



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME HENRIQUE SILVA MEDEIROS

**ANÁLISE E MELHORIA DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA EM UMA  
LINHA DE ENVASE DE BEBIDAS**

UBERLÂNDIA

2025

GUILHERME HENRIQUE SILVA MEDEIROS

**ANÁLISE E MELHORIA DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA EM UMA LINHA DE  
ENVASE DE BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal de  
Uberlândia como parte dos requisitos para  
a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Ferreira de  
Paula Silva

UBERLÂNDIA

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M488 Medeiros, Guilherme Henrique Silva, 2001-  
2025 Análise e Melhoria da Manutenção Autônoma em uma Linha  
de Envase de Bebidas [recurso eletrônico] / Guilherme  
Henrique Silva Medeiros. - 2025.

Orientador: Sérgio Ferreira de Paula Silva.  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em  
Engenharia Elétrica.  
Modo de acesso: Internet.  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Engenharia elétrica. I. Silva, Sérgio Ferreira de  
Paula, 1973-, (Orient.). II. Universidade Federal de  
Uberlândia. Graduação em Engenharia Elétrica. III.  
Título.

CDU: 621.3

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a minha mãe Alyne e meu pai Erivaldo, que não me deixaram desanimar e desistir mesmo nos momentos mais difíceis da minha formação acadêmica, me dando todo apoio necessário para chegar até o final desta jornada cheia de lutas e aprendizados.

Agradeço a todos os professores da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU, que compartilharam seus conhecimentos e permitiram que eu pudesse chegar na conclusão do curso.

Agradeço também ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Ferreira de Paula Silva, por agregar o trabalho com seu conhecimento na área e pelo interesse e disponibilidade em auxiliar na conclusão do trabalho.

Por fim, agradeço a todos de alguma forma contribuíram para a elaboração do trabalho e tornaram ele possível de ser realizado.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. DEFINIÇÃO DE MANUTENÇÃO .....	12
2.1 CONTEXTO INDUSTRIAL.....	13
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	15
2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA.....	16
2.2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA.....	17
2.2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	18
2.2.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	19
2.2.5 MANUTENÇÃO DETECTIVA .....	21
2.2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO .....	21
2.3 FORMAS DE ANÁLISE PREDITIVA.....	22
2.3.1 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO.....	22
2.3.2 TERMOGRAFIA .....	23
2.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO.....	24
2.4.1 MTBF .....	25
2.4.2 MTTR .....	25
2.4.3 Disponibilidade .....	25
2.4.4 OEE.....	25
2.4.5 BACKLOG DE MANUTENÇÃO .....	26
3. TPM E A MANUTENÇÃO AUTÔNOMA.....	27
3.1 DEFINIÇÃO E PRINCÍPIOS DA TPM .....	29
3.2 A BUSCA PELA EFICÁCIA GERAL DO EQUIPAMENTO .....	30
3.3 ZD (ZERO DEFEITOS) E A TPM .....	31
3.4 PRINCIPAIS PERDAS A SEREM TRATADAS NA TPM.....	32
3.5 CINCO MEDIDAS PARA ELIMINAR AS QUEBRAS.....	33
3.6 AS CINCO ATIVIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO DA TPM .....	33
3.7 OITO PILARES DA TPM.....	34
3.7.1 EDUCAÇÃO E FORMAÇÃO .....	35
3.7.2 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA .....	35
3.7.3 MELHORIA DO EQUIPAMENTO .....	39
3.7.4 MANUTENÇÃO PLANEJADA.....	40

3.7.5 CONTROLE INICIAL .....	40
3.7.6 MANUTENÇÃO DA QUALIDADE .....	41
3.7.7 SEGURANÇA, SAÚDE E MEIO AMBIENTE.....	42
3.7.8 DEPARTAMENTOS ADMINISTRATIVOS .....	42
3.8 DOZE PASSOS DO DESENVOLVIMENTO DA TPM .....	43
3.9 DIFICULDADES NA IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA ..	45
<b>4. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO INICIAL .....</b>	<b>45</b>
4.1 ESTRUTURA DA LINHA DE PRODUÇÃO E FUNCIONAMENTO OPERACIONAL .....	46
4.2 FERRAMENTAS DE GESTÃO UTILIZADAS .....	47
4.3 MANUTENÇÕES ELÉTRICAS REALIZADAS .....	48
<b>5. DADOS E INDICADORES .....</b>	<b>50</b>
5.1 ANÁLISE DE DADOS .....	50
5.2 INDICADORES FOCO.....	54
<b>6. COMPARAÇÃO COM OS PASSOS DA MANUTENÇÃO AUTONOMA .....</b>	<b>54</b>
<b>7. PLANEJAMENTO E MELHORIAS .....</b>	<b>55</b>
7.1 PLANEJAMENTO (PLAN) .....	57
7.2 EXECUÇÃO (DO) .....	61
7.3 VERIFICAÇÃO (CHECK).....	64
7.4 AÇÃO (ACT) .....	66
<b>8. CONCLUSÕES E RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico da manutenção corretiva não planejada.....	17
Figura 2 - Gráfico da manutenção preventiva. ....	19
Figura 3 - Gráfico da manutenção preditiva. ....	20
Figura 4 - Equipamento de medição de vibração. ....	23
Figura 5 - Medição por termografia. ....	24
Figura 6 - Distribuição das seis grandes perdas e seus impactos na OEE. ....	26
Figura 7 - Estruturação da primeira fase da TPM. ....	29
Figura 8 - Fluxograma da linha de produção.....	47
Figura 9 - Macro e micro paradas de setembro de 2024.....	51
Figura 10 - Disponibilidade de máquina em setembro de 2024. ....	51
Figura 11 - Situação das paradas em setembro de 2024.....	52
Figura 12 - Macro e micro paradas em outubro de 2024. ....	52
Figura 13 - Disponibilidade de máquina em outubro de 2024. ....	53
Figura 14 - Situação das paradas em outubro de 2024. ....	53
Figura 15 - Indicadores iniciais no LMS. ....	54
Figura 16 - Mapeamento de processos.....	57
Figura 17 - Diagrama de Ishikawa.....	60
Figura 18 - Treinamento operacional de CIL. ....	62
Figura 19 - Acompanhamento do Smartcheck. ....	65
Figura 20 - Evolução final do smartcheck. ....	68
Figura 21 - Indicadores finais do trabalho. ....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre input e output na produção.....	31
Tabela 2 - Matriz GUT de priorização.....	61
Tabela 3 - Planejamento operacional do PCM. ....	63
Tabela 4 - Acompanhamento de notas SAP. ....	66

## Lista de Siglas

- TPM – *Total Productive Maintenance*.  
OEE – Eficiência Global dos equipamentos  
PCM – Planejamento e Controle de Manutenção  
CIL – Limpeza, inspeção e lubrificação.  
DM – Disponibilidade de máquina.  
RCM – *Reliability Centered Maintenance*  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
IOT – Internet Das Coisas  
MTBF – Tempo Médio Entre Falhas  
MTTR – Tempo Médio Para Reparo  
TPS – *Toyota Production System*  
ZD – Zero Defeitos  
LMS – *Line Monitoring System*  
PL - Paletizadora  
ECX - Encaixotadora  
DCX - Desencaixotadora  
DPL - Despaletizadora  
PZ - Pasteurizador  
ECH – Enchedora  
LGF – Lavadora de Garrafas  
ROT - Rotuladora  
UIP – Inspetor eletrônico  
OAE – Eficiência Geral  
IHM – Interface Homem Máquina  
CLP – Controlador Lógico Programável  
MTBF – Tempo médio entre falhas  
MTTR – Tempo médio de reparo  
GUT – Gravidade, Urgência e Tendência

## Resumo

O presente trabalho pretende analisar e propor melhorias na manutenção autônoma aplicada em uma linha de envase de bebidas de grande porte, com foco na eficiência operacional e redução de paradas não programadas. Inicialmente, é apresentada uma revisão geral sobre manutenção industrial, abordando os principais tipos, indicadores de desempenho e as estratégias de manutenção mais utilizadas. Em seguida, o estudo se aprofunda na manutenção autônoma, destacando seus fundamentos, etapas de implementação e os desafios enfrentados na aplicação prática. O estudo inclui uma análise detalhada da linha de produção em questão, identificando lacunas e propondo ações de melhoria com base na literatura e em estudos relevantes. Os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto incluem o aumento da eficiência geral da linha de produção, maior engajamento por parte dos operadores e redução da quantidade de manutenções corretivas aplicadas. Este trabalho contribui para a compreensão e aplicação eficaz da manutenção autônoma em ambientes industriais, alinhando-se às demandas de competitividade do setor.

**Palavras-chave:** manutenção autônoma, eficiência operacional, linha de envase, TPM.

## **Abstract**

This paper aims to analyze and propose improvements in autonomous maintenance applied to a large-scale beverage bottling line, focusing on operational efficiency and reducing unscheduled downtime. Initially, a general review of industrial maintenance is presented, addressing the main types, performance indicators, and most commonly used maintenance strategies. The study then delves deeper into autonomous maintenance, highlighting its foundations, implementation steps, and challenges faced in practical application. The study includes a detailed analysis of the production line in question, identifying gaps and proposing improvement actions based on the literature and relevant studies. The results obtained in the development of the project include increased overall efficiency of the production line, greater engagement on the part of operators, and a reduction in the amount of corrective maintenance applied. This work contributes to the understanding and effective application of autonomous maintenance in industrial environments, aligning with the sector's competitiveness demands.

**Keywords:** autonomous maintenance, operational efficiency, bottling line, TPM.

## 1. INTRODUÇÃO

O ambiente industrial contemporâneo é marcado por uma crescente demanda por eficiência, qualidade e competitividade. Nesse cenário, a manutenção de equipamentos torna-se fator crucial para garantir a continuidade dos processos produtivos e a maximização do desempenho operacional. Dentre as práticas de manutenção existentes, destaca-se a manutenção autônoma, componente essencial da Manutenção Produtiva Total (TPM – *Total Productive Maintenance*), cujo objetivo é envolver operadores na conservação e no monitoramento de suas próprias máquinas, promovendo um ambiente de maior responsabilidade, conhecimento técnico e eficiência.

Este trabalho tem como objetivo principal analisar o atual estágio da manutenção autônoma em uma linha de envase e propor melhorias capazes de elevar em, no mínimo, 5% a eficiência geral da linha de produção (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*). Para tanto, serão aplicadas estratégias de controle e gestão específicas, que incluem a padronização de atividades de manutenção, o treinamento de operadores, a utilização de ferramentas de monitoramento de performance e a implementação de rotinas de inspeção e limpeza.

A relevância deste estudo está no fato de que aprimorar o desempenho da linha de envase não depende exclusivamente de grandes investimentos em novas tecnologias, mas pode ser alcançado principalmente através de uma melhor utilização dos recursos humanos e da organização das práticas de manutenção já existentes. Para isso, a metodologia proposta baseia-se em uma análise crítica dos processos atualmente empregados, buscando identificar as falhas mais recorrentes, sugerir ações corretivas e acompanhar os resultados após a implementação das melhorias, de forma a garantir um aumento real e sustentável da eficiência da linha de produção.

## 2. DEFINIÇÃO DE MANUTENÇÃO

A palavra manutenção possui uma relação com a humanidade que perdura por vários séculos, com sua origem sendo derivada de *manus tenere*, do latim, que significa “manter o que se tem” ou “ter a mão”. Conceito esse que reforça a manutenção, na prática, como a ação de preservar e cuidar de bens, visando evitar falhas e prolongar sua vida útil (UDOP, 2007).

No Brasil, a ABNT possui um papel de destaque estabelecendo as diretrizes e conceitos que regulam essa prática. Conforme a norma ABNT NBR 5462:1994, a manutenção é: “A combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida do item destinadas a mantê-lo ou devolvê-lo a um estado em que esse item possa realizar a função requerida”. A partir dessa definição, destacam-se três aspectos:

**Ações técnicas:** Elas incluem inspeções, reparos, substituições de peças e ajustes, visando restaurar ou preservar a funcionalidade do equipamento.

**Ações administrativas e de gestão:** Abrangem o planejamento, a organização e o controle das atividades de manutenção, garantindo a utilização racional dos recursos disponíveis.

**Ciclo de vida do item:** Envolve todas as etapas do equipamento, desde sua implementação até seu descarte, ressaltando a importância dos vários tipos de manutenção ao longo do tempo.

A manutenção é uma atividade crucial em todos os meios de produção existentes na atualidade e desempenham um papel fundamental nas operações. Ela pode ser considerada um trabalho contínuo para garantir que não existam problemas de disponibilidade e eficiência dos equipamentos, amenizando a ocorrência de falhas inesperadas, assim sendo, a prática da manutenção não apenas protege os investimentos no setor produtivo, mas também aumenta a produtividade e a segurança das pessoas.

## **2.1 CONTEXTO INDUSTRIAL**

A indústria está presente desde os primórdios da civilização, quando o ser humano passou a transformar matérias-primas em bens mais sofisticados, mesmo que ainda bem rústicos em seu início. Ao longo dos anos esse cenário foi se aprimorando cada vez mais, porém foi apenas com a Primeira Revolução Industrial, ocorrida na segunda metade do século XVIII, na Inglaterra, que a manutenção tomou uma forma mais parecida com o que conhecemos hoje em dia. Nesse período, tivemos a marcante mecanização dos processos produtivos por meio das máquinas a vapor, algo que influenciou muito a capacidade de produção, de movimentação e de transporte das mercadorias, uma mudança que acarretou diversos impactos e transformações sociais, econômicas e culturais.

Naquela época, aquele que projetava as máquinas, treinava as pessoas para operarem e consertarem, intervindo apenas em casos mais complexos. Até então, o operador era o mantenedor - mecânico. Somente no último século, quando as máquinas passam a ser movidas, também, por motores elétricos, é que surge a figura do mantenedor eletricista (WIREBSK, 1997).

A Segunda Revolução Industrial, que ocorreu no século XIX, trouxe consigo a utilização da energia elétrica, das fontes advindas do petróleo e a utilização do aço, o que na época foram grandes impulsionadores do progresso tecnológico. Como uma das suas principais ideologias surgidas nessa época, pode-se citar o Fordismo, desenvolvido por Henry Ford, que deu surgimento as linhas de produção em um sistema de produção em massa. Com o aumento da complexidade dos sistemas utilizados na indústria a manutenção se tornou ainda mais essencial, necessitando uma maior especialização e técnicas avançadas, resultando no surgimento de abordagens mais recorrentes e organizadas, que contribuíam para um melhor funcionamento dos equipamentos.

A história da manutenção acompanha o desenvolvimento técnico-industrial da humanidade. No fim do século XIX, com a mecanização das indústrias, surgiu a necessidade dos primeiros reparos. Até 1914, a manutenção tinha importância secundária e era executada pelo mesmo efetivo de operação. Com o advento da Primeira Guerra Mundial e a implantação da produção em série, instituída por Ford, as fábricas passaram a estabelecer programas mínimos de produção e, em consequência, sentiram necessidade de criar equipes que pudessem efetuar reparos em máquinas operatrizes no menor tempo possível. Assim surgiu um órgão subordinado à operação, cujo objetivo básico era de execução da manutenção, hoje conhecida como corretiva (TAVARES, 1998).

Por conseguinte, já na segunda metade do século XX, a Terceira Revolução Industrial trouxe características muito presentes no dia a dia das indústrias brasileiras atualmente, como a automação, o desenvolvimento da eletrônica e a aplicação da computação, o que permitiu um avanço para a indústria, permitindo maior controle sobre os processos produtivos e aumentando muito a eficiência. Com todas essas mudanças e a aplicação de tecnologias nunca vistas, novas demandas de manutenção, como, por exemplo, prevenção de falhas em sistemas automatizados e o suporte a dispositivos de controle tiveram seu surgimento, o que gradativamente acabou gerando o início da utilização que conhecemos hoje em dia como manutenção

preventiva e preditiva, tipos esses que garantiam uma maior previsibilidade das possíveis falhas do sistema e uma maior eficiência fabril.

A partir de 1966, com a difusão dos computadores, o fortalecimento das Associações Nacionais de Manutenção, criadas no fim do período anterior, e a sofisticação dos instrumentos de proteção e medição, a Engenharia de Manutenção passou a desenvolver critérios de predição ou previsão de falhas, visando a otimização da atuação das equipes de execução de manutenção. Esses critérios, conhecidos como Manutenção Preditiva ou Previsiva, foram associados a métodos de planejamento e controle de manutenção automatizados, reduzindo os encargos burocráticos dos executantes de manutenção (TAVARES, 1998).

Por fim, atualmente, vivemos na Quarta Revolução Industrial, conhecido também como Industria 4.0, que contém grande presença da digitalização e integração de novas tecnologias ainda em desenvolvimento, como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, manufatura aditiva, o que certamente necessita de técnicas e mão de obra muito especializada quando se trata de manutenção, assim sendo, a utilização de sistemas de monitoramento remoto e análise de dados em tempo real permite que a manutenção, principalmente a preditiva tenha muitas ferramentas para garantir um patamar de cuidado muito elevado com os equipamentos.

## 2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Segundo (KARDEC; NASCIF,2009), a forma com que as ações são realizadas nos equipamentos é o que gera uma classificação dos tipos de manutenção, entretanto, não se deve confundir as ferramentas utilizadas hoje em dia, como a técnica TPM ou a RCM (Manutenção Centrada na Confiabilidade) com os tipos de manutenção, apesar de elas possuírem o nome em sua denominação, portanto, uma representação mais específica da classificação pode ser vista visualizada abaixo:

- Manutenção Corretiva Não Planejada: Ação após a ocorrência, sem planejamento.
- Manutenção Corretiva Planejada: Ação planejada em função de inspeção ou acompanhamento preditivo.

- Manutenção Preventiva: Ação planejada com intervalos definidos em plano.
- Manutenção Preditiva: Inspeção ou acompanhamento dos parâmetros físicos.
- Manutenção Detectiva: Inspeção para a detecção de falhas ocultas.

Fonte: (KARDEC; NASCIF, 2009)

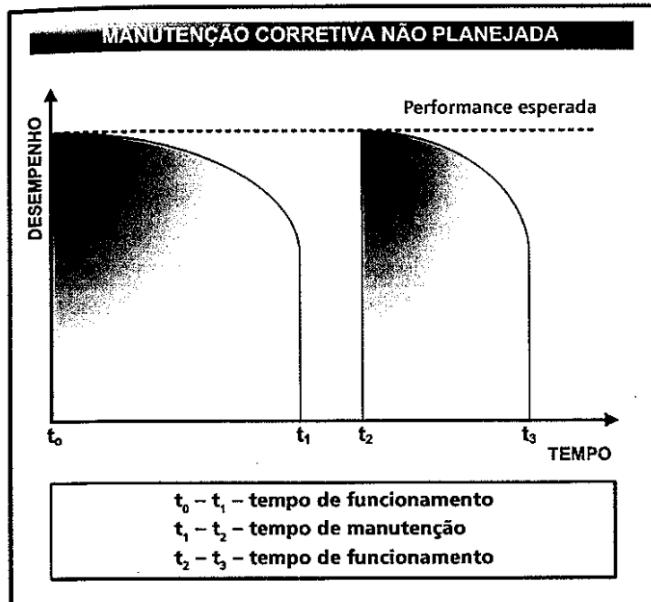
### **2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA**

A manutenção corretiva é decorrente de um problema ou desempenho abaixo do esperado em um equipamento, sendo a não planejada a mais crítica delas, também conhecida por Manutenção Emergencial. Geralmente, esse tipo de procedimento está ligado a altos custos inesperados, pois além da compra de uma peça feita de última hora, a linha de produção pode ficar totalmente inoperante devido à quebra de um equipamento importante.

Esse modelo de ação, mesmo com as diversas aplicações tecnológicas de detecção de falhas e desgastes utilizadas hoje em dia ainda ocorre com frequência na indústria, entretanto, uma empresa que possui muitas ocorrências de Manutenções Corretivas Não Planejadas acaba ficando refém de seus equipamentos, resultando em uma situação pouco competitiva para o mercado cada vez mais focado em eficiência.

Como pode ser visto na Figura 1, outro ponto negativo desse tipo de manutenção é que certos tipos de equipamentos, em decorrência da falha repentina que gerou a necessidade de atuar na máquina, podem apresentar um desempenho reduzido mesmo após a correção da falha, ou seja, o defeito crítico acabou reduzindo a vida útil do maquinário. A curva mostra como, após o primeiro desligamento, representado em  $t_1$ , o tempo entre  $t_2$  e  $t_3$  ficou significativamente menor que o entre  $t_0$  e  $t_1$ .

Figura 1 - Gráfico da manutenção corretiva não planejada.



Fonte: (KARDEC; NASCIF, 2009)

## 2.2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA

Assim como a Manutenção Emergencial, a do tipo corretiva planejada busca aumentar um desempenho que não está de acordo com o padrão ou corrigir falhas decorrentes do processo de produção, entretanto, o grande diferencial deste modelo é o planejamento, que na grande maioria dos casos acaba tornando todo o processo de manutenção mais rápido, mais barato e com uma qualidade bem acima do tipo comentado anteriormente.

Esse tipo de ação geralmente se beneficia muito da prática conjunta da Manutenção Preditiva, pois com base nos padrões já identificados anteriormente pelos técnicos da empresa, é possível saber se o sistema está ou não operando conforme o esperado e assim, preparar uma manutenção que visa evitar que grandes falhas impactem o funcionamento da indústria.

Quanto maiores forem as implicações da falha na segurança pessoal e operacional, nos seus custos intrínsecos, nos compromissos de entrega da produção, maiores serão as condições de adoção da política de manutenção corretiva planejada (KARDEC; NASCIF, 2009).

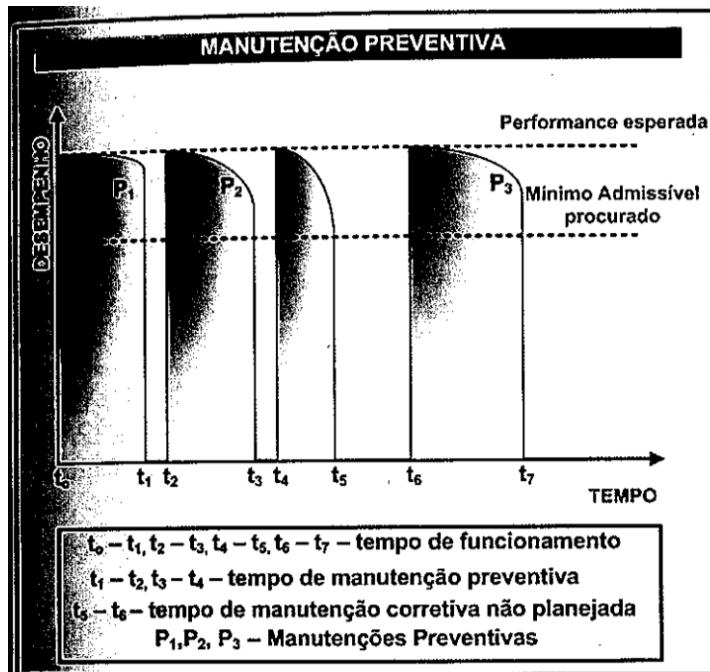
### **2.2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

Pode-se dizer que, o principal foco da Manutenção Preventiva é evitar a necessidade da Manutenção Corretiva, visto que, essa abordagem procura diminuir a quantidade de falhas em equipamentos e sistemas da indústria, o que é realizado por meio de intervenções recorrentes e planejadas, cujo objetivo é garantir a confiabilidade e eficiência da máquina, reduzindo assim a quantidade de paradas inesperadas.

Dentre as atividades executadas pelo time de preventiva de uma indústria estão inspeções técnicas, lubrificação de partes móveis, ajustes, calibrações e substituição de partes que já apresentam seu desgaste confirmado ou pelas análises, ou pela vida útil esperada. Esse tipo de estratégia pode aumentar muito a durabilidade dos equipamentos, reduzir os custos advindos das falhas emergenciais e melhorar as condições de segurança para o operador.

Apesar de ser uma técnica com várias vantagens, alguns pontos também afetam negativamente a planta industrial se o planejamento não for feito da melhor maneira possível. O aparecimento de falhas antes do período estimado pode gerar custos não previstos, a reposição de componentes que não haviam atingido seu limite da vida útil também afetará de forma negativa no orçamento para manutenções, além de que, durante a realização dos serviços a máquina deverá ser desligada, impactando a produção mesmo que nenhuma falha crítica aconteceu, e além de tudo, mesmo com as práticas executadas com perfeição uma falha ainda poderá acontecer e deixar indisponível todo o sistema, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Gráfico da manutenção preventiva.



Fonte: (KARDEC; NASCIF, 2009)

O gráfico mostra uma situação em que, mesmo com a aplicação correta da preventiva e que causou melhorias instantâneas no desempenho, ainda houve uma falha inesperada que deixou o sistema indisponível pelo tempo t<sub>5</sub> a t<sub>6</sub>, sendo um período muito maior que o tempo da preventiva visto entre t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub>.

Se, por um lado, a manutenção preventiva proporciona um conhecimento prévio das ações, permitindo uma boa condição de gerenciamento das atividades e nivelamento de recursos, além de previsibilidade de consumo de materiais e sobressalentes, por outro promove, por norma, a retirada do equipamento ou sistema de operação para execução dos serviços programados. Assim, possíveis questionamentos à política de manutenção preventiva sempre serão levantados em equipamentos, sistemas ou plantas onde o conjunto de fatores não seja suficientemente forte ou claro em prol dessa política (KARDEC; NASCIF, 2009).

## 2.2.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA

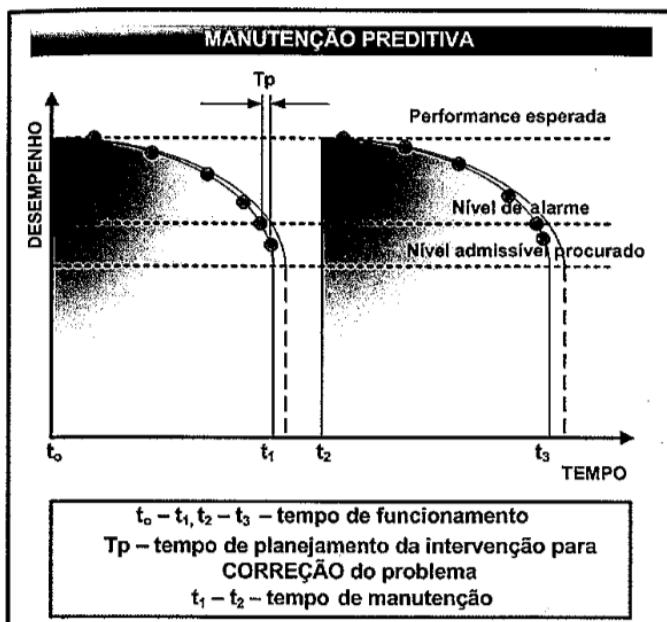
A Manutenção Preditiva é uma estratégia de gerenciamento de manutenção avançada, que utiliza o monitoramento contínuo e periódico dos equipamentos, o que

com o tempo visa prever falhas antes que aconteçam e corrigir a situação de operação fora do comum, em alguns casos por meio de uma Manutenção Corretiva Planejada.

Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas por meio de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preditiva é o predizer as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo (KARDEC; NASCIF, 2009).

Por meio do monitoramento das condições do dispositivo, é possível analisar quando o nível de desgaste chega a patamares críticos, como visto no nível de alarme da Figura 3, sendo necessária a intervenção planejada, mantendo assim o equipamento sempre em condições desejadas para o funcionamento.

Figura 3 - Gráfico da manutenção preditiva.



Fonte: (KARDEC; NASCIF, 2009)

Entretanto, assim como na Manutenção Preventiva, esse modelo de atuação também possui alguns pontos negativos, como, por exemplo, a necessidade de um equipamento que permita a instalação dos dispositivos de medição, o que nem sempre é possível; nem todos os equipamentos poderão ser acompanhados, devido aos altos custos do monitoramento e das análises; algumas falhas não podem ser

previstas com as técnicas de monitoramento mais convencionais, tornando a técnica ineficiente em situações específicas; é necessária a realização e cumprimento de um plano de verificação e levantamento dos diagnósticos frequente para que a técnica seja realmente impactante na indústria.

### **2.2.5 MANUTENÇÃO DETECTIVA**

Embora seja uma metodologia introduzida no ambiente industrial a menos tempo que os demais citados anteriormente, a Manutenção Detectiva apresenta um papel muito importante em sistemas de proteção, comando e controle, tendo em vista que possibilita a detecção de falhas não tão simples de serem descobertas e que passariam despercebido por operadores ou profissionais da manutenção.

Realizada por meio de inspeções regulares e testes periódicos, esse tipo de prática é fundamental em indústrias que necessitam de uma alta confiabilidade operacional, como, por exemplo, setores de energia, petroquímica, aviação e farmacêutica, desempenhando um papel crucial na prevenção de falhas e um processo seguro para as operações.

### **2.2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO**

De acordo com (KARDEC; NASCIF, 2009), a aplicação da engenharia de manutenção representa uma quebra de paradigma na manutenção, aplicando mudanças culturais no ambiente industrial e servindo como um suporte técnico para a manutenção, na medida em que consolida melhorias e implanta rotinas, sendo suas principais atribuições relacionadas à:

- Aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.
- Desenvolvimento de uma melhor manutenibilidade.
- Melhorar as condições de segurança para a operação.
- Executar melhorias na capacitação dos funcionários.
- Realizar a gestão de materiais e seus estoques.
- Auxiliar na execução das atividades de manutenção.
- Eliminar problemas crônicos.
- Realizar análise de falhas e estudo sobre causas.

- Criação de planos de manutenção.
- Gerenciar documentação técnica dos equipamentos.
- Contribuição em novos projetos relacionados com a engenharia.

A Engenharia de Manutenção possui uma relação estratégica com as técnicas de manutenção, definindo quando e como cada uma será aplicada, para coordenar e promover uma gestão integrada e eficiente da manutenção segundo os objetivos estratégicos da empresa, o que envolve diversas técnicas de diagnóstico, ferramentas de gestão e metodologias de análise de dados para desenvolver os planos de manutenção.

### **2.3 FORMAS DE ANÁLISE PREDITIVA**

Considerando o que foi apresentado durante o tópico 2.3 Tipos de Manutenção, a Manutenção Preditiva é a que apresenta resultados práticos mais impactantes na indústria, sendo uma metodologia muito aplicada atualmente. Tendo isso em mente, cabe avaliar mais especificadamente quais as formas modernas de se realizar os monitoramentos, tendo em vista que essas técnicas são diversas.

Existem cinco técnicas não destrutivas usadas normalmente para gerência de manutenção preditiva: monitoramento de vibração (com espectros de corrente elétrica), monitoramento de parâmetro de processo, termografia, tribologia e inspeção visual. Cada técnica tem um conjunto único de dados que assistirá o gerente de manutenção na determinação da necessidade real de manutenção (ALMEIDA, 2000).

Como foco do trabalho, serão detalhados os seguintes tópicos: análise de vibração e termografia, pois as demais técnicas, inspeção visual e monitoramento de parâmetros de processo acabam sendo muito específicas de cada tipo de produção, enquanto as demais se enquadram em contextos mais generalistas.

#### **2.3.1 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO**

Está entre as técnicas mais utilizadas na manutenção preditiva em indústrias que visam monitorar e identificar falhas em máquinas e equipamentos rotativos, como, por exemplo, motores, bombas, compressores, redutores e ventiladores.

Todos os componentes de um conjunto possuem uma frequência de vibração diferente em relação aos demais, que podem ser isoladas dentro do espectro de

frequência, identificadas e analisadas em suas características particulares. As características de vibração, com amplitude e frequência, deverão permanecer constantes até que se ocorram alterações na integridade do componente ou mudança da dinâmica operacional (CARDOSO, 2020).

A análise de vibração, utiliza a implementação de sensores em pontos estratégicos de um equipamento, isso buscando identificar variações nas frequências de vibração, em que cada tipo de divergência do padrão representa um problema na máquina, como desgastes de rolamentos, falhas de lubrificação, eixos danificados, folgas em componentes mecânicos etc.

*Figura 4 - Equipamento de medição de vibração.*



Fonte: ACOEM, 2025

### **2.3.2 TERMOGRAFIA**

A termografia é uma técnica de manutenção preditiva que consiste em utilizar câmeras termográficas, que operam captando a radiação infravermelha emitida pelos objetos, para identificar pontos de anomalias térmicas nos equipamentos. Por meio dos dispositivos que possuem essa tecnologia, é possível detectar variações de temperatura por meio de um espectro de cores, e assim sendo possível identificar problemas como, por exemplo, um superaquecimento em apenas um ponto específico ou falhas de isolamento térmico.

As câmeras termográficas possuem a capacidade de inspecionar infraestruturas voltadas para eletricidade, podendo identificar superfícies com resistências fora do padrão, o que considerando a lei de ohm ( $V = R \times I$ ), para uma mesma tensão de alimentação, uma resistência menor causaria uma corrente maior e consequentemente uma temperatura maior na região, sendo possível a detecção

pelo aparelho, um recurso muito importante quando se lida com circuitos elétricos na indústria. Além disso, estruturas que necessitam de isolamento ou que possuam peças móveis que mantenham contato com outras e apresentam aquecimento podem ser vistoriadas.

*Figura 5 - Medição por termografia.*



Fonte: MAPFRE GLOBAL RISKS, 2025

Por fim, a termografia também auxilia no aumento da eficiência energética dos processos realizados nas fábricas, pois fontes de aquecimento indesejadas significam perdas de energia, assim sendo, ao identificar e realizar a manutenção de equipamentos com problemas que apresentem elevação da temperatura também é possível considerar que uma gestão da energia foi feita.

## 2.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Os indicadores de manutenção são ferramentas essenciais para avaliar a eficiência e a qualidade das práticas de manutenção em uma indústria. Por meio desses dados, é possível desenvolver estratégias que auxiliam em uma gestão mais eficiente dos meios de produção, podendo assim reduzir custos, melhorar a confiabilidade dos equipamentos e aumentar significativamente a produtividade. Existem diversos indicadores muito utilizados atualmente, entretanto, o seguinte trabalho tratará apenas dos indicadores que serão vistos na parte prática, o MTBF, MTTR, OEE, disponibilidade de máquina e backlog de manutenção.

#### 2.4.1 MTBF

MTBF (*Mean Time Between Failures*), representa o tempo médio entre falhas e mede a confiabilidade do equipamento, ou seja, de quanto em quanto tempo o equipamento apresentará um, sendo representado pela seguinte fórmula:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo Total de Operação}}{\text{Número de Falhas}} \quad (1)$$

Fonte: MEAN, M. T. T. R, 2003.

#### 2.4.2 MTTR

MTTR (*Mean Time to Repair*), esse indicador mede o tempo médio para a realização de um reparo, representando assim a eficiência da manutenção corretiva presente no ambiente industrial, é representada pela seguinte fórmula:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Reparo}}{\text{Número de Reparos}} \quad (2)$$

Fonte: MEAN, M. T. T. R, 2003.

#### 2.4.3 DISPONIBILIDADE

Disponibilidade de máquina ou Disponibilidade Operacional é um indicador bem simples, medindo quanto tempo o equipamento está apto para uso em relação ao tempo parado, seja esse por falha própria, acúmulo ou falta em uma linha de produção.

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

Fonte: MEAN, M. T. T. R, 2003.

#### 2.4.4 OEE

OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), é uma técnica muito utilizada nas indústrias para auxiliar na gestão industrial, tendo em vista que possibilita avaliar a eficiência de equipamentos ou processos de produção, isto é feito por meio de um sistema que relaciona a disponibilidade, o desempenho e a qualidade do produto.

$$OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade.} \quad (4)$$

O OEE teve origem na TPM – *Total Productive Maintenance*, parte integrante do TPS – *Toyota Production System* e o seu criador, Seiichi Nakajima, desenvolveu-o como meio de quantificar não apenas o desempenho dos equipamentos, mas também como métrica da melhoria contínua dos equipamentos e processos produtivos (DA SILVA, 2008)

Um exemplo de cálculo de OEE é uma linha de produção que obteve cerca de 90% de produtos com qualidade, com apenas 5% de falhas, ou seja, 95% de disponibilidade com uma eficiência de 97%. Sua OEE será:

$$OEE = 95 \times 97 \times 90 = 82,93\%$$

Entre as causas que podem reduzir o coeficiente do OEE, destacam-se seis principais fatores responsáveis por essa diminuição, entre eles:

- Falhas/avarias – Impacta na disponibilidade
- Mudanças de equipamentos/ajustes – Impacta na disponibilidade
- Espera/paradas não programadas – Impacta na eficiência
- Redução da velocidade nominal – Impacta na eficiência
- Defeitos/retrabalho – Impacta na qualidade
- Perdas de arranque – Impacta na qualidade

Figura 6 - Distribuição das seis grandes perdas e seus impactos na OEE.



Fonte: DA SILVA, 2008.

#### 2.4.5 BACKLOG DE MANUTENÇÃO

Backlog de manutenção é simplesmente o termo que se refere a uma lista acumulada de tarefas de manutenção que precisam ser realizadas em um certo período, mas ainda não foram concluídas. Essa lista pode ser utilizada como um

medidor do volume de trabalho pendente, podendo auxiliar na priorização de tarefas foco, direcionamento de times e contribuir para uma melhoria contínua do desempenho.

A técnica do backlog, se utilizada corretamente, proporciona uma série de benefícios para a unidade que resolver utilizá-la, como:

- Melhoria na organização das tarefas.
- Diminuição do tempo de parada das máquinas.
- Aumento da vida útil dos equipamentos.
- Redução dos custos de manutenção.
- Elevação da produtividade da equipe.

Para realizar o cálculo do backlog, é necessário estabelecer o período de avaliação, a soma do tempo de todas as ordens de serviço pendentes, a soma da quantidade de horas-homem disponível no período de avaliação e um fator de produtividade da equipe.

$$Backlog = \frac{\text{Horas acumuladas de serviço}}{\text{Capacidade semanal de trabalho} \times \frac{\text{Fator de produtividade}}{100}} \quad (5)$$

Um backlog maior que 1 significa que há muitas atividades de manutenção acumuladas, um backlog muito menor do que 1 pode indicar que as manutenções preventivas e preditivas não estão sendo corretamente alocadas, portanto, quanto mais próximo de 1, melhor a condição do backlog. O fator de produtividade é uma estimativa de quantos por cento das atividades a equipe consegue realizar.

### 3. TPM E A MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

A manutenção produtiva total, designada abreviadamente por TPM, é o conjunto de atividades em que mantém o compromisso voltado para o resultado. Sua excelência está em atingir a máxima eficiência do sistema de produção, maximizar o ciclo total de vida útil dos equipamentos aproveitando todos os recursos existentes, buscando perda zero. É o conceito mais moderno de manutenção. A TPM exige a participação de todos os elementos da cadeia operativa, desde o operador do equipamento, passando pelos elementos da manutenção e pelas chefias intermédias, até os níveis superiores de gestão (YAMAGUCHI, 2005).

A partir da década de 1960, já eram comuns nas operações fabris a utilização de práticas como manutenção preventiva e manutenção corretiva, e com isso, foram

surgindo novos projetos e todos para realizar a administração dessas metodologias. O grupo Toyota, mais especificadamente por meio da marca Nippon Denso, possuindo conhecimento dessas práticas mencionadas anteriormente, introduziu no mercado durante esse período a TPM (*Total Productive Maintenance*).

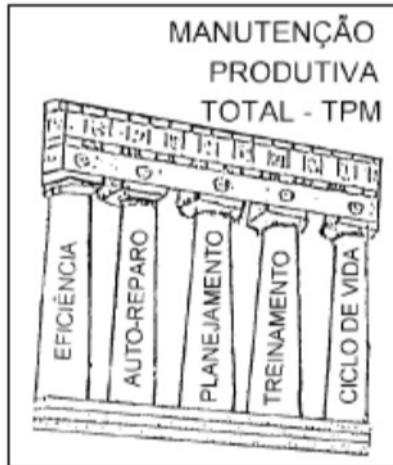
Segundo NAKAJIMA (1989), que foi o criador desse método, a transição até o surgimento do TPM ocorreu da seguinte forma: em 1953 várias empresas japonesas criaram um grupo para realizar pesquisas a respeito de manutenção preventiva, e com o andamento das pesquisas, em 1962 tiveram a ideia de realizar um estudo prático nos Estados Unidos que visava coletar dados de manutenção em equipamentos. Já em 1969 foi fundado o Instituto do Japão de Engenheiros de Fábrica (JIPE), que realizou trabalhos a respeito da manutenção preventiva com a fabricante de peças Nippon Denso, e durante essas pesquisas, a empresa optou por mudar a organização da manutenção dos equipamentos, por meio de um remodelamento da rotina de manutenção, passando a deixar que os próprios operadores cuidassem das atividades de manutenção, assim deu início a TPM.

Juntamente com o sucesso da metologia TPM, a situação econômica da época também influenciou bastante na adoção da prática nas indústrias, se tornando muito conhecida mundialmente. Posteriormente, por meio de estudos apresentados por Seiichi Nakajima nos Estados Unidos, a partir da década de 90, a prática da TPM também foi adotada nas indústrias ocidentais.

A TPM pode ser dividida em três fases principais:

Primeira fase: Com origem no Japão, teve seu foco inicial na produção, sendo caracterizada pela ideologia de “quebra-zero” e tinha como base apenas cinco pilares (Figura 7).

Figura 7 - Estruturação da primeira fase da TPM.



Fonte: Yamaguchi, 2005.

Segunda fase: A partir de 1989, houve um aprimoramento da metodologia, resultando na segunda geração da TPM, agora com a técnica englobando toda a empresa e ganhando mais três pilares para complementar seus fundamentos, e mudando o foco para a ideologia de “perda zero”

Terceira fase: Desenvolvida a partir de 1997, a terceira geração da TPM ficou marcada pela inclusão da busca pela satisfação global e a redução de custos operacionais, porém dessa vez, sem alteração nos pilares, ficando até atualmente com oito no total.

### 3.1 DEFINIÇÃO E PRINCÍPIOS DA TPM

O TPM é um conceito gerencial que começa pela liberação da criatividade, normalmente escondida e inexplorada em qualquer grupo de trabalhadores. Estes trabalhadores, frequentemente atarefados em tarefas aparentemente repetitivas, têm muito a contribuir se, pelo menos, isto lhes for permitido. Seu objetivo é promover uma cultura onde os operadores sintam que eles "possuem" suas máquinas, aprendem muito mais sobre elas, e no processo se liberem de sua ocupação prática para se concentrar no diagnóstico do problema e projeto de aperfeiçoamento do equipamento. Desta forma, há um ganho direto (YAMAGUCHI, 2005). Por se tratar de uma ferramenta totalmente voltada para os operadores da linha de produção, a metodologia TPM apenas consegue ser funcional se o envolvimento dos funcionários for constante e aplicado da forma correta.

Tendo sua origem na primeira definição da TPM, criada por Seiichi Nakajima em 1989, a metodologia surgiu com cinco objetivos-base:

- Buscar a maximização da eficiência dos equipamentos.
- Implementar a TPM com departamentos exclusivos para planejamento e execução das manutenções.
- Eficácia Total (*Total Effectiveness*): busca por uma maior eficiência econômica.
- Sistema de Manutenção Total (*Total Maintenance System*): Criação de um plano de manutenção para toda a vida útil do equipamento, tendo forte influência da manutenção preventiva.
- Participação Total de Todos os Colaboradores (*Total Participation of all employees*): aplicação da manutenção autônoma pelos operadores em todos os departamentos da empresa, dividida em pequenos grupos.

### **3.2 A BUSCA PELA EFICÁCIA GERAL DO EQUIPAMENTO**

O objetivo das atividades de melhoria da produção é aumentar a produtividade, minimizando a entrada e maximizando a saída. Mais do que quantidade, "saída" inclui melhorar a qualidade, reduzir custos e cumprir prazos de entrega, ao mesmo tempo, em que aumenta o moral e melhora as condições de segurança e saúde, e o ambiente de trabalho em geral (NAKAJIMA, 1989).

Durante a elaboração de sua teoria, Nakajima estabeleceu uma relação entre os *inputs* e os *outputs* no processo de produção, gerando uma matriz apresentada na Tabela 1, que tem como resultado a produtividade geral, e que contém como entradas os funcionários, as máquinas, os materiais e os recursos financeiros, obtendo desses recursos os seguintes, produtos:

P – Produção	Q – Qualidade
C – Custos	D – Entregas
S – Segurança	M – Moral

Por conseguinte, ele também definiu o que impacta em cada índice resultante dessa matriz, categorizando os principais impactos na produção e assim garantindo uma forma de aumentar a eficiência geral das linhas de produção.

Tabela 1 - Relação entre input e output na produção.

Output	Input			Métodos de Gestão
	Mão-de-obra	Máquinas	Materiais	
Produção (P)				Controlo de Produção
Qualidade (Q)				Controlo de Qualidade
Custo (C)				Controlo de custos
Entrega (D)				Controlo de entregas
Segurança (S)				Segurança e ambiente
Moral (M)				Relações humanas
	Alocação de pessoal	Engenharia e Manutenção Industrial	Controlo stocks	$\frac{Output}{Input} = Produtividade$

Fonte: NAKAJIMA, 1989.

Como é possível analisar na Tabela 1, mesmo com os recursos em mãos, a produtividade depende de fatores administrativos, como a Alocação de pessoal, que deve ser feita de maneira correta, desenvolvimento de um plano de Engenharia e Manutenção Industrial e Controle de Estoque. Além disso, é possível analisar mais especificadamente o que cada *output* necessita para apresentar bons resultados, sendo todas as saídas, P, Q, C, D, S necessitadas de uma gestão firme e eficiente e M sendo tratada com base nas relações humanas.

### 3.3 ZD (ZERO DEFEITOS) E A TPM

Segundo (Nakajima,1989), a filosofia do ZD (*zero defects*) foi importada dos Estados Unidos pelo Japão em 1965, devido ao grande sucesso desse sistema na época. Em 1979, Philip Crosby, o responsável pelo desenvolvimento da teoria do ZD, publicou o livro *Quality is Free*, livro esse onde ele definiu qualidade como “*conformity to requirements*” e justificou a aplicação de sua teoria nas empresas por ser uma ferramenta de gestão da qualidade altamente eficiente. Por conseguinte, ele definiu,

por meio de sua teoria, os quatro principais conceitos que fundamentam a implementação do ZD:

- A definição de qualidade é conformidade com requisitos;
- O sistema de qualidade é prevenção;
- O padrão de desempenho é com zero defeitos;
- A verificação da qualidade é o preço para as não-conformidades

Um grande exemplo da utilização e do sucesso da prática da teoria do Zero Defeitos juntamente com a TPM foi na mundialmente conhecida Toyota, que alcançou níveis de produtividade extremamente altos por meio dessa metodologia. Diferentemente de uma teoria tradicional sobre produtividade que busca descobrir os defeitos da produção, o estilo japonês de aplicar a ZD se baseia na manutenção preventiva, buscando garantir os seus quatro principais conceitos, o que está intimamente relacionado com os objetivos da TPM.

### **3.4 PRINCIPAIS PERDAS A SEREM TRATADAS NA TPM**

Para atingir a eficiência máxima desejada pela TPM, essa teoria funciona de uma forma a eliminar as seis principais fontes de perdas existentes em um ambiente industrial, sendo essas classificadas em situações que geram defeitos nos produtos, afetando a produtividade bruta, situações em que o equipamento opera em uma velocidade abaixo da nominal e situações em que o equipamento está simplesmente parado, segue a classificação:

#### **Tempos de Parada**

1. Falhas no equipamento devido a quebras.
2. Paradas para mudanças na produção e realização de ajustes.

#### **Perdas por Velocidade**

3. Máquinas rodando a vazio e micro paradas.
4. Equipamento funcionando abaixo da velocidade nominal.

#### **Defeitos**

5. Defeitos na produção que necessitam de retrabalho.
6. Rendimento reduzido desde a partida da máquina até estabilização da produção.

### 3.5 CINCO MEDIDAS PARA ELIMINAR AS QUEBRAS

Se considerado um sistema ideal, todas as quebras presentes em uma indústria poderiam simplesmente ser evitadas por meio da aplicação da manutenção preventiva, entretanto, a realidade presenciada em indústrias por todo o mundo é muito distante desse mundo ideal, sendo necessária a aplicação de métodos que contribuam para complementar a manutenção preventiva, e esse é um papel que a metodologia TPM consegue cumprir se aplicada corretamente, para que a indústria não seja obrigada a conviver frequentemente com a prática da corretiva.

As avarias representam a ponta do iceberg. Temos a tendência de ficar excessivamente preocupados com avarias e defeitos sérios porque são tão óbvios, e certamente há casos em que um único defeito causa uma avaria. Pequenos defeitos, no entanto, como sujeira, poeira, abrasão, afrouxamento, arranhões e empenamento, que podem parecer insignificantes por si só, são o problema real (NAKAJIMA, 1989).

Para contornar o cenário ilustrado citado por Nakajima, foram estabelecidos cinco passos que buscam expor defeitos escondidos e tratar o equipamento antes que um problema sério se desenvolva, sendo eles enumerados a seguir:

1. Garantir condições básicas de manutenção (limpeza, lubrificação e evitar folgas).
2. Aderir procedimentos operacionais.
3. Restaurar equipamentos deteriorados.
4. Melhorar fraquezas da indústria.
5. Melhorar os conhecimentos e habilidades da operação.

É possível também observar que os itens estão relacionados indiretamente, pois, por exemplo, garantir condições básicas de manutenção está relacionado com melhorar as habilidades da operação, assim como a aplicação de procedimentos operacionais, sendo assim um fluxograma muito prático quando se usado na realidade.

### 3.6 AS CINCO ATIVIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO DA TPM

Os detalhes práticos e procedimentos para usar a TPM para maximizar a eficácia do equipamento devem ser adaptados individualmente por cada companhia. Cada empresa deve desenvolver seu próprio plano de ação, porque as necessidades

e os problemas variam, dependendo da empresa, tipo de indústria, métodos de produção e tipos e condições de equipamentos (NAKAJIMA, 1989).

Apesar da colocação de que cada empresa deve desenvolver seu próprio plano de ação para realizar as manutenções e categorizar seus problemas, Nakajima definiu em sua teoria cinco atividades que garantem com sucesso a implementação da teoria, sendo essas:

1. Eliminar as seis grandes perdas para melhorar a eficiência do equipamento.
2. Implementar um programa de manutenção autônoma.
3. Uma programação de manutenção criado pelo time de manutenção.
4. Melhorar os conhecimentos dos operadores e do pessoal de manutenção.
5. Um programa inicial de gestão de equipamentos.

O desenvolvimento dessas atividades constituem os requisitos mínimos para a aplicação da TPM em um ambiente industrial, e serão explicados mais detalhadamente no Capítulo 2.16.

### **3.7 OITO PILARES DA TPM**

Com o desenvolvimento constante da metodologia TPM, foi comentado anteriormente que, após seu início com cinco pilares fundamentais, lhe foram adicionados mais três, dando origem assim aos oito pilares que estabelecem as competências da manutenção e da produção ao utilizar a TPM.

De acordo com (VENKATESH, 2007), é possível classificar cada um dos pilares em suas políticas, objetivos e passos para alcançar o sucesso. Assim sendo, será feita essa classificação para cada pilar nos tópicos a seguir. Segue a nomenclatura final dos oito pilares após sua formalização:

- Educação e Formação.
- Manutenção Autônoma.
- Melhoria do Equipamento.
- Manutenção Planejada.
- Controle Inicial.

- Manutenção da Qualidade.
- Segurança, Higiene e Meio Ambiente.
- Departamentos Administrativos.

### **3.7.1 EDUCAÇÃO E FORMAÇÃO**

O primeiro pilar da teoria envolve o desenvolvimento contínuo das habilidades dos colaboradores da empresa, não apenas se limitando à operação, mas também incluindo técnicos e engenheiros. A principal ideia desse pilar é garantir que todos tenham o conhecimento necessário para operar e manter os equipamentos da maneira correta, reduzindo erros e aumentando o conhecimento sobre o equipamento e os métodos de trabalho. A educação é de extrema importância, tendo em vista que apenas funcionários competentes poderão saber o que fazer e superar problemas na linha de produção.

Políticas:

- Foco no desenvolvimento de habilidades, técnicas e conhecimento.
- Criar um ambiente de formação com base na autoaprendizagem.
- Implementar ferramentas de avaliação de treinamentos.

Objetivos:

- Diminuir o tempo de inatividade em máquinas críticas devido à necessidade de mão de obra.
- Alcançar e sustentar um sistema de zero perdas com o aumento do conhecimento.

Passos:

- Verificar a situação inicial da educação e formação.
- Estabelecer um sistema de treinamento para melhorar as habilidades de operação e manutenção.
- Elaborar calendário de treinamento.
- Realizar treinamentos e avaliar atividades, para assim pensar em abordagens futuras.

### **3.7.2 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA**

Este pilar visa desenvolver operadores capazes de realizar pequenas tarefas de manutenção, liberando assim o pessoal de manutenção qualificado para dedicar tempo a atividades técnicas e de maior valor agregado. Os operadores são responsáveis pela manutenção dos seus equipamentos para evitar a sua deterioração. As atividades envolvidas são muito simples de natureza. Isto inclui limpeza, lubrificação, inspeção visual, aperto de parafusos soltos, etc (VENKATESH, 2007).

Políticas:

- Operação ininterrupta dos equipamentos.
- Operadores flexíveis para operar e manter outros equipamentos.
- Buscar e eliminar problemas em sua origem através da participação dos funcionários.

Objetivos:

- Aumentar conhecimentos dos operadores sobre determinado equipamento.
- Operadores cuidarem do equipamento.

Passos:

- Treinamento para operadores.
- Limpeza inicial das máquinas.
- Eliminar fontes de problemas.
- Criar programação.
- Inspeção-geral.
- Inspeção Autônoma.
- Padronização.

Todos os passos da manutenção autônoma devem ser detalhados para que a realização seja feita com eficiência e alcance seus objetivos, portanto, nos próximos parágrafos serão descritos com detalhes os sete passos para se aplicar a manutenção autônoma de acordo com a teoria de (VENKATESH, 2007).

### **3.7.2.1 TREINAMENTO PARA OPERADORES.**

Inicialmente, deve ser realizado um treinamento com os funcionários sobre o TPM e suas vantagens, para que eles possam entender o porquê das mudanças em

suas rotinas. Além disso, uma capacitação a respeito do equipamento em que eles trabalham também deve ser realizada, onde será repassado a frequência de lubrificação, as atividades de manutenção diárias, atividades necessárias e as anormalidades que possam ocorrer durante o funcionamento da máquina e como reagir a elas. Essa etapa varia bastante de companhia para companhia, mas de todo modo as informações básicas sobre a TPM e os equipamentos utilizados na linha de produção devem ser repassadas e absorvidas pela operação.

### **3.7.2.2 LIMPEZA INICIAL DAS MÁQUINAS.**

Nessa etapa, deve-se realizar a organização de todos os materiais necessários para a realização da limpeza. Cumprindo o cronograma de limpeza, os funcionários devem limpar o equipamento, removendo poeira, manchas, óleos e graxas. Todo esse processo pode ser acompanhado pelo time do departamento de manutenção.

Ao realizar a limpeza, vazamento de óleo, fios soltos ou desencapados, parafusos desapertados e peças desgastadas devem ser identificados, ou por “tags” ou virtualmente por meio de alguma ferramenta utilizada pela empresa, pois é preciso diferenciar manutenções em que os operadores precisam de auxílio do time de manutenção para executar de atividades que eles mesmos possam resolver sozinhos, isso resulta em uma menor alocação de atividades para o departamento de manutenção, que pode acabar ficando sobre carregando com tarefas muito simples.

### **3.7.2.3 ELIMINAR FONTES DE PROBLEMAS.**

No terceiro passo, os operadores devem analisar locais de difícil acesso durante as atividades de limpeza, lubrificação e inspeção e estabelecer soluções para melhorar o acesso a essas zonas. Por conseguinte, devem também realizar a eliminação de fontes de contaminação no equipamento e criar formas de reduzir os tempos de execução das suas atividades rotineiras.

### **3.7.2.4 CRIAR PROGRAMAÇÃO**

O quarto passo da aplicação da manutenção autônoma é autoexplicativo, pois agora que o operador já conhece o equipamento, sabe das dificuldades sobre a

realização das suas atividades rotineiras e já mapeou os principais problemas da máquina é possível realizar a criação de uma programação voltada para o mantimento do equipamento em uma condição boa para funcionar. Durante a criação do cronograma, devem ser incluídas atividades de limpeza, inspeção e lubrificação, contendo detalhes de como fazer, quando fazer e com o que fazer essa ação.

### **3.7.2.5 INSPEÇÃO GERAL**

Os funcionários devem possuir conhecimentos em áreas específicas como pneumática, elétrica, hidráulica e mecânica, e isso pode ser feito durante a primeira etapa da aplicação da manutenção autônoma. Possuindo esses conhecimentos, os funcionários deverão compartilhar com outros operadores menos experientes da unidade fabril, fazendo com que o conhecimento técnico seja difundido na empresa por meio de pequenos grupos. Na medida em que os funcionários já possuem esses conhecimentos específicos, eles podem realizar uma inspeção-geral do equipamento, com base em um manual de inspeções desenvolvido por seus supervisores, identificando e relatando possíveis peças deterioradas e falhas encontradas durante a vistoria.

### **3.7.2.6 INSPEÇÃO AUTÔNOMA**

O penúltimo passo para a aplicação da manutenção autônoma contempla a aplicação de novos métodos de limpeza e lubrificação, onde cada funcionário prepara seu próprio cronograma em consulta com o supervisor e executa as atividades com maior autonomia, uma maneira de descobrir formas mais eficientes de realizar as mesmas ações rotineiras. Outro ponto analisado aqui é a listagem de peças que não apresentem problemas recorrentes, sendo assim, essas são removidas da lista de manutenção com base na experiência prática da operação. Por fim, a frequência de limpeza e inspeção realizada nas partes da máquina são ajustadas com base também na experiência do operador.

### **3.7.2.7 PADRONIZAÇÃO**

Para finalizar uma manutenção autônoma bem estabelecida em uma indústria, deve haver um processo de padronização das atividades criadas e adaptadas durante os demais passos. Para isso, são realizadas, com base nas diversas informações obtidas anteriormente, a padronização de:

- Manutenção de peças e ferramentas utilizadas.
- Registro de dados.
- Limpeza, inspeção e lubrificação.

Após a finalização de todo esse processo, o operador deve se sentir como dono da máquina em que ele foi alocado, se tornando responsável por detectar e corrigir condições anormais, registrar dados de produção e qualidade do seu equipamento e ser capaz de reduzir a quantidade de reparos e manutenções em sua máquina.

### **3.7.3 MELHORIA DO EQUIPAMENTO**

Basicamente, esse pilar é voltado para pequenas melhorias, mas realizadas de forma contínua por todas as pessoas da organização. A aplicação das pequenas melhorias necessita de pouco ou nenhum investimento. O princípio por trás é que um grande número de pequenas melhorias são mais eficazes em um ambiente organizacional do que poucas melhorias de grande valor agregado. Este pilar visa reduzir perdas no ambiente de trabalho que afetem a eficiência. Ao utilizar um procedimento detalhado e completo, eliminamos perdas de forma sistemática usando diversas ferramentas. Essas ferramentas não se limitam às áreas de produção, podendo ser implementadas também nas áreas administrativas (VENKATESH, 2007).

Políticas:

- Prática de conceitos de perdas zero em todas as atividades.
- Busca para atingir metas de redução de custos.
- Busca para melhorar a eficácia de todos os equipamentos da planta.

Objetivos:

- Alcançar e manter zero perdas.
- Alcançar redução de 30% nos custos de fabricação.

Passos:

- Identificar as seis grandes perdas
- Realizar cálculo do OEE e definir objetivos.

- Detectar e analisar causas de falhas e perdas.
- Estabelecer condições padrões para uso do equipamento.

### **3.7.4 MANUTENÇÃO PLANEJADA**

O objetivo desse pilar é ter máquinas e equipamentos livres de problemas, produzindo produtos livres de defeitos para a total satisfação do cliente. Com a manutenção planejada, evoluímos nossos esforços de um método reativo para um método proativo e utilizamos profissionais treinados da equipe de manutenção para capacitar os operadores para que estes possam melhor manter seus equipamentos (VENKATESH, 2007).

Políticas:

- Alcançar e manter a disponibilidade de máquinas.
- Custo de manutenção ideal.
- Reduzir o estoque de peças sobressalentes.
- Melhorar a confiabilidade e a capacidade de manutenção das máquinas.

Objetivos:

- Zero falha e quebra do equipamento.
- Melhorar a confiabilidade e a capacidade de manutenção em 50%<sup>”</sup>
- Reduzir o custo de manutenção em 20%
- Garantir a disponibilidade de peças sobressalentes.

Passos:

- Avaliação do equipamento
- Restaurar a deterioração e melhorar pontos fracos.
- Construir um sistema de gestão de dados.
- Selecionar equipamento, peças e membros para criar um plano de ação.
- Introduzir técnicas de diagnósticos em equipamentos.
- Avaliação da manutenção planejada.

### **3.7.5 CONTROLE INICIAL**

O Pilar de Controle Inicial tem como objetivo planejar e desenvolver atividades de melhoria desde a fase de projeto de novos equipamentos ou durante a

remodelação de equipamentos existentes. Seu propósito é garantir que os equipamentos sejam livres de falhas e de manutenção, operem nas melhores condições possíveis e alcancem os mais altos resultados com o menor investimento (VENKATESH, 2007).

Políticas:

- Maior operacionalidade.
- Melhor indicador de qualidade e segurança.

Objetivos:

- Obter equipamentos sem avarias e sem manutenções recorrentes.

Passos:

- Detectar pontos fracos dos equipamentos.
- Definir características de segurança e ambiente de trabalho.
- Definir características operacionais.
- Definir características da manutenção autônoma.

### **3.7.6 MANUTENÇÃO DA QUALIDADE**

As atividades de Manutenção da Qualidade consistem em definir condições de equipamentos que evitem defeitos de qualidade, com base no conceito básico de manter os equipamentos perfeitos para manter a qualidade dos produtos. A condição é verificada ao medir várias vezes para averiguar se padrões de qualidade estão fora do padrão, evitando defeitos. Os valores medidos podem auxiliar para prever possíveis defeitos que podem ocorrer e criar contramedidas VENKATESH, 2007).

Políticas:

- Operação livre de defeitos e controle de equipamentos.
- Atividades que apoiam a garantia da qualidade.
- Foco na prevenção de defeitos.
- Detecção em linha e separação de produtos defeituosos.

Objetivos:

- Atingir e manter zero reclamações de clientes.
- Reduzir defeitos em processo em 50%.
- Reduzir o custo da qualidade em 50%.

Passos:

- Garantir condições que evitem defeitos.

### **3.7.7 SEGURANÇA, SAÚDE E MEIO AMBIENTE**

Para esse pilar é criado um comitê, composto por representantes dos dirigentes e funcionários. O foco aqui é na garantia de ambientes de trabalho e áreas comuns que sejam limpos, livres de poluição, seguros e ergonomicamente adequados. O objetivo é proporcionar um local agradável, onde os operadores se sintam bem, tornando-se um fator motivador essencial para o desempenho da equipe (VENKATESH, 2007).

Objetivos:

- Zero acidentes.
- Zero danos à saúde.
- Zero ocorrências de incêndios.

### **3.7.8 DEPARTAMENTOS ADMINISTRATIVOS**

O Departamento Administrativo deve ser iniciado após a implementação dos demais pilares, ele deve ser utilizado para melhorar a produtividade, eficiência nas funções administrativas e identificar e eliminar perdas. Isto inclui a análise de processos e procedimentos para aumentar a produtividade do escritório (VENKATESH, 2007).

Esse pilar tem como foco a análise de doze grandes perdas, sendo elas:

1. Perdas de processamento.
2. Perdas de custos em áreas como compras, marketing e vendas.
3. Perdas de comunicação.
4. Perdas por ociosidade.
5. Perdas por setup.
6. Perdas por precisão.
7. Quebras em equipamentos do departamento.
8. Quebras em canais de comunicação.
9. Tempo gasto na recuperação de informações.
10. Disponibilidade incorreta de estoque.
11. Reclamações de clientes devido à logística.

12. Despesas com compras emergências.

### **3.8 DOZE PASSOS DO DESENVOLVIMENTO DA TPM**

Consoante a teoria desenvolvida por (NAKAJIMA, 1989), são necessários pelo menos três anos para o completo desenvolvimento da TPM com sucesso em uma indústria que nunca aplicou nenhuma de suas ferramentas com sucesso, e para isso, existem doze passos a serem seguidos ao longo da implementação da metodologia em uma fábrica par obter sucesso. Segue abaixo a definição de cada um dos doze passos:

1. **Comunicar sobre a decisão de implementar a TPM:** o primeiro passo é o direcionamento da gerência, garantindo que toda a organização esteja alinhada com a iniciativa. A comunicação clara sobre os objetivos e benefícios da TPM é essencial para engajar os colaboradores.
2. **Iniciar uma campanha de divulgação e formação:** neste passo, realiza-se a conscientização dos funcionários sobre a TPM, suas vantagens e impactos na produtividade. Nele são promovidos treinamentos, seminários e materiais informativos para incentivar a adesão ao programa.
3. **Criar estrutura organizacional:** no terceiro passo, cria-se uma equipe de implementação da TPM com responsabilidades bem definidas. Normalmente, essa equipe é composta por membros da gestão, manutenção e operação, garantindo um alinhamento interdepartamental.
4. **Estabelecer objetivos e metas:** com base no estado atual da empresa, são estabelecidas metas claras e possíveis de atingir, como redução de paradas inesperadas, melhoria da eficiência dos equipamentos e aumento da produtividade.
5. **Criar um plano diretor para desenvolver a TPM:** aqui, define-se um cronograma detalhado das ações que serão tomadas, especificando as responsabilidades e prazos para cada etapa do processo.

6. **Iniciar o programa da TPM:** a sexta etapa marca o início da implementação do Programa TPM e o início do esforço para eliminar as seis grandes perdas dos equipamentos. A partir desta fase, os operadores assumem-se como os principais protagonistas, gradualmente substituindo suas rotinas diárias pelas práticas de TPM.
7. **Desenvolver o programa de manutenção autônoma:** na sétima etapa, dá-se início ao desenvolvimento de um programa de manutenção autônoma, correspondente à segunda das cinco atividades de desenvolvimento da TPM. Esse processo deve ser implementado logo após o início da TPM, a fim de que se garanta que a aplicação da manutenção autônoma se enraíze na operação.
8. **Estabelecer o programa de manutenção planejada:** a manutenção planejada deve ser implementada nesse passo para que possa juntamente com a autônoma, reduzir as falhas inesperadas dos equipamentos por meio da implementação de um sistema estruturado de manutenção preventiva e preditiva.
9. **Promover treinamentos e melhorar as habilidades da operação:** considerando que a implementação da TPM requer habilidades técnicas tanto para os operadores quanto para os técnicos de manutenção, o nono passo atende uma demanda de qualificação criada pelos passos sete e oito.
10. **Criar o programa inicial de gestão dos equipamentos:** esse passo visa garantir que novos equipamentos sejam adquiridos e instalados de forma a minimizar problemas de manutenção.
11. **Totalização da TPM e expansão para outras áreas:** após consolidar a TPM na manutenção e operação da fábrica, a filosofia deve ser expandida para outras áreas. A TPM pode ser aplicada a setores administrativos, controle de qualidade e logística presentes na mesma indústria.

**12. Melhoria contínua da TPM:** última etapa é garantir que a TPM não seja um projeto pontual, mas uma prática permanente, realizando assim revisões periódicas e desenvolvendo uma cultura de melhoria contínua, onde todos os funcionários incluídos no processo participam ativamente.

### **3.9 DIFICULDADES NA IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA**

De acordo com (VENKATESH, 2007), em uma situação de implementação da metodologia TPM e da manutenção autônoma em um ambiente industrial, as principais dificuldades encontradas para fidelizar o modelo com sucesso estão relacionadas às pessoas, visto que:

- Normalmente pessoas tendem a resistir a mudanças.
- Muitas pessoas observam a implementação da manutenção autônoma sem seriedade, por considerar algo passageiro que não ficará para sempre no modelo da companhia.
- As pessoas não dão a devida atenção por duvidar da eficácia.
- Vários funcionários podem considerar as atividades de limpeza, inspeção e lubrificação um trabalho extra que não gera nenhum benefício.

Entretanto, essas não são as únicas barreiras que interferem no funcionamento do método da maneira correta. A insuficiência de recursos, falta de gestão e falta de comunicação entre a operação e os gestores também pode acabar causando com que a eficácia do método seja reduzida ou até mesmo que não exista.

### **4. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO INICIAL**

A unidade fabril utilizada para a realização do trabalho fica localizada nos arredores da cidade de Uberlândia - MG, sendo uma filial de uma das maiores companhias produtoras de bebidas alcoólicas do mundo. A fábrica em questão já utilizava os conceitos da manutenção autônoma em suas linhas de envase, entretanto, foi possível observar diversos gargalos na aplicação eficaz, o que gerou oportunidades para a realização deste trabalho.

A indústria em estudo possui um total de cinco linhas de produção dedicadas ao envase de bebidas, cada uma com características operacionais únicas. Para a

realização deste trabalho, foi escolhida a Linha 101, que se destaca por operar com garrafas retornáveis de 600ml e de 1 litro. Essa particularidade influencia diretamente a rotina de manutenção e a execução das atividades de manutenção autônoma.

A escolha da Linha 101 foi feita com base nos desafios adicionais que a utilização de garrafas retornáveis impõe ao processo produtivo. Ao contrário das linhas que trabalham com embalagens descartáveis, essa linha exige etapas adicionais de inspeção e higienização das garrafas antes do envase, aumentando a complexidade operacional. Como consequência, há um impacto significativo na execução do cronograma de limpeza e manutenção autônoma, visto que as janelas disponíveis para essas atividades são mais restritas. Outro ponto que influencia negativamente na implementação da manutenção autônoma são as fontes de sujidade muito mais presentes nesse tipo de linha de produção, dificultando o trabalho dos operadores.

A manutenção autônoma, que tem como premissa a realização de inspeções e limpezas diárias pelos funcionários, enfrenta dificuldades devido à necessidade de manter a linha em funcionamento contínuo para atender à alta demanda de produção existente na região do Centro-Oeste do país. Além disso, a presença de garrafas retornáveis aumenta a incidência de resíduos sólidos e sujeiras, tornando a etapa de limpeza difícil e importante. Assim, qualquer desvio no planejamento pode resultar em atrasos na produção ou em falhas operacionais.

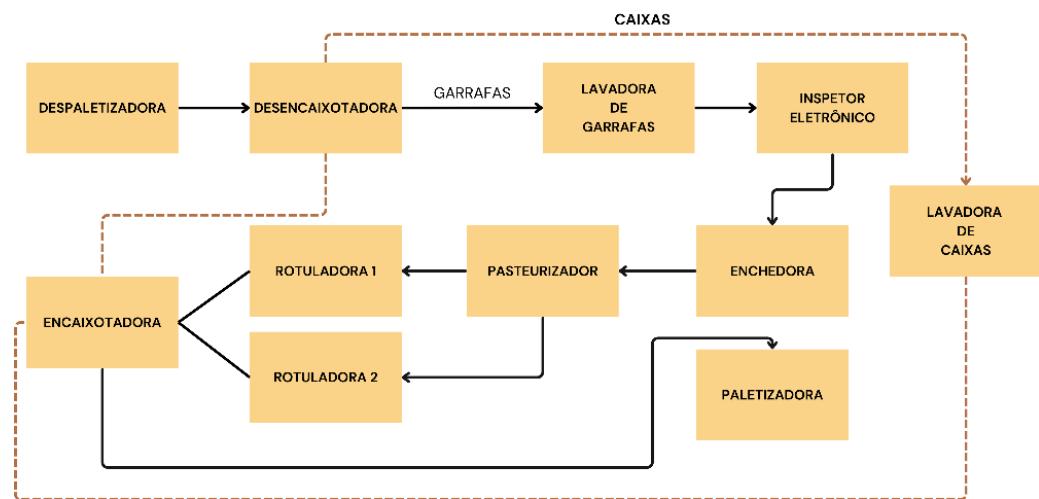
Diante desse cenário, é fundamental buscar melhorias na manutenção autônoma da Linha 101 para tornar o processo mais eficiente e confiável. Ao otimizar essas práticas, é possível reduzir as paradas inesperadas, manter os equipamentos em bom funcionamento e, consequentemente, melhorar o ritmo da produção, garantindo que a linha opere de forma mais produtiva e sustentável.

#### **4.1 ESTRUTURA DA LINHA DE PRODUÇÃO E FUNCIONAMENTO OPERACIONAL**

A Linha 101 funciona 24 horas por dia durante 7 dias por semana, parando apenas para a realização da parada programada de manutenção semanal (PCM – Planejamento e Controle de Manutenção), o que gera um grande desafio para a realização das atividades de manutenção autônoma, pois a quantidade de horas disponíveis para a realização das atividades é muito pequena.

Durante um dia de operação, as máquinas são operadas por três times diferentes, que constituem os turnos, sendo a divisão feita em turnos A, B e C. Todas as atividades de inspeção, limpeza e lubrificação devem ser distribuídas igualmente para todas as pessoas, de modo que, independentemente do turno, as atividades possam ser realizadas. Na Figura 8, é possível visualizar um fluxograma da linha de produção com cada equipamento, em que a linha preta contínua representa o fluxo de garrafas e a linha marrom pontilhada representa o fluxo de caixas. Já os retângulos amarelos representam cada equipamento da linha.

Figura 8 - Fluxograma da linha de produção.



Fonte: própria do autor.

## 4.2 FERRAMENTAS DE GESTÃO UTILIZADAS

A companhia em questão utiliza uma série de ferramentas para auxiliar na gestão, como controle de KPIs (indicadores), gerenciamento de dados, controle de estratégias, dentre outros. Dentre as várias disponíveis, quatro delas podem ser também relacionadas com a manutenção autônoma, sendo as seguintes:

**Smartcheck:** Essa é uma das bases da implementação da manutenção autônoma na companhia estudada, pois na plataforma é possível acessar diversos dados relacionados à estruturação e realização das tarefas pelos operadores. Dentre as informações disponíveis, pode-se acessar quais as atividades atribuídas para cada equipamento, quais os donos das tarefas, qual a periodicidade de cada atividade, quais as ferramentas utilizadas em cada atividade. Outra característica da plataforma é o acesso a todo o cronograma de atividades, podendo visualizar quais as próximas

atividades que serão disponibilizadas para os operários. Além disso, ainda é apresentado um dashboard com dados detalhados sobre a execução da manutenção autônoma na fábrica.

**LMS (Line Monitoring System):** Por meio do LMS, pode-se visualizar uma diversidade muito grande de dados da operação da linha, é onde foram adquiridas as informações de produtividade e eficiência para tirar as conclusões do trabalho. Em uma das abas da plataforma, é possível acompanhar a eficiência geral e a eficiência por máquina de cada equipamento; já em outra, pode-se visualizar um relatório diário, semanal, mensal ou anual a respeito da disponibilidade de máquina (DM), eficiência própria por máquina (EP), quantidade de micro e macro paradas por equipamento, MTBR e MTTF em minutos.

**SAP:** Essa já é uma ferramenta muito conhecida no mundo industrial, sendo utilizada para diversas funções. No atual estudo, a parte que realmente interessa é a que diz respeito à abertura de notas e ordens de manutenção por parte dos operadores, tendo em vista que um dos passos da implementação da manutenção autônoma é a devida identificação de problemas e o registro deles após as atividades de limpeza e inspeção, portanto, na empresa estudada, essa parte da implementação da teoria fica por conta do SAP.

**SPLAN:** Essa plataforma oferece uma interface que permite que o funcionário detalhe as ocorrências que impactaram na produtividade da linha de produção. Com as ocorrências criadas, é possível realizar uma investigação do problema, por meio da plataforma, e chegar a uma causa do problema, geralmente relacionada com algum ponto de manutenção ou de operação, sendo assim, uma ferramenta que contribui para estabelecer ações que auxiliam o engenheiro de manutenção a mapear os itens necessários de serem avaliados e corrigidos.

#### **4.3 MANUTENÇÕES ELÉTRICAS**

Por se tratar de um trabalho de conclusão de curso realizado no curso da Engenharia Elétrica, é pertinente destinar uma seção específica para abordar as atividades de manutenção elétrica realizadas no ambiente industrial analisado. A manutenção elétrica, dentro do contexto da manutenção autônoma, desempenha um papel muito importante para assegurar a operação segura, contínua e eficiente dos equipamentos, contribuindo diretamente para a redução de falhas, o aumento da

disponibilidade das máquinas e a elevação da confiabilidade operacional da linha de envase.

A seguir, são descritas as principais atividades de manutenção elétrica realizadas pelos operadores:

**Inspeções Visuais:** por meio dos conhecimentos adquiridos por treinamentos com especialistas, os operadores devem ser capazes de realizar a identificação de cabos com desgastes, rompimentos, aquecimentos anormais, fios expostos ou mal fixados, que possam contribuir para um mal desempenho do equipamento de trabalho. Outro ponto em que a manutenção operacional tem impacto é na verificação da integridade e limpeza de sensores e atuadores, que atuam diretamente no funcionamento e na lógica utilizada pelos CLPs que controlam a planta industrial. Em caso de encontrar sensores danificados, por meio da interface da IHM do CLP, o operador deve estar apto a realizar a substituição e o ajuste correto do sensor.

**Manutenção de inversores e CLPs:** durante a operação e manutenção, quaisquer manutenções relacionadas aos inversores que acionam os motores e aos CLPs que fazem o controle dos equipamentos são de responsabilidade dos operadores técnicos, que são capazes de realizar tarefas de manutenções nesses equipamentos e garantir o pleno funcionamento. Para acessar as áreas de controle da indústria, apenas são permitidos funcionários com o treinamento NR10. Dentre as atividades estão inspeções do funcionamento, limpeza externa, verificação de ventoinhas e filtros, checagem de parâmetros básicos, reset de falhas simples, monitoramento de ruídos.

**Manutenção de motores e redutores:** Por se tratar da principal carga presente na indústria, os motores também estão intimamente relacionados à manutenção operacional. Na indústria estudada, uma empresa terceirizada é responsável por coletar e fazer análises de viscosidade, contaminação e ferrografia do óleo de redutores presentes nos equipamentos. Outros fatores analisados por essa empresa são o nível de vibração e a termográfica, já mencionada anteriormente. Com todos esses dados, é possível programar para os funcionários manutenções como: troca do fluido lubrificante, verificação e lubrificação de eixos e mancais dos motores, verificação da parte elétrica, verificação dos acionamentos elétricos.

Leituras como tensão, corrente e outros parâmetros relacionados ao funcionamento dos motores podem ser acompanhados na IHM, o que indica se o funcionamento está coerente com o ideal.

## 5. DADOS E INDICADORES

Ao se iniciar os estudos na linha de produção, foi necessário identificar quais os pontos mais críticos da fábrica para direcionar o início dos estudos, tendo em vista que, devido a uma grande quantidade de equipamentos, não seria possível generalizar as ações logo no começo do trabalho, e portanto, a estratégia utilizada foi baseada em realizar uma inspeção no pior equipamento da linha, analisar seus problemas, comparar com a teoria da manutenção autônoma, aplicar a metodologia PDCA expandindo para as demais máquinas da linha, atingindo assim todo o campo de estudo com as mudanças, porém com base nas atividades necessárias no ponto prioritário.

### 5.1 ANÁLISE DE DADOS

Durante os meses de setembro e outubro de 2024, foram realizadas diversas análises detalhadas sobre a produtividade, disponibilidade das máquinas e a eficiência operacional da linha de envase de bebidas. Esse estudo teve como objetivo nortear os planejamentos que serão realizados nos próximos passos do trabalho.

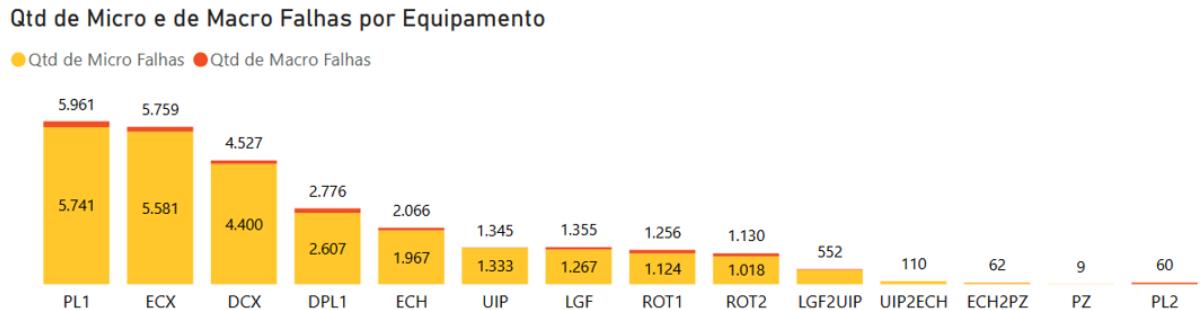
Para a avaliação da produtividade, foram coletados e analisados dados operacionais, incluindo a quantidade de garrafas envasadas por turno, os tempos de ciclo de cada equipamento e as variações na produção ao longo dos diferentes períodos do dia. Além disso, foram considerados os impactos das paradas programadas e não programadas, bem como os tempos de setup e ajustes realizados pelos operadores. A análise estatística desses dados permitiu identificar gargalos e momentos de menor desempenho, auxiliando na definição de ações corretivas para otimizar o fluxo produtivo.

Outro aspecto fundamental abordado durante esse período foi o conhecimento técnico dos operadores. Para isso, foram realizadas entrevistas e avaliações práticas para compreender o nível de familiaridade da equipe com os procedimentos operacionais padrão, manutenções autônomas e soluções de problemas recorrentes. A partir dessas informações, foi possível identificar necessidades de treinamentos

específicos e propor melhorias na capacitação da equipe, visando maior autonomia e eficiência na operação dos equipamentos.

As análises dos dados de setembro podem ser visualizadas nas Figuras 9, 10 e 11.

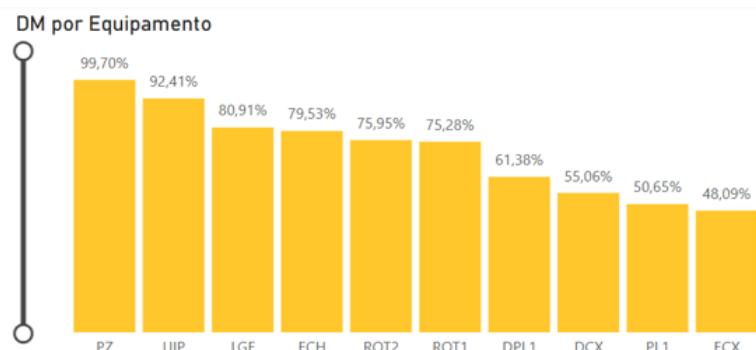
Figura 9 - Macro e micro paradas de setembro de 2024.



Fonte: Própria do autor.

Os maiores impactos registrados pelo LMS foram PL1, ECX e DCX, com cerca de cinco mil falhas no mês para cada uma dessas máquinas. Entretanto, no layout da fábrica, ECX e DCX constituem o mesmo posto operário, sendo assim, o valor dos dois pode ser somado, resultando em cerca de dez mil falhas para o mesmo posto operário, sendo o pior ponto da fábrica com relação à aparição de falhas que paralisam o fluxo da linha.

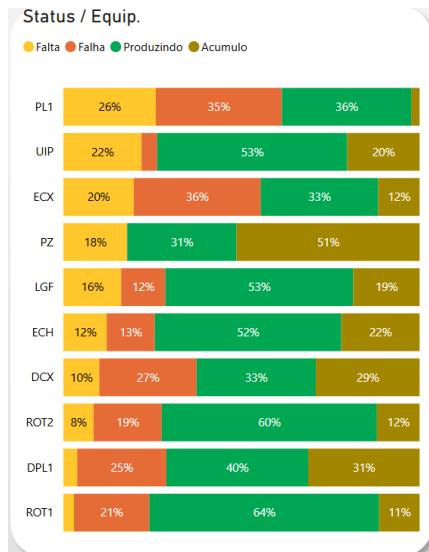
Figura 10 - Disponibilidade de máquina em setembro de 2024.



Fonte: Própria do autor.

Além da quantidade de falhas, a DM da ECX e da DCX estão entre as três piores da linha, caracterizando mais uma razão para priorizar esse conjunto de equipamentos no início dos estudos. Um equipamento com a disponibilidade de máquina baixa acaba proporcionando diversos problemas, gerando acúmulo nas máquinas subjacentes e falta de materiais nas máquinas adjacentes, diminuindo muito a eficiência da planta.

Figura 11 - Situação das paradas em setembro de 2024.

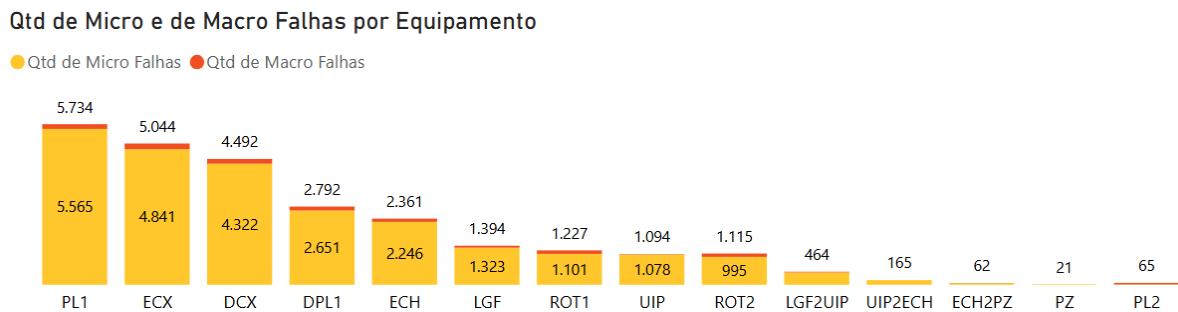


Fonte: Própria do autor.

Na Figura 11, focalizando a análise para o status da ECX e da DCX, é possível perceber que a maior parte do tempo em que as máquinas estão paradas é devido a falhas próprias do equipamento.

Além do mês de setembro, o mês de outubro foi outro mês que proporcionou coleta de dados que confirmavam o posto operário da ECX e DCX como sendo os mais problemáticos da linha de envase, assim sendo, esse local vai ser o primeiro a ser analisado a fundo.

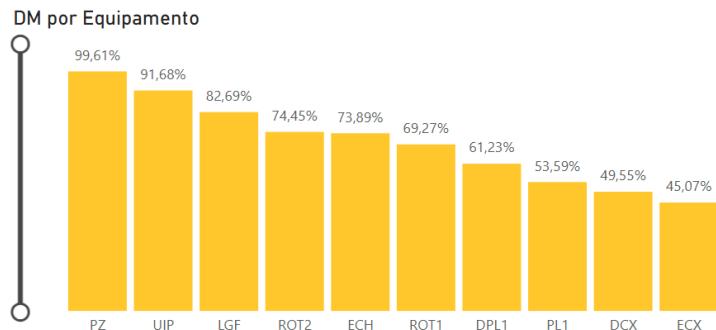
Figura 12 - Macro e micro paradas em outubro de 2024.



Fonte: Própria do autor.

Novamente em outubro, o posto operário composto da ECX e da DCX segue sendo foco em micro e macro paradas se combinados o número dos dois equipamentos, como pode ser visto na Figura 12.

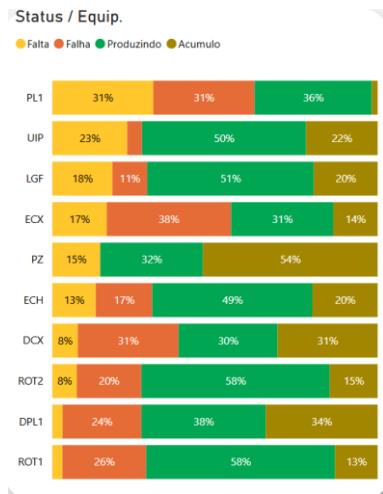
Figura 13 - Disponibilidade de máquina em outubro de 2024.



Fonte: Própria do autor.

Diferentemente do mês de setembro, em outubro o posto operário foco do estudo foi o pior da linha, apresentando uma disponibilidade de máquina abaixo dos 50%, o que representa uma eficiência muito baixa da linha de produção.

Figura 14 - Situação das paradas em outubro de 2024.



Fonte: Própria do autor.

Como pode ser visto, esse é o principal ponto de impacto na linha, assim sendo, ele será o ponto de partida para definir quais os tipos de problemas relacionados à ineficiência da manutenção autônoma a empresa vem enfrentando, e consequentemente, as medidas adotadas aqui serão aplicadas nos demais equipamentos da linha, dando foco nos equipamentos críticos que mais impactam nos gráficos de DM e EP.

## 5.2 INDICADORES FOCO

Utilizando a ferramenta LMS, anteriormente citada, foi coletado qual o estado inicial dos indicadores mais utilizados na área, sendo possível visualizá-los abaixo. Com estes indicadores coletados, ao final do trabalho, uma comparação poderá ser realizada para observar exatamente em quais aspectos as mudanças aplicadas influenciaram.

Figura 15 - Indicadores iniciais no LMS.

↔ Indicadores Líquidos/ Brutos					
OAE 39,06% Eficiencia Global - Liq	GLY 42,53% GLY - Líquido	LEF 52,58% LEF - Líquido	DISP 86,58% DISPONIBILIDADE	IE 6,58% Indisp. Externa	
66.317,49 PB (Volume) ↔	65.019,22 PL (Volume) ↔	1,82% DBL	MTBF 1,46(h)	MTTR 23,79 (min)	

Fonte: Própria do autor.

Dentre os valores apresentados na Figura 15, o principal para o resultado do trabalho é a OAE (Eficiência Global), que deve ser aumentada em pelo menos 5% para que um resultado satisfatório seja considerado durante a finalização do estudo, considerando a aplicação de apenas um ciclo do PDCA.

## 6. COMPARAÇÃO COM OS PASSOS DA MANUTENÇÃO AUTONOMA

Como já mencionado no tópico referente à manutenção autônoma, para que essa metodologia funcione corretamente, na prática, sete passos são necessários. Dentre eles, treinamento, limpeza inicial, eliminar fonte de problema, programação, inspeção-geral, inspeção autônoma e padronização.

Ao observar de perto o funcionamento e o dia a dia dos operadores, diversos problemas que geram divergências em relação à teoria foram encontrados. Segue abaixo uma classificação ponto a ponto de quais são os principais problemas que impactam no cumprimento dos sete passos fundamentais da manutenção autônoma:

- Treinamento para operadores: diversos operadores, principalmente os recém-contratados, em processo de integração, não possuíam o conhecimento técnico necessário para realizar as atividades de manutenção existentes na máquina, sendo insuficientes na execução das atividades ou muitas vezes nem

realizando a tarefa. Porém, a falta de treinamento também foi vista para muitos operadores com muitos anos trabalhando na companhia.

- Limpeza inicial das máquinas: com relação à limpeza inicial das máquinas, a falta de equipamento de limpeza de fácil acesso por muitas vezes foi um fator que impactou no cumprimento do cronograma de limpeza do equipamento foco.
- Criar programação: a falta de uma programação bem definida durante os dias de PCM contribuía para que muitas atividades de limpeza, lubrificação e inspeção da máquina fossem esquecidas e simplesmente não executadas, contribuindo para um desgaste prematuro de diversas partes do equipamento.
- Inspeção-geral: as atividades de inspeção são atribuídas aos trabalhadores por meio do Smartcheck, e a falta de gestão da ferramenta acabou por gerar muitas atividades importantes sem dono, e que não apareciam no sistema dos operadores, fazendo assim com que não fossem cumpridas no período ideal, o que proporciona o aparecimento de problemas mais graves devido à ausência de inspeções regulares. Além disso, a falta de monitoramento por parte da supervisão é um fator que facilita com que a operação evite realizar as inspeções, considerando como algo optativo e não obrigatório para a operação da máquina.
- Padronização: os procedimentos padrões são outro ponto extremamente importante para as atividades de manutenções dos operadores, e no caso dos equipamentos do posto operário selecionado, eles eram praticamente inexistentes, contendo apenas procedimentos genéricos que não auxiliavam na execução ou aprendizado por parte do funcionário.

## 7. PLANEJAMENTO E MELHORIAS

Por meio da prévia análise e comparação com a teoria da manutenção autônoma realizada no tópico 5.3, foi possível destacar quais os principais pontos que influenciam para o funcionamento correto da manutenção operacional na fábrica em questão. Como estratégia para solucionar os problemas encontrados, será utilizado o PDCA, que é um ciclo de melhoria contínua utilizado para gestão de processos e solução de problemas. A sigla vem do inglês, *Plan* (Planejar), onde se identifica um problema, analisam-se suas causas e define-se um plano de ação, *Do* (Executar), que consiste na implementação do plano em pequena escala, *Check* (Checar), fase em

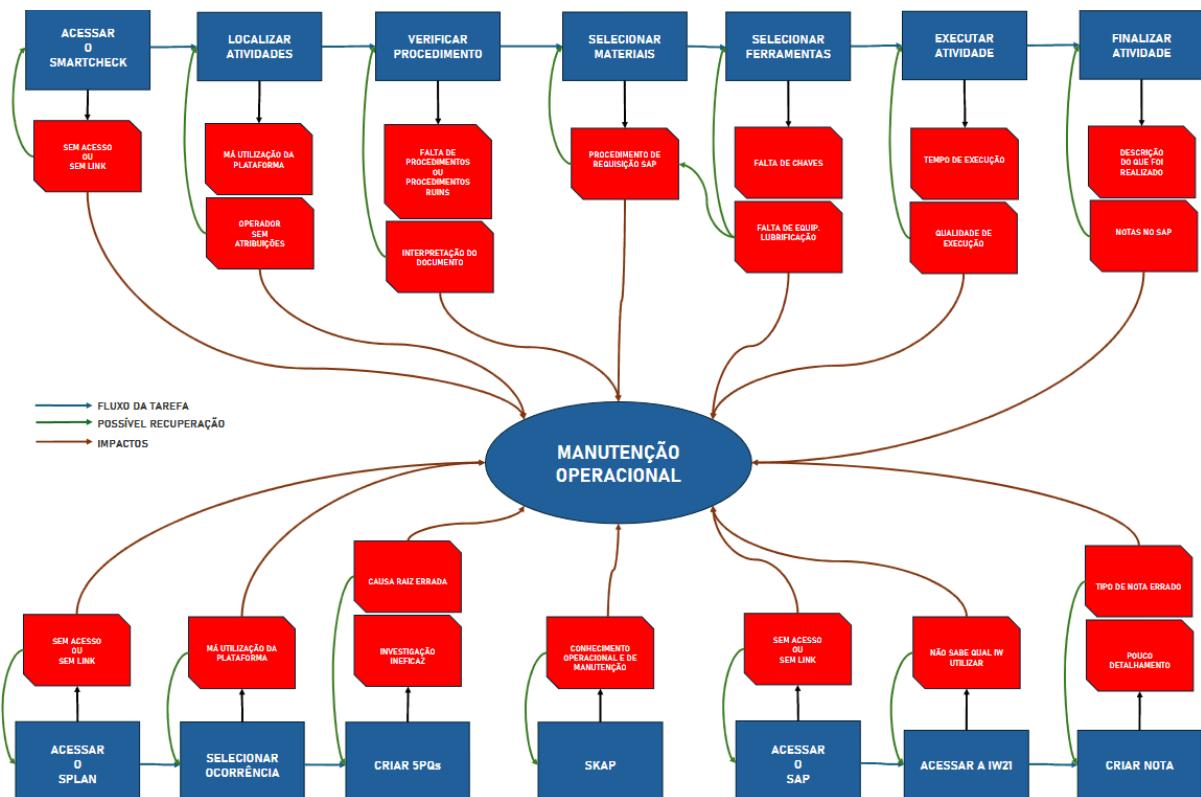
que os resultados são monitorados e comparados com as expectativas e *Act* (Agir), onde as melhorias são padronizadas caso os resultados sejam positivos ou ajustes são feitos para reiniciar o ciclo e aprimorar o processo continuamente.

Primeiramente, antes de estruturar o PDCA, foi necessário realizar um mapeamento de processos, visando encontrar pontos negativos para a manutenção operacional que não foram encontrados por meio de uma simples comparação com a teoria. Com essa etapa finalizada, pode-se selecionar os principais tópicos e realizar a montagem do diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe, que é uma ferramenta gráfica usada para identificar e organizar as possíveis causas de um problema, sendo amplamente utilizado em gestão da qualidade e resolução de problemas industriais. O diagrama pretende identificar, organizar e visualizar as causas potenciais de um problema, facilitando a análise e a tomada de decisões.

Além disso, com todos os pontos mapeados e identificados no Ishikawa, uma matriz de prioridade pode ser utilizada para focar nos itens que, se solucionados, poderão contribuir mais significativamente para o objetivo do projeto.

## 7.1 PLANEJAMENTO (PLAN)

Figura 16 - Mapeamento de processos.



Fonte: Própria do autor.

O mapeamento apresentado na Figura 16 foi criado com o auxílio do gerente de envase da empresa, sendo uma pessoa com muitos anos de experiência na área e que pode passar uma visão técnica e levantar problemas. A estruturação do mapa foi feita com base nas ferramentas, habilidades e materiais necessários para o funcionamento correto da manutenção operacional.

Na parte superior do mapa, são relacionados todos os problemas advindos da má gestão e da falta de utilização do Smartcheck. Segue abaixo uma explicação de cada problema levantado:

Acessar o Smartcheck: por meio de conversas e acompanhamento diário da rotina dos operadores, foi constatado que muitos funcionários não possuíam acesso ou não sabiam acessar o Smartcheck, sendo assim, raramente realizavam atividades de limpeza, inspeção ou lubrificação.

Localizar atividades: Alguns casos de pessoas que sabiam acessar a plataforma, mas não sabiam utilizá-la também foram vistos, e nessa situação, o

cenário era parecido com o descrito na parte do acesso à plataforma, em que os operadores não executavam as tarefas. Além disso, diversos operadores não possuíam nenhuma tarefa atribuída em seu nome, o que afetava ainda mais o cenário.

**Verificar procedimento operacional:** Os procedimentos operacionais são o que garantem que a manutenção seja realizada com qualidade e segurança, e muitas das tarefas não possuíam procedimento ou então tinham procedimentos genéricos, que não auxiliavam em nada na execução. Outro fator em que a falta de procedimentos tinha grande impacto era a ausência de tabelas contendo especificações de que tipo de lubrificante utilizar em cada motor redutor, algo que reduz drasticamente a vida útil dos motores elétricos, pois seu acoplamento fica comprometido.

**Selecionar materiais:** Os materiais necessários para a manutenção são de responsabilidade do supervisor de produção, que irá acompanhar o seu time de operadores durante o turno. O que foi visto era que, muitas vezes, os supervisores não sabiam onde encontrar determinadas peças ou produtos que os operadores necessitavam, o que aumentava em muito o tempo médio entre as paradas ou até mesmo o tempo de manutenção durante o dia de PCM.

**Selecionar ferramentas:** Durante a execução de algumas atividades, principalmente as de lubrificação, foi percebida uma falta de ferramentas básicas, o que impactava muito no tempo de execução das atividades. Um exemplo disso são kits de chaves pequenas e chaves allen e equipamentos de lubrificação, como bombas graxeiras e bombas de óleo.

**Executar atividade:** Durante os meses de estudo, foram realizados diversos DTOs (Diagnósticos de Trabalho Operacional), para verificar se a execução da atividade estava conforme o esperado. Principalmente nas tarefas em que os procedimentos eram inexistentes, a execução não foi da melhor forma possível. Em vários casos, pontos de lubrificação importantes não foram lubrificados, o que ocasiona desgaste prematuro de partes móveis.

**Finalizar atividade:** Assim como descrito na teoria da manutenção operacional, um dos pontos mais importantes é a identificação de problemas nas máquinas, mencionados como a colocação de “tags” na teoria original. No contexto mais atual, essa prática foi substituída pelas notas de manutenção lançadas no sistema SAP. O recomendado após a realização da atividade é que o operador dê baixa nas atividades realizadas, escrevendo detalhadamente o que foi feito, e abra as notas com os

problemas encontrados, o que muitas vezes não acontecia, ficando até mesmo difícil acompanhar se a tarefa foi mesmo realizada.

Na parte inferior do mapeamento, foram colocados outros itens que também possuem relação com a manutenção operacional, dentre eles, tem-se:

SKAP: esse item, dentro da companhia estudada, diz respeito ao nível de conhecimento do operador sobre cada parte do processo que ele está atuando, assim sendo, quanto maior for a SKAP da pessoa, mais habilidosa e capaz ela é, sendo um ponto extremamente relevante para a manutenção e que está intimamente ligado a treinamentos, principalmente quando a pessoa ingressa na empresa.

SPLAN: Conforme mencionado anteriormente, essa plataforma da empresa permite realizar investigações de problemas complexos para encontrar uma causa, algo que a tem correlação direta com a manutenção operacional e que se utilizado da forma devida pode trazer diversos benefícios para a linha de produção.

SAP: outra plataforma essencial para o mapeamento e criação de um planejamento de manutenção dentro do ambiente fabril e suas limitações de acesso e utilização por meio da operação podem ser extremamente prejudiciais para o desempenho da linha de produção, sendo outro tópico relevante para ser corrigido.

Com esses pontos levantados, foi possível distribuir todos os problemas no diagrama de Ishikawa, para melhorar a visualização geral do caso.

Considerando que o Diagrama de Ishikawa possui tópicos: meio ambiente, medição, método, máquina, mão de obra e material, todos eles foram esboçados no diagrama apresentado anteriormente. Abaixo segue uma explicação detalhada de como foram distribuídos os itens nas categorias do diagrama:

**Método:** Nesta categoria deve ser inserida causas relacionadas aos procedimentos utilizados para executar o trabalho. Os problemas podem ocorrer devido a metodologia aplicada de forma incorreta. Deve-se questionar o quanto a forma de trabalho influenciou o problema.

**Material:** Nesta categoria devem ser adicionadas causas que envolvam o material utilizado no trabalho. Os problemas podem surgir devido à inconformidade técnica ou pela qualidade exigida para a realização do trabalho. Devemos nos questionar se o material utilizado pode ter influenciado o trabalho, se o material tinha boa qualidade, ou se foi proveniente de um fornecedor homologado.

**Mão de Obra:** Esta categoria mostra as causas que envolvem atitudes e dificuldades por parte do colaborador como por exemplo: pressa, imprudência, ato

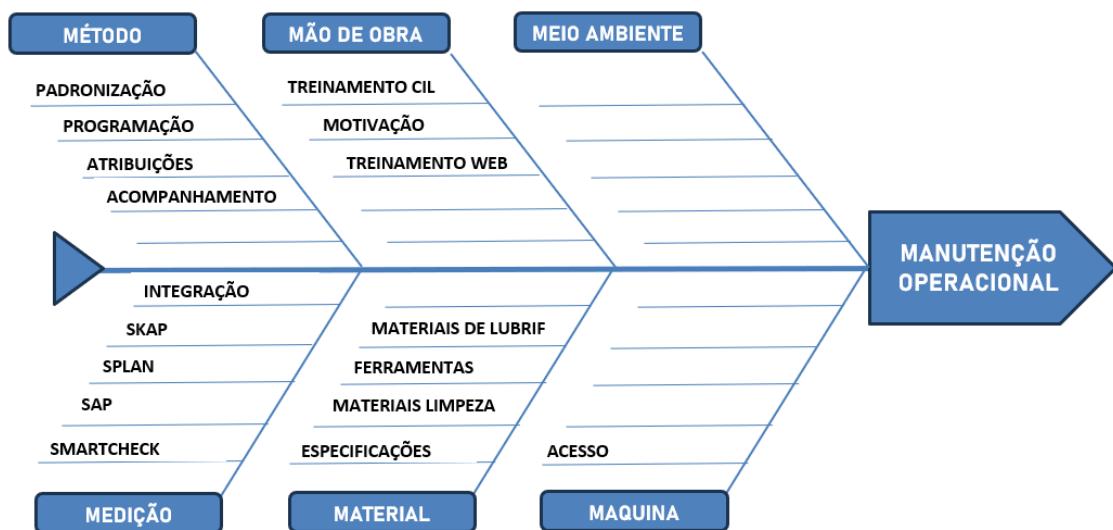
inseguro, desleixo, falta de treinamento, dentre outros. Devemos nos questionar se o colaborador está preparado e bem treinado, se sua atitude está adequada ou se há falta de experiência.

Máquina: Nesta categoria encontram-se as causas que envolvem tudo que está relacionado com o maquinário do processo. Muitos problemas são derivados por falhas de máquinas, podendo ser causados por falta de manutenção regular ou mesmo se for operacionalizada de forma inadequada. Devemos nos questionar se houve problemas com máquinas e equipamentos em geral.

Medição: Esta categoria é preenchida com as causas que envolvem os instrumentos de medida, a efetividade de indicadores em mostrar as variações de resultado, avaliações de forma incorreta, se o acompanhamento está sendo realizado e se ocorre na frequência necessária.

Meio Ambiente: Nesta categoria temos as causas relacionadas às questões do trabalho, como local, calor, layout, poluição, poeira, falta de espaço, dimensionamento inadequado dos equipamentos, dentre outros. O ambiente pode favorecer a ocorrência de problemas. Devemos nos questionar se houve alguma influência do meio ambiente na ocorrência do problema.

Figura 17 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Própria do autor.

Finalmente, como último passo da identificação e seleção de quais tópicos possuem maior relevância, foi criada uma matriz de prioridades, ou matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência). Essa é uma ferramenta de priorização que ajuda na tomada de decisões ao classificar problemas ou ações com base em três critérios: gravidade (impacto do problema), urgência (tempo disponível para resolvê-lo) e

tendência (probabilidade de piora com o tempo). Cada critério recebe uma nota de 1 a 5, e o produto dessas notas ( $G \times U \times T$ ) indica a prioridade do item, permitindo que se organize a resolução das questões do mais crítico ao menos crítico.

Assim sendo, segue na Tabela 2 como se deu a priorização das ações:

Tabela 2 - Matriz GUT de priorização.

ITEM	G	U	T	MATRIZ GUT	
				IMPORTÂNCIA	
PROGRAMAÇÃO	5	5	5	125,00	
TREINAMENTO CIL	5	5	4	100,00	
PADRONIZAÇÃO	5	4	4	80,00	
TREINAMENTO PLATAFORMAS	4	4	4	64,00	
MATERIAIS DE LUBRIFICAÇÃO	4	4	4	64,00	
ATRIBUIÇÕES	5	4	3	60,00	
ACOMPANHAMENTO	5	4	3	60,00	
INTEGRAÇÃO	4	4	3	48,00	
MATERIAIS LIMPEZA	4	3	4	48,00	
FERRAMENTAS	4	4	3	48,00	
ESPECIFICAÇÕES	5	3	3	45,00	
MOTIVAÇÃO	3	3	2	18,00	
ACESSO A MÁQUINA	2	1	1	2,00	

Fonte: Própria do autor.

Como muitas ações foram levantadas para serem cumpridas, foram consideradas apenas as que pontuaram acima de 50 pontos na matriz GUT, algo para limitar, mesmo que apenas no primeiro ciclo do PDCA a execução e garantir um maior foco na qualidade das ações prioritárias.

## 7.2 EXECUÇÃO (DO)

O tópico 8.2 consiste na realização de ações levantadas no PLAN, demonstrando como foi realizada a execução para corrigir os principais problemas que a manutenção operacional apresenta na indústria estudada.

Para dar início ao desenvolvimento das ações, foi realizado um treinamento voltado para os operadores da linha de produção, com foco nas práticas essenciais de limpeza, inspeção e lubrificação dos equipamentos. Ministrado pelos especialistas das máquinas, o treinamento teve como objetivo capacitar os colaboradores para executar essas atividades com maior eficiência, segurança e padronização. O conteúdo foi estruturado para abranger desde os fundamentos teóricos até as aplicações práticas, promovendo o entendimento dos impactos diretos dessas rotinas no desempenho dos equipamentos e na prevenção de falhas. Durante as sessões,

foram utilizados materiais didáticos de qualidade, exemplos práticos do dia a dia da linha e demonstrações técnicas detalhadas, garantindo uma abordagem completa e facilitando a assimilação dos conhecimentos. Essa iniciativa reforça o compromisso com a excelência operacional e a valorização do papel dos operadores na manutenção e confiabilidade dos processos produtivos. Após concluído o treinamento, foi possível então, designar as atividades, iniciar o acompanhamento e as verificações.

Figura 18 - Treinamento operacional de *Cleaning, Inspection and Lubrification* (CIL – Limpeza, Inspeção e Lubrificação).



Fonte: Própria do autor.

Ademais, foi promovido um treinamento especializado em todas as plataformas utilizadas (SAP, Splan, Smartcheck) voltado aos operadores da linha de produção, com o intuito de aprimorar o uso do sistema na rotina operacional. O treinamento teve como foco todos os pontos negativos levantados no mapeamento de processos. O conteúdo foi apresentado de forma clara e detalhada, com simulações práticas no sistema e exemplos reais do ambiente de produção, o que facilitou o aprendizado e reforçou a importância do uso adequado das plataformas para a gestão eficiente da manutenção. A capacitação também permitiu responder às dúvidas específicas dos participantes, assegurando que todos estivessem preparados para aplicar os conhecimentos de forma autônoma e com qualidade.

Por conseguinte, um modelo de programação das atividades operacionais foi desenvolvido com o coordenador da linha 101, o que permitiu organizar, planejar e controlar as atividades de manutenção nos equipamentos, máquinas ou sistemas, contribuindo para o funcionamento adequado, reduzindo falhas inesperadas, aumentando a vida útil dos ativos e melhorar a eficiência operacional. Esse planejamento permite que as intervenções sejam feitas nos momentos certos, evitando paradas não programadas, otimizando recursos (como mão de obra e peças) e contribuindo para a segurança, produtividade e economia da empresa. O modelo desenvolvido conta com atividades atribuídas hora a hora para cada operador em dia de PCM.

Tabela 3 - Planejamento operacional do PCM.

		TURNO A - TERÇA - 22/04									
DONO	ATIVIDADES	TEMPO	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	
HAMILTON	LIMPEZA DA ÁREA DA DPI	90min									
	LIMPEZA DA ÁREA DO FUNDO DE LINHA (LADO DA DPI)	120min									
	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES REALIZADAS	30min									
JOÃO	CORTE DE PRODUÇÃO PL - 04h00	5min									
	LIMPEZA DO TRP DE ENTRADA DA PL	60min									
	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES REALIZADAS	30min									
WAGNER	CORTE DE PRODUÇÃO DCK - 23h30	5min									
	LIMPEZA DA ÁREA DA DCK	180min									
	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES REALIZADAS	30min									
GABRIEL	CORTE DE PRODUÇÃO ECK - 03h30	5min									
	LIMPEZA DA ÁREA DA ECK	180min									
	ABERTURA DE NOTAS	30min									
DIEGO	LIMPEZA DA ÁREA DA DCK	180min									
	LIMPEZA DA ÁREA DA ECK	180min									
	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES REALIZADAS	30min									
BRUNO	CORTE DE PRODUÇÃO LGF - 00h45	5min									
	ENVIAR TANQUES 1 AO 4	30min									
	LIMPEZA DOS TANQUES 1,2,3 E 4	240min									
JUNIO	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES REALIZADAS	30min									
	LIMPEZA DAS LATERAIS DA LGF	150min									
	LIMPEZA DOS TANQUES 1,2,3 E 4	240min									
LUCAS (PARCEIRO)	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES REALIZADAS	30min									
	RETRAR CAIXAS (ÁREA DO VIRADOR E MAGAZINE DE CAIXAS)	90min									
	AUXILIAR NA LIMPEZA DOS TANQUES DA LGF										
DIOGO	CORTE DE PRODUÇÃO ECH - 01h45	5min									
	MONTAGEM DE GARRAFAS FALSAS	120min									
	LIMPEZA DO TRP ECH-P2 (BIGBLUE)	90min									
JONATHAN (PARCEIRO)	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES	30min									
	MONTAGEM DE GARRAFAS FALSAS	120min									
	VERIFICAR E COMPLETAR GRAIXA DA CENTRALIZADA DA ECH	30min									
WALBERTH	SSE ORGANIZAÇÃO DA ÁREA	30min									
	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES	30min									
	RETRAR CAIXAS (ÁREA DO VIRADOR E MAGAZINE DE CAIXAS)	90min									
PAULO	AUXILIAR NA LIMPEZA DO FUNDO DE LINHA										
	CORTE DE PRODUÇÃO ROTULADORA 1 - 03h00	5min									
	Limpar e inspecionar regua do rolo de cola da rotuladora 1	45min									
	Lubrificação Centralizada da Rotuladora 2	30min									
	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES	30min									
	CORTE DE PRODUÇÃO ROTULADORA 2 - 03h00	5min									
	Limpar e inspecionar regua do rolo de cola da rotuladora 1	45min									
	Lubrificação Centralizada da Rotuladora 1	30min									
	ABERTURA DE NOTAS + BAIXA NAS ATIVIDADES	30min									

Fonte: Própria do Autor.

Apesar da Tabela 3 mostrar apenas atividades relacionadas ao dia do PCM, não foram apenas essas que foram atribuídas e distribuídas para os colaboradores. As demais atividades de CIL que eram existentes no Smartcheck também foram revisadas, assim sendo, não há nenhuma atividade sem dono.

Além disso, durante a atribuição e revisão das atividades, foram identificadas todas as atividades que não possuíam procedimentos operacionais que atendessem

os padrões de qualidade e de segurança desejados, totalizando 60 procedimentos para toda a linha de produção.

A elaboração dos procedimentos operacionais foi a etapa mais demorada do processo, uma vez que exigiu o acompanhamento próximo de funcionários ou técnicos mais experientes da área para garantir a construção dos documentos de forma precisa e alinhada às práticas ideais. Apesar da complexidade, após algumas semanas de trabalho colaborativo, foi possível revisar todos os procedimentos e integrá-los ao sistema Smartcheck. Essa iniciativa resultou em uma execução mais padronizada e eficiente das atividades, além de aprimorar significativamente a manutenção realizada pelos operadores, elevando a qualidade e a confiabilidade dos processos produtivos.

Por fim, com os operadores já capacitados, com suas atividades atribuídas, um planejamento de manutenção semanal bem estruturado e os procedimentos operacionais padronizados disponíveis para orientar a execução das tarefas da melhor forma possível, foi identificada a necessidade de suprir lacunas relacionadas as ferramentas. Para isso, foi realizada uma verificação individual em cada posto de trabalho, com o objetivo de identificar as principais demandas para pequenas manutenções e limpeza das áreas. A partir desse levantamento, foram adquiridos diversos itens essenciais, como kits de ferramentas manuais (chaves, alicates), bombas de aplicação de lubrificantes e graxas, panos, escovas metálicas, baldes. Essa iniciativa garantiu que cada operador estivesse plenamente equipado para realizar suas tarefas com autonomia, segurança e eficiência, contribuindo diretamente para a melhoria da conservação dos equipamentos e da organização da linha de produção.

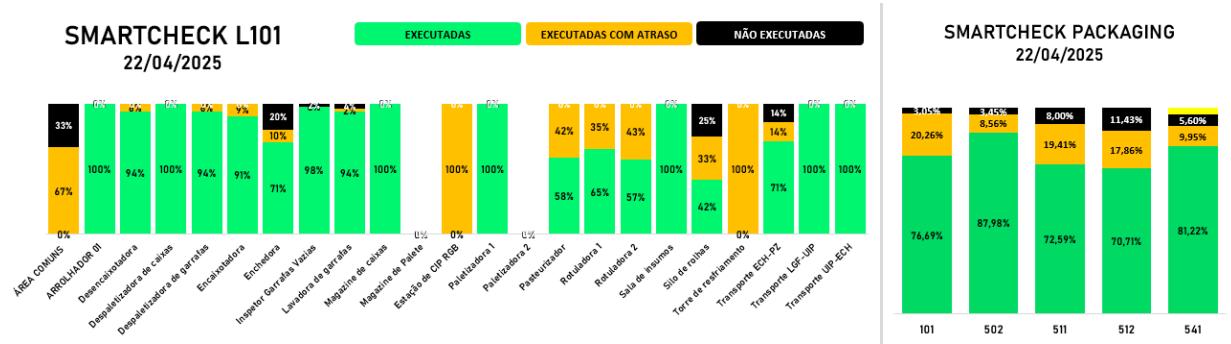
### **7.3 VERIFICAÇÃO (CHECK)**

Após a realização da etapa anterior, um acompanhamento diário foi feito durante dois meses, para verificar se as medidas realmente apresentaram uma fixação no comportamento das pessoas, pois como mencionado anteriormente, um dos grandes desafios para a manutenção operacional e a TPM era a resistência por parte da operação.

Para realizar a verificação, um gráfico diário era gerado mostrando a porcentagem geral de execução das atividades do Smartcheck e a porcentagem

individual por máquina. Com esse acompanhamento visual, era possível identificar se algum operador não estava cumprindo com o seu cronograma de atividades, ficando fácil de corrigir o problema.

Figura 19 - Acompanhamento do Smartcheck.



Fonte: Própria do Autor.

Outra forma de vistoriar o funcionamento dos redirecionamentos relacionados a manutenção operacional, foi a prática constante dos DTOs, para assegurar que os procedimentos operacionais criados estavam sendo realmente utilizados pela operação, garantindo a qualidade das tarefas.

Foi observado que, embora algumas tarefas fossem executadas com certo atraso, elas eram realizadas com qualidade de acordo com as orientações transmitidas durante o treinamento. Isso demonstra que, mesmo diante de desafios relacionados ao tempo, os operadores mantiveram o comprometimento com a padronização e a excelência na execução das atividades.

Outro ponto muito importante, foi a verificação das inspeções, isso foi feito por meio de um acompanhamento das notas do SAP, tendo em vista que, se o operador estivesse realmente realizando as inspeções iriam também abrir notas para indicar os problemas localizados e assim, contribuir para o serviço do supervisor de manutenção da linha de produção. Foi notado um aumento significante na quantidade das notas já no primeiro mês de acompanhamento.

Tabela 4 - Acompanhamento de notas SAP.

QUANTIDADE DE NOTAS ABERTAS POR QLP - L101																
ID	NAME	SITUAÇÃO	FUNÇÃO	TURNO	ZS	ZB	ZA	Z8	Z7	Z3	Z2	Z1	SOMA			
998	BRUNO	Active	OPERADOR	A	5	0	11	0	0	0	0	0	2	18		
998	EVANDRO	Active	OPERADOR	B	3	3	6	0	0	0	0	0	0	12		
998	PEDRO	Active	OPERADOR	A	1	0	6	0	0	0	0	0	0	7		
998	GEOVANNI	Active	OPERADOR	A	2	0	5	0	0	0	0	0	0	7		
998	ALEANDRO	Active	OPERADOR	C	1	2	2	0	0	0	0	0	0	5		
998	MATHEUS	Active	OPERADOR	B	1	4	0	0	0	0	0	0	0	5		
998	AGUINALDO	Active	TÉCNICO	C	0	0	0	0	0	1	3	0	4			
998	THAIS	Active	OPERADOR	C	2	0	0	0	0	1	1	0	4			
990	WAGNER	Active	TÉCNICO	ADM	0	0	0	0	0	3	0	0	3			
998	ROSCICLEIDE	Active	OPERADOR	A	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3		
997	DARLEN	Active	TÉCNICO	ADM	0	0	0	0	0	1	0	2	3			
998	AMADEU	Active	OPERADOR	B	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3		
997	PEDRO	Active	TÉCNICO	ADM	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3		
998	DIEGO	Active	TÉCNICO	B	1	0	2	0	0	0	0	0	0	3		
998	GILLIARD	Active	OPERADOR	A	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2		
998	BENILSON	Active	OPERADOR	B	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2		
998	MARIO GOMES	Active	TÉCNICO	A	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2		
998	LEONARDO	Active	OPERADOR	A	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2		
998	WESLEY	Active	OPERADOR	A	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
998	YRLEI	Active	OPERADOR	B	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2		
997	GUSTAVO	Active	OPERADOR	C	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2		
998	MARCELO	Active	OPERADOR	A	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2		

Fonte: Própria do Autor.

## 7.4 AÇÃO (ACT)

Como conclusão para o ciclo do PDCA, deve-se utilizar a última etapa, a *Ação (Act)*. Nessa fase, os resultados obtidos na etapa anterior (*Check*) são analisados, visando identificar o que funcionou de forma eficiente e o que apresentou falhas. O *check* foi etapa muito importante, pois garantiu que houve acompanhamento das ações implementadas, permitindo verificar se os resultados esperados foram realmente alcançados. Quando os dados indicam um desempenho satisfatório, é possível padronizar as boas práticas, consolidando-as. Por outro lado, se forem detectadas inconsistências ou desvios, essa é a oportunidade ideal para implementar ajustes e melhorias pontuais.

Como foi visualizado por meio da Figura 19 e da Tabela 4, a metodologia e o planejamento aplicados à manutenção demonstraram-se eficazes, pois houve uma alta porcentagem de execução das atividades de manutenção. Através da análise dos indicadores e dos resultados obtidos, observou-se que as ações planejadas e executadas trouxeram impactos positivos no desempenho dos equipamentos e na redução das paradas não programadas. Isso comprova que o ciclo do PDCA foi conduzido de maneira adequada, mesmo que estando apenas no seu primeiro ciclo. Assim, a padronização das práticas bem-sucedidas e a correção de eventuais falhas consolidam a melhoria contínua como um processo real e mensurável dentro da gestão da manutenção.

Tendo isso como base, os modelos de planejamento de manutenção operacional, modelo de acompanhamento de execução do Smartcheck e o modelo de controle da execução com base nas notas do SAP foram estipulados como padrão nessa linha de produção, podendo então serem utilizados continuamente devido aos resultados apresentados. Ademais, um trabalho de expansão da metodologia para as demais linhas de produção também pode ser desenvolvido, garantindo que não apenas a linha 101 esteja de acordo com o padrão esperado pela manutenção operacional, mas toda a fábrica estudada.

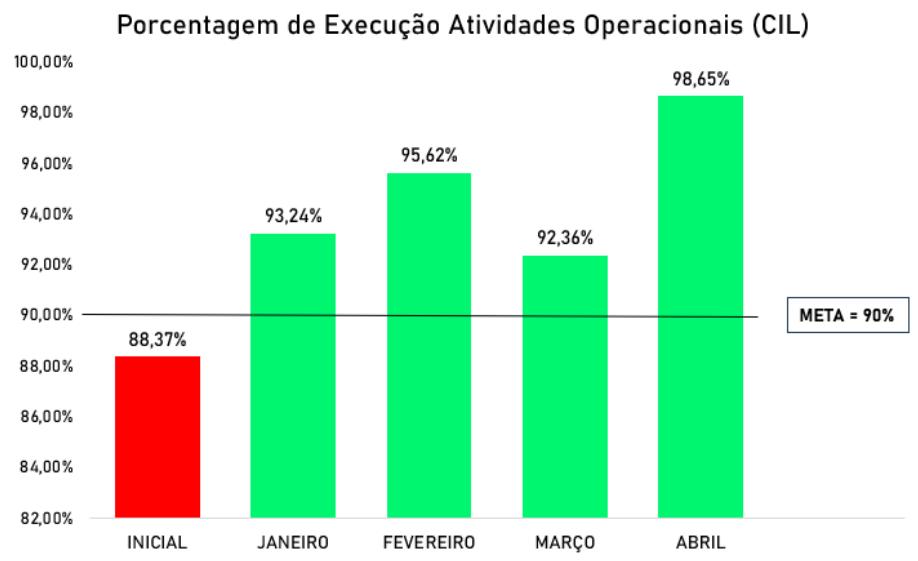
## **8.CONCLUSÕES E RESULTADOS**

Tendo em vista todos os passos aplicados no Tópico 8 do trabalho, cabe analisar quais foram seus reflexos na produtividade, ineficiência das máquinas e na execução das atividades que contemplam a manutenção autônoma.

Primeiramente, no que se diz respeito a execução das atividades de CIL, ao se analisar ao mês inicial do estudo em 2024 e comparar com o primeiro semestre de 2025, já com a aplicação de todas as correções realizadas no período de execução do trabalho, pode-se perceber um avanço muito interessante no cumprimento das atividades de manutenção por parte dos operadores.

Na situação inicial, apesar de a porcentagem de execução ser relativamente alta, mesmo que estando abaixo da meta da companhia, o valor criava um contraste com a baixa eficiência da linha de produção. Foi percebido que uma parcela significativa das atividades de CIL eram concluídas no Smartcheck sem a real realização da tarefa, algo extremamente negativo para a manutenção geral da indústria. Com o novo acompanhamento, foi possível garantir uma alta taxa de execução da manutenção e com a qualidade de execução conforme os procedimentos padrão da manutenção operacional, o que pode ser visto nos resultados entregues em 2025, que estão todos acima da meta de 90% desejada inicialmente.

Figura 20 - Evolução final do smartcheck.



Fonte: Própria do Autor.

Com relação a ineficiência dos equipamentos, também foi possível visualizar melhorias significativas. Na situação inicial, a linha de produção contava com cerca de 26 mil falhas durante um mês, valor esse que foi reduzido para a faixa das 23 mil falhas durante o mês, essa quantidade de ocorrências segue sendo alta, porém, que com apenas com o primeiro ciclo do PDCA, já foi possível de reduzi-las em mais de 10%.

Dentre todos os equipamentos da linha, o que apresentou o melhor avanço com relação às micro e macro falhas foi a DCX, que apresentou uma redução de 4627 falhas no mês de setembro de 2024 para 2660 no mês de março de 2025, mais de 40% na redução de falhas. Vale ressaltar que o principal problema desse equipamento era a limpeza inicial, passo esse que antecipa a identificação dos problemas pelo operador e que afetava drasticamente o levantamento de problemas significativos na máquina, como vazamentos de óleo e peças estruturais desgastadas.

Para concluir, cabe visualizar os indicadores globais da linha de produção e comparar com o apresentado no Tópico 6.2 para ter uma ideia geral de quão eficiente foi a aplicação das técnicas e melhorias descritas durante o desenvolvimento do projeto.

Dentre os dez indicadores principais citados na Figura 21, é possível dividir entre duas categorias, os que tiveram resultados positivos e os que não apresentaram melhorias. Começando com os positivos, é possível citar:

MTBF: Saindo de 1,46(h) para de 1,63(h) é um resultado que indica diretamente a diminuição da ocorrência de falhas nos equipamentos da linha de produção. Pode até parecer pouco, porém, se considerada uma operação que funciona 24h por dia, tem efeito direto na produtividade.

Disponibilidade: Inicialmente com 86,58%, os equipamentos da linha de produção agora possuem uma disponibilidade média de 87,67%, sendo outro resultado positivo para a produtividade geral do ambiente fabril e facilmente relacionado com a melhoria da manutenção operacional.

Eficiência Global: Esse parâmetro é gerado considerando a capacidade máxima que a linha de produção deveria alcançar em seu projeto inicial. No final dos meses de aplicação da manutenção autônoma, seguindo os critérios necessários, uma evolução de 6,8% na eficiência foi observada, superando as expectativas, que eram aumentar em 5% a eficiência.

Figura 21 - Indicadores finais do trabalho.

➡ Indicadores Líquidos/ Brutos					
OAE 45,86% Eficiencia Global - Liq	GLY 46,34% GLY - Líquido	LEF 56,26% LEF - Líquido	DISP 87,67% DISPONIBILIDADE	IE 6,05% Indisp. Externa	
68.100,11 PB (Volume) ➡	67.386,88 PL (Volume) ➡	0,95% DBL	MTBF 1,63(h)	MTTR 26,36 (min)	

Fonte: Própria do Autor.

Com relação aos pontos negativos encontrados no resultado, apenas um pode ser considerado:

MTTR: o aumento do tempo de reparo das falhas apresentadas pelos equipamentos é algo negativo para o resultado do estudo, entretanto, pode ser relacionado ao comportamento desenvolvido pelos funcionários de analisar melhor o problema antes de intervir, além disso, a identificação correta das anomalias por meio das notas pode também contribuir para aumentar o tempo de resolução de problemas.

A implementação da manutenção autônoma, com base nos pilares do TPM (Manutenção Produtiva Total), mostrou-se eficaz para a melhoria da eficiência operacional da linha de produção analisada. Conforme mencionado, durante o projeto foi possível observar uma melhoria na eficiência da linha, redução de paradas não programadas e maior engajamento dos operadores com as rotinas de manutenção, limpeza e inspeção.

Um dos principais fatores que contribuíram para esses resultados foi a aplicação estruturada do ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar, Agir), que permitiu o acompanhamento contínuo das ações propostas, a identificação dos problemas foco e a realização de melhorias. A utilização do PDCA possibilitou não apenas a padronização das atividades, mas também a criação de uma cultura de melhoria contínua entre os colaboradores envolvidos.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o ciclo PDCA pode ser expandido para os demais equipamentos e linhas da fábrica, respeitando as particularidades de cada processo. Ademais, como apenas um ciclo completo foi aplicado durante o período, uma segunda aplicação na linha 101 também poderia gerar resultados melhores, focando nos gargalos da primeira sequência de intervenções. A continuidade do uso dessa metodologia permitirá à organização alcançar níveis ainda maiores de produtividade e confiabilidade operacional, sendo essa uma sugestão para dar seguimento ao estudo aplicado.

## **9.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 5462/1994 - Confiabilidade e Mantenabilidade. Rio de Janeiro: Copyright, 1994. 37p.;

WYREBSK, J. Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado.1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,1997. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/158161/108695.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25. abr. 2025;

TAVARES, Lourival. Administração Moderna de Manutenção. Novo Pólo Editora – New York, 1998.

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

ALMEIDA, M. T. Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade. 2000. Disponível em: <https://mtaev.com.br/wp-content/uploads/2018/02/mnt1.pdf>. Acesso em 25 abr. 2025;

MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO. Disponível em: <https://www.acoem.com/brasil/pt-br/ranges/manutencao-preditiva/analisadores-de-vibracao-portateis/>. Acesso em: 25 abr. 2025;

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA. Disponível em: <https://www.mapfreglobalisks.com/pt-br/gerencia-riscos-seguros/estudos/termografia-infravermelha-muito-mais-do-que-um-detector-de-pandemias/>. Acesso em: 25 abr. 2025;

MEAN, M. T. T. R.; MEAN, M. T. B. F. Indicadores de manutenção. 2003.

COELHO, José António da Silva. Implementação da total Productive maintenance (TPM) numa empresa de produção. 2008.

YAMAGUCHI, Carlos Toshio. TPM–Manutenção produtiva total. São João Del Rei: ICAP, 2005.

NAKAJIMA, SEIICHI. Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989

VENKATESH, Jindal. An introduction to total productive maintenance (TPM). The plant maintenance resource center, p. 3-20, 2007.

O QUE É MANUTENÇÃO INDUSTRIAL, UDOP. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2007/03/19/o-que-e-manutencao-industrialy.html>. Acesso em: 25 abr. 2025.