes no agrupador.
Agrupador	Transporta os pacotes em fileiras da embaladora para a encartuchadeira. <i>Posiciona os pacotes para serem inseridos em <i>displays</i>.</i>
Encartuchadora	Abrir e posicionar os <i>displays</i> de armazenamento. Inserir os pacotes dentro dos <i>displays</i> . Realizar o fechamento dos <i>displays</i> .
Esteira transportadora	Realizar o transporte dos <i>displays</i> da encartuchadora até a checadora de peso.
Checadora de peso	Verificar se os <i>displays</i> o peso requerido. Descartar os <i>displays</i> com peso fora do intervalo padrão.
Datador	Imprimir a data de fabricação e validade nos <i>displays</i> .
Esteira transportadora curva	Transportar os <i>displays</i> do datador até a o robô de encaixotamento.
Formadora de caixas	Realizar a abertura e preparação de caixas para armazenamento de <i>displays</i> .
Esteira transportadora de caixas	Transportar as caixas preparadas da formadora de caixas para o robô de encaixotamento.
Robô de encaixotamento	Realizar o encaixotamento dos <i>displays</i> .
Fechadora de caixas	Realizar o fechamento das caixas.
Raio X	Identificar se não há a presença de materiais estranhos no produto. Rejeitar caixas com inconformidades.
Esteira de paletização	Transportar as caixas do raio X até os paletes.

Fonte: Autoria própria (2022)

3.2 Coleta de informações


Visando obter os dados de histórico de falhas ocorridas no setor, foi desenvolvido uma tabela para preenchimento de informações referentes à paradas de linha, obtendo os dados de data, linha de produção, horário de início da parada, horário de retorno à produção e descrição detalhada do motivo da parada. Essas informações são necessárias para o desenvolvimento do banco de dados do histórico de falhas, que é utilizado para a realização das análises e cálculo de indicadores, auxiliando na tomada de decisão e direcionamento de esforços.

Assim, a tabela contendo as informações relatadas é diariamente preenchida pelo líder de produção de cada linha do setor, que acompanha e reporta as falhas ocorridas. Ao final da semana, as paradas de linha ocorridas e descrições realizadas são revisadas e arquivadas em bases de dados.

3.3 Implementação do ciclo PDCA

O ciclo PDCA será implementado conforme o método proposto por Falconi Campos (2013) no quadro 3. Sendo assim, o ciclo PDCA é dividido em quatro etapas, sendo elas as etapas de planejamento, execução, verificação e padronização. A etapa de planejamento contará com as fases de identificação do problema, análise do fenômeno, análise do processo e realização do plano de ação. A etapa de execução, no entanto, será integralmente destinada à realização do plano de ação proposto, enquanto a etapa de verificação será destinada ao acompanhamento da efetividade das ações, finalizando o ciclo com a padronização das ações que trouxeram resultados esperados, ou a revisão das ações que não resultaram em melhorias.

Quadro 3 - Método PDCA aplicado à resolução de problemas

PDCA	Fluxo-grama	Fase	Objetivo
P	①	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
	②	Análise do fenômeno	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista. Desdobrar o problema em problemas menores que podem ser mais facilmente resolvidos.
	③	Análise do processo	Descobrir as causas fundamentais de cada problema menor.
	④	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais de cada problema menor.
D	⑤	Execução	Bloquear as causas fundamentais.
C	⑥	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
		(Bloqueio foi efetivo?)	
A	⑦	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	⑧	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalhos futuros.

Fonte: Falconi Campos (2013)

Em resumo, o quadro 4 proporciona a estruturação do método aplicado na realização do ciclo PDCA, contendo as etapas necessárias, as ferramentas e métricas utilizadas para avaliação de eficácia em cada uma das etapas do método proposto por Falconi Campos (2013).

Quadro 4 - Etapas, ferramentas e métricas utilizadas nas fases do ciclo PDCA

Etapa do PDCA	Fase	Método	Métrica
P	Identificação do problema	Análise de perda de produção; Análise de indisponibilidade.	Perdas de produção (ton/mês); Indisponibilidade (%).
	Análise do fenômeno	Estratificação por Pareto; Análise de MTBF e MTTR.	Perdas (ton); MTBF (h); MTTR (h).
	Análise do processo	Análise de 5 porquês; Diagrama de Causa e Efeito;	N/A.
	Plano de ação	5W2H;	N/A.
D	Execução	Realização das atividades propostas no 5W2H.	N/A.
C	Verificação	Análise de tendência dos indicadores do equipamento.	MTBF (h); MTTR (h);
A	Padronização	Implementação de ações por abrangência no 5W2H.	N/A.
	Conclusão	Análise de resultados.	Perdas de produção (ton/mês); Indisponibilidade (%).

Fonte: Autoria própria (2022)

3.3.1 Etapa de planejamento

A etapa de planejamento do ciclo PDCA é subdividida em quatro principais partes, de acordo com o método proposto por Falconi Campos (2013). Dessa forma, essa etapa conta com a identificação do problema, análise do fenômeno, análise do processo e desenvolvimento do plano de ação.

Buscando uma maior efetividade do ciclo PDCA, a maior parte do trabalho realizado deve ser destinado à etapa de planejamento, de forma a garantir que o plano de ação desenvolvido maximize a disponibilidade, minimize custos por manutenção e elimine os problemas, evitando reincidências. No entanto, esses resultados são possíveis de serem alcançados apenas se houver uma clareza de prioridades,

estabelecida através de uma análise estruturada do fenômeno, além de uma análise de processo aprofundada, gerando ações assertivas no plano de ação.

- *Identificação do problema*

De acordo com Falconi Campos (2013), a identificação do problema deve ser realizada através de fatos e dados, de forma a garantir que os problemas analisados e a meta de melhoria estejam alinhados com a necessidade da empresa. Portanto, a etapa de identificação do problema contará com a medição da indisponibilidade e perdas de produção do setor durante o mês analisado, bem como a definição de metas de melhoria, proporcionando a clareza do impacto do problema e os valores que se desejam atingir em um determinado período de tempo.

- *Análise do fenômeno*

De acordo com Falconi Campos (2013), a etapa de análise do fenômeno tem como objetivo investigar as características específicas do problema, e desdobrá-lo em problemas menores, de forma em que possam ser facilmente resolvidos. Para isso, essa etapa conta com a estratificação por Pareto, analisando as perdas de produção por linha, equipamento e problemas específicos. Com base nisso, é possível identificar os equipamentos e problemas que proporcionam as maiores perdas de produção, que devem ser tratados com prioridade.

Todavia, essa etapa conta com uma análise relacionando o MTBF, MTTR e as perdas de produção aplicado aos equipamentos, proporcionando o entendimento de frequência de ocorrência de falhas e tempo médio para solucioná-las, e como esses indicadores impactam nas perdas de produção. Essa análise é essencial, pois através de um aumento do MTBF e a redução do MTTR, será possível maximizar a disponibilidade do equipamento. Além disso, esses indicadores devem ser novamente analisados na etapa de verificação do ciclo PDCA, que informam se as ações aplicadas resultaram em melhorias.

- *Análise do processo*

A etapa de análise do processo tem como objetivo descobrir as causas menores do problemas mapeados e priorizá-los. Para isso, será realizado análises de

causa raiz, contando com as ferramentas de diagrama de causa e efeito, com o objetivo de mapear as potenciais causas raízes de um determinado problema, além da realização de análises de 5 porquês, que auxiliam na identificação da causa fundamental dos problemas mapeados. A utilização dessas ferramentas são essenciais para o êxito na etapa de desenvolvimento do plano de ação, pois garantem que as ações realizadas são destinadas, de fato, à eliminação da causa raiz identificada.

- *Desenvolvimento do plano de ação*

De acordo com Falconi Campos (2013), a etapa de desenvolvimento do plano de ação tem como objetivo definir ações que bloqueiam as causas fundamentais dos problemas priorizados. Sendo assim, essa etapa conta com a utilização da ferramenta 5W2H, possibilitando a clara identificação de quais ações devem ser executadas, porquê devem ser executadas, como devem ser executadas, a data prevista de realização, os responsáveis, o local de realização e os recursos necessários.

A etapa de desenvolvimento do plano de ação é a principal saída do planejamento do ciclo PDCA, pois reúne todas as informações necessárias para a execução, além de fornecer clareza, foco, estruturação, organização, responsabilização, facilidade de acompanhamento e controle.

3.3.2 Etapa de execução

A etapa de execução tem como objetivo realizar as ações propostas no plano de ação. Dessa forma, é importante que as ações sejam executadas de forma precisa, consistente e, principalmente, no prazo proposto, buscando atender a meta de melhoria, que deve ser atingida em um período de 3 meses.

Todavia, o controle e atualização do plano de ação durante a etapa de execução é necessário, pois fornece a rápida identificação de inconformidades de realização com base na data proposta de execução.

3.3.3 Etapa de Verificação

A etapa de verificação tem como objetivo identificar se o bloqueio das causas fundamentais foi efetivo. Sendo assim, essa etapa conta com a análise de tendência

dos indicadores dos equipamentos. É importante ressaltar que a etapa de verificação deve ser realizada após o cumprimento das ações propostas no 5W2H, de forma a evitar que a não realização das tarefas especificadas do plano de ação impacte negativamente no resultado analisado. Portanto, essa etapa conta com uma análise de tendência dos indicadores de MTBF e MTTR dos equipamentos priorizados na etapa de análise do fenômeno.

3.3.4 Etapa de padronização

A etapa de padronização tem como objetivo identificar as ações que proporcionaram melhoria nos indicadores de manutenção e padronizá-las nos demais equipamentos ou linhas de produção que apresentam falhas semelhantes. Com base na retroalimentação do plano de ação com abrangência nas demais linhas de produção, é possível reduzir ainda mais a indisponibilidade e perdas de produção. No entanto, se os indicadores de manutenção não proporcionarem melhorias, as etapas de análise do fenômeno e desenvolvimento do plano de ação devem ser revisadas, redefinindo a estratégia de atuação.

Em resumo, o quadro 5 proporciona a estruturação do método aplicado na realização do ciclo PDCA, contendo as etapas necessárias, as ferramentas e métricas utilizadas para avaliação de eficácia das etapas.

4 RESULTADOS

4.1 Identificação do Problema

Através da coleta do histórico de falhas em um período de 6 meses, as paradas de linha de cada equipamento foram estratificadas em equipamentos e problemas, baseado na descrição oriunda da produção, conforme demonstrado no quadro 5. Essa estratificação é essencial para identificar os problemas mais impactantes de um determinado equipamento e priorizá-los através de diagramas de Pareto.

Quadro 5 - Demonstração da estruturação da base de dados do histórico de falhas

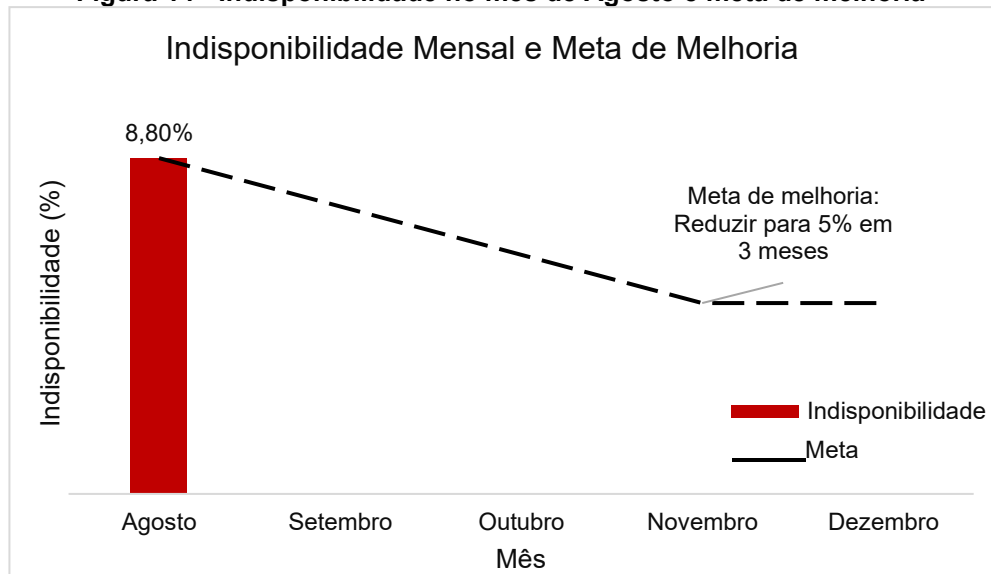
Linha de produção	Data	Início	Término	Descrição da falha	Estratificação por equipamento	Estratificação por problema
Linha 03	02/05/2022	14:00	15:00	Lixar coletor da embaladora	Embaladora	Falha em coletor
Linha 05	02/05/2022	20:56	21:35	Driver do mordente queimou	Embaladora	Queima de driver
Linha 02	04/05/2022	00:00	02:44	Parado para ajustar troller da talha que saiu da posição.	Transportador de açúcar	Troller mecânico fora de posição.
Linha 04	04/05/2022	09:18	10:50	Curto circuito no coletor da embaladora.	Embaladora	Falha em coletor
Linha 04	04/05/2022	11:08	11:30	Substituir coletor do mordente.	Embaladora	Falha em coletor

Fonte: Autoria própria (2022)

Além disso, a utilização da estratificação realizada no quadro 3 é necessária para o cálculo dos indicadores de manutenção, como a indisponibilidade, MTBF e MTTR, que são essenciais para a tomada de decisão durante o ciclo PDCA.

Foi realizado uma análise de indisponibilidade mensal do setor sobre paradas de linha por manutenção, resultando 8,8%. Então, definiu-se uma meta de melhoria, que visa a reduzir a indisponibilidade por manutenção para 5% em um período de 3 meses, conforme demonstrado na figura 14.

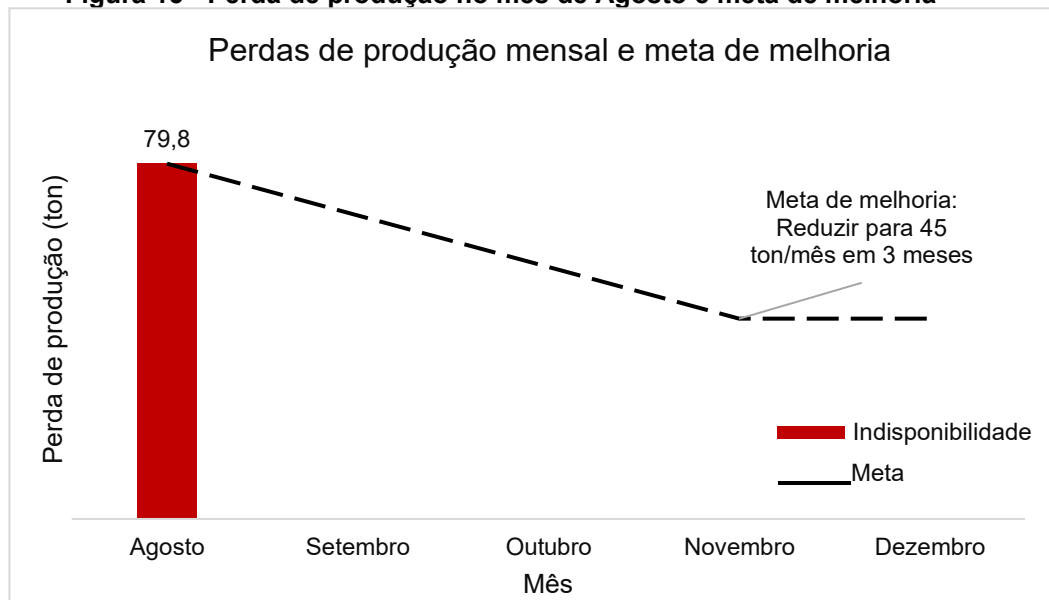
Figura 14 - Indisponibilidade no mês de Agosto e meta de melhoria



Fonte: Autoria própria (2022)

Analogamente, foi realizado uma análise de perdas de produção mensal, identificando uma perda de 79,8 toneladas de produto não produzidos devido à indisponibilidade das linhas de produção. Com isso, foi definido uma meta de melhoria, buscando reduzir as perdas para 45 toneladas por mês em um período de 3 meses, de acordo com a figura 15.

Figura 15 - Perda de produção no mês de Agosto e meta de melhoria



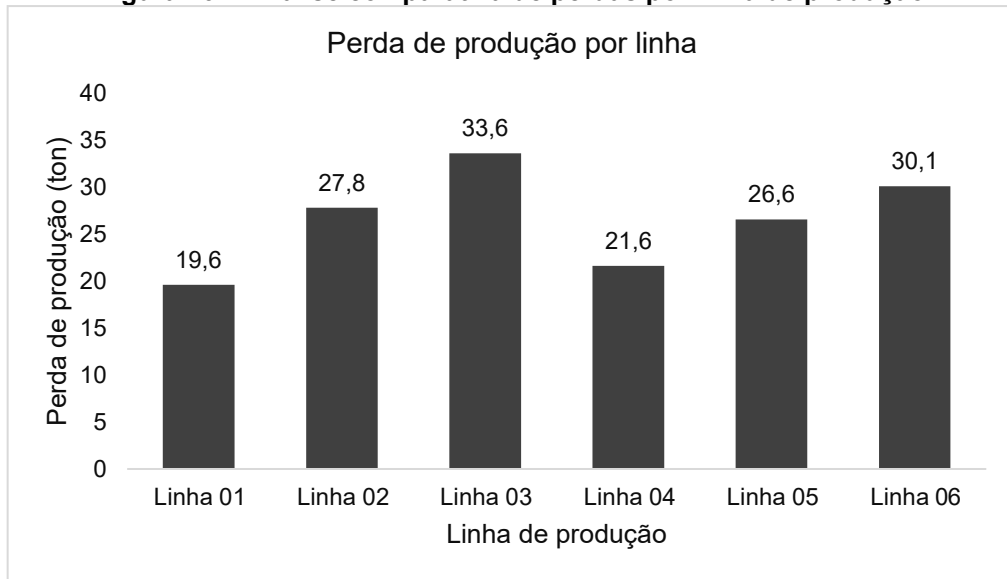
Fonte: Autoria própria (2022)

Portanto, o ciclo PDCA foi definido com uma duração de 3 meses, de forma a proporcionar tempo suficiente para realizar todas as etapas propostas, sendo possível de mensurar, ao final do ciclo, se as ações implementadas atendem as metas de melhoria referente aos problemas de indisponibilidade e perdas de produção.

4.2 Análise do Fenômeno

Inicialmente, foi realizado uma análise comparativa entre as perdas de produção das linhas do setor, conforme a figura 16, identificando que a linha que apresenta a maior perda é a linha 03, totalizando 33,6 ton. Com base nessa informação, essa linha foi selecionada para realizar a etapa de análise do fenômeno.

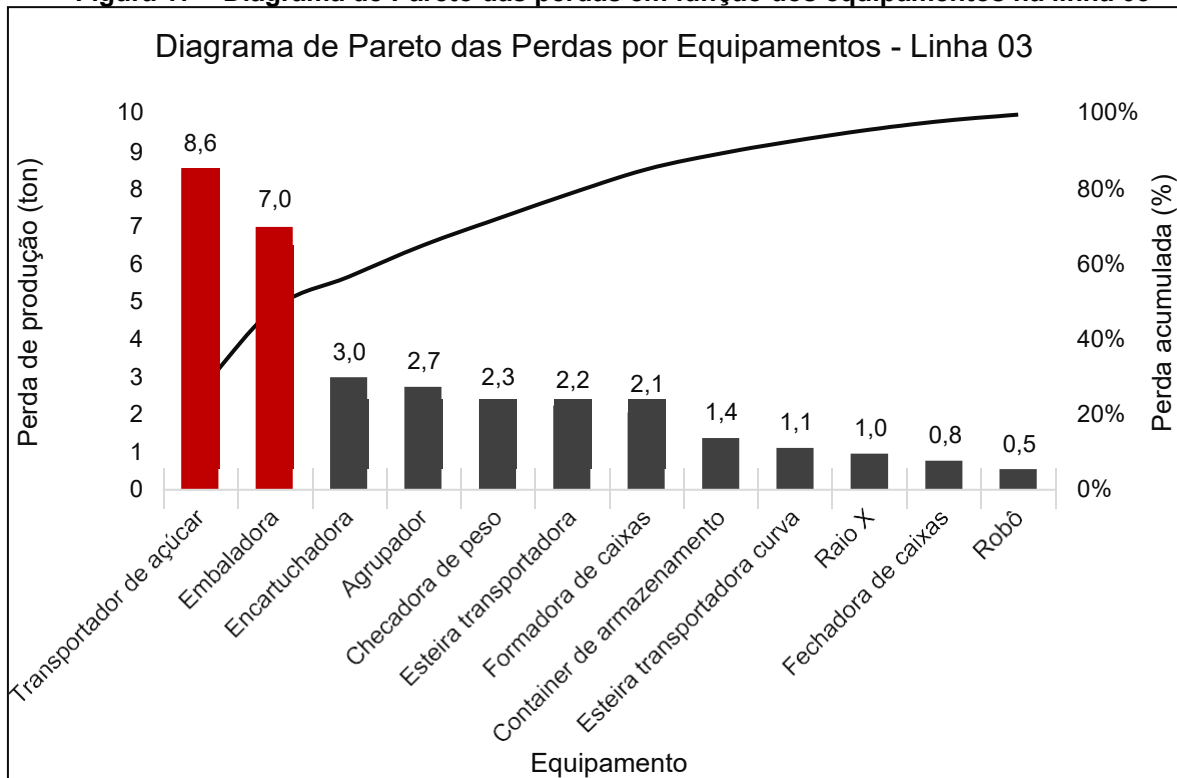
Figura 16 – Análise comparativa de perdas por linha de produção



Fonte: Autoria própria (2022)

Devido à elevada perda de produção identificada, foi realizado um diagrama de Pareto na linha 03, estratificando as perdas por equipamentos, conforme a figura 17. Com base na análise realizada, percebe-se que os maiores impactos em produção estão concentrados no transportador de açúcar e na embaladora, representando 48% das perdas acumuladas, justificando a priorização desses equipamentos no primeiro ciclo de melhoria PDCA.

Figura 17 – Diagrama de Pareto das perdas em função dos equipamentos na linha 03



Fonte: Autoria própria (2022)

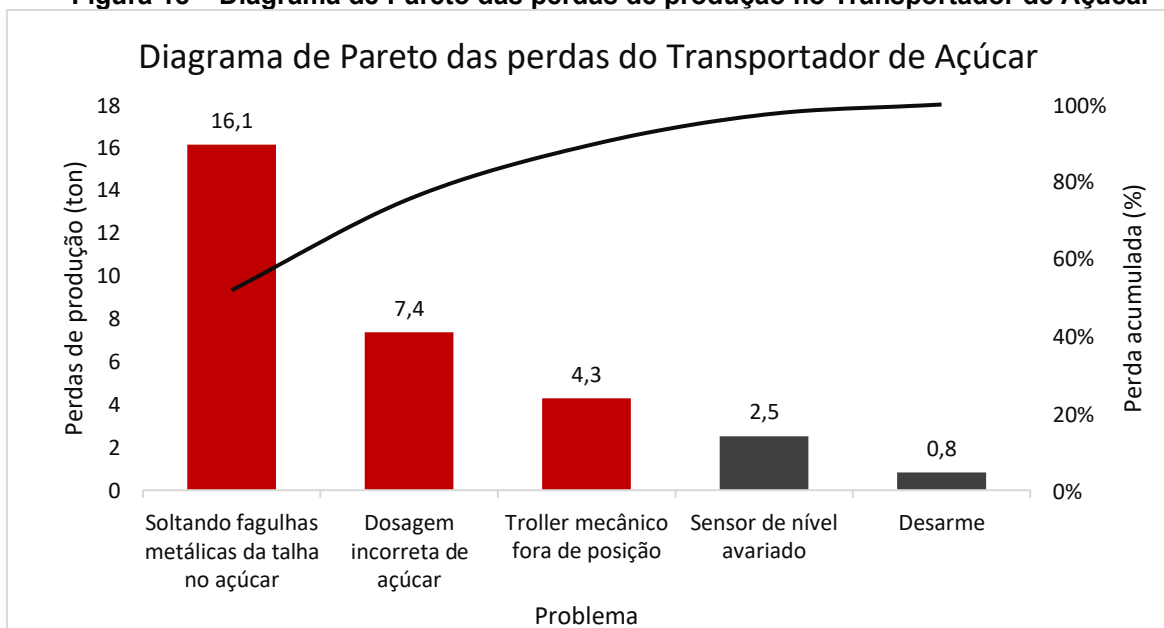
Todavia, foi realizado uma análise de MTBF e MTTR dos equipamentos da linha 03, conforme o quadro 6. Percebe-se que embora o MTTR do transportador de açúcar e da embaladora não variem significativamente em relação aos demais equipamentos, o tempo médio entre falhas se apresenta muito menor que os demais equipamentos, e como resultado, em um longo intervalo de tempo, esses dois equipamentos apresentam mais falhas e maiores perdas de produção acumuladas, justificando, portanto, uma análise de causa raiz aprofundada, com ações visando aumentar, principalmente, o indicador de MTBF dos equipamentos priorizados.

Quadro 6 – Análise de MTBF, MTTR e perdas de produção dos equipamentos da linha 03

Equipamento	MTBF (h)	MTTR (h)	Perda de produção (ton)
Transportador de açúcar	424,9	2,6	8,6
Embaladora	141,3	0,7	7,0
Encartuchadora	424,9	0,8	3,1
Agrupador	849,8	1,7	2,7
Checadora de peso	1133,1	1,9	2,3
Esteira transportadora	849,8	1,4	2,2
Formadora de caixas	1133,1	1,7	2,1
Container de armazenamento	1699,7	1,7	1,4
Raio X	3399,4	2,4	1,1
Fechadora de caixas	3399,4	1,9	1,0
Esteira transportadora de caixas	1699,7	0,8	0,8
Robô	3399,4	1,3	0,5
Esteira transportadora curva	3399,4	1,2	0,5

Fonte: Autoria própria (2022)

Então, foi realizado uma nova estratificação por Pareto para o transportador de açúcar, visando identificar os impactos em produção para cada problema ocorrido, conforme a figura 18. No entanto, como o transportador de açúcar é um único equipamento que alimenta todas as linhas de produção disponíveis, quando uma falha ocorre, todas as linhas em operação são impactadas. Portanto, foi considerado a soma de todas as perdas de produção no setor para cada problema específico do equipamento.

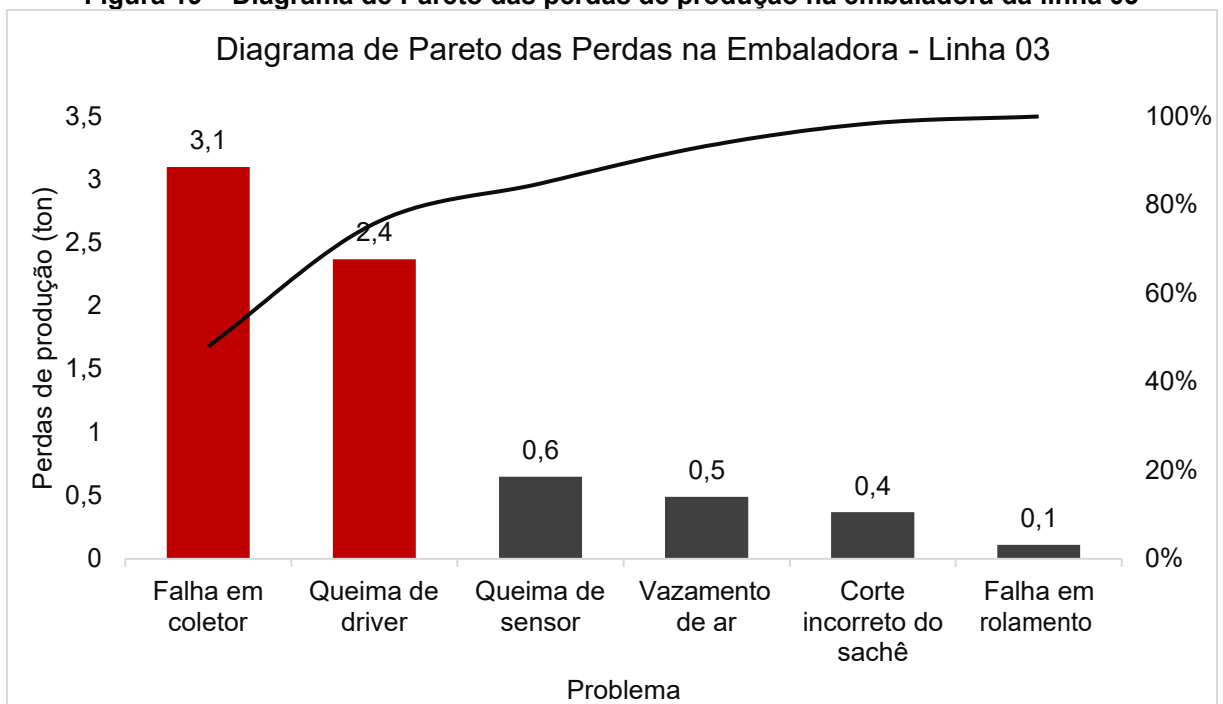
Figura 18 – Diagrama de Pareto das perdas de produção no Transportador de Açúcar

Fonte: Autoria própria (2022)

Com base na análise realizada, percebe-se que três problemas apresentaram os maiores impactos, totalizando 89% da perda de produção acumulada, justificando serem priorizados e encaminhados à etapa de análise do processo do ciclo PDCA.

Além disso, foi realizada a estratificação por Pareto da embaladora da linha 03, conforme a figura 19, identificando que os maiores impactos estão concentrados nos problemas de queima de *driver* e falha em coletor, totalizando 76% da perda acumulada do equipamento. Portanto, esses problemas serão encaminhados à etapa de análise do processo do ciclo PDCA.

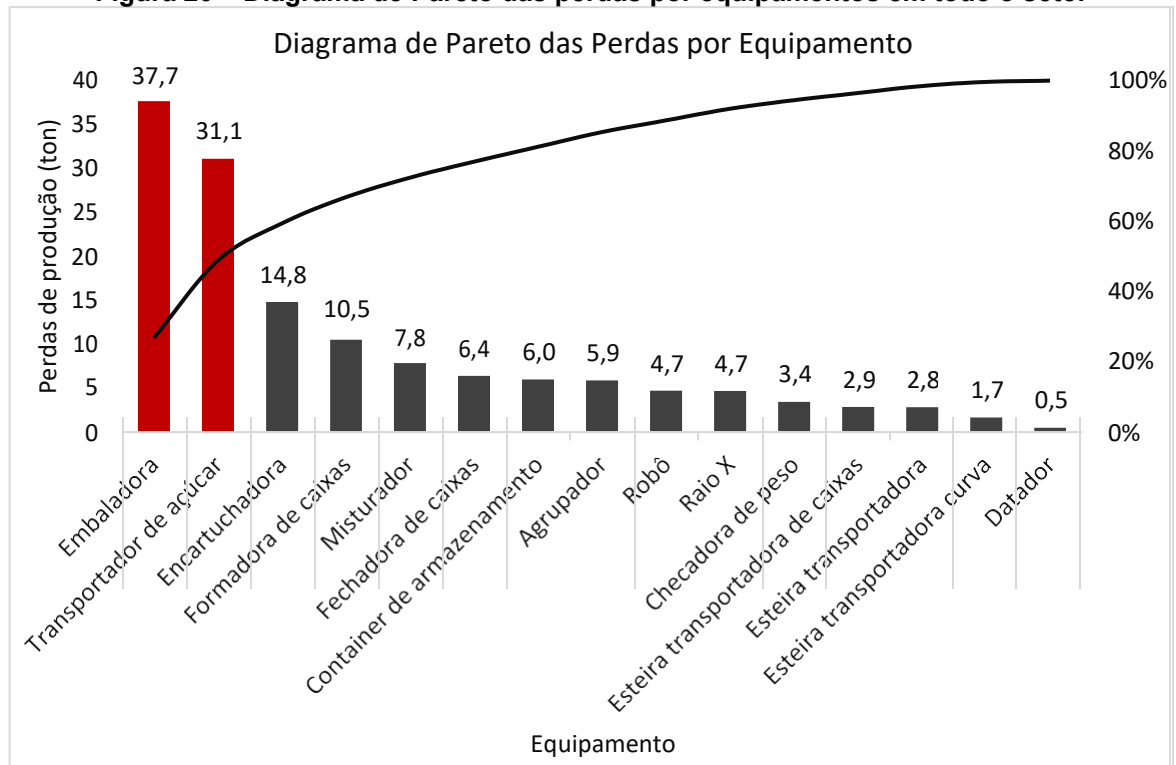
Figura 19 – Diagrama de Pareto das perdas de produção na embaladora da linha 03



Fonte: Autoria própria (2022)

Além disso, foi realizada uma estratificação por Pareto por equipamentos em todo o setor, visando identificar se, de fato, os equipamentos priorizados na linha 03 são impactantes quando analisados nas demais linhas. Como resultado, a figura 20 demonstra que 49% das perdas em todo o setor estão relacionados ao transportador de açúcar e embaladora.

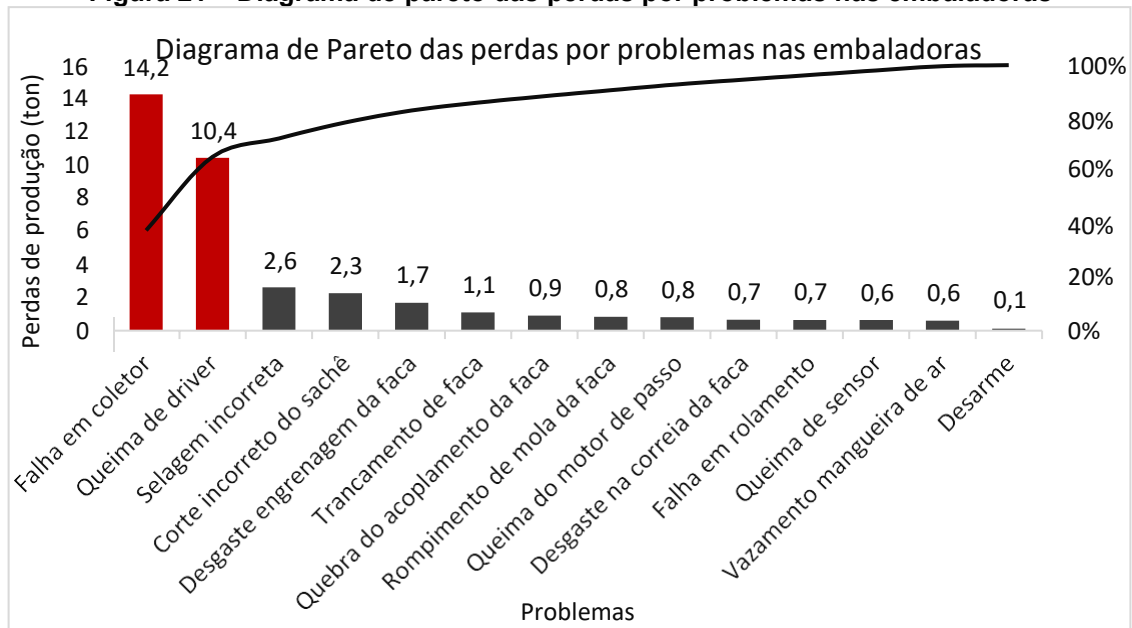
Figura 20 – Diagrama de Pareto das perdas por equipamentos em todo o setor



Fonte: Autoria própria (2022)

Analogamente, visando analisar se os problemas priorizados na embaladora da linha 03 são de fato impactantes nas demais linhas e podem ser solucionados com ações de abrangência, foi realizada uma estratificação por Pareto por problemas em todo o setor. A figura 21 demonstra que 65% das perdas nas embaladoras são devido à falhas em coletores e queimas de driver. A estratificação por problemas nas embaladoras de todo o setor é de extrema importância para a tomada de decisão estratégica na etapa de padronização do ciclo PDCA, pois, embora os esforços iniciais sejam priorizados na linha 03, as ações podem ser aplicadas com abrangência nas demais linhas do setor caso a etapa de verificação do ciclo PDCA traga resultados satisfatórios, pois a maioria das perdas estão concentradas nos mesmos problemas.

Figura 21 – Diagrama de Pareto das perdas por problemas nas embaladoras

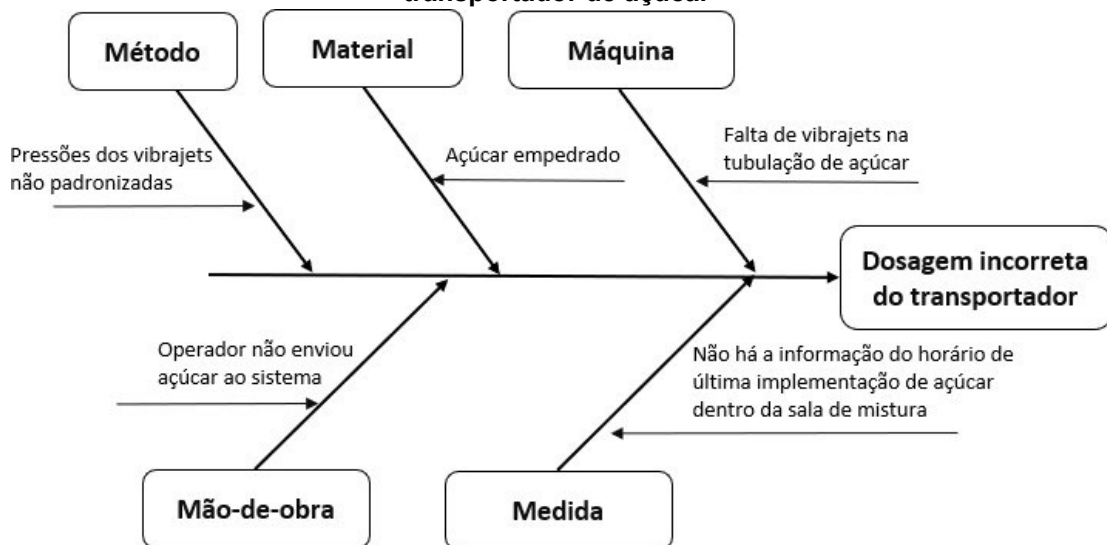


Fonte: Autoria própria (2022)

4.3 Análise do Processo

Na etapa de análise do processo, foram desenvolvidos diagramas de causa e efeito analisando de forma aprofundada as causas dos problemas ocorridos. A figura 22 apresenta o diagrama de causa e efeito referente à falha de dosagem incorreta do transportador, identificando diversas causas potenciais com base nas anomalias identificadas no equipamento. Dessa forma, todas as potenciais causas identificadas podem ser tratadas na etapa de desenvolvimento do plano de ação.

Figura 22 – Diagrama de causa e efeito referente à falha de dosagem incorreta do transportador de açúcar

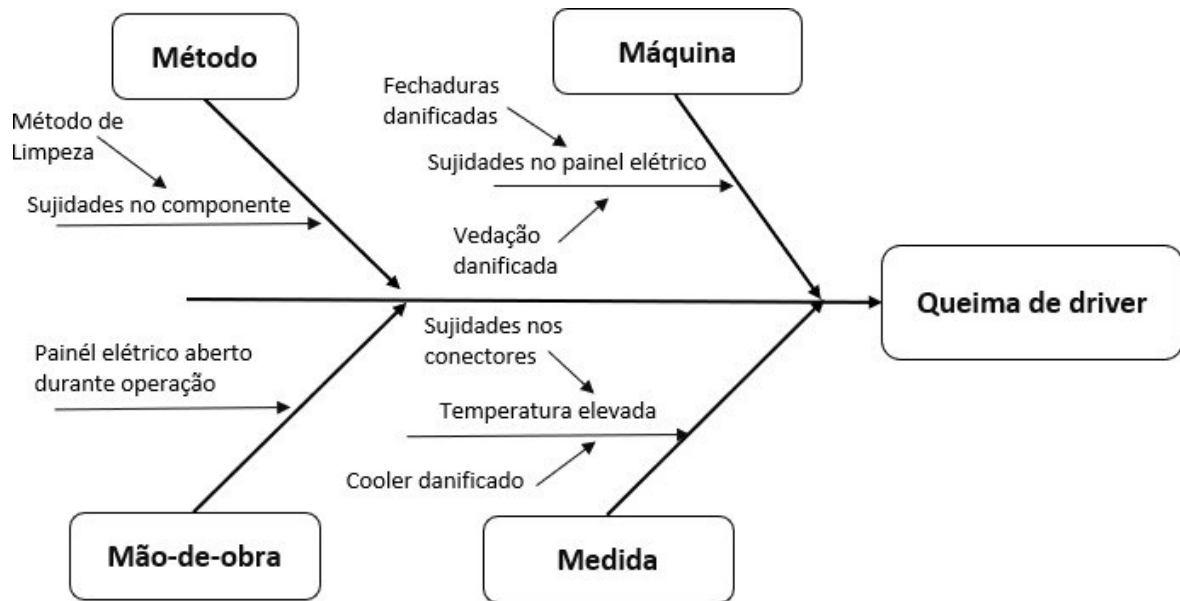


Fonte: Autoria própria (2022)

Ao desenvolver o diagrama de causa e efeito, foi percebido que a tubulação de açúcar não possuía todos os *vibrajets* necessários, componentes responsáveis por controlar a pressão interna na tubulação de transporte de açúcar, que devem ser posicionados a cada 1,5 m de percurso. Além disso, foi constatado que a distribuição das pressões dos vibrajets estavam incorretas, impedindo o correto transporte de açúcar através da tubulação. Todavia, foi relatado que frequentemente o operador do misturador, ao iniciar um novo ciclo de preparo de mistura, solicitava a dosagem de açúcar, no entanto, devido à falta de abastecimento, o equipamento realizava a dosagem incorreta. Por fim, como potencial causa, há a possibilidade do açúcar, ao ser abastecido, possuir blocos aglomerados, que impedem o correto transporte através da tubulação, impossibilitando que o equipamento proporcione a função requerida. Todas essas potenciais causas raízes foram tratadas no plano de ação, visando garantir que a falha de dosagem do transportador de açúcar não seja recorrente.

Analogamente, a figura 23 apresenta o diagrama de causa e efeito desenvolvido referente às queimas de *driver* identificadas na embaladora da linha 03. Percebe-se que a sujeira interna no painel elétrico é uma causa potencial a ser tratada no plano de ação, bem como a presença de fechaduras e vedações danificadas. Além disso, a averiguação da presença de *coolers* dos drivers danificados corrobora com o aumento da temperatura, aumentando a probabilidade de queima de componentes. Dessa forma, foi possível entender as potenciais causas raízes e atribuir ações de bloqueio, de forma a evitar a recorrência da falha.

Figura 23 – Diagrama de causa e efeito das queimas de *driver* na embaladora da linha 03



Fonte: Autoria própria (2022)

Ainda, visando identificar a causa raiz dos problemas relacionados identificados no setor, optou-se inicialmente pelo método dos 5 porquês, principalmente devido à sua simplicidade e facilidade de chegar à causa raiz. No entanto, para os problemas onde se iniciou a análise de 5 porquês e chegou-se à várias potenciais causas raízes, optou-se pela utilização do diagrama de Ishikawa, realizando uma análise mais aprofundada e direcionando ações para as possíveis causas levantadas. Dessa forma, a análise de 5 porquês dos problemas da embaladora e do transportador de açúcar desenvolvida está representada no quadro 7, onde foi possível identificar a causa fundamental dos problemas ocorridos, que serviram como informações relevantes para o desenvolvimento do plano de ação.

Quadro 7 – Análise de 5 Porquês aplicada às falhas no setor

Efeito	Por quê (1)	Por quê (2)	Por quê (3)	Por quê (4)	Por quê (5)
Talha soltando fagulhas metálicas no açúcar.	Houve o desgaste da corrente da talha.	A manutenção preventiva não foi realizada.	Não há um plano de manutenção preventiva do componente	O setor de Planejamento e Controle de Manutenção não desenvolveu toda a documentação técnica necessária.	
Troller mecânico saiu de posição.	Parafusos do troller se soltaram	Não foi verificado a condição de aperto dos parafusos.	Não foi percebido a condição em inspeção.	Não foi realizada a inspeção no equipamento.	O plano de inspeção do equipamento não foi desenvolvido.
Falha em coletores	O componente para o movimento de rotação durante operação.	Ocorre o fechamento de curto-circuito ou a necessidade de limpar a pista.	Há sujidades entre a escova e a pista do coletor.	A pista do coletor fica totalmente exposta as sujidades oriundas do processo.	O sistema de rotação por coletores não fornece a blindagem suficiente.

Fonte: Autoria própria (2022)

4.4 Plano de Ação

Após a identificação das causas dos problemas mapeados, foi utilizado a ferramenta 5W2H para a definição das informações necessárias para o plano de ação, conforme o quadro 8. Visando a simplificação na representação das informações, a coluna contendo o nome dos responsáveis não foi apresentada. Em relação à falha dos coletores, optou-se por eliminar o sistema já utilizado e implementar o sistema de conectores rotativos, a fim de validar a causa raiz identificada na análise de 5 porquês. Além disso, em relação às queimas de *drivers*, optou-se por implementar novas fechaduras e vedações nos painéis elétricos. Também, foi proposto a realização de manutenção preditiva para identificação da falha potencial em *drivers*, através de termografias, identificando aumentos de temperatura dos componentes elétricos, tendo como saída a programação de corretivas para o caso de anomalias. Ademais, ações relacionadas às causas de falhas no transportador de açúcar foram propostas, contendo a instalação de vibrajets faltantes e padronização das pressões de trabalho, identificação do ultimo abastecimento de açúcar nos misturadores, implementação de planos preventivos na talha de açúcar e compra de uma talha reserva para rotatividade.

Quadro 8 – Plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H

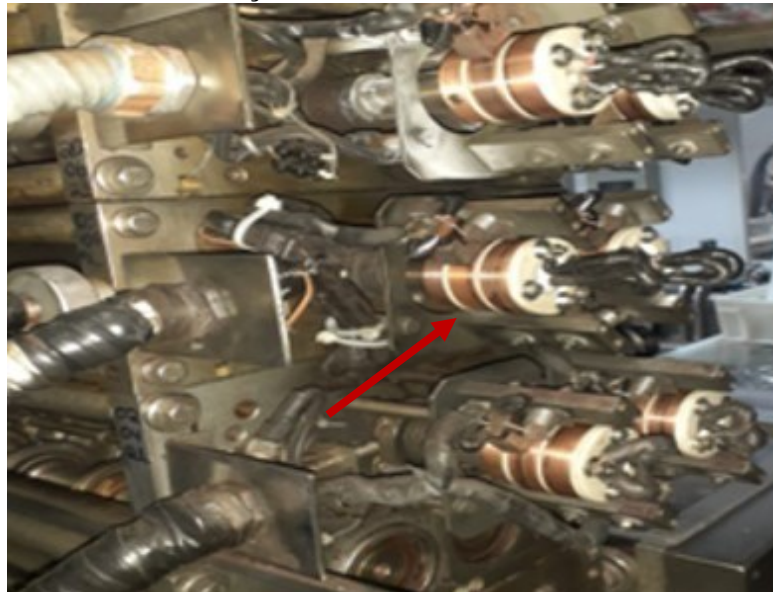
O quê?	Por quê?	Como?	Quando?	Onde?	Quanto custa?
Implementar sistema de conectores rotativos blindados	Possui a blindagem necessária para as sujidades do processo.	Comprar conectores rotativos e substituir pelos coletores.	24/09/2022	Embaladora linha 03	19345
Implementar preditiva de termografia nos painéis elétricos	Identificar a falha potencial para programar uma rotina de revisão ou limpeza.	Implementar no sistema o plano preditivo com frequência quinzenal.	10/09/2022	Embaladora linha 03	0
Realizar substituição das fechaduras do painel elétrico	As fechaduras do painel elétrico estão danificadas	Realizar a compra substituição das fechaduras.	17/09/2022	Embaladora linha 03	0
Realizar substituição das vedações do painel elétrico	As vedações do painel elétrico não fornecerem a vedação ideal.	Comprar novas vedações e substituir as danificadas.	17/09/2022	Embaladora linha 03	350
Implementar plano de manutenção preventiva na talha do transportador	Não há um plano preventivo para a talha do transportador de açúcar.	Implementar ao sistema o plano com frequência trimestral contendo todas as operações necessárias.	05/09/2022	Transportador de açúcar	0
Realizar a compra de uma talha reserva	O conjunto reserva possibilita a manutenção preventiva durante a produção.	Realizar orçamento com base na talha atual e fazer requisição de compra.	10/09/2022	Transportador de açúcar	7704
Realizar a instalação dos vibrajets faltantes na tubulação	Foi identificado a falta de 2 vibrajets	Realizar a compra e instalação.	17/09/2022	Transportador de açúcar	2350
Padronizar as pressões de trabalho de todos os Vibrajets.	As pressões dos vibrajets não estão corretamente distribuídas.	Identificar os vibrajets da tubulação, definir a pressão padrão e criar documentação.	17/09/2022	Transportador de açúcar	0
Instalar identificação de falta de açúcar dentro da sala de mistura	Falta de informação ao operador da sala de mistura.	Implementar no painel do misturador o último horário de abastecimento de açúcar.	24/09/2022	Transportador de açúcar	1214
Implementação de uma grade no descarregamento de açúcar	Evitar a passagem de pedras de açúcar para a tubulação	Realizar medidas da grade, definir modelo, compra e montagem.	24/09/2022	Transportador de açúcar	945
Implementação de planos de inspeção dos coolers dos drivers	O cooler danificado aumenta a temperatura do componente.	Definir lista de tarefas e implementar ao sistema com frequência mensal.	24/09/2022	Embaladora linha 06	0

Fonte: Autoria própria (2022)

4.5 Execução

Com base no plano de ação definido, as tarefas propostas foram implementadas. A figura 24 apresenta o sistema de rotação dos mordentes da embaladora utilizando coletores, que originava as falhas ocorridas. Percebe-se que a pista do coletor ficava exposta às sujidades do processo, que acarretam na falha do componente, de acordo com a análise de 5 porquês realizada.

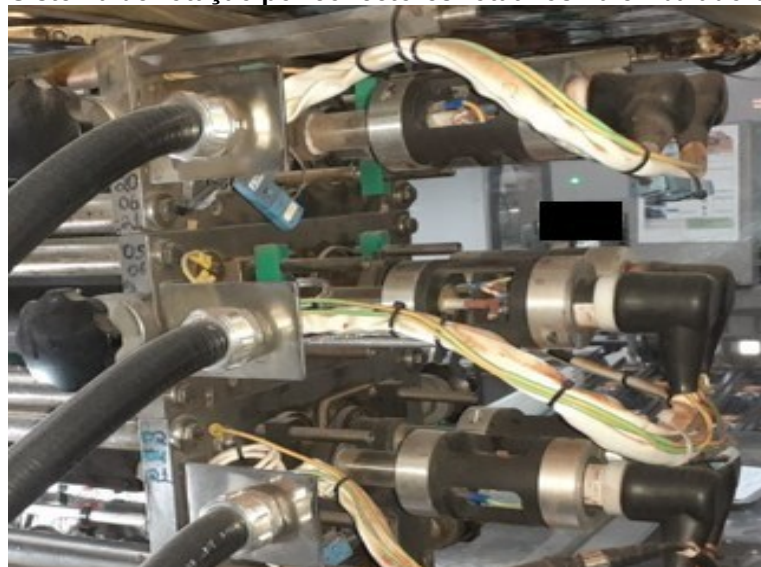
Figura 24 – Sistema de rotação utilizando coletores na embaladora da linha 03



Fonte: Autoria própria (2022)

A figura 25 apresenta um exemplo de realização de tarefa proposta no plano de ação, substituindo o Sistema de coletores de escovas para o sistema utilizando conectores rotativos, visando evitar falhas recorrentes por coletores nas embaladoras.

Figura 25 – Sistema de rotação por conectores rotativos na embaladora da linha 03



Fonte: Autoria própria (2022)

A figura 26 apresenta um exemplo da rotina de manutenção preditiva originada no plano de ação, onde se aplica a termografia aos *drivers* da embaladora da linha 03, possibilitando a identificação da falha potencial do equipamento, possibilitando também a o planejamento e realização de uma manutenção corretiva programada no componente, em caso de anomalias detectadas.

Figura 26 – Resultado de termografia aplicada aos drivers da embaladora

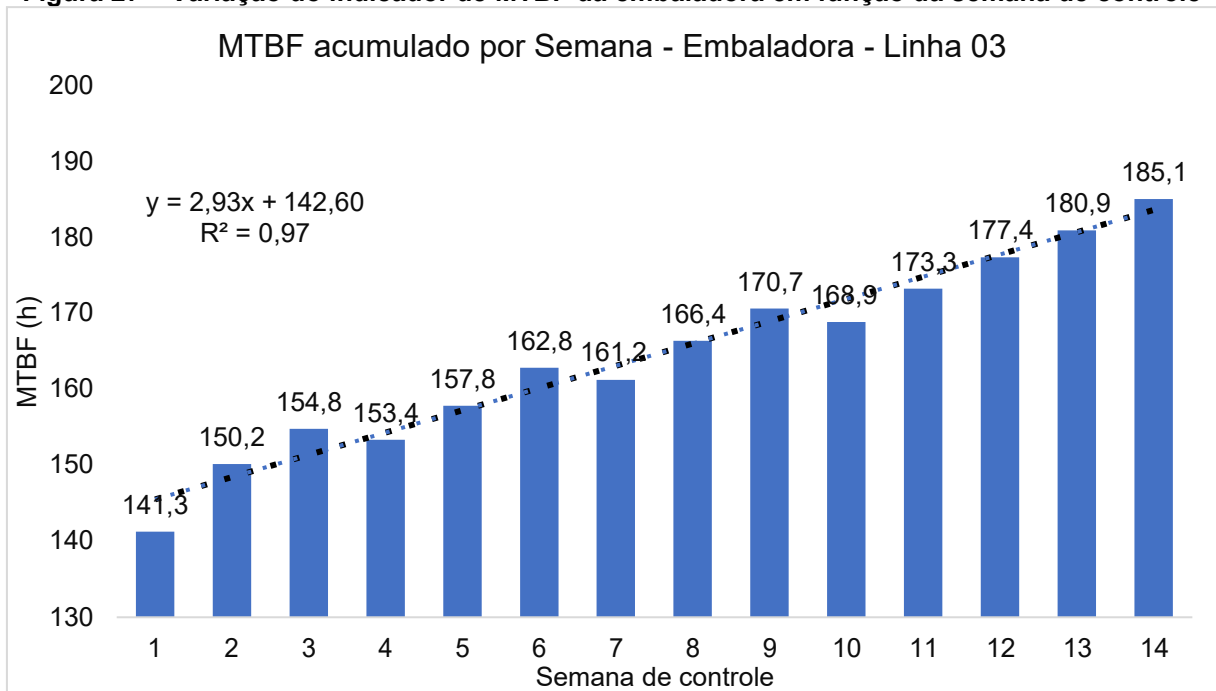


Fonte: Autoria própria (2022)

4.6 Verificação

Após a execução das tarefas propostas no plano de ação, os indicadores de MTBF e MTTR dos equipamentos priorizados foram acompanhados. Como resultado, a figura 27 apresenta a variação do indicador de MTBF da embaladora da linha 03. Percebe-se uma tendência de aumento do MTBF, sendo um resultado de que indica a melhoria e assertividade das ações realizadas pelo planejamento (TELES, 2019). Além disso, o coeficiente de determinação resultou em 0,97, que significa que a equação da linha de tendência se ajusta muito bem aos dados. Esse resultado é de extrema importância para a tomada de decisão na etapa de padronização do ciclo PDCA, pois indica que as ações propostas, de fato, implicaram na melhoria da embaladora da linha 03 e, de acordo com o diagrama de Pareto de todas as embaladoras, apresentado previamente na figura 21, as falhas identificadas na linha 03 também são impactantes nas demais embaladoras do setor. Portanto, as ações podem ser implementadas com abrangência.

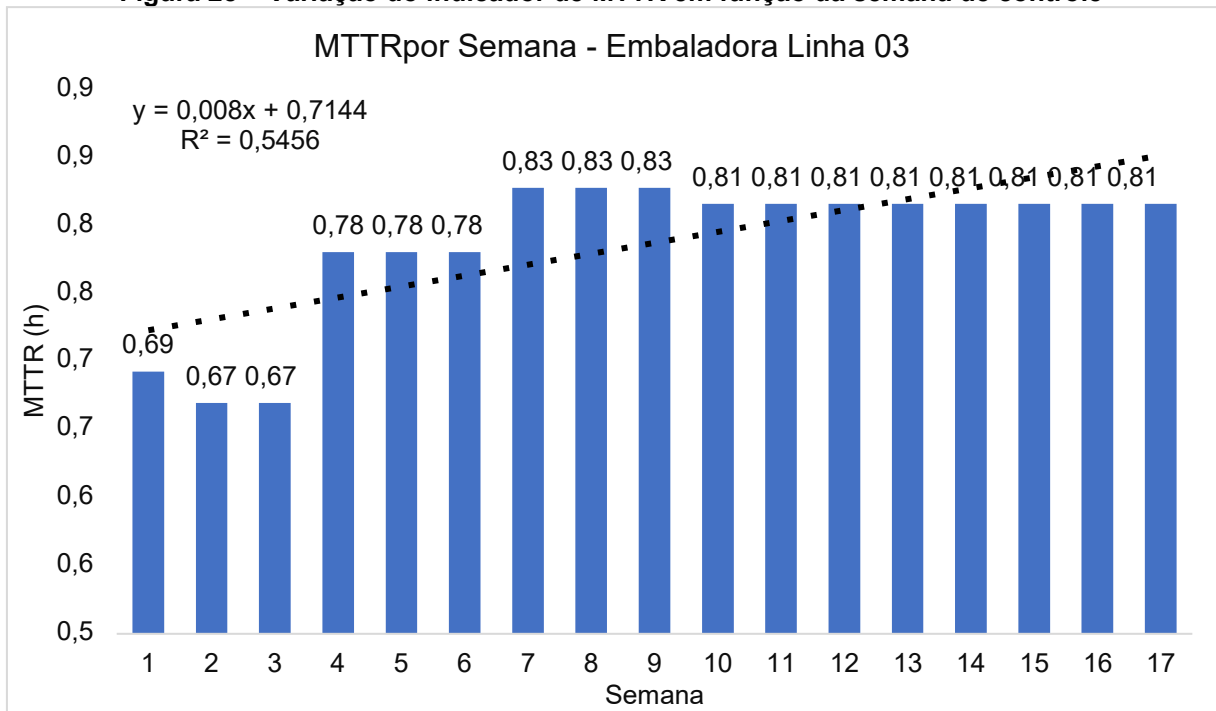
Figura 27 – Variação do indicador de MTBF da embaladora em função da semana de controle



Fonte: Autoria própria (2022)

A variação do MTTR da embaladora, apresentada na figura 28, demonstra um aumento do indicador. No entanto, esse aumento foi de 0,69 h para 0,81 h, sendo uma variação muito pequena, que não impactará de forma significativa nos resultados de indisponibilidade e perdas de produção. Além disso, o coeficiente de determinação resultou em 0,54, demonstrando que os resultados obtidos não se adequam bem à regressão linear. Portanto, a variação do MTTR não fornece impactos significativos que comprometam a abrangência das ações definidas no plano de ação.

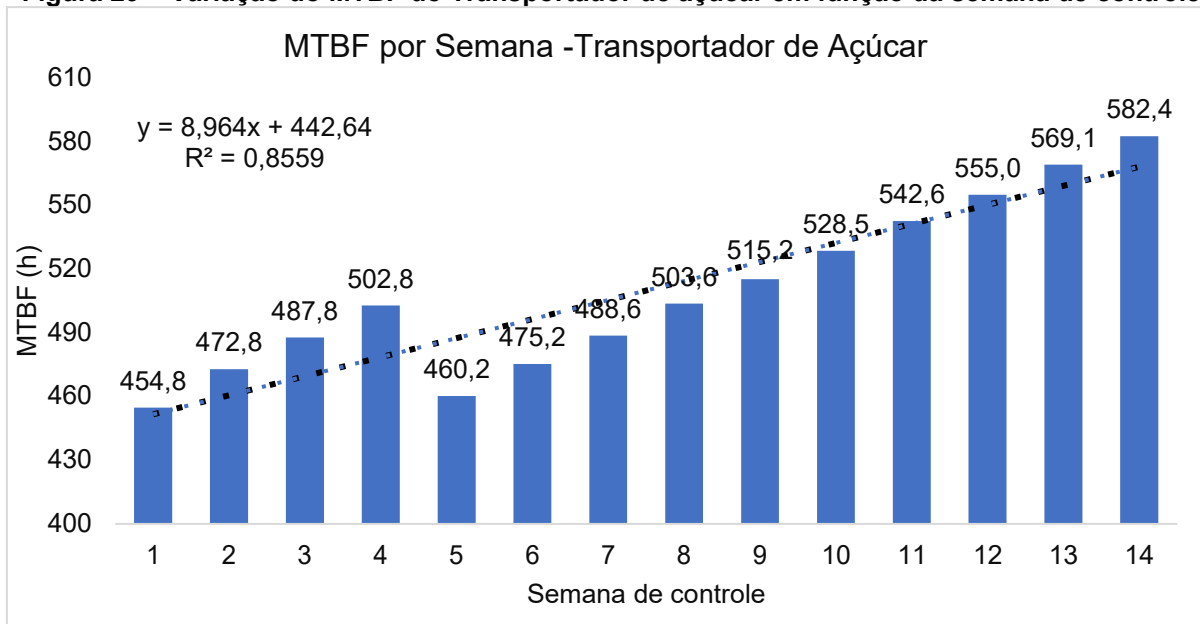
Figura 28 – Variação do indicador de MTTR em função da semana de controle



Fonte: Autoria própria (2022)

Em relação ao transportador de açúcar, percebe-se um aumento do indicador de MTBF de 454,8 h para 582,4 h, conforme a figura 29. Além disso, na semana de controle 5, percebe-se uma redução do indicador, esse impacto ocorreu devido à uma nova falha ocorrida no equipamento. No entanto, após isso, o equipamento não apresentou mais falhas, resultando em um MTBF com uma tendência de aumento, e com o coeficiente de determinação de 0,85, que representa um bom ajuste dos dados à regressão linear. Dessa forma, fica evidente que as ações realizadas no plano de ação relacionadas ao transportador de açúcar proporcionaram, de fato, melhorias no indicador.

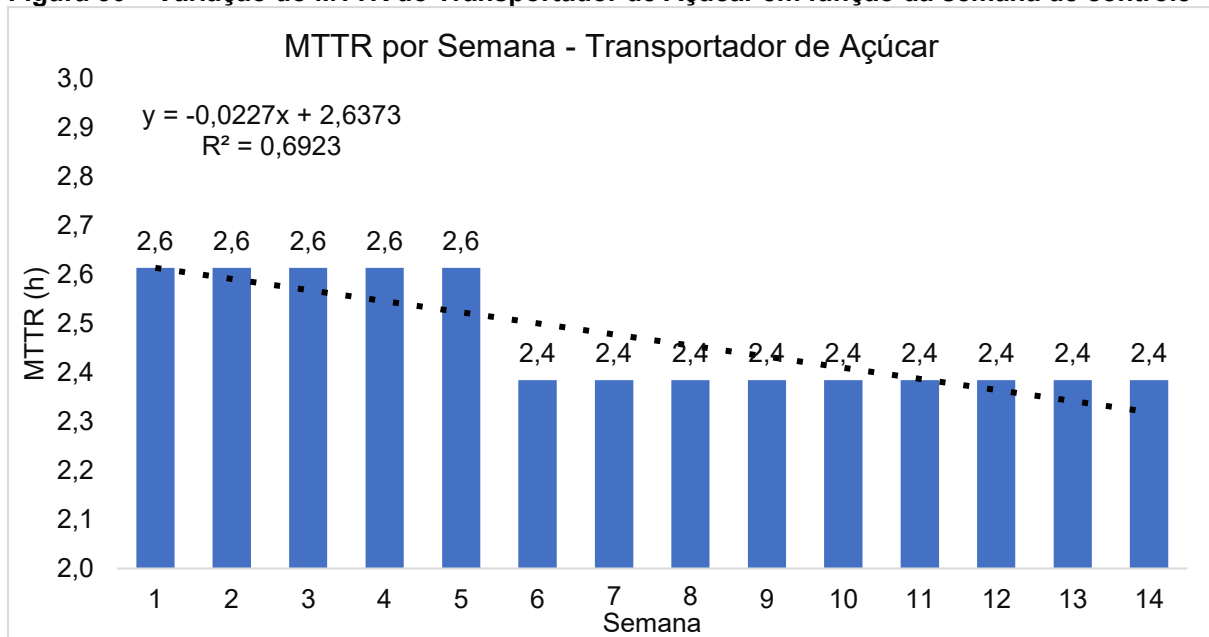
Figura 29 – Variação do MTBF do Transportador de açúcar em função da semana de controle



Fonte: Autoria própria (2022)

A variação do MTTR do transportador de açúcar apresentada na figura 30 indica uma redução. No entanto, essa redução, apesar de apresentar uma melhoria, se alterou de 2,6 h para 2,4 h, não sendo uma variação que impacte significativamente nos resultados de indisponibilidade e perdas de produção. Todavia, o gráfico apresenta uma alteração do MTTR apenas na semana 6, pois foi a única semana que ocorreu a falha no equipamento após o início do controle. Como resultado, com a tendência de aumento do indicador de MTBF e a variação desprezível do indicador de MTTR, as ações propostas no plano de ação para o transportador de açúcar serão padronizadas e mantidas.

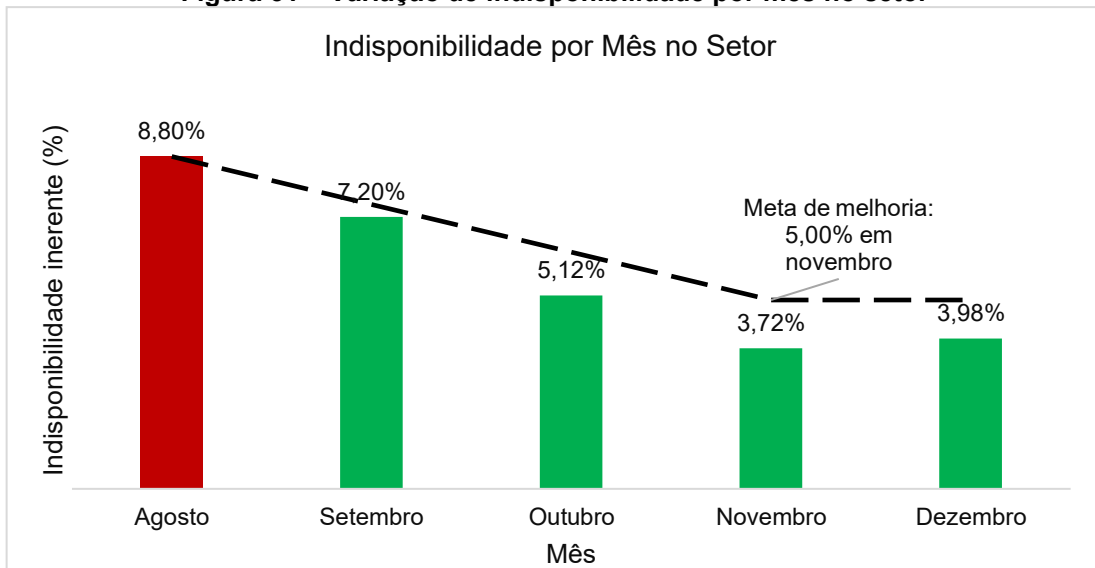
Figura 30 – Variação do MTTR do Transportador de Açúcar em função da semana de controle



Fonte: Autoria própria (2022)

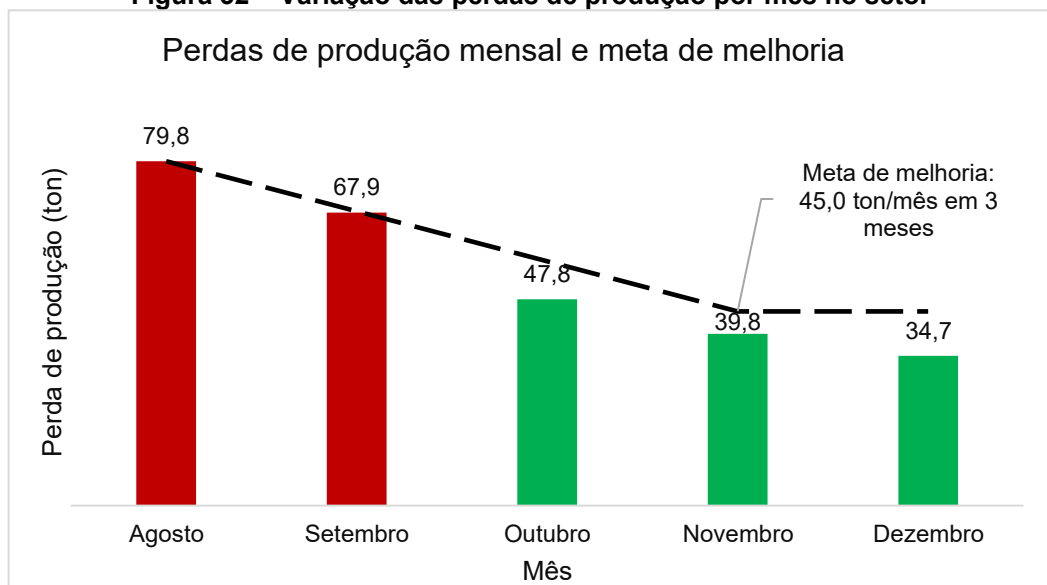
4.7 Padronização e Conclusão

Através da análise de indicadores de MTBF e MTTR na e tapa de verificação, optou-se por padronizar todas as tarefas definidas, além alimentar novamente ao plano de ação as tarefas da embaladora, porém com abrangência para as demais linhas do setor, sendo conduzidas no meses de outubro e novembro. Por fim, a figura 31 apresenta os resultados de indisponibilidade em todo o setor nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. Percebe-se uma grande redução da indisponibilidade, diminuindo de 8,8% no mês de agosto para 3,7% no mês de novembro, atendendo a meta proposta de redução para 5,0%. Além disso, pode-se evidenciar que houve uma redução do indicador de agosto para setembro, onde realizou-se as melhorias apenas na embaladora da linha 03, no entanto, só foi possível atingir a meta proposta no mês de novembro, onde deu-se o término das ações de padronização e abrangência, reforçando a importância das etapas de verificação e padronização do ciclo PDCA.

Figura 31 – Variação de indisponibilidade por mês no setor

Fonte: Autoria própria (2022)

Todavia, foi analisado as perdas de produção por mês no setor, conforme a figura 32, identificando uma redução de 79,8 ton no mês de agosto para 39,8 ton no mês de novembro, atendendo a meta de 45,0 ton/mês para o mês proposto. Assim como a indisponibilidade, essa redução só foi possível no mês de novembro, com as ações de abrangência definidas no plano de ação realizadas. No entanto, é importante ressaltar que as perdas de produção e a indisponibilidade não são proporcionais, pois a indisponibilidade depende tanto do tempo de paradas por falhas quanto do tempo planejado de produção, enquanto as perdas de produção dependem apenas do tempo de parada devido às falhas ocorridas.

Figura 32 – Variação das perdas de produção por mês no setor

Fonte: Autoria própria (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo realizar a implementação do ciclo de melhoria contínua PDCA na gestão de manutenção de uma indústria alimentícia, visando reduzir a indisponibilidade e as perdas de produção de um setor. Para isso, as etapas do ciclo foram realizadas com o auxílio de métodos e ferramentas.

Durante a etapa de definição do problema do ciclo PDCA, foi identificado que, no mês de agosto, a indisponibilidade do setor atingiu 8,8%, enquanto as perdas de produção resultaram em 79,8 ton. Foram definidas metas de melhoria visando a redução dos valores obtidos dos problemas identificados.

Na etapa de análise do fenômeno, foi realizada a estratificação por Pareto analisando todo o setor, onde foi possível identificar que as embaladoras e o transportador de açúcar concentravam 49% das perdas de produção, e que o MTBF desses equipamentos se apresentava muito menor quando comparado ao MTBF dos demais equipamentos do setor. Além disso, foi realizado o mapeamento dos principais problemas para cada equipamento analisado.

Durante a etapa de análise do processo, foi possível analisar profundamente as causas dos problemas mapeados, utilizando as ferramentas de diagramas de causa e efeito e método dos 5 porquês, definindo tarefas de contenção com a ferramenta 5W2H na etapa de definição do plano de ação. Dessa forma, as ações propostas foram realizadas durante a etapa de execução do ciclo PDCA.

Na fase de verificação, foi identificado que as ações realizadas proporcionaram um aumento no indicador de MTBF de ambos os equipamentos mapeados como críticos. Por fim, na etapa de padronização e conclusão, as ações definidas para a embaladora da linha 03 foram realizadas com abrangência nas demais linhas do setor, obtendo em 3 meses uma redução de 54,8% de indisponibilidade e 50,1% das perdas de produção no setor.

Com base nos resultados obtidos, a implementação do ciclo PDCA na indústria alimentícia se mostrou de extrema importância para a redução de custos referente às perdas de produção, permitindo a aplicação e melhoria contínua dos resultados, sendo essencial para garantir a competitividade no mercado.

Como continuação do trabalho proposto, recomenda-se o início de um novo ciclo PDCA, estabelecendo novas metas de melhoria e redefinindo os equipamentos a serem analisados através de novas coletas de dados e estratificações por Pareto.

REFERÊNCIAS

- ABIA. **Números do setor**. Disponível em: <https://www.abia.org.br/numeros-setor#:~:text=A%20ind%C3%BAstria%20brasileira%20de%20alimentos,seus%20alimentos%20para%20190%20pa%C3%ADses>. Acesso em: 01 nov de 2022.
- ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: 2007.
- ALMEIDA, P. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. São Paulo: Érica, 2015.
- ANDRADE, D. F. **Gestão pela Qualidade – Volume 3**. Editora Poisson – Belo Horizonte - MG: Poisson, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 5462: 1994. **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BELINELLI, M. M. **Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade: aplicação na indústria alimentícia**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Doutor em Engenharia. São Paulo, 2015.
- BERGAMO, M. L.; ALENCAR, R. C. G. **Gestão da manutenção: aplicação de ferramentas para melhoria contínua**. São Paulo: Atlas, 2010.
- BERTOLINO, M. T. **Gerenciamento da Qualidade na Indústria de Alimentos**. São Paulo: Artmed, 2010. 320 p.
- BRITTO, E. **Qualidade Total**. São Paulo. Cengage Learning Edições Ltda, 2016.
- CARVALHO, M. M. **Manutenção Industrial: planejamento e controle**. 2. ed. São Paulo: Erica, 2017.
- COUTINHO, T. **O que é o ciclo PDCA? Entenda o seu funcionamento!**. Voitto, 2017. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-o-ciclo-pdca>. Acesso em: 01 de novembro de 2022.
- CUNHA, J. M. C.. **Gestão de Manutenção Industrial**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.
- DHILLON, B. S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1ª. ed. New York: CRC Press, 2006.
- FALCONI CAMPOS, V. **Controle da Qualidade Total: no estilo japonês**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2013.
- FALCONI CAMPOS, V. **Gerenciamento pelas Diretrizes (Hoshin Kanri)**. 5ª. ed. Nova Lima: Falconi, 2013.
- FERREIRA, A. L. P. F.; CARVALHO, M. A. G.; MARANHÃO, R. S. **Gerenciamento de Ativos: Confiabilidade, Manutenção e Riscos**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2016.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus-Elsevier, 2011. v. 1.

FONSECA, G., SILVEIRA, A. P.. **Manutenção industrial**. Grupo A, 2018.

FRANKLIN, Y.; NUSS, L. F. **Ferramenta de Gerenciamento**, 2006. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos08/465_PA_FerramentadeGerenciamento02.pdf. Acesso em: 29 out. 2022.

GROSBELLI, A. C. **Proposta de Melhoria Contínua em um Almoxarifado Utilizando a Ferramenta 5W2H**. Medianeira: Universidade Tecnológica do Paraná. Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Produção. 2014.

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

LOBO, R. N. **GESTÃO DA QUALIDADE**. Segunda edição. Editora Saraiva, 2020.

LOPES, J. R. G.; VASCONCELOS, J. L.; MONTEVECHI, J. A. B. **Gestão de ativos: uma proposta metodológica para avaliação econômica**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MACHADO, R. C. B. et al. **Gestão de manutenção baseada na análise de falha potencial: um estudo de caso em uma indústria alimentícia**. Revista GEPROS, v. 14, n. 1, p. 53-65, 2019.

MARTINELLI, F. B. **Gestão da qualidade total**. Curitiba, PR: IESDE Brasil, 2009.

MARTINS, G. A.; DONAIRE, D. **Princípios de estatística**, 4ª edição. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2012.

MELLO, M. F. D. et al. **A importância da utilização de ferramentas da qualidade como suporte para a melhoria de processo em indústria metal mecânica - um estudo de caso**. XXXVI ENEGEP, 2016.

NASCIMENTO, G. et. al. **Estudo acerca do coeficiente de determinação nos modelos lineares e algumas generalizações**. Curitiba, 2009.

NECO, M. R. A. **Melhoria contínua: um estudo de caso sobre a implantação na área administrativa de uma empresa e os seus resultados**. Monografia (Pós graduação) - Programa de Especialização em Gestão de Negócios. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

OLIVEIRA, F. M. et al. **Engenharia de Manutenção: Conceitos, Funções e Práticas**. São Paulo: Érica, 2017.

OLIVEIRA, V. C.; PINTO, R. L. **Lucro Cessante: um método para a valoração do prejuízo econômico**. São Paulo: Atlas, 2019.

PINTO, L. H. T. **Análise de falhas: Tópicos de engenharia de confiabilidade**. 2004. Disponível em:

<http://www.mantenimentomundial.com/sites/mm/notas/failure.pdf>. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

PIRES, S. R. I. **Gestão da Manutenção: noções e práticas**. 1. ed. São Paulo: LTC, 2011.

QUEIROZ, L. M. A.; **Planejamento e Controle da Manutenção Aplicados ao Processo de Manufatura no Ramo Alimentício**. XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, CE, Brasil, 2015. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/tn_stp_206_224_28460.pdf>. Acessado em: 01 de novembro de 2022.

RAMOS, A. et al. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. 1. ed. São Paulo: Editora ATLAS S.A., 2013.

ROCHA, H. M. **Controle estatístico de qualidade. Volume único**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2019.

SANTOS, A. C. **Aplicação de ferramentas para melhoria da qualidade em uma empresa do setor cárneo localizada na cidade de Presidente Epitácio-SP**. IV EIGEDIN, 2020.

SANTOS, E. **5 Principais indicadores de manutenção com MTBF e MTTR**. Artigo publicado pelo *Field Control*, 2018.

SCARTEZINI, L. M. B. **Análise e melhoria de processos**. Goiânia, 2009.

SELL, I. **Utilização da regressão linear como ferramenta de decisão na gestão de custos**. Congresso Internacional de Custos. Florianópolis, 2005.

SILVA, L. J. **Aplicação Das Ferramentas Da Qualidade para Melhoria de Processos Produtivos Estudo de Caso em um Centro Automotivo**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Joinville, SC, 2017.

SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: gateway to world class maintenance**. 2ª. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, v. 1, 2004.

SOUZA, G. **A fórmula do sucesso/Gilson Souza**. Ed. Clube de autores. Rio de Janeiro: Instituto Souza Training, 2015.

TELES, J. **Bíblia do RCM**. 2. ed. Brasília: Editora Engeteles, 2019.

VIANA, H. R. G. **Manual da gestão de manutenção**. 1.ed. Brasília: Engeteles editora, 2020. 208p.

VIANA, H. R. G. **PCM: planejamento e controle de manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 2002. 167 p.

XENOS, H. G. D. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial, 1998.