

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS IBIRUBÁ**

Proposta de implementação de TPM no contexto da indústria 4.0

BERNARDO ROTA

Ibirubá, abril de 2022

BERNARDO ROTA

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE TPM NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada junto ao Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Cristiano Kulman.

Ibirubá, abril de 2022

BERNARDO ROTA

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE TPM NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada junto ao Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Cristiano Kulman.

Aprovado em mês, ano.

Prof. Dr. Eng. Cristiano Kulman – Orientador

Prof. Me. Alex Sandro Matos de Oliveira – IFRS

Prof. Me. Giancarlo Stefani Schleder – IFRS

Ibirubá, abril de 2022.

DEDICATÓRIA

Em primeiro lugar dedico este estudo ao único que cura, liberta e salva, digno de toda honra e toda a glória, aquele que era, é e há de voltar YESHUA (ישוע).

Também dedico este estudo a minha amada, carinhosa e linda esposa Dáfne dos Santos Ribeiro, a qual me apoiou e permitiu que pudesse fazer este estudo com muito foco e dedicação.

Gostaria de agradecer aqueles que me trouxeram a vida e sustentaram-me com alimento, educação e exemplo, o que representa grande parte do que sou hoje, aos meus pais Danilo Rota e Nelci Fatima Rota, a quem com muito amor também dedico este estudo.

Aos meus queridos e amados colegas do curso de Engenharia Mecânica do IFRS-Ibirubá, os quais se tornaram amigos e irmãos, contribuindo muito para o meu crescimento pessoal.

Aos meus queridos e amados professores que deram o melhor de seu conhecimento e sabedoria, os quais pretendo honrar compartilhando o saber adquirido, com ética e responsabilidade.

Aos meus queridos e amados colegas da manutenção, vocês também são minha família, sem vocês este estudo não aconteceria e não teria razão de existir, todo o empenho neste estudo busca melhorar as condições e o resultado do seu trabalho.

Aos meus queridos e amados colegas de empresa, obrigado por toda informação necessária, conselhos e confiança, sem isso este estudo teria sua relevância diminuída.

Espero ansiosamente para retribuir a todos. Que Deus os abençoe através deste estudo com conhecimento e sabedoria.

RESUMO

No atual cenário competitivo da indústria mundial, algumas empresas e metodologias se destacaram no aumento de sua produtividade e lucratividade. Entre as metodologias, a manufatura enxuta e a *Total Productive Maintenance* (TPM). O estudo traz um foco maior à TPM como forma de obtenção dos objetivos da manufatura enxuta, aborda-se também sua implementação e relação com o departamento de manutenção, demonstrando indicadores pertinentes ao estudo como MTTR (*Mean Time To Repair*), MTBF (*Mean Time Between Failures*) e Disponibilidade. Nas últimas décadas com o surgimento de novas tecnologias como a automação industrial e recentemente as inovações advindas com o conceito de Indústria 4.0, coloca-se novas possibilidades para a TPM e a gestão de manutenção nas indústrias. A partir desta relação estabelecida, foi proposto uma metodologia para justificar como estas tecnologias podem ser usadas na execução da TPM e como proceder a sua implementação nesse novo contexto. Foram descritos aspectos, dados e informações relevantes ao estudo, de uma empresa, a qual teve sua confidencialidade respeitada. Por fim elaborou-se uma proposta de implementação de TPM de maneira mais dinâmica e condizente com a realidade da empresa e justificou-se o uso das tecnologias descritas no estudo.

Palavras-chave: Lucro Cessante. Disponibilidade. Eliminação de Desperdícios. Manutenção.

ABSTRACT

In the current competitive scenario of the world industry, some companies and methodologies have stood out in increasing their productivity and profitability between the methodologies, Lean Manufacturing and Total Productive Maintenance (TPM). The study brings a greater focus to TPM as a way of achieving the objectives of Lean Manufacturing, it also addresses its implementation and relationship with the maintenance department, demonstrating indicators relevant to the study such as MTTR (Mean Time to Repair), MTBF (Mean Time To Repair), Between Failures) and Availability. In recent decades, with the emergence of new technologies such as industrial automation and recently the innovations arising from the concept of Industry 4.0, new possibilities for TPM and maintenance management in industries have arisen. From this established relationship, a methodology was proposed to justify how these technologies can be used in the execution of TPM and how to proceed with its implementation in this new context. Aspects, data and information relevant to the study were described, from a company, which had its confidentiality respected. Finally, a proposal was made to implement TPM in a more dynamic way and in line with the company's reality, and the use of the technologies described in the study was justified.

Keywords: Business Interruption. Availability. Elimination of Waste. Maintenance.

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

BD	<i>Big Data</i>
<i>c</i>	Custo Unitário
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i> - (Sistema de Gerenciamento da Manutenção Computadorizado)
CMH	Custo Médio por Hora de operação
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
<i>D</i>	Disponibilidade
DISP	Disponibilidade relacionada à manutenção
DM	<i>Data Mining</i>
<i>e</i>	Número de Euler
ERP	<i>Enterprise Resource Planing</i> – (Planejamento de Recursos do Empreendimento)
HH	Horas-homem
<i>i</i>	Item produzido
I4.0	Indústria 4.0
IOS	<i>Internet of Services</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
LC	Lucro Cessante
ME	Manufatura Enxuta
<i>m</i>	Margem de Lucro do Produto
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i> – (Sistema de Execução de Manufatura)
MLC	Margem de Lucro através do Custo
MO	Mão de Obra
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> – (Tempo Médio entre Falhas)
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> – (Tempo Médio para Reparo)
<i>n</i>	Número de Itens Produzidos
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> – (Eficiência Global de Equipamento)
OM	Ordem de Manutenção
<i>P</i>	Performance
<i>p</i>	Produtividade Horária do Item
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
<i>Q</i>	Qualidade
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> – (Controle Supervisório e Aquisição de Dados)
<i>t</i>	Tempo
TAG	Identificação do Equipamento
TI	Tecnologia da Informação
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> – (Manutenção Produtiva Total)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pilares manufatura enxuta	17
Figura 2. Pilares TPM.....	18
Figura 3. Implementação do pilar de gerenciamento	21
Figura 4. Passos para implementação do pilar de controle inicial	22
Figura 5. Implementação do pilar de educação e treinamento	23
Figura 6. Implementação do pilar de segurança, saúde e meio ambiente	23
Figura 7. Passos para implementação de MA	24
Figura 8. Implementação da manutenção planejada.....	25
Figura 9. Implementação do pilar de melhoria específica.....	26
Figura 10. Implementação do pilar de qualidade de manutenção	27
Figura 11. Ilustração do OEE	28
Figura 12. DISP x MTBF x MTTR	30
Figura 13. Pirâmide da automação industrial	32
Figura 14. As 4 revoluções industriais	34
Figura 15. Níveis de gestão	35
Figura 16. 5 V(s).....	35
Figura 17. Integração da I4.0.....	36
Figura 18. Organograma representativo da empresa.....	38
Figura 19. Algoritmo de prioridade	40
Figura 20. Sugestão de Organograma de Implementação	54
Figura 21. Sequência de implementação dos pilares.....	55
Figura 22. Fluxograma de implementação PDCA.....	57
Figura 23. Dados culminam em produtividade	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Ferramentas usadas na manufatura enxuta	17
Quadro 2. Etapas de implementação da TPM	20
Quadro 3. Classificação de criticidade	39
Quadro 4. Proposta de implementação do TPM.....	54
Quadro 5. Sequência de implementação dos pilares	55
Quadro 6. Responsáveis no ciclo PDCA de implementação.....	57
Quadro 7. Justificativa para o uso das ferramentas 4.0	59
Quadro 8. Resultados esperados	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribuição dos equipamentos por classe.....	43
Gráfico 2. OM(s) abertas por turno	44
Gráfico 3. Distribuição do total de OM(s) abertas	45
Gráfico 4. Distribuição com filtro nos dados	45
Gráfico 5. Tempo de corretivas não programada	46
Gráfico 6. OM(s) por criticidade	47
Gráfico 7. Número de TAG utilizadas nas OM(s)	47
Gráfico 8. Média de OM(s) por TAG	48
Gráfico 9. Pareto tempo de manutenção.....	48
Gráfico 10. Pareto Falhas	49
Gráfico 11. Divisão do tempo de indisponibilidade	49
Gráfico 12. Custo MO e Material	51
Gráfico 13. Custo com LC.....	52
Gráfico 14. LC em 91 dias indisponibilidade da célula robótica	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados esperados do TPM.....	19
Tabela 2. Valores dos fatores de processo.....	42
Tabela 3. Taxa média de abertura de OM por HH	44
Tabela 4. Tempo gasto em corretivas não programadas	46
Tabela 5. Divisão da indisponibilidade de 4 equipamentos	50
Tabela 6. Indicadores do equipamento estudado.....	50
Tabela 7. Detalhamento do custo de material.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
1.3	Objetivos Específicos.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Manufatura Enxuta.....	16
2.2	TPM	18
2.3	Efetividade Global de Equipamentos (OEE)	27
2.4	Tipos de Manutenção	29
2.5	Indicadores de Manutenção.....	30
2.6	Custos de Manutenção Corretiva	31
2.7	Manutenção no contexto da automação e da indústria 4.0.....	31
3	METODOLOGIA	37
3.1	Caracterização da Empresa	38
3.2	Classificação dos equipamentos.....	38
3.3	Coleta de dados	39
3.4	Cálculo dos Indicadores de Manutenção.....	40
3.5	Tempos analisados	40
3.6	Definição do estudo de caso.....	41
3.7	Cálculo de lucro cessante	41
3.8	Levantamento dos custos de manutenção	42
4	DISCUSSÃO.....	43
4.1	Ordens de manutenção	43
4.2	Definição do estudo de caso.....	46
4.3	Estudo de caso.....	50
4.4	Proposta de implementação de TPM.....	54
4.5	Resultados Esperados.....	60

5	CONCLUSÃO	62
6	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	64
7.	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Com as novas perspectivas postas pelos conceitos e tecnologias envolvidas pela indústria 4.0 (I4.0), inúmeros sistemas e processos adquirem novas maneiras de serem executados. Além da automatização, que outrora representava o *status quo*, agora os processos passam a ter informações conectadas, compartilhadas e dotadas de capacidade analítica com a inteligência artificial.

As metodologias que antes eram implementadas com processos manuais e dependiam exclusivamente da capacidade humana e possuem sucesso comprovado, como mostra o estudo de Alves e Oliveira (2014), agora contam com o auxílio das novas tecnologias que ganham cada dia mais espaço na indústria. A manutenção produtiva total (TPM - *Total Productive Maintenance*) é uma dessas metodologias, e que recebe um reforço importante na sua robustez e na capacidade de gerar resultado. Através da utilização dos sistemas de automação já conhecidos como o sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*) e o sistema de execução de manufatura (MÊS - *Manufacturing Execution Systems*), aliados as tecnologias de conectividade, *Big Data*, Nuvem, entre outras, potencializam as metodologias da manufatura enxuta e a TPM.

A revisão da literatura traz conceitos necessários para a compreensão da proposta, como manufatura enxuta, TPM, eficiência global do equipamento (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*), indicadores de manutenção, automação industrial e indústria 4.0. O objeto de desenvolvimento deste estudo é uma fábrica metal mecânica da cidade de Ibirubá, Rio Grande do Sul, a qual possui seu sistema de produção inspirado na manufatura enxuta. Nesta empresa há grande dificuldade na obtenção de dados para realizar a gestão de manutenção e produção de forma satisfatória.

Parte da metodologia usada para chegar à discussão do estudo de caso foi desenvolvida pelo autor e é descrita na seção de Metodologia, capítulo 3. Uma das contribuições mais expressivas desta construção é o cálculo do lucro cessante, o qual foi elaborado com base nas características do processo administrativo e financeiro da empresa estudada. Este método de cálculo pode ser replicado para outros equipamentos da empresa, bem como o valor identificado passa a ter peso na gestão dos ativos.

A caracterização da empresa a partir dos dados preliminares coletados mostra a importância da coleta e da qualidade dos mesmos para a gestão de manutenção. Já o estudo de caso irá trazer o potencial de ganhos através do impacto no lucro com a parada do equipamento.

O presente estudo apresenta uma análise financeira, com objetivo de evidenciar o potencial de ganhos e justificar a implementação de TPM com um novo método, adequando as características da empresa, contextualizando o uso das tecnologias de automação e I4.0.

1.1 Justificativa

Na manufatura enxuta encontra-se a TPM como possibilidade para a redução de desperdícios. A TPM tem como um de seus pilares a manutenção planejada, a qual é dependente dos dados de manutenção adquiridos, ou seja, o histórico registrado das máquinas. Todavia, a dificuldade na obtenção desses dados, quer seja por falta de confiabilidade ou falta de registro, acaba dificultando o trabalho de uma engenharia de manutenção, afetando a produtividade com a indisponibilidade técnica dos equipamentos.

Ainda na TPM temos o pilar de manutenção autônoma, que tem por objetivo capacitar o operador da máquina para realizar inspeções e pequenos reparos. Essa atividade é de grande importância, pois a afinidade do operador com sua máquina de trabalho desenvolve um senso crítico que os possibilita a adoção de boas práticas e antecipação de reparos em peças e componentes que levariam a falha do equipamento e parada da máquina. Porém, a cultura de trabalho onde a ferramenta está sendo inserida, bem como a falta de confiabilidade das ferramentas de controle adotadas, como os checklists em papéis, acabam por tornar o procedimento burlável acarretando a não realização prática das atividades. O mesmo problema relacionado à coleta dos dados encontra-se também na medição do OEE, o qual depende, além dos dados de manutenção, dos de produção e qualidade. O OEE é de suma importância tanto para engenharia de manufatura no dimensionamento de capacidade de produção, quanto para a manufatura, a qual necessita desse indicador para definir a estratégia operacional da produção.

Atualmente a tecnologia permite que tais problemas sejam resolvidos com a nova revolução industrial, a conectividade, o *big data*, nuvem, entre outras tecnologias que automatizam a geração, aquisição, tratamento e armazenagem dos dados. Com a I4.0 a dependência de mão de obra especializada para trabalhar os dados de operação diminui, tornando esse processo mais rápido, fácil e confiável.

1.2 Objetivos

Com a realidade da empresa estudada e sua demanda, o estudo tem como objetivo geral desenvolver uma proposta metodológica para implementação de TPM e justificar o uso de ferramentas da indústria 4.0, para aumentar a capacidade de gestão do setor de manutenção da empresa, possibilitando uma maior eficiência e disponibilidade dos equipamentos, por consequência reduzindo perdas e aumentando a produtividade e lucratividade da empresa.

1.3 Objetivos Específicos

- Analisar os dados preliminares para verificar sua veracidade, precisão e volume, ou seja, sua qualidade dos dados, identificar tendências, gargalos e oportunidade de melhorias;
- Analisar um grupo de equipamentos críticos;
- Calcular o custo das paradas dos equipamentos analisados, a partir disso evidenciar o potencial de ganhos com o aumento da disponibilidade;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão bibliográfica apresenta os conceitos necessários para relacionar e compreender a proposta de solução e sua importância dentro do cenário atual da indústria local. Serão abordados conceitos e ferramentas já conhecidas e validadas pela indústria do mundo todo, como a manufatura enxuta, a manutenção produtiva total, indicadores de manutenção e performance de produção, além de apresentar as ferramentas da nova Indústria 4.0, estabelecendo sua relação.

2.1 Manufatura Enxuta

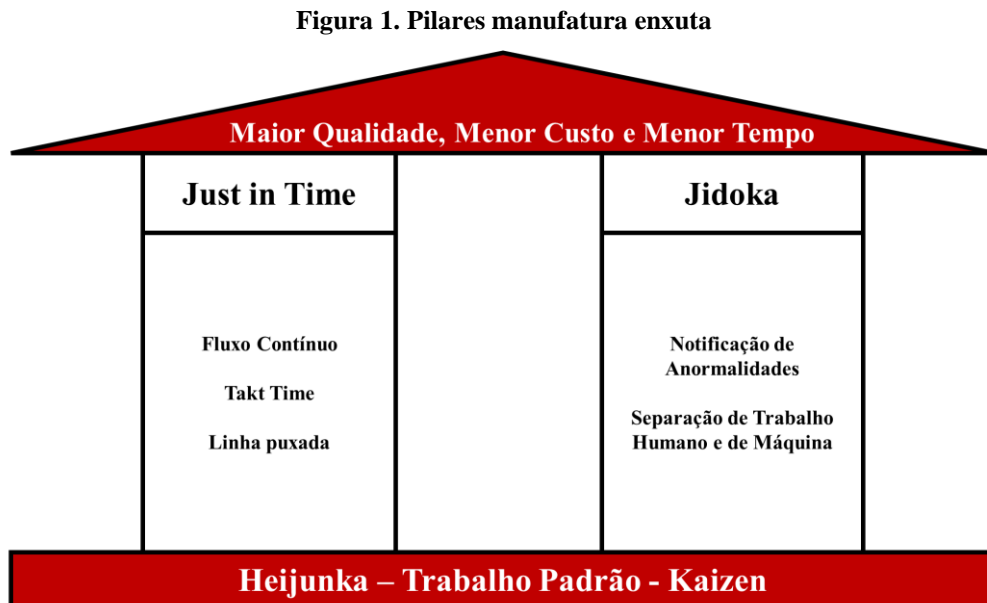
Atualmente há uma perspectiva diferente sobre os processos de fabricação, entende-se que o valor de um produto é definido do ponto de vista do cliente, não do ponto de vista interno da fabricação. A manufatura enxuta (ME) foca na eliminação de desperdícios da organização, onde, desperdício é definido como qualquer coisa que não agrega valor ao produto e estes podem ser eliminados com as técnicas da ME (GUPTA *et. al*, 2013).

A manufatura enxuta, conforme Santos (2017), tem sua origem no Japão na empresa *Toyota Motor Company* e engloba algumas técnicas de fabricação e ferramentas de gestão, com a finalidade de eliminar desperdícios na cadeia de valor e atender as necessidades dos clientes. Dentro desse contexto encontra-se conceitos como o *Muda*, *Mura* e *Muri* onde:

- *Muda*: são os desperdícios como superprodução, espera, transporte, movimentação, transporte, estoque, processos e defeitos.
- *Mura*: refere-se à instabilidade na produção que gera um desbalanceamento do trabalho ou das máquinas.
- *Muri*: significa a sobrecarga dos operadores e máquinas em decorrência ao *Muda* e *Mura*.

A manufatura enxuta quando implementada com sucesso resulta em um aumento na produtividade e uma redução no estoque de produtos acabados e produtos em processamento. O objetivo final da ME é eliminar todos os desperdícios da organização, para isso a metodologia é representada geralmente por dois pilares, o *jidoka* e o *just in time*, com o *heijunka*, o trabalho padrão e o *kaizen* como base, através deles é possível atingir o objetivo de produzir produtos

de maior qualidade, com o menor custo e no menor tempo como mostra a Figura 1 (GUPTA *et al*, 2013).



Fonte: Adaptado de Gupta e Jain, 2013.

Embora seja utilizado todas as ferramentas disponíveis de forma ampla e correta, não é possível garantir o sucesso da implementação da ME, pois em essência trata-se de uma filosofia com aspectos menos tangíveis. Porém, esse sucesso passa pela utilização de tais ferramentas, as quais podem ser utilizadas em conjunto ou com métodos de implementação diferente, mas sempre com o objetivo de redução de desperdícios na cadeia de valor (SANTOS, 2017).

As ferramentas mais conhecidas e utilizadas, que são de interesse deste estudo serão citadas e descritas resumidamente no Quadro 1, com informações retiradas do estudo de Santos (2017), e de Gupta *et al*, (2013).

Quadro 1. Ferramentas usadas na manufatura enxuta

Ferramenta	Descrição
<i>Jidoka</i>	Automação, onde as máquinas são capazes de detectar o próprio erro.
<i>Kaizen</i>	Melhoria contínua.
<i>Heijunka</i>	Nivelamento das tarefas, redução da sobrecarga.
5's	Programa para a melhoria dos aspectos relacionados a limpeza, organização, padronização, utilização e disciplina.
<i>Andon</i>	Gestão visual para identificação de anormalidades do processo.
Eliminação de Desperdícios	Eliminar os desperdícios de transporte, inventário, movimentação, espera, produção excessiva, processamento excessivo e defeitos.
<i>Poka-Yoke</i>	Sistema a prova de falhas, pode ser um dispositivo ou um processo.

Trabalho Padrão	Processo definido com a melhor sequência de atividades que garante a qualidade e o <i>takt time</i> .
Takt Time	Tempo disponível para a produção.
TPM	Busca aumentar a efetividade do equipamento reduzindo defeitos de produção, falhas no equipamento e acidentes, aumentando a disponibilidade da máquina.
PDCA	Método de gestão que permite a melhoria contínua em 4 passos.

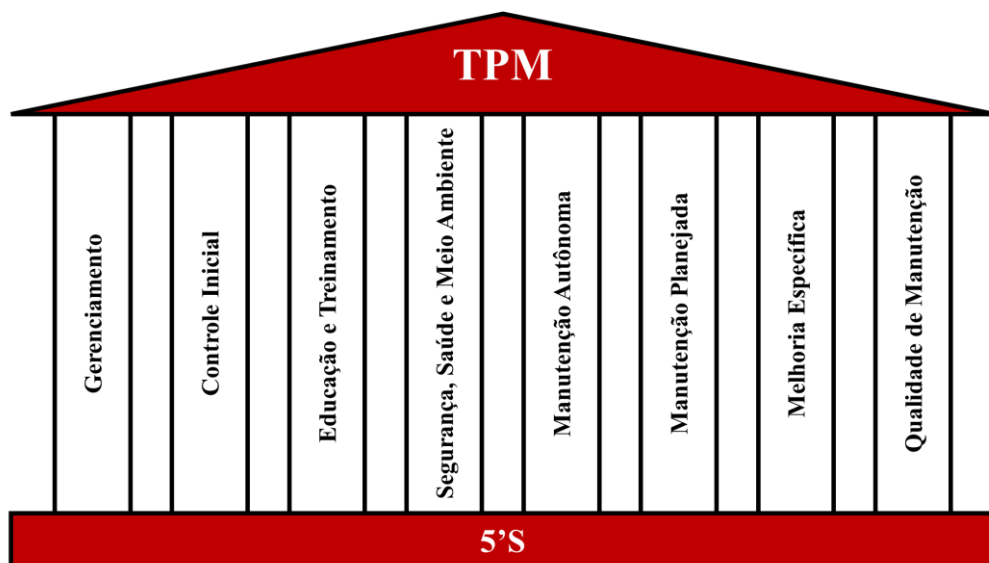
Fonte: O autor, 2022.

2.2 TPM

A manutenção produtiva total (TPM) originou-se no Japão, assim como a ME, buscando aumentar a efetividade do equipamento (OEE) através de atividades distribuídas desde a alta direção aos operadores de produção integrando assim homem, empresa e máquina. Com a utilização da TPM pode-se obter a redução de desperdícios, sendo uma importante ferramenta para implementação e êxito da ME. A TPM abrange diversos aspectos envolvidos na gestão e operação do equipamento, reduzindo defeitos de produção, falhas no equipamento e acidentes, tudo isso com o objetivo de aumentar a disponibilidade e reduzir a degradação do equipamento. Tais ganhos são possíveis através do conhecimento adquirido pelo operador ao possuir maior responsabilidade, assim, ele conhece melhor os sintomas e diagnósticos de defeitos ou falhas do equipamento, evitando o acionamento do pessoal especializado (MEGIOLARO, 2015).

A TPM possui 8 pilares fundamentais para implantação e eficiência da mesma, bem como a base para todos estes pilares é a ferramenta 5'S, como é exemplificado na Figura 2.

Figura 2. Pilares TPM



Fonte: Matos, 2008.

Cada pilar da TPM apresenta suas oportunidades de ganhos, reduzindo os desperdícios do processo, mas a partir da implementação a percepção dos resultados demora cerca de 3 anos para ser observada (MEGIOLARO, 2015). A Tabela 1 cita os resultados esperados com a TPM (VITORINO, 2011).

Tabela 1. Resultados esperados do TPM

Produtividade	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do rendimento das máquinas; • Redução das paradas não programadas.
Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da capacidade de processo; • Diminuição do índice de rejeitados; • Diminuição das reclamações do cliente.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos custos industriais; • Menor consumo de peças de reposição nas máquinas e equipamentos; • Redução do trabalho.
Logística	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de estoque; • Aumento da confiabilidade nos prazos de entrega.
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do número de acidentes de trabalho; • Diminuição de sujeira e desperdícios; • Economia de material e energia.
Motivação	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do número de sugestões de melhoria; • Motivação para o trabalho em grupo; • Criação de uma mentalidade de melhoria contínua.

Fonte: Vitorino, 2011 *apud* Coelho, 2009

Segundo Matos, 2008, a implementação da TPM não é um padrão único e definitivo para todos os tipos de empresas e organizações, ela exige um certo nível de adaptação à realidade da parte interessada. A eliminação de todas as perdas existentes é o objetivo principal da TPM, porém para a implementação bem-sucedida é necessário a adoção de algumas estratégias como suporte:

- A empresa deve ser organizada como uma corporação;
- Prevenir desperdícios e perdas, com metas de zero acidente, zero defeitos e zero falhas;
- A implementação requer o envolvimento de todos os departamentos, sem exceções;
- Engajamento de todo o pessoal da empresa, da administração ao chão de fábrica;
- Pequenos grupos devem fornecer suporte a ações de redução de perdas, as quais devem ser conduzidas de forma contundente.

Conforme Kardec, 2015 são estabelecidas 12 etapas para implementação da TPM, as quais são fundamentais para o seu sucesso, que são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Etapas de implementação da TPM

Fase	Nº	Etapa	Ações
Preparação	1	Comprometimento da alta administração	<ul style="list-style-type: none"> • Divulgação da TPM em todas as áreas da empresa; • Divulgação através de jornais internos
	2	Divulgação e treinamento inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Seminário interno dirigido a gerentes de níveis superior e intermediário • Treinamento de operadores
	3	Definição do comitê de implementação	<ul style="list-style-type: none"> • Estruturação e definição das pessoas do comitê de implementação
	4	Definição da política e metas	<ul style="list-style-type: none"> • Escolha das metas e objetivos a serem alcançados
	5	Elaboração do plano diretor de implementação	<ul style="list-style-type: none"> • Detalhamento do plano de implementação em todos os níveis
Introdução	6	Outras atividades da introdução	<ul style="list-style-type: none"> • Convite a fornecedores clientes e empresas contratadas
Implementação	7	Melhorias em máquinas e equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Definição de área e/ou equipamentos e estruturação das equipes de trabalho
	8	Estruturação da manutenção autônoma	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação da manutenção autônoma por etapas conforme o cronograma • Auditoria de cada etapa
	9	Estruturação do setor de manutenção e condução da manutenção preditiva	<ul style="list-style-type: none"> • Condução da manutenção preditiva • Dimensionamento do estoque • Adequação de ferramental • Organização e preparação de documentação técnica de apoio (manuais, diagramas, desenhos, etc.)
	10	Desenvolvimento e capacitação de pessoal	<ul style="list-style-type: none"> • Treinamento de pessoal de operação para desenvolvimento de novas habilidades relativas à manutenção • Treinamento de pessoal de manutenção para análise, diagnóstico, etc. • Formação de líderes • Educação de todo pessoal
	11	Estrutura para controle e gestão dos equipamentos numa fase inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão do fluxo inicial • Custo de ciclo de vida
Consolidação	12	Realização da TPM e seu aperfeiçoamento	<ul style="list-style-type: none"> • Candidatura ao prêmio PM • Busca de objetivos mais ambiciosos

Fonte: Kardec, 2015.

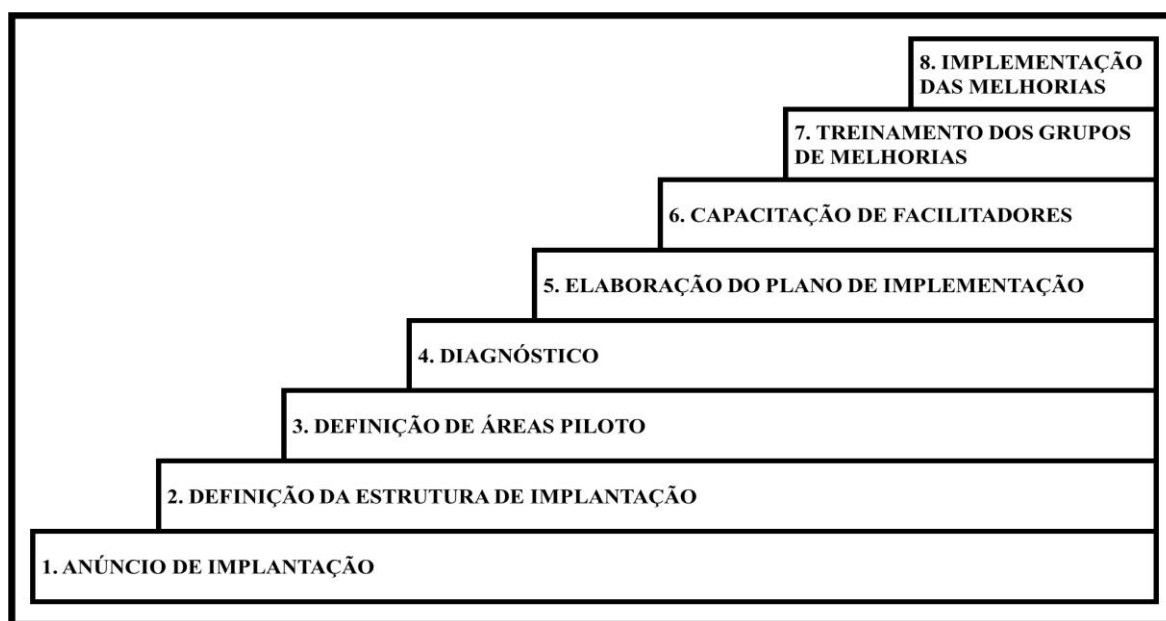
Cada pilar possui seus objetivos e passos de implementação, que possibilitam o sucesso na adoção da metodologia do TPM. A literatura encontrada adapta-se em relação à alguns

passos, portanto neste estudo adotou-se aqueles mais condizentes e representativos com a realidade da empresa objeto deste estudo.

Gerenciamento: busca otimizar processos reduzindo custos, proporcionando interação entre as partes interessadas e mantendo o 5'S como base para atingir os objetivos da TPM (MEGIOLARO, 2015).

Este pilar trata de todas as áreas que têm relação indireta com a produção, buscando tornar o serviço de apoio mais eficaz, através da identificação de oportunidades e realização de melhorias. Melhorar as atividades organizadas que apoiam a produção possibilita a melhora da eficácia do sistema. Na Figura 3, elaborada a partir do estudo de De Oliveira (2021), é mostrado os passos sugeridos para implementação do pilar de gerenciamento.

Figura 3. Implementação do pilar de gerenciamento



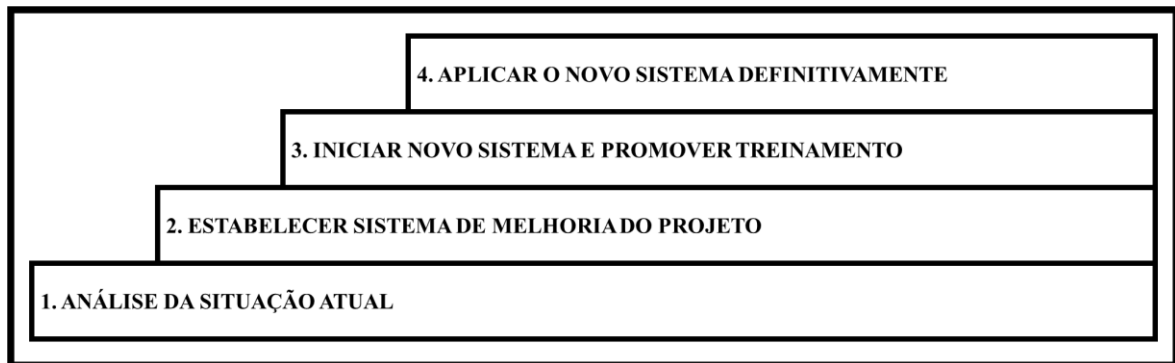
Fonte: O autor, 2022.

Em síntese o pilar busca uma sistemática para direcionar as melhorias nos departamentos de apoio e verificar se os colaboradores zelam pelos seus ambientes de trabalho e pelo fluxo de informação física e digital. O pilar ainda tem como objetivo a conscientização dos funcionários, de que, mesmo não estando diretamente envolvido na produção, seu trabalho é essencial para o cumprimento dos objetivos da organização (DE OLIVEIRA, 2021).

Controle Inicial do Equipamento: visa utilizar o conhecimento adquirido com os equipamentos existentes e com a experiência de operação, para evitar falhas e mal funcionamentos de novas máquinas (MEGIOLARO, 2015).

Uma característica observável da não adoção desse pilar é a tendência de novos equipamentos apresentarem problemas quando novos e possuírem muitos defeitos ocultos. Isso é possível através de uma interface entre o departamento de engenharia de processos e engenharia de manutenção, com atividades nas fases de projeto, fabricação, instalação e testes. São sugeridos 4 passos para implementação do controle inicial, indicados na Figura 4 (DE OLIVEIRA, 2021).

Figura 4. Passos para implementação do pilar de controle inicial



Fonte: O autor, 2022.

O objetivo do controle inicial é o compartilhamento de informações e experiências na compra de equipamentos, para utilização na concepção de novos projetos, reduzindo a tendência dos defeitos na fase inicial da vida útil do equipamento (DE OLIVEIRA, 2021).

Educação e Treinamento: desenvolve habilidades interpessoais, capacita os operadores, atualiza o conhecimento sobre novas tecnologias e ferramentas e realiza avaliações visando o cumprimento de metas estabelecidas (MEGIOLARO, 2015).

Para obter-se um bom diagnóstico é preciso treinamento, o que possibilita a identificação precoce da anomalia, conseqüentemente aumenta a disponibilidade, apoiando também os outros pilares da TPM. Na Figura 5, elaborada a partir do estudo de De Oliveira (2021), é mostrado os passos sugeridos para implementação do pilar de educação e treinamento.

Figura 5. Implementação do pilar de educação e treinamento

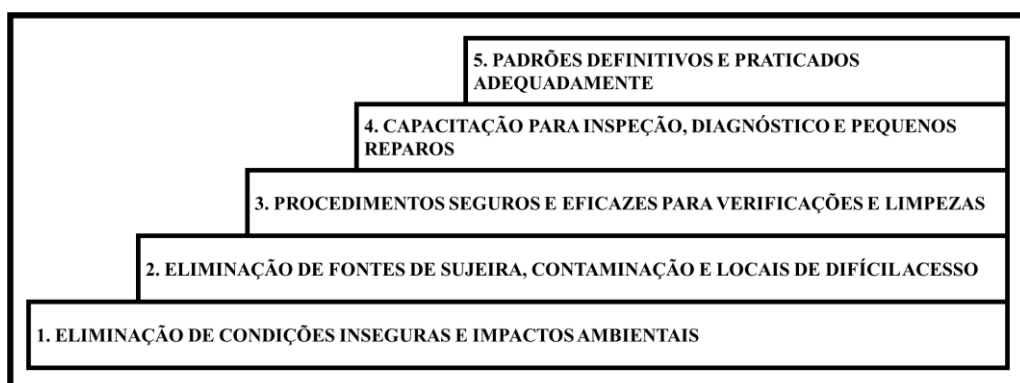


Fonte: O autor, 2022.

Estes passos medem o nível de evolução que os treinamentos possibilitaram, tanto para a manutenção quanto para a produção, onde o objetivo é a preparação para a rotina de manutenção. Porém setores como financeiro, almoxarifado e segurança também são afetados com a ineficiência da manutenção por falta de capacitação técnica, com redução de produtividade, qualidade e integridade física do funcionário (DE OLIVEIRA, 2021).

Segurança Saúde e Meio Ambiente: nos tempos atuais segurança, saúde e meio ambiente, são temas fundamentais para as empresas e que impactam a sociedade, a imagem e a produtividade da companhia. Com isso, eliminar acidentes, atender as normas vigentes, prevenir a falha humana e garantir a confiabilidade dos equipamentos são os objetivos deste pilar. Para isso, a educação de segurança, prevenção de recorrência de acidentes, análise dos quase acidentes e identificação da sua causa raiz, são de suma importância. São sugeridos 5 passos para implementação do pilar de segurança saúde e meio ambiente, indicados na Figura 6 (DE OLIVEIRA, 2021).

Figura 6. Implementação do pilar de segurança, saúde e meio ambiente



Fonte: O autor, 2022.

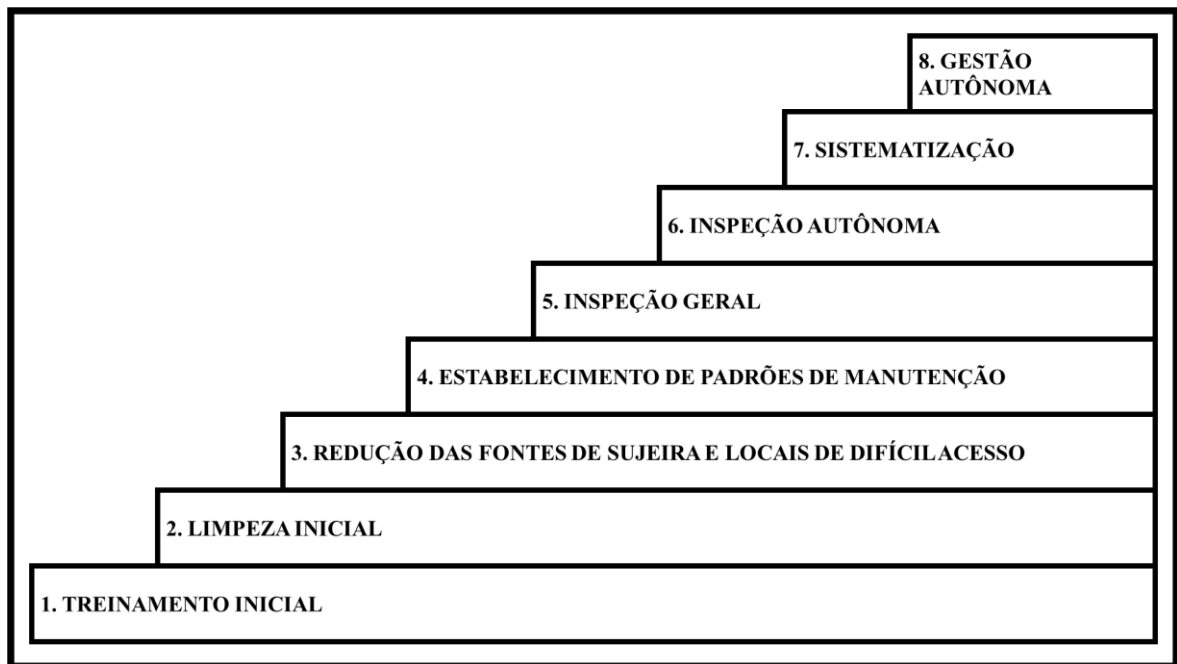
Em resumo o objetivo principal do pilar de segurança, saúde e ambiente é eliminar o risco de acidentes de trabalho e ambiental (MEGIOLARO, 2015).

Manutenção Autônoma: busca engajar o operador no cuidado com o equipamento, tornando-o responsável pelas limpezas, lubrificações, verificações e ajustes da máquina (MEGIOLARO, 2015).

O objetivo principal deste pilar é desenvolver o senso de propriedade do equipamento pelo operador, desenvolvendo nele a capacidade de inspecionar e encontrar problemas, através de treinamento sobre a máquina, preparando o funcionário com senso crítico e conhecimento (DE OLIVEIRA, 2021).

Para implementação da manutenção autônoma são indicados 8 passos apresentados na Figura 7.

Figura 7. Passos para implementação de MA



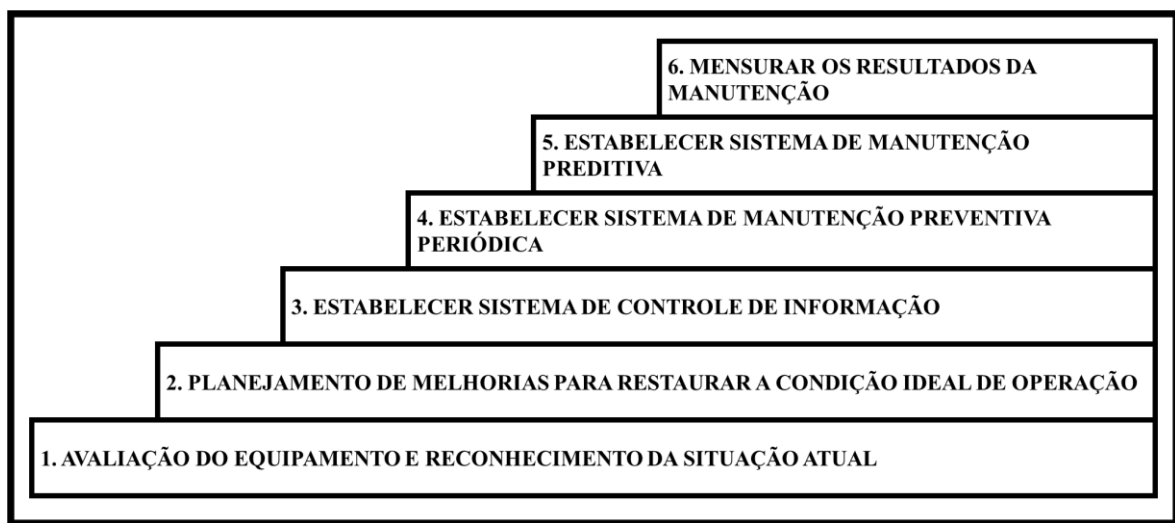
Fonte: O autor, 2022.

Os passos da MA avaliam e preparam os operadores para propor melhorias, capacitando-os para executar a MA, inspecionar e diagnosticar anomalias em seus equipamentos, atribuindo ao operador a responsabilidade de manter as condições básicas como limpeza e inspeção, assim as paradas indesejadas acabam por ser reduzidas (DE OLIVEIRA, 2021).

Manutenção Planejada: trata de planejar as manutenções pertinentes a fim de aumentar a vida útil do equipamento, controlando indicadores como MTTR (*Mean Time To Repair* em português tempo médio de reparo) e o MTBF (*Mean Time Between Failures* em português tempo médio entre falhas) e Disponibilidade (DISP) (MEGIOLARO, 2015).

A MP torna possível avaliar se a manutenção está garantindo o melhor desempenho dos equipamentos, e a base que possibilita o gerenciamento da manutenção é o sistema de controle das informações. Para implementá-la são sugeridos alguns passos mostrados na Figura 8.

Figura 8. Implementação da manutenção planejada



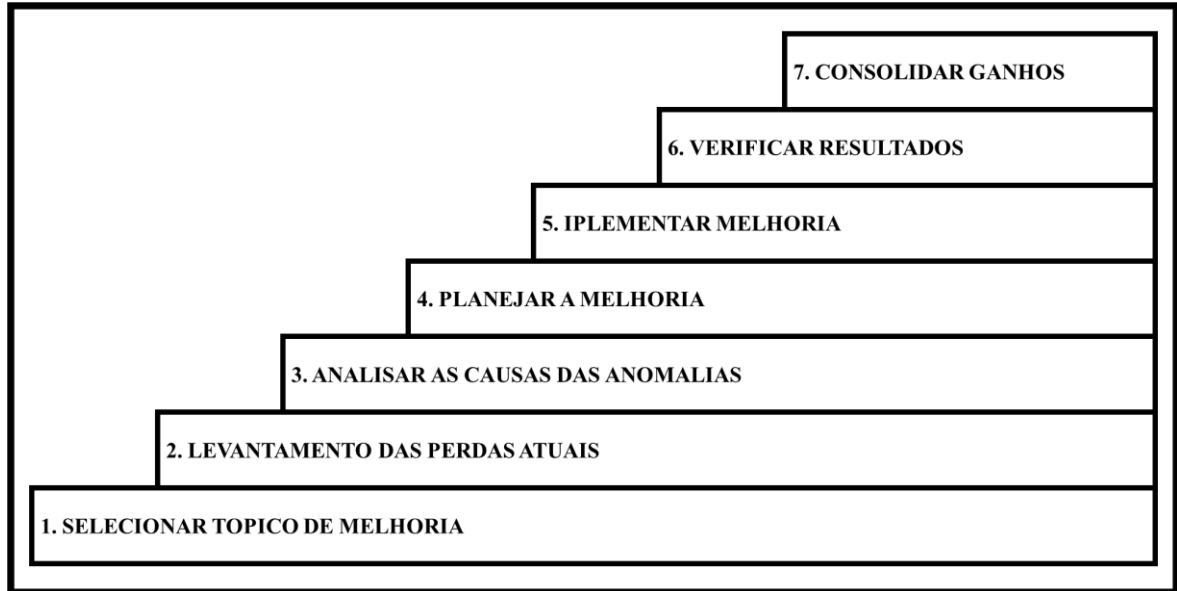
Fonte: O autor, 2022.

Para entender a MP é preciso saber que manutenção não se trata de realizar reparos para colocar o equipamento em funcionamento, deixando nas condições que se encontrava antes da quebra. O que define melhor a manutenção é a identificação do estado ideal do equipamento buscando a melhora de sua manutenibilidade, confiabilidade, operacionalidade e segurança através de atividades projetadas para atingir o resultado esperado. Em resumo, manutenção deve ser encarada como a detecção e antecipação da resolução de anormalidades e desvios, evitando as falhas e as perdas (DE OLIVEIRA, 2021).

Melhoria Específica: busca resolver os problemas encontrados de forma técnica, assim que os problemas mais básicos são resolvidos melhorias maiores são possíveis, como aumentar a capacidade de produção dos processos gargalo. Para implementar o pilar de melhoria individual são descritos 7 passos, como mostra a Figura 9. Estas etapas possibilitam identificar e resolver problemas recorrentes, através das ideias fornecidas pelos grupos de TPM, onde é possível discutir os problemas dos equipamentos, definir as metas para as melhorias e

acompanhar a implementação delas. Este cenário só é possível com a existência de uma estrutura adequada (DE OLIVEIRA, 2021).

Figura 9. Implementação do pilar de melhoria específica

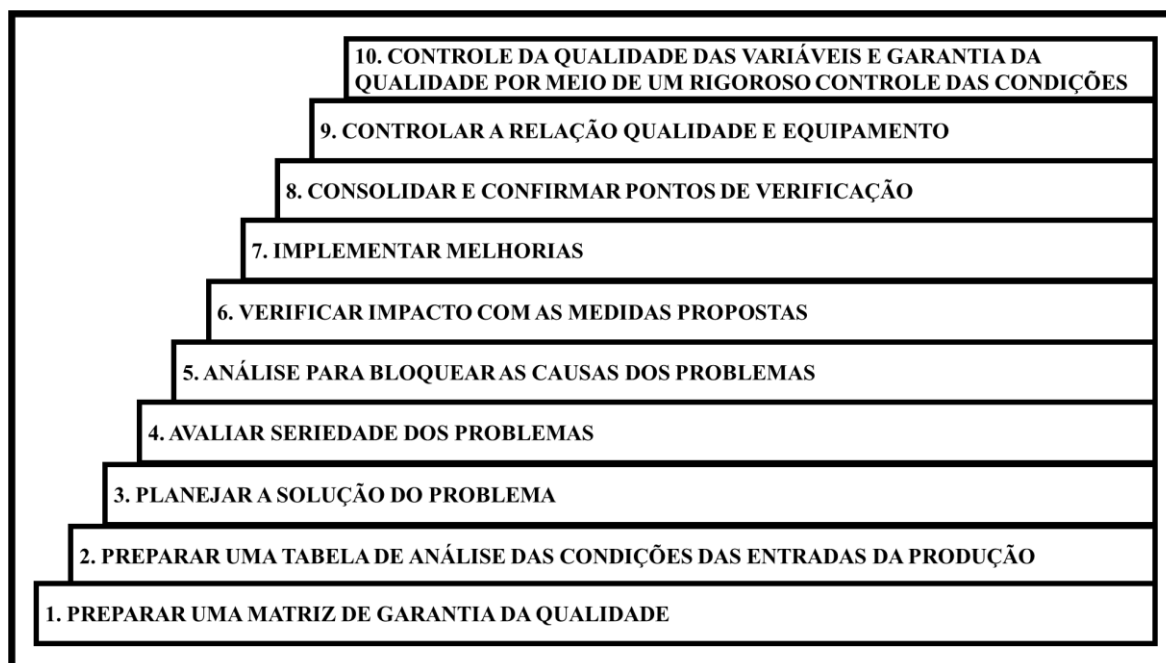


Fonte: O autor, 2022.

Em resumo a melhoria específica busca identificar e reduzir as perdas que impactam o OEE (MEGIOLARO, 2015).

Qualidade de Manutenção: as etapas de implementação deste pilar visam preparar a empresa para levantar e avaliar problemas de qualidade afetados pelos equipamentos e posteriormente criar procedimentos, corrigindo os modos de falha encontrados e revisando os padrões de qualidade após as melhorias. Através desse pilar consegue-se redução de custos, pois evita-se os desvios que impactam a qualidade do produto, com a descoberta e ação sobre a causa raiz. Em outras palavras o objetivo deste pilar é procurar o defeito zero, eliminar refugos, retrabalhos e produtos fora da especificação através de uma melhora constante na manutenção eficaz do equipamento. Os passos para implementação deste pilar podem ser vistos na Figura 10 (DE OLIVEIRA, 2021).

Figura 10. Implementação do pilar de qualidade de manutenção



Fonte: O autor, 2022.

Qualidade de Manutenção é basicamente “*Atingir zero defeitos; acompanhar a resolução de problemas de equipamentos*” (MEGIOLARO, 2015).

Como exposto na conclusão do estudo de Alves e Oliveira (2014), a implementação da TPM trouxe para a empresa do estudo benefícios como: mudança cultural, aumento da produção e das vendas, melhora dos indicadores de performance, menores custos de fabricação e melhor uso dos recursos. Os autores Alves e Oliveira (2014, p.22) ainda completam que “*nenhuma teoria é engessada de tal forma que não possa sofrer alterações que tenham como objetivo atender de forma mais eficaz às necessidades dos diferentes ramos de negócio*”.

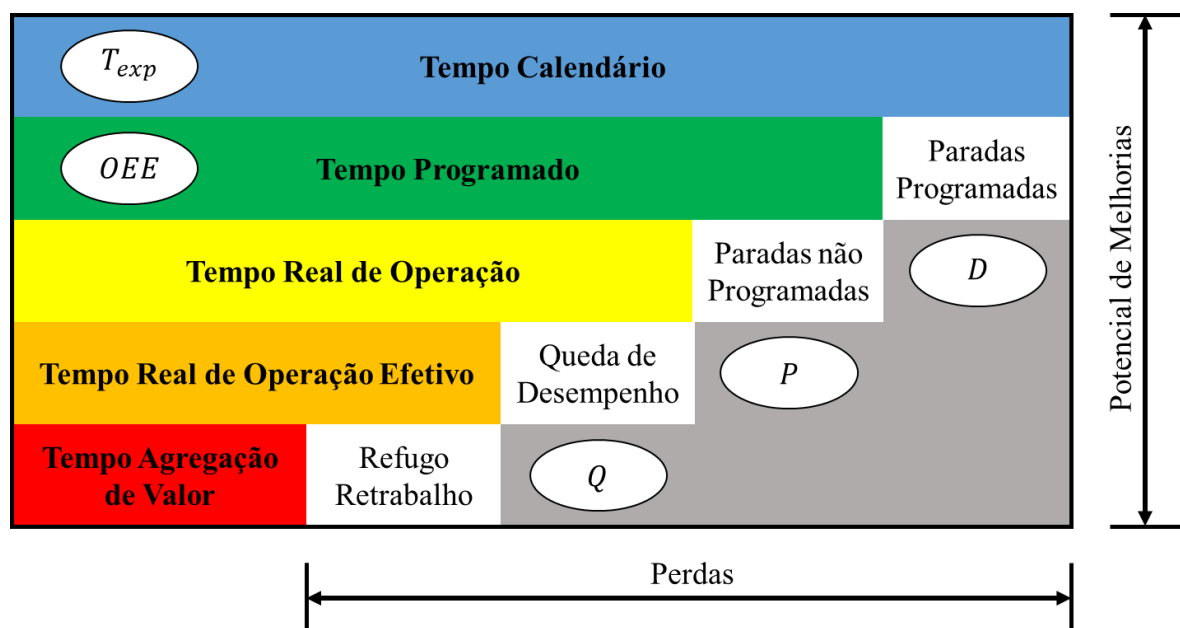
2.3 Efetividade Global de Equipamentos (OEE)

A produtividade das empresas está diretamente relacionada ao seu lucro, com isso, obter a máxima produção com o mínimo de recurso é uma meta para ser competitivo no mercado. Para isso é necessário produzir o máximo com os recursos instalados em todos os níveis da organização como garantir o treinamento correto aos operadores, tomar decisões estratégicas baseada em informações, garantir um ambiente de trabalho agradável, equipamentos eficientes, entre outros aspectos. Os equipamentos são ferramentas fundamentais na produtividade e no valor agregado do produto, com isso compreender seu impacto no processo produtivo através de uma métrica que considera todos os aspectos de operação do equipamento é de suma

importância, pois permite a compreensão da eficiência do equipamento e a identificação de oportunidades de melhoria para o aumento da produtividade (MEGIOLARO, 2015).

O OEE é um indicador que traduz o desempenho do equipamento, sendo utilizado dentro da TPM no pilar de manutenção planejada. A análise deste indicador possibilita a identificação de oportunidades de melhoria e consequentemente o aumento da produtividade. Esse indicador representa o resultado da interação direta ou indireta das áreas envolvidas no processo produtivo, como pode se observar na Figura 11.

Figura 11. Ilustração do OEE



Fonte: Adaptado de (ALMEIDA e FABRO, 2019).

O OEE (1) é um valor percentual que resulta da multiplicação de outras três partes, outros indicadores, como: Disponibilidade (D), Performance (P) e Qualidade (Q), que são descritos a seguir (ALMEIDA e FABRO, 2019).

$$OEE = D \cdot P \cdot Q \quad (1)$$

Disponibilidade (D): representa o percentual do tempo total em que o equipamento esteve disponível para a produção, descontando todas as paradas (ALMEIDA; FABRO, 2019). Há que se ressaltar que a disponibilidade do OEE (D) é diferente da disponibilidade do indicador de manutenção ($DISP$), pois D leva em consideração outras paradas além de manutenção, como regulagem, conferência, *Setup*, entre outros (MEGIOLARO, 2015).

Performance (*P*): representa a capacidade real de produção em comparação com a planejada, sem diferenciação entre produtos conforme e não conformes. É uma razão percentual entre a capacidade teórica de produção em determinado período e a capacidade real de produção nesse período (MEGIOLARO, 2015).

Qualidade (*Q*): representa a eficiência percentual em produzir produtos conformes, evidenciando a produção fora dos critérios de qualidade. É uma razão percentual entre a quantidade de unidades produzidas conforme o padrão de qualidade e o total de unidades produzidas em um período determinado (ALMEIDA *et al*, 2019).

2.4 Tipos de Manutenção

Conforme a NBR5462, confiabilidade e manutenibilidade, manutenção é a “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou realocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.” Incluindo modificações e melhorias. Dentro desta norma encontramos os tipos de manutenção efetuados dentro da indústria. Abaixo é descrito os tipos mais conhecidos e abordados neste estudo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Manutenção preventiva trata-se de “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

A manutenção corretiva trata-se da “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994)

A manutenção preditiva “permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Manutenção programada é a “manutenção preventiva efetuada de acordo com um programa preestabelecido” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Manutenção não-programada significa a “manutenção que não é feita de acordo com um programa preestabelecido, mas depois da recepção de uma informação relacionada ao estado de um item” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

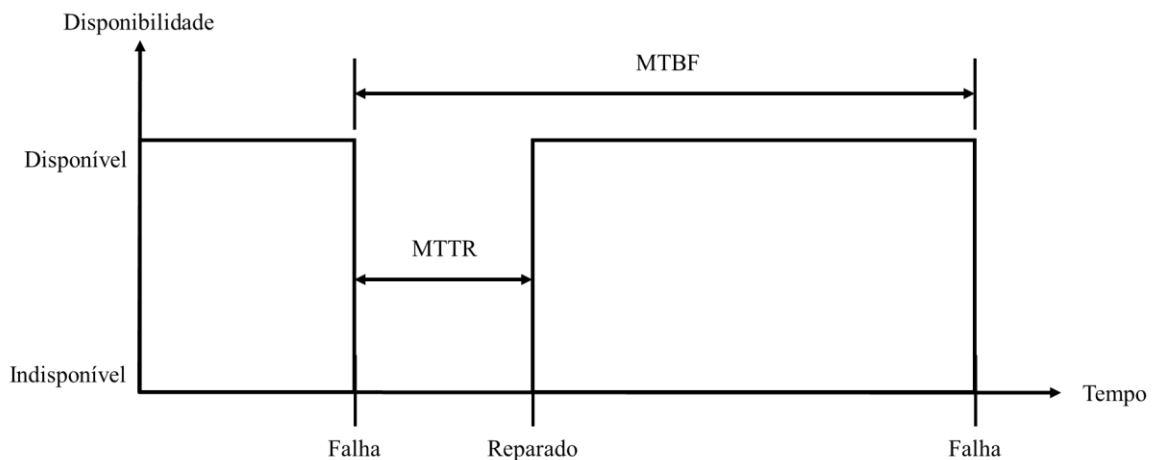
2.5 Indicadores de Manutenção

Ao analisar os indicadores que compõe o OEE percebe-se a importância que a manutenção possui, sendo uma área estratégica dentro de uma empresa, pois é responsável pelos seguintes aspectos dentro dos indicadores (ALMEIDA *et al*, 2019):

- Na disponibilidade a manutenção deve garantir o maior tempo possível disponível para a operação;
- Na performance deve garantir as condições operacionais nominais do equipamento, como por exemplo a velocidade de motores e atuadores;
- Na qualidade deve garantir que a máquina não exerça influência na não conformidade dos produtos;

Com isso o principal indicador para a manutenção é a disponibilidade (DISP) do equipamento, pois as perdas devidas as paradas não programadas para manutenção são enormes. Porém para calcular este indicador é necessário calcular o MTTR e MTBF. A Figura 12 demonstra de forma intuitiva as equações descritas posteriormente (ALMEIDA *et al*, 2019).

Figura 12. DISP x MTBF x MTTR



Fonte: O autor, 2022.

Segundo GREGÓRIO *et al* (2018), o cálculo dos indicadores são os seguintes:

MTTR (2): é o tempo médio de reparo, no qual o ativo fica indisponível para realizar os reparos necessários e colocá-la de volta em operação. É o somatório do tempo de não funcionamento da máquina dividido pelo número de falhas.

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Tempo de não funcionamento do equipamento}}{n^{\circ} \text{ de intervenções realizadas}} \quad (2)$$

MTBF (3): trata-se do tempo médio entre falhas de um ativo, representa a frequência em que são realizadas intervenções no equipamento.

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{Tempo de bom funcionamento do equipamento}}{n^{\circ} \text{ de intervalos observados}} \quad (3)$$

DISP (4): representa a relação em que o equipamento esteve disponível para a produção em relação ao tempo total.

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4)$$

2.6 Custos de Manutenção Corretiva

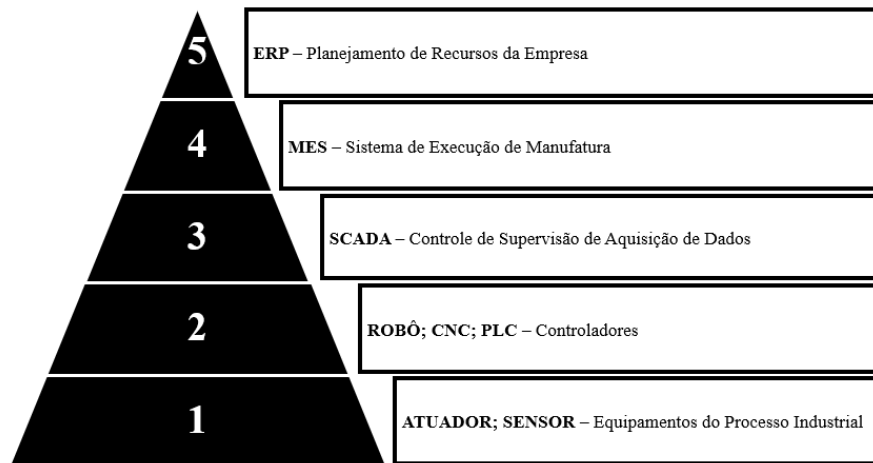
O custo da manutenção corretiva depende dos recursos necessários para o reparo do equipamento. Esse custo pode ser dividido em duas categorias, direto e indireto. O custo direto representa o custo da peça de reposição, material, equipe, ferramental e suporte, equipamento e informações técnicas. Já o indireto representa o custo do pessoal de gestão e administração, os custos gerados pela perda de disponibilidade, chamado de lucro cessante, seguro, taxas, instalações, eletricidade, telefone e TI (Tecnologia da Informação). Este custo geralmente é trabalhoso para calcular. O Lucro Cessante (LC) é definido como um prejuízo causado pela interrupção de uma atividade que gera lucro (TORATI, 2016).

2.7 Manutenção no contexto da automação e da indústria 4.0

Automação: seu objetivo é transformar um processo manual em autônomo, usando softwares e hardwares em conjunto, possibilitando ler e modificar o ambiente do processo sem intervenção humana. Empresas que buscam a melhoria contínua para aumentar sua competitividade utilizam amplamente a automação com base em critérios como: qualidade, flexibilidade, produtividade e viabilidade técnica. Apesar do custo inicial da automação ser mais elevado em virtude da mão de obra (MO) necessária para implementar e manter, pois, deve ser altamente qualificada, há compensação devido a produção homogênea com garantia

do padrão de qualidade. Inicialmente a automação tinha o objetivo de monitorar e controlar parâmetros do processo, todavia passou a ser usada em outras áreas, integrando diversas tarefas como a gestão administrativa e a produção. A automação é dividida em cinco níveis conhecidos como a pirâmide da automação como mostra a Figura 13 (GONÇALVES, 2019).

Figura 13. Pirâmide da automação industrial



Fonte: O autor, 2022.

Para a discussão deste estudo serão descritas a seguir algumas tecnologias de automação que interagem diretamente com as tecnologias da indústria 4.0, as quais também serão apresentadas posteriormente, sendo que todas elas convergem no estudo e proposta levantados neste estudo. Será apresentado o conceito das tecnologias dos níveis 3 e 4 da pirâmide da automação.

SCADA: O *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) ou em português, Controle Supervisório e Aquisição de Dados, trata-se da integração de comunicação entre diferentes interfaces dos periféricos, o que possibilita o monitoramento e gerenciamento das atividades de interesse. Este sistema é capaz de armazenar os dados coletados dos periféricos em um software, assim como pode enviar comandos para eles. Através do SCADA tem-se acesso às informações de todo sistema automatizado conectado, por exemplo, alarmes e registro de eventos da planta, gerando relatórios e notificações a partir de configurações prévias, onde pode-se também realizar alterações nos controladores em tempo real. Os alarmes são de grande valor para a operação ideal do equipamento, pois quando o sistema constata a necessidade de intervenção humana aciona imediatamente o agente interventor, possibilitando a retomada da condição de operação ideal o mais breve possível (SILVA, 2018).

MES: *Manufacturing Execution Systems* (MES) ou em português, Sistema de Execução de Manufatura, gerencia as atividades de produção em tempo real, permitindo a comparação entre o planejamento, a execução e a tomada de decisão para o cumprimento das metas planejadas, além de possibilitar uma compreensão geral e unificar os dados de todos os processos produtivos (SILVA, 2017).

ERP: *Enterprise Resource Planing* (ERP), Planejamento de Recursos do Empreendimento, em livre tradução, é um software que auxilia na análise de dados gerados por uma empresa, estando no nível mais alto da pirâmide de automação. Este programa é dividido em módulos atendendo diversos setores e atividades de uma empresa, com ele é possível monitorar e ter um panorama geral, quase em tempo real, destas diversas atividades. Para isso este sistema condensa as informações em um banco de dados comum a todos os módulos (SILVA, 2018).



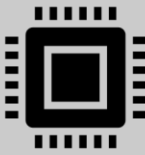

Indústria 4.0: com o surgimento das fábricas inteligentes, muitas tecnologias estão embarcadas nas máquinas, o que possibilita através das redes de comunicação e inteligência artificial a análise de dados quase em tempo real, consequentemente oferecendo uma manutenção preditiva mais eficiente, reduzindo falhas, melhorando a segurança, confiabilidade, disponibilidade e eficiência. Porém, a fábrica inteligente só existe com as máquinas inteligentes, as quais são capazes de fornecer de forma autônoma informações estatísticas dos processos físicos, além de comunicarem-se entre si, compartilhando dados e tomando decisões sem interferência humana. Essa perspectiva coloca a manutenção como um subconjunto da manufatura inteligente, onde os equipamentos são capazes de prever falhas e desencadear ações de manutenção utilizando para isso sistemas embarcados (ciber-físicos), formando o gêmeo digital dos ativos. Com base em um estudo realizado por De Oliveira, 2021, as tecnologias da indústria 4.0 com maior tendência de utilização na manutenção são: *Cyber Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IOT), *Big Data* (BD), *Internet of Services* (IOS) e *Data Mining* (DM). Em resumo a I4.0, conforme De Oliveira (2021), na manutenção, tem como objetivo aumentar a produtividade, possibilitar o monitoramento remoto das condições do equipamento e a ação imediata, com as seguintes características:

- Predominância da manutenção preditiva;
- Banco de dados de informações da máquina com acesso remoto;

- Grupos multidisciplinares para a resolução de problemas relacionados as máquinas e ao processo;
- Ações imediatas.

Conhecida como a quarta revolução industrial e nomeada pelo governo da Alemanha de “Indústria 4.0” (I4.0), com a finalidade de aumentar a competitividade da indústria desse país utilizando-se de muitas das inovações tecnológicas implementadas nas últimas décadas. Basicamente as revoluções industriais podem ser caracterizadas por inovações que mudaram a forma como as coisas são produzidas, como pode ser observado na Figura 14 (SCHNEIDER, 2018).

Figura 14. As 4 revoluções industriais

1ª Revolução	2ª Revolução	3ª Revolução	4ª Revolução
			
Força à vapor Mecanização	Produção em escala Linha de montagem Eletricidade	Automação Robótica Computadores Internet Eletrônicos	Sistemas cibernéticos Internet das coisas Redes Inteligência artificial
XVIII	XIX	XX	XXI

Fonte: O autor, 2022.

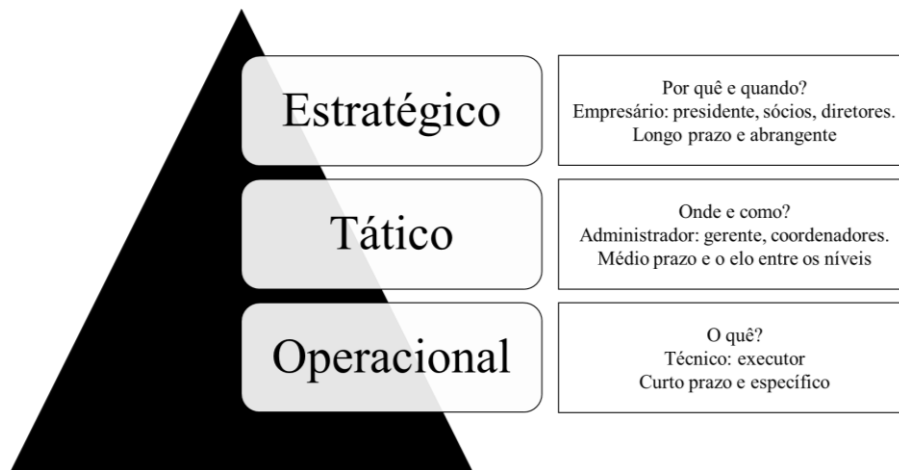
As tecnologias que servem de base para a I4.0 permitem a conexão, ao longo da cadeia de valor, de sensores, máquinas, peças e sistemas de TI. Essa conexão é interativa através de protocolos de comunicação padrão permitindo a análise de dados, antecipação de falhas e adaptabilidade as mudanças. A I4.0 tem como objetivo conectar essas inovações e as células de trabalho tornando-as integradas e automatizadas (SCHNEIDER, 2018).

Big Data: pode ser definido como uma grande quantidade de dados gerados, armazenados e analisados por sistemas de informação (GONÇALVES, 2019).

Com o crescimento da tecnologia da informação, a coleta de dados vem aumentando a cada dia, possibilitando análises mais precisas e confiáveis estatisticamente. O objetivo do *Big*

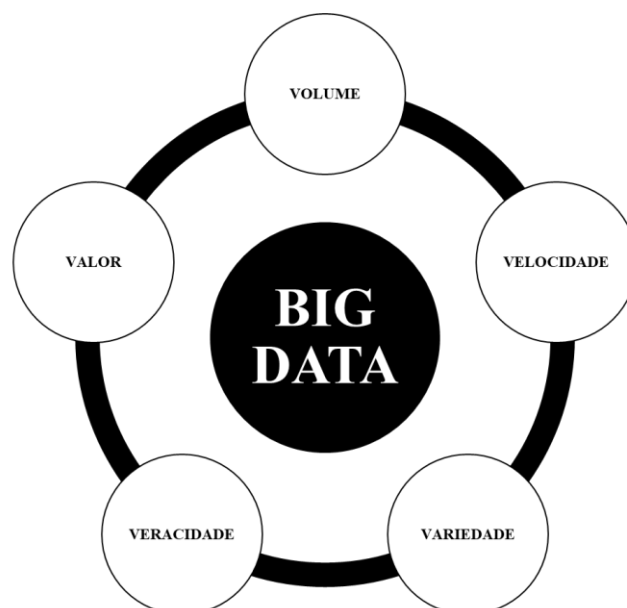
Data concentra-se em identificar padrões nos dados analisados. Para isso aplicam-se estatísticas avançadas, sendo possível até mesmo a previsão de comportamentos, graças a evolução da ciência de dados e da tecnologia, que busca coletar os dados relevantes e processá-los gerando conhecimento. Em um futuro próximo a tomada de decisão em todos os níveis de uma corporação, como mostra a Figura 15, demandará análise de dados em tempo real, o que é possível com o *Big Data* e sua capacidade de processar um grande volume, variedade, variabilidade, valor, veracidade e velocidade, como pode ser observado na Figura 16 (SCHNEIDER, 2018).

Figura 15. Níveis de gestão



Fonte: O autor, 2022.

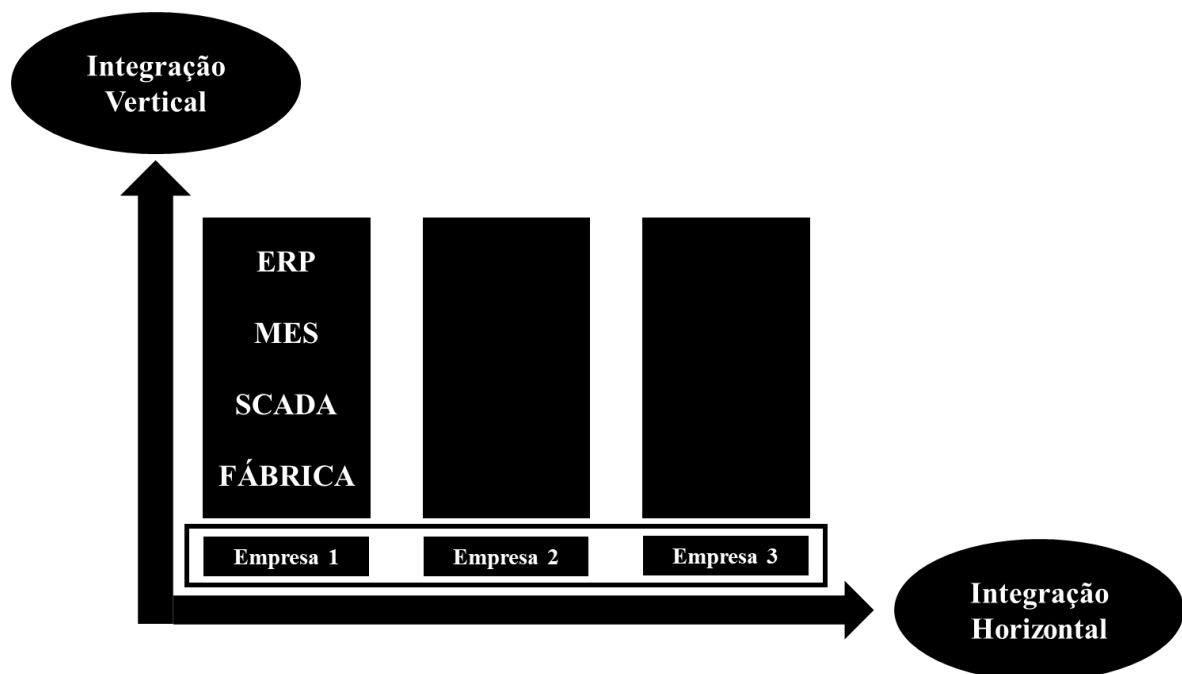
Figura 16. 5 V(s)



Fonte: O autor, 2022.

Integração do sistema: A integração da indústria 4.0 possui dois eixos, conforme alguns escritores, o vertical e o horizontal como pode ser observado na Figura 17. Visto que os sistemas de TI ainda não são totalmente integrados, quer seja entre fornecedores e cliente ou mesmo entre departamentos como engenharia de manufatura, operação e manutenção, a integração busca uma coesão entre as partes interessadas, o que é mostrado no eixo vertical, com a integração interna da planta fabril, e no eixo horizontal com a cadeia externa à planta. A implementação da I4.0 passa pelos eixos citados com integração das redes de valor, dos sistemas de manufatura em rede e da “integração digital de ponta a ponta ao longo de todo o processo (SCHNEIDER, 2018).

Figura 17. Integração da I4.0



Fonte: O autor, 2022.

Computação na nuvem: conforme a definição de Schneider (2018):

É um modelo para permitir acesso livre a uma vasta quantidade de informações compartilhadas através de recursos computacionais configuráveis, por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços que podem ser rapidamente provisionados e liberados com um esforço mínimo de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços (SCHNEIDER, 2018, p. 35).

Cada vez mais os dados do maquinário industrial serão coletados em tempo real e colocados na nuvem, possibilitando mais serviços para os dados de produção (SCHNEIDER, 2018).

3 METODOLOGIA

Há diversas metodologias de projeto de sistemas e ferramentas. Dentre estas várias metodologias não existe uma que seja perfeita para todos os tipos de projeto. É necessário adaptar estas metodologias de acordo com o tipo de projeto a ser realizado (OGLIARI, 1999). Nessa perspectiva, a associação de tecnologias e metodologias pode ser feita de inúmeras formas diferentes, inclusive unindo-as. No estudo apresentado é possível perceber um foco na TPM e na identificação e quantificação de gargalos, o que representa desperdícios na empresa estudada. Todavia, a TPM é colocada dentro de uma realidade de ME e trabalhando com suas ferramentas dentro dos seus pilares e objetivos. Com o desenvolvimento do estudo percebeu-se que as tecnologias de automação e I4.0 são muito íntimas, sendo a automação um pré-requisito para o ingresso no mundo 4.0. Desta forma, implementar a TPM vislumbrando a I4.0, condiciona o modo como proceder-se-á a implementação, pois é antevisto critérios como a definição das informações e fluxos importantes para empresa. Com isso poder-se-á ganhar velocidade para implementação posterior de uma indústria mais automatizada e autônoma.

No decorrer do estudo percebe-se que o indicador de OEE não foi explorado, pois na empresa estudada este indicador não é analisado pelo setor de manutenção e ele não é objeto do fluxo de trabalho. Na empresa há também uma certa dificuldade momentânea em medir este indicador. Com isso, a análise do OEE é sugerida em trabalhos futuros, vinculando-o as metodologias e tecnologias abordados nesse estudo. Como exposto anteriormente, conhecer este indicador, os dados necessários para calculá-lo e as informações obtidas com sua análise, possibilita conceber no processo de implementação de TPM os critérios com que o OEE será trabalhado.

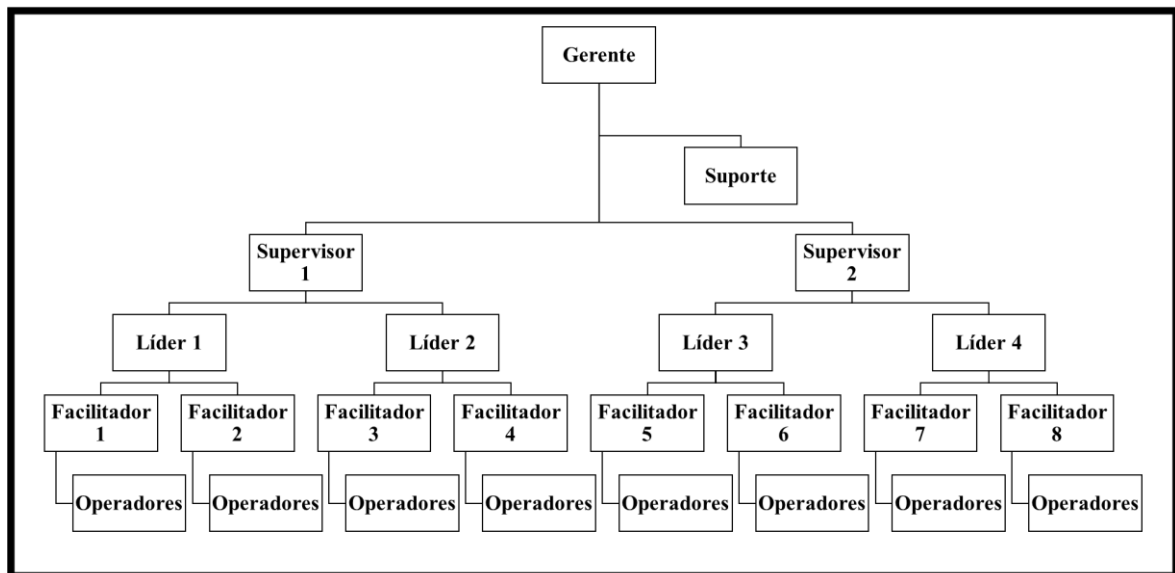
No decorrer deste capítulo será apresentado como os resultados foram obtidos e analisados na discussão. Primeiramente é apresentado a caracterização da empresa, de maneira sucinta trazendo algumas informações importantes para a compreensão dos dados. Após isso foi mostrado como é feita a classificação dos equipamentos da empresa em relação a sua criticidade. Na sequência foi descrito como os dados foram coletados e como os indicadores de manutenção foram calculados. Com a metodologia executada foi possível caracterizar e compreender alguns tempos envolvidos no processo de manutenção da empresa, o que possibilitou a definição do estudo de caso com o método descrito a seguir. Com o estudo de caso definido foi realizado um levantamento dos custos de manutenção, e para isso, foi

desenvolvido uma equação para mensurar o lucro cessante do equipamento escolhido, com base nas informações disponibilizadas pela empresa e suas características.

3.1 Caracterização da Empresa

A proposta de implementação será feita a partir de um estudo de caso realizado em uma empresa do setor metal mecânico localizada na região do Alto Jacuí. A empresa possui cerca de 500 colaboradores ativos no momento, com previsão de aumento deste quadro. A empresa possui um organograma corporativo, como sugerido para a implementação da metodologia TPM, como é mostrado simplificado na Figura 18.

Figura 18. Organograma representativo da empresa



Fonte: O autor, 2022.

A empresa é uma multinacional a qual possui seu sistema/filosofia de produção baseado na manufatura enxuta, adotando a manutenção produtiva total para a redução dos desperdícios envolvendo as máquinas da produção, buscando assim aumentar a sua eficiência produtiva. Contudo, a TPM não está implementada nesta unidade da empresa.

3.2 Classificação dos equipamentos

A empresa deste estudo adota uma classificação dos equipamentos da seguinte forma: A, B, C e D. Para compreender melhor a discussão do estudo e os critérios para a classificação dos equipamentos, será apresentado a seguir a metodologia adotada.

Resumidamente, os equipamentos A são considerados os mais críticos e importantes no processo de produção no que se refere a segurança, meio ambiente e ao gargalo de produção. Já os de classe B impactam o processo, reduzindo a produtividade, porém há alternativas que possibilitam a redução deste impacto, enquanto os de classe C não representam um impacto significativo na produção. Os equipamentos D são equipamentos não envolvidos no processo de produção, geralmente empregado em áreas de apoio, os quais não impactam a produção. No Quadro 3 é possível compreender como funciona a determinação da criticidade dos equipamentos na empresa, através da cadeia de eventos que ocorre com a falha do equipamento.

Quadro 3. Classificação de criticidade

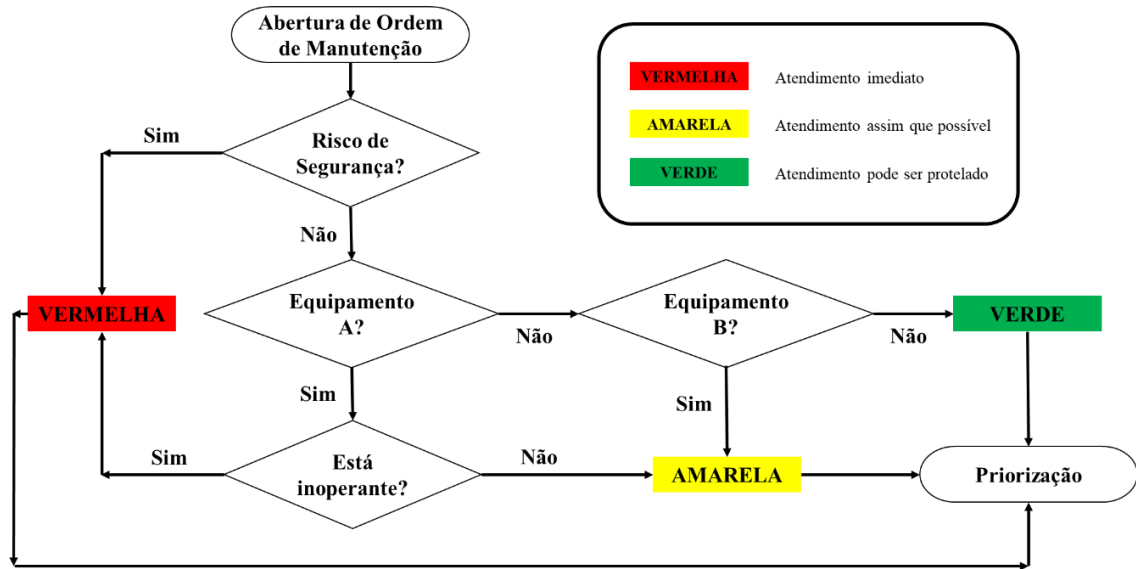
	Classe A (Prioridade Muito Alta)	Classe B (Prioridade Alta)	Classe C (Prioridade Média)	Classe D (Prioridade Baixa)
Segurança e Meio Ambiente	Acidentes pessoais; Agressões ao meio ambiente; Danos materiais.	Exposição a riscos de acidentes a pessoas ao meio ambiente ou ao patrimônio.	Incidente de pessoas e materiais controlado.	Nenhum risco.
Produtividade e Qualidade	Interrompe a produção; Geração de defeitos de qualidade no produto ou processo subsequente.	Redução da velocidade da produção; parada do setor ou parte do setor	Fácil retrabalho. Parada apenas da célula.	Não interfere no produto. Substituição imediata.
Taxa de Ocupação	24 horas por dia sem backup.	Dois turnos ou horário administrativo com backup.	Apenas um turno.	Ocasionalmente ou não faz parte do processo produtivo.

Fonte: Procedimento de manutenção interno da empresa estudada, 2022.

3.3 Coleta de dados

A coleta dos dados da análise apresentada no diagnóstico da empresa, assim como no estudo de caso, foi obtida através do desenvolvimento de um sistema, realizado pelo autor, com o objetivo de suprir a não existência de um PCM (Planejamento e Controle de Manutenção), bem como um *software* CMMS (*Computerized Maintenance Management System* – Sistema de Gerenciamento de Manutenção Computadorizado). Esse sistema de abertura de ordens de manutenção desenvolvido conta com um algoritmo, elaborado pelo autor, a partir da priorização exigida pela empresa, o qual define a prioridade da OM automaticamente. O algoritmo citado respeita a lógica mostrada na Figura 19. O sistema consiste em planilhas eletrônicas que automatizaram o tratamento, armazenamento e análise das OM(s). A coleta de dados preliminares utilizados neste estudo foi realizada no período de 06/07/2021 a 31/12/2021.

Figura 19. Algoritmo de prioridade



Fonte: O autor, 2022.

3.4 Cálculo dos Indicadores de Manutenção

Com este sistema foi possível automatizar também o cálculo dos indicadores de manutenção da empresa e analisar mais criteriosamente e de diferentes formas os dados obtidos e armazenados. A partir daí levantou-se algumas indagações relacionadas a veracidade, precisão e volume dos dados, ou seja, sua qualidade. Estas análises poderão ser observadas no tópico de discussão.

3.5 Tempos analisados

Além dos indicadores de manutenção trazidos na revisão, foi levantado outras medidas de interesse ao estudo, as quais referem-se ao que acontece entre a abertura e encerramento da ordem de manutenção. Através do sistema desenvolvido foi possível a segmentação do tempo em três partes, descritas a seguir:

- Tempo de resposta: é o tempo compreendido entre a abertura da ordem de manutenção e o início do atendimento pelo técnico de manutenção.
- Tempo parado: é o tempo após o início do atendimento em que o mesmo foi interrompido por motivos como: falta de peças para o reparo, atendimento de prioridade, falta de ferramenta, necessidade de ajuda, fim de expediente, entre outros casos.

- Tempo de reparo: é o tempo empregado no reparo do equipamento, onde o técnico de manutenção esteve exclusivamente envolvido no atendimento da ordem de manutenção.

3.6 Definição do estudo de caso

O estudo de caso foi definido a partir de uma análise das classes de equipamentos, A, B, C e D, onde foi possível descobrir que a classe A é a que mais demanda horas-homem (HH), caracterizando o gargalo de manutenção. Dentro desta classe os equipamentos foram divididos novamente em grupos, onde através de um gráfico de Pareto foi possível identificar os grupos de equipamentos que representam a grande maioria de demanda de manutenção. Após a identificação destes equipamentos foi realizado uma nova análise onde foi identificado o grupo de equipamentos que mais demanda HH de manutenção, sobre o qual foi realizado o estudo de caso.

3.7 Cálculo de lucro cessante

Para o estudo de caso levantou-se o custo de manutenção. Para isso, foi necessário desenvolver com a empresa um método para estimar o lucro cessante (LC), a fim de somá-lo ao custo de manutenção. Com isso, a partir das características administrativas da empresa estudada, foi desenvolvido a Equação 5, para qual foram necessários os seguintes dados:

1. Levantamento dos itens produzidos pelo equipamento (n) (*peças*);
2. Levantamento do custo unitário dos itens (c) ($R\$$);
3. Levantamento da produtividade horária padrão dos itens (p) ($\frac{peças}{h}$);
4. Aplicar a margem de lucro do produto (m) (%);
5. Tempo em que a máquina ficou parada (t) (h);
6. Item produzido (i) (*adimensional*)

Assim será possível replicar a equação para outros equipamentos da empresa para calcular LC . Para facilitar a compreensão e explicação da equação ela foi dividida em três partes definidas como custo médio por hora de operação (CMH), margem de lucro através do custo (MLC), fator de custo do processo (FCP) e tempo de parada (t), sendo então LC a multiplicação dos quatro fatores na Equação 5.

$$LC = CMH * MLC * FCP * t \quad (5)$$

- O *CMH* (6) é o somatório do produto do custo unitário (*c*) com a produtividade horária (*p*) de todos os itens produzidos pela máquina, dividido pelo número de itens (*n*).

$$CMH = \frac{\sum_i^n c_i * p_i}{n} \quad (6)$$

- O *MLC* (7) é o termo que ao multiplicar o *CMH* fornecerá o valor do lucro final, através da margem de lucro final (*m*).

$$MLC = \frac{100}{100-m} - 1 \quad (7)$$

- O *FCP* é o fator que representa a parte do processo realizado, na composição do lucro final, dividido em 3 valores conforme Tabela 2. Este fator é o percentual de cada processo no lucro final dos produtos, o que foi calculado e fornecido pelo setor financeiro da empresa.

Tabela 2. Valores dos fatores de processo

Processo	FCP
Pintura	0,24
Montagem	0,38
Solda	0,38

Fonte: Empresa estudada, 2022.

Com base na revisão da literatura, na realidade da empresa e no estudo de caso, foi elaborado uma proposta de implementação da metodologia TPM e de seus pilares, contextualizando o uso de ferramentas da I4.0.

3.8 Levantamento dos custos de manutenção

O custo referente a mão de obra de manutenção foi obtido a partir do custo padrão da hora de MO indireta, fornecido diretamente pela empresa e multiplicado pela HH empregado no reparo, onde por questão de confidencialidade não será descrito o valor da hora padrão. Já o custo do material foi obtido através de um levantamento de todo material ocupado no reparo dos equipamentos, no período de 06/07/2021 a 31/12/2021, descrito no estudo de caso.

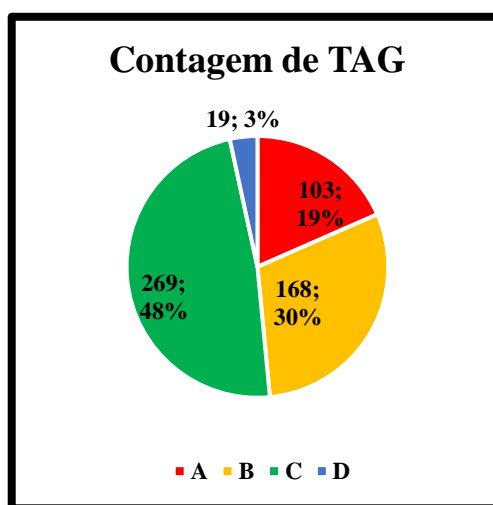
4 DISCUSSÃO

Na primeira parte de discussão será apresentado dados relativos à quantidade e distribuição das ordens de manutenção, quanto a criticidade dos equipamentos e ao período de abertura. Na sequência do capítulo é desenvolvido a definição e o estudo de caso, como descrito na metodologia. Após é apresentado a proposta de implementação de TPM desenvolvida com base na realidade da empresa estudada, bem como os resultados esperados.

4.1 Ordens de manutenção

O setor de manutenção desta empresa é responsável por todas as manutenções realizadas na fábrica, como instalações elétricas, pneumáticas, hidráulicas, máquinas, equipamentos, entre outras. Com isso, para todas as operações realizadas pelo setor é exigido a abertura de uma ordem de manutenção. A empresa possui seus equipamentos distribuídos em classes A, B, C e D, onde cada equipamento possui uma identificação única, chamada de TAG, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1. Distribuição dos equipamentos por classe



Fonte: O autor, 2022.

Com a planilha descrita na metodologia possibilitou-se a coleta de dados preliminares, realizada no período de 06/07/2021 a 31/12/2021, com alguns resultados descritos a seguir. Com essa coleta houve a abertura de 1094 ordens de manutenção, enquanto no mesmo período do ano anterior foram registradas 673 ordens de manutenção, crescimento de 63% na coleta de dados, apenas com a mudança do sistema de coleta. Antes as OM(s) eram abertas em fichas de papel, o que provocava uma demora para o início do atendimento, bem como trazia dificuldades para a compreensão da solicitação, em virtude da caligrafia, além da falta de priorização dos

atendimentos e confiabilidade dos registros. A mudança para o novo sistema trouxe agilidade na realização dos atendimentos e maior confiabilidade, através da automatização do tratamento de dados feito pelas planilhas elaboradas.

Das 1094 OM(s) abertas 89% (975 OM(s)) foram abertas no turno do dia, enquanto 11% (119 OM(s)) foram abertas à noite (Gráfico 2), considerando que a jornada de trabalho do 1º turno é de 9h e do 2º turno é 8:14h, no período estudado o número médio de colaboradores da manufatura foi de: 238 no turno do dia e 94 no turno da noite. Com isso a capacidade média de operação dos turnos (em HH/dia) é apresentada na Tabela 3, onde também é mostrado a taxa de abertura média de OM por dia e por horas-homem de operação, o que torna possível observar que ao considerar-se a capacidade de produção dos turnos. Ao dia abre-se quase 3 vezes mais OM em relação à noite.

Gráfico 2. OM(s) abertas por turno



Fonte: O autor, 2022.

Tabela 3. Taxa média de abertura de OM por HH

Turno	Jornada	Colaboradores	HH/dia	OM/dia	OM/HH
Dia	09:00	238	2142:00	7,56	0,0035
Noite	08:14	94	773:56	0,92	0,0012

Fonte: O autor, 2022.

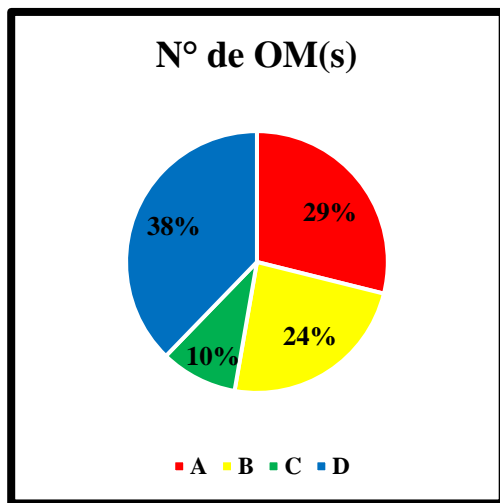
Em um primeiro momento, os dados apresentados aparentam confiabilidade não adequada, pois esperava-se um número semelhante de OM/HH entre os turnos e não a diferença constatada. A partir de uma entrevista com colaboradores da manutenção e da operação da fábrica, algumas hipóteses foram levantadas para compreender esta divergência:

- Os colaboradores do 2º turno não adquiriram a prática da abertura de OM(s), solicitando os serviços da manutenção verbalmente diretamente com os manutentores;
- Por possuírem, conforme relatado, maior liberdade no 2º turno os operadores resolvem todos os problemas que conseguem, não realizando abertura de OM;

Levando em consideração as hipóteses acima, apesar de os dados aparentarem confiabilidade não adequada, é possível que eles representem a realidade, sendo importante para as análises posteriores a identificação das tendências observadas na empresa.

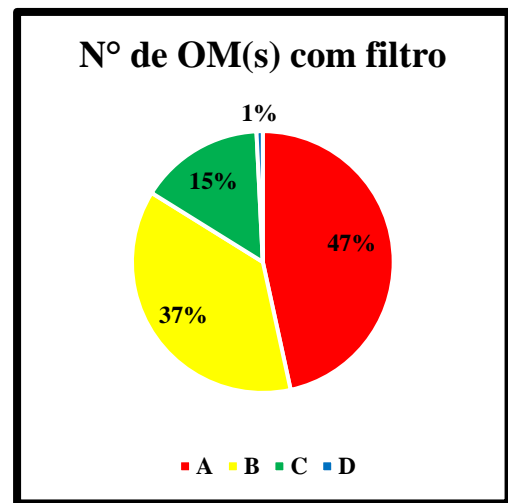
As OM(s) abertas são distribuídas como mostra o Gráfico 3. Contudo, filtrando os dados removendo as OM(s) abertas sem TAG e canceladas, há uma mudança significativa nos números, onde o total de OM(s) fica em 648, sendo 47% relacionadas aos equipamentos A (considerados críticos no processo). A distribuição é mostrada no Gráfico 4.

Gráfico 3. Distribuição do total de OM(s) abertas



Fonte: O autor, 2022.

Gráfico 4. Distribuição com filtro nos dados



Fonte: O autor, 2022.

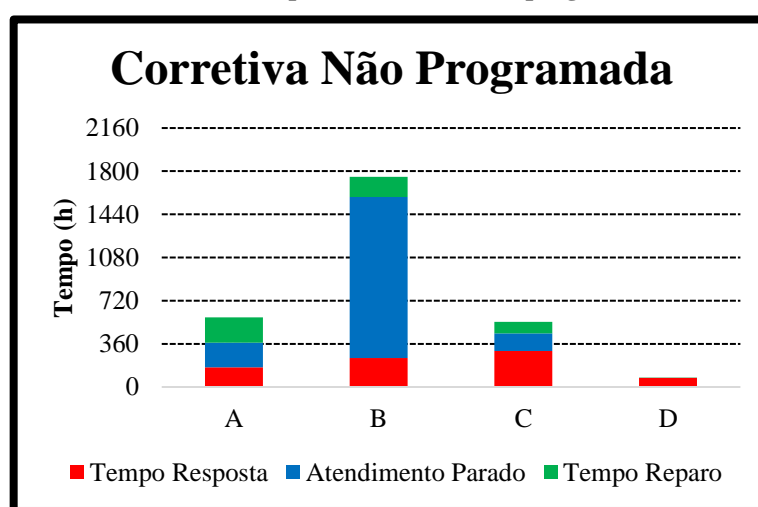
Das ordens abertas sem TAG 31% foram identificadas como relacionadas aos equipamentos, os quais possuíam identificação e que por motivos desconhecidos e diversos não foi colocada na OM. Com isso constata-se uma forma do impacto de dados incorretos na análise, pois neste caso é possível identificar que a OM foi aberta para um equipamento, mas não é possível verificar qual equipamento, sua classe e computar os dados em seu histórico e indicadores. Destas OM(s) sem TAG analisadas percebeu-se, através da verificação das atividades de manutenção realizadas no atendimento destas OM(s), que cerca de 11% poderiam ser resolvidas pelo próprio operador, o tempo gasto nestas OM(s) poderia ter sido empregado

no atendimento de atividades mais complexas ou em melhorias nos equipamentos críticos, para que estes aumentem sua disponibilidade.

4.2 Definição do estudo de caso

Para as análises a seguir todos os números referem-se aos dados após a aplicação dos filtros descritos anteriormente. A primeira das análises é dos tempos de máquinas indisponíveis para manutenção corretiva não programada (Gráfico 5), dividido entre as classes, os valores absolutos e relativos podem ser observados na Tabela 4.

Gráfico 5. Tempo de corretivas não programada



Fonte: O autor, 2022.

Tabela 4. Tempo gasto em corretivas não programadas

Classe	Tempo (h)			Total	Porcentagem do Tempo de Reparo
	Resposta	Parado	Reparo		
A	163:05	206:22	210:55	580:23	36%
B	242:35	1341:08	169:56	1753:40	10%
C	300:23	147:07	94:33	542:04	17%
D	75:43	0:00	1:28	77:11	2%
Total	781:47	1694:37	476:55	2953:20	16%

Fonte: O autor, 2022.

No gráfico 5 e na Tabela 4, pode-se perceber que na manutenção corretiva não programada, os equipamentos de criticidade A tem o seu maior percentual de tempo de indisponibilidade empregado no reparo (36%), o que é de esperar-se, visto sua importância no processo e seu atendimento exigir uma resposta mais rápida. Já os demais equipamentos

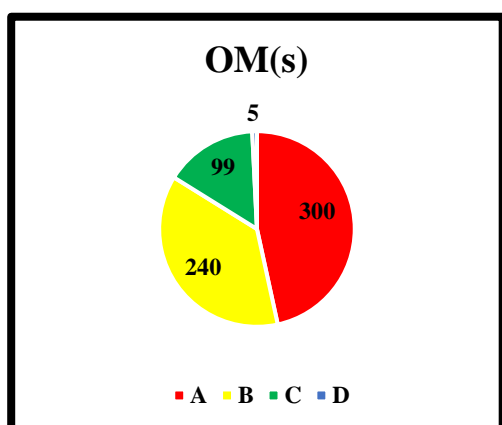
mostram um menor percentual no tempo de reparo em relação a indisponibilidade do equipamento, o que também é esperado visto que são deixados em segundo plano em detrimento aos equipamentos A.

Todavia o tempo de resposta é considerado demasiadamente alto, uma média aproximadamente de 1h e 50min, o que demonstra uma sobrecarga dos técnicos de manutenção, devido a um excesso de demanda, evidenciado pela demora no início do atendimento nas OM(s). Alerta semelhante vale para o tempo de atendimento parado o qual é muito impactado por dois motivos principais: o primeiro é a falta de peças importantes no estoque, o segundo é a não realização das manutenções aos domingos, o que leva as paradas de atendimento.

A análise anterior mostra o quanto a transformação dos dados em informação é importante, evidenciando aspectos que podem não ser tão claros para a gestão da empresa e que possibilitam a definição de estratégias e ações, as quais acabarão por resultar em aumento de disponibilidade nos equipamentos. Esse processo pode oferecer ganhos maiores se a tomada de decisão baseada nas análises for realizada com maior velocidade, o que é possível com o uso de automação e I4.0, visto que as informações mostradas neste estudo foram trabalhosas e obtidas manualmente em muitas vezes.

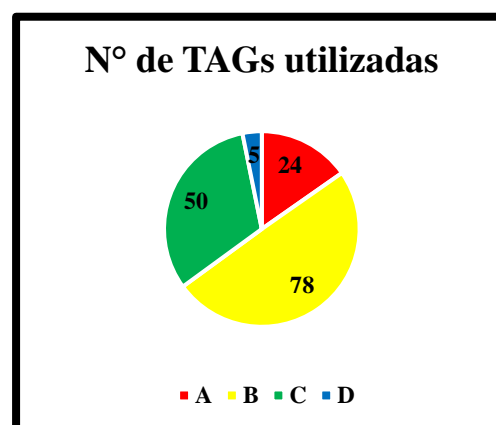
Ao analisar-se os equipamentos A mais de perto em virtude de seu elevado número de OM(s) (Gráfico 6), verifica-se que apenas 24 TAGs de equipamentos classe A foram utilizadas, apesar de a empresa possuir cerca de 103 TAGs classe A, o que pode ser visualizado no Gráfico 7. Analisando a média de ordens de manutenção abertas e o número de TAGs utilizadas, percebe-se no Gráfico 8 que com a média de OM(s) por TAG, separados pela criticidade, o impacto e a relevância dos equipamentos A no número de falhas.

Gráfico 6. OM(s) por criticidade



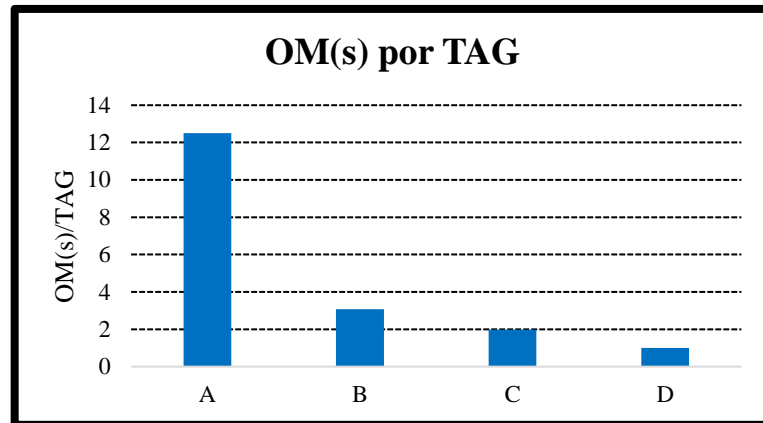
Fonte: O autor, 2022.

Gráfico 7. Número de TAG utilizadas nas OM(s)



Fonte: O autor, 2022.

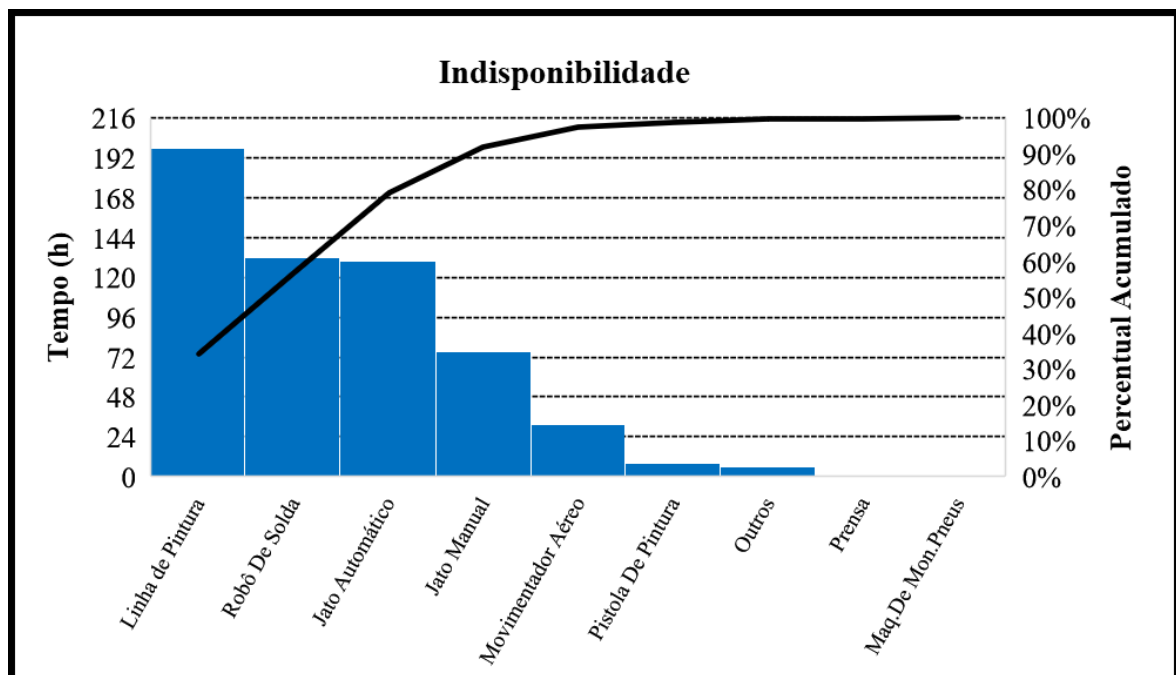
Gráfico 8. Média de OM(s) por TAG



Fonte: O autor, 2022.

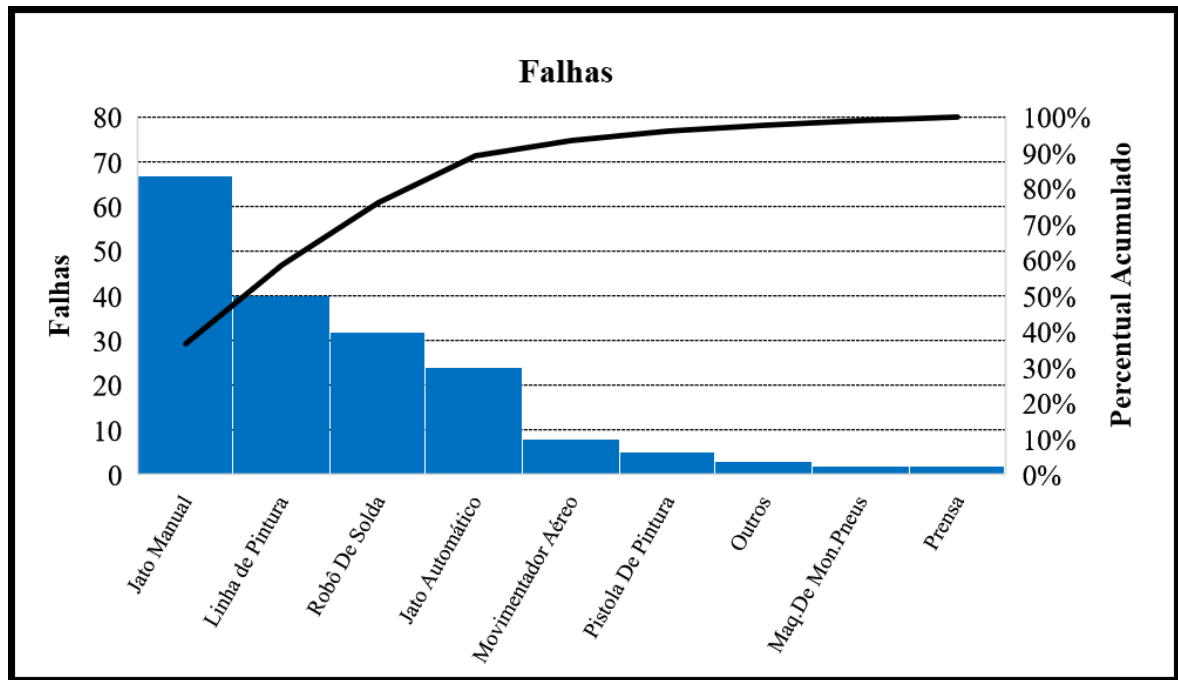
Com os impactos na produção inerentes aos equipamentos A, somado ao seu elevado número de ocorrências (47% do total) e o tempo empregado representando 44,9%, além de ser classe que representa o gargalo de manutenção com a maior demanda de HH, foi escolhido este grupo de equipamentos para realizar a análise e definir o estudo de caso. Para isso as máquinas desta classe foram divididas em 9 grupos de acordo com o tipo de equipamento e seu emprego, em seguida conforme descrito na metodologia, foi feito dois gráficos de Pareto. O primeiro, Gráfico 9, demonstrando o tempo gasto em manutenção corretiva não programada e o segundo, Gráfico 10, mostrando a quantidade de falhas apresentadas pelos grupos de equipamentos.

Gráfico 9. Pareto tempo de manutenção



Fonte: O autor, 2022.

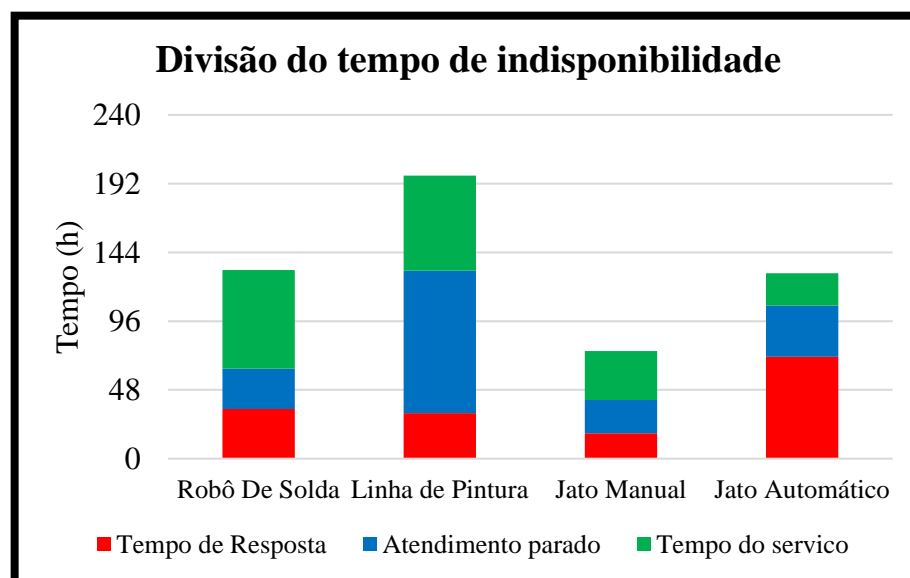
Gráfico 10. Pareto Falhas



Fonte: O autor, 2022.

Como pode-se observar um conjunto de 4 equipamentos representam a grande maioria das manutenções corretivas não programadas, tanto em tempo de indisponibilidade e número de OM, sendo que o equipamento que mais apresenta falhas, não é o qual se gasta mais tempo em reparos. No Gráfico 11 é possível observar a divisão do tempo de indisponibilidade destes 4 equipamentos.

Gráfico 11. Divisão do tempo de indisponibilidade



Fonte: O autor, 2022.

Nessa análise anterior, percebe-se que os Robôs de Solda exigem um maior tempo de reparo, tanto relativamente como em número absoluto, conforme apresentado na Tabela 5. A partir disso é possível dizer que os equipamentos que mais sofrem impacto com a execução da manutenção corretiva não programada são os robôs, com isso e com o detalhamento do estudo de caso identifica-se uma oportunidade de melhoria nestes equipamentos, passíveis de investimento justificáveis pela análise feita na sequência deste estudo.

Tabela 5. Divisão da indisponibilidade de 4 equipamentos

Equipamento	Tempo (h)			Total	Porcentagem do Tempo de Reparo
	Resposta	Parado	Reparo		
Robô de Solda	34:40	28:08	68:46	131:34	52%
Linha de Pintura	31:40	99:27	66:26	197:35	34%
Jato Automático	71:02	35:53	22:36	129:32	17%
Jato Manual	17:49	23:14	33:59	75:02	45%

Fonte: O autor, 2022.

4.3 Estudo de caso

Com a análise feita acima definiu-se a realização do estudo de caso nas células de soldagem robótica. A seguir serão apresentadas as informações (Tabela 6) de interesse para a análise.

Tabela 6. Indicadores do equipamento estudado

Indicador	Valor
Nº de OM(s)	15
MTBF	121:26h
MTTR	4:54h
DISP	96%
Indisponibilidade	73:33h

Fonte: O autor, 2022.

Após a falha é necessário a realização da manutenção corretiva, a qual muitas vezes utiliza-se material e geralmente utiliza-se a mão de obra (MO). O custo do material é detalhado na Tabela 7. Já o cálculo do custo da MO, como descrito na metodologia, não pode ser apresentado por questões de confidencialidade.

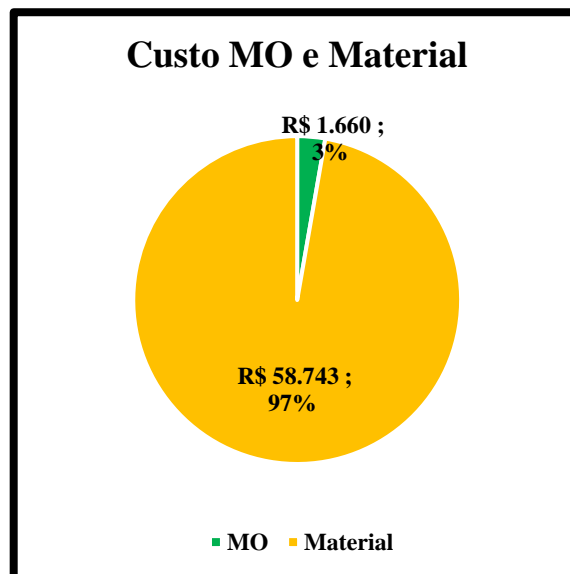
Tabela 7. Detalhamento do custo de material

Item	Quantidade	Valor	Total
Roldana do alimentador	3	R\$ 82,00	R\$ 246,00
Engate rápido	5	R\$ 48,00	R\$ 240,00
Corpo da tocha	2	R\$ 6.900,00	R\$ 13.800,00
Engrenagem tracionadora	3	R\$ 249,00	R\$ 747,00
Tocha	1	R\$ 5.800,00	R\$ 5.800,00
Shock sensor	1	R\$ 4.900,00	R\$ 4.900,00
Conduíte	2	R\$ 130,00	R\$ 260,00
Fonte de soldagem	1	R\$ 32.750,00	R\$ 32.750,00
Total			R\$ 58.743,00

Fonte: O autor, 2022

Isso tudo representa um custo que no caso do equipamento estudado é descrito no Gráfico 12, representando todo o período analisado.

Gráfico 12. Custo MO e Material



Fonte: O autor, 2022.

Todavia, o tempo necessário para recolocar o equipamento em operação acarretou indisponibilidade, onde a máquina não produziu, deixando de gerar lucro para empresa, isso representa o custo de lucro cessante. A partir do cálculo do LC descrito na metodologia obteve-se os seguintes valores para a célula robótica analisada:

$$LC = CMH * MLC * FCP * t \quad (5)$$

Onde:

- O *CMH* é o custo médio por hora de operação, com o valor de:

$$CMH = R\$ 3.422,648/h$$

- O *MLC* é a margem de lucro através do custo, obtido com a margem de lucro final, com valor de:

$$MLC = 0,493$$

- O *FCP* é o fator de custo do processo, com o valor de:

$$FCP = 0,380$$

- O *t* é o tempo de indisponibilidade (parada) do equipamento, como valor de:

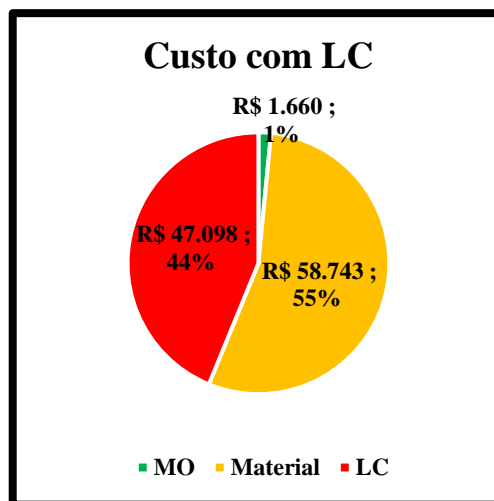
$$t = 73,602h$$

Com isso o valor obtido para o LC foi de:

$$LC = R\$ 47.097,792$$

Como observado o valor do *LC* para o caso estudado ficou em aproximadamente R\$ 47.098,00, comparando o valor com os outros custos pode-se perceber no demonstrado no Gráfico 13, que o *LC* representa 44% do custo de manutenção neste caso.

Gráfico 13. Custo com LC

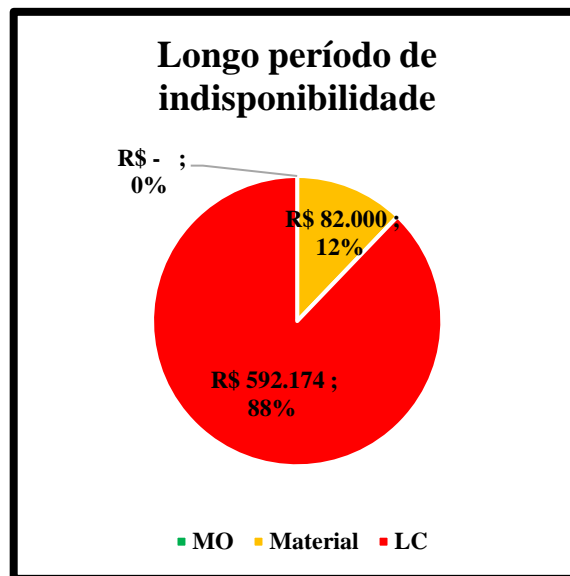


Fonte: O autor, 2022.

A análise do lucro cessante quantifica perdas pela não operação, ou não operação adequada do equipamento. Uma máquina tem custos fixos de operação e manutenção, mas quando a mesma deixa de funcionar por um longo período estes custos podem zerar. O custo de manutenção corretiva é zerado, pois máquina parada não falha, dependendo do programa e planejamento de manutenção preventiva, este custo também pode ser zerado. Todavia, há um enorme prejuízo com essa parada como observa-se no cálculo do *LC* de outra célula de soldagem robótica, a qual ficou indisponível para a produção por 91 dias corridos e 66 dias úteis, representando aproximadamente 1137 horas de equipamento inoperante. Com os mesmos levantamentos feitos anteriormente chega-se aos custos de manutenção neste equipamento como mostra o

Gráfico 14. Porém, desta vez pode-se perceber que o custo de mão de obra está zerado, isso decorre do fato que o reparo foi realizado por empresa terceirizada, onde a MO foi cobrada no valor da peça.

Gráfico 14. LC em 91 dias indisponibilidade da célula robótica



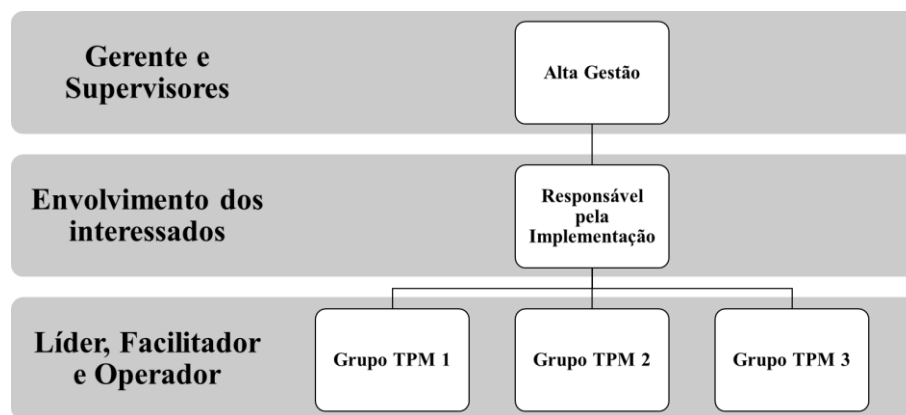
Fonte: O autor, 2022.

Nos equipamentos descritos neste estudo de caso o *LC/h* médio é de *R\$ 580,00/h*. Como a fábrica dispõe de vários equipamentos distintos, como exemplo ilustrativo, considerar-se-á um valor do *LC/h* médio, para todos os equipamentos da fábrica, de *R\$ 290,00*, com as informações preliminares, que indicam um tempo de máquinas indisponíveis por demora e parada no atendimento de aproximadamente 2476 horas, o *LC* deste período de 6 meses seria em torno de *R\$ 718.000,00*, ou *R\$ 1.436.000,00* em um ano.

4.4 Proposta de implementação de TPM

Como visto, a importância do envolvimento da alta gestão e do uso da estrutura corporativa para implementação da TPM, sugere-se o organograma de implementação apresentado na Figura 20, onde a demanda é colocada pela alta gestão, representados pelo gerente da planta fabril e os supervisores, abaixo deste grupo é designado a pessoa ou setor responsável por atender as demandas, distribuir as tarefas, responder diretamente a alta gestão e ser seu representante no trato com o nível operacional, coordenando as atividades de implementação da TPM, as quais serão desenvolvidas em grande parte pelos grupos de TPM. Estes grupos utilizarão a estrutura corporativa já estabelecida da empresa como mostrado na Figura 18, sendo composto por um Líder, um Facilitador e seus operadores subordinados, com o adicional de um manutentor e um membro do setor administrativo.

Figura 20. Sugestão de Organograma de Implementação



Fonte: O autor, 2022.

Como pode observar-se no Quadro 2, que trata das etapas para implementação, as de número 7 a 11 referem-se à fase de implementação de 5 pilares principais da TPM, mas como visto, na referência adotada e conforme a própria empresa estudada adota, utilizam-se 8 pilares. Então para esta proposta substituir-se-á estas 5 etapas por uma única subdividida em cada pilar (Quadro 4).

Quadro 4. Proposta de implementação do TPM

Fase	Nº	Etapa
Preparação	1	Comprometimento da alta administração
	2	Divulgação e treinamento inicial
	3	Definição da responsabilidade pela implementação
	4	Definição da política e metas
	5	Elaboração do plano diretor de implementação
Introdução	6	Outras atividades relacionadas com a introdução

Implementação	7	Implementação dos 8 pilares
Consolidação	8	Realização da TPM e seu aperfeiçoamento

Fonte: O autor, 2022.

Para implementação dos pilares da TPM na empresa propõe-se uma ordenação dos pilares como apresentado no Quadro 5, com uma sequência lógica, como mostra a Figura 21 justificada na sequência do texto.


Quadro 5. Sequência de implementação dos pilares

ORDEM	PILAR
1	Gerenciamento
2	Controle Inicial
3	Educação e Treinamento
4	Segurança, Saúde e Meio ambiente
5	Manutenção Autônoma
6	Manutenção Planejada
7	Melhoria Específica
8	Qualidade de Manutenção

Fonte: O autor, 2022.

Figura 21. Sequência de implementação dos pilares

P		D			C	A		
1	2	3	4	5	6	7	8	
Organizar, padronizar, melhorar o fluxo e o acesso a informação.	Antecipação das possíveis falhas, desenvolver o plano de treinamento e facilitar a MA.	Treinamento para diagnóstico, análise e reparo de falhas, tanto para o operador quanto manutentor.	Eliminação de possíveis falhas de segurança e meio ambiente, adequação a legislação.	Autogestão do equipamento pelo operador, intimidade com a máquina.	Através dos dados e indicadores confiáveis, avaliar intervenções nos equipamentos.	Identificar o equipamento ou componente crítico, planejar e realizar a melhoria.	Receber e identificar demandas de ajuste ou melhoria, que afetam a qualidade.	



Fonte: O autor, 2022.

1. Gerenciamento irá organizar e preparar a documentação, o fluxo de informação, o processo de controle, gestão e execução dos pilares e dos equipamentos, facilitando o acesso às informações e as avaliações necessárias, tornando mais fácil a implementação dos outros pilares;
2. Controle inicial irá impedir que novos problemas entrem na planta fabril, evitando adequações e melhorias posteriores, reduzindo o trabalho nos outros pilares;

3. Educação e treinamento irão preparar os colaboradores para compreender, implementar e executar o que é esperado dentro dos pilares da TPM, como questões de segurança, operação, manutenção e qualidade, elevando o nível de percepção destas questões e facilitando a implementação dos pilares seguintes;
4. Segurança e meio ambiente vai adequar os equipamentos e procedimentos evitando riscos eminentes. Visto a grande importância deste pilar, pois as falhas que comprometem segurança e meio ambiente causam enorme impacto em qualquer empresa. A primeira ação direta nos equipamentos deve ser comprometida com este pilar;
5. Manutenção autônoma gera uma intimidade maior do operador com o equipamento, aumentando o cuidado e a antecipação aos problemas, reduzindo manutenções corretivas não programadas e tempo de mão de obra especializada empregada em atividades de menor complexidade, além disso o operador mais consciente tratara as informações coletadas e sua inspeção com maior cuidado, preparando o caminho para implementações dos pilares seguintes. Porém esses ganhos serão obtidos mais facilmente com os pilares anteriores já implementados;
6. Manutenção planejada viabiliza através dos dados e indicadores a elaboração de uma estratégia e um programa para a melhora das condições de operacionalidade dos equipamentos e conseqüentemente a melhora dos seus indicadores, partindo deste pilar a definição da melhoria específica que possui maior potencial de ganhos;
7. Melhoria específica é viabilizada com a identificação de oportunidades pelo operador capacitado e/ou necessidade identificada pelo departamento de manutenção através dos indicadores e da estratégia planejada, sendo fortemente apoiada pelos pilares de treinamento, segurança, manutenção autônoma e planejada.
8. Qualidade de manutenção torna-se fácil sua implementação e realização com todos os pilares sendo plenamente executados, pois há maior capacidade para suportar este pilar, bem como maior facilidade de identificação das oportunidades em virtude da menor influência de outros aspectos já resolvidos e atacados nos outros pilares.

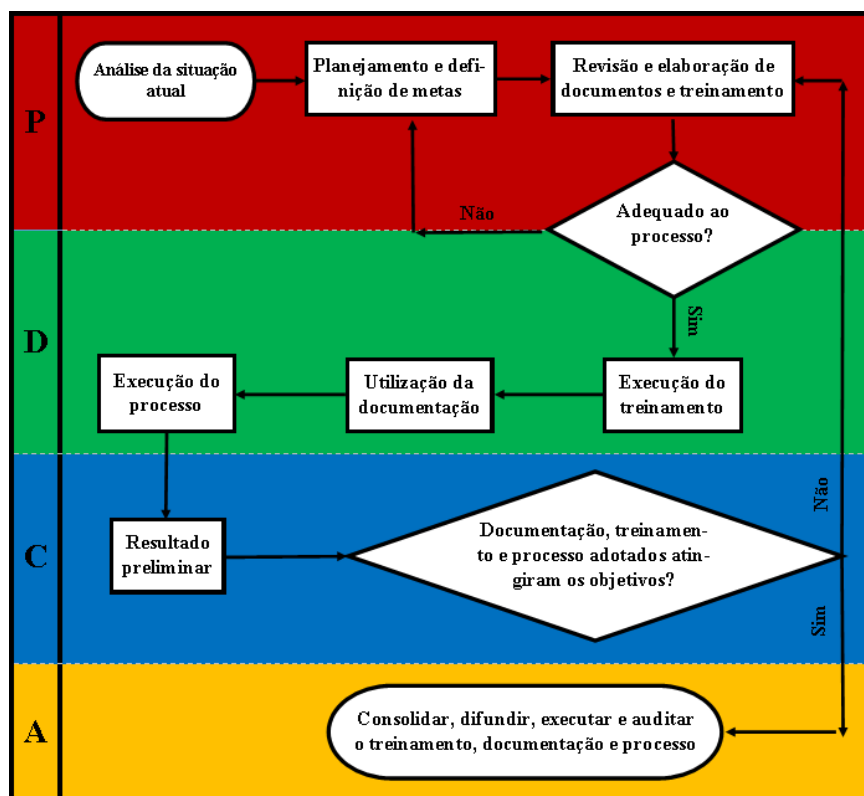
Para facilitar o processo de implementação dos pilares e o entendimento do mesmo, é apresentado um fluxograma como proposta na Figura 22, o qual serve para os 8 pilares, visto que, esta proposta se adéqua aos passos de implementação de cada pilar apresentados na revisão. No fluxograma de implementação com base no ciclo PDCA a etapa P trata na análise da situação atual, definição de metas e por fim, a revisão e elaboração da documentação e treinamentos necessários para a implementação do pilar. Já na etapa D é escolhido a área ou equipamento piloto onde será aplicado o processo, documentação e treinamento desenvolvido na etapa P. Após, na etapa C, deve ser analisado os resultados preliminares obtidos na execução, e por fim, após aplicar as devidas correções na etapa A é consolidado e difundido o processo validado. Conforme o fluxograma e as etapas do ciclo PDCA nele contidas, neste estudo sugere-se o estabelecimento das responsabilidades por cada etapa conforme o Quadro 6.

Quadro 6. Responsáveis no ciclo PDCA de implementação

Etapa do PDCA	Responsáveis
P	Alta Gestão e Responsável designado e um membro do Grupo TPM
D	Responsável designado e Grupo TPM
C	Alta Gestão, Responsável designado e Grupo TPM
A	Grupo TPM

Fonte: O autor, 2022.

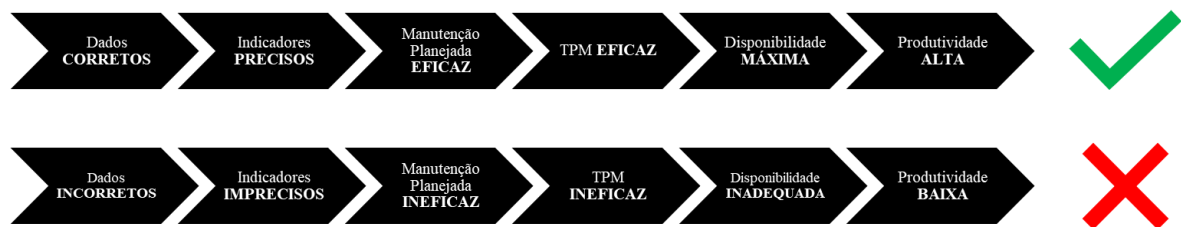
Figura 22. Fluxograma de implementação PDCA



Fonte: O autor, 2022.

Como apresentado no estudo de caso, a falta de dados precisos, confiáveis ou em volume adequado pode comprometer a análise correta quanto ao desempenho do equipamento e sua viabilidade econômica. Isso dificulta a realização de um plano de ação eficiente impactando diretamente nos pilares da TPM. O planejamento do programa de treinamento, a manutenção autônoma e planejada, assim como o controle inicial e a melhoria específica acabam sendo inadequadas e mal avaliadas em decorrência da falta de dados e de precisão dos mesmos. Todos esses eventos acabam culminando na disponibilidade e produtividade do equipamento, conseqüentemente no lucro da empresa. Essa cadeia de eventos é mostrada na Figura 23.

Figura 23. Dados culminam em produtividade



Fonte: O autor, 2022.

A TPM assim com o ME são metodologias que agem não apenas na mudança e adoção de procedimentos e ferramentas, mas buscam transformar a cultura da companhia. Todavia, na região da empresa estudada, há grande dificuldade em encontrar mão de obra, onde a mesma possui alta rotatividade, agravado com a sazonalidade de produção da empresa, segundo a percepção a mesma. Essa característica do arranjo produtivo regional, dificulta a mudança cultural proposta pelas metodologias consagradas da TPM e ME, conseqüentemente reduzindo seus ganhos e mantendo o desperdício de recursos que poderiam ser evitados.

Todavia, nos últimos anos com o surgimento de uma onda tecnológica que vem se desenvolvendo e crescendo cada dia mais, com a vanguarda do governo alemão, a indústria 4.0 ganhou fama e mostra seus resultados. Diante da dificuldade de coleta e análise de dados na indústria local, em virtude dos aspectos citados acima, propõe-se o uso das tecnologias da I4.0 juntamente com tecnologias já conhecidas de automação, possibilitando análises mais assertivas e conseqüentemente o sucesso da implementação da metodologia TPM, empoderando os setores de manutenção e engenharia de processo, bem como a alta gestão, na tomada de decisão, quer seja a nível estratégico ou operacional. Com isso, sugere-se a adoção de tecnologias como as descritas e justificadas no Quadro 7.

Quadro 7. Justificativa para o uso das ferramentas 4.0

Ganhos	Justificativa
Controle Supervisório de Aquisição de Dados	
Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Os valores de referência monitorados remotamente; • Acionamento de alarmes para produção fora de tolerância; • A interferência do operador pode ser imediata alterando processos que garantem a qualidade.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de pessoal para a captação de informações produtivas; • Tratamento de dados automatizado com a geração de gráficos e tendências a partir dos dados históricos, reduzindo a necessidade de especialistas em dados estatísticos.
Produtividade	<ul style="list-style-type: none"> • As paradas de máquinas podem ser diminuídas e pontuais; • O diagnóstico de problemas em menor tempo, através da disponibilidade de informações.
Informação	<ul style="list-style-type: none"> • Os dados coletados podem alimentar sistemas gerenciais, como o ERP.
Sistema de Execução de Manufatura	
Gerenciamento de ordens de produção	<ul style="list-style-type: none"> • Importação das ordens de produção do ERP para o MES; • Ordens de produção visualizadas e operadas pelos operadores no chão de fábrica; • Exportação das informações para o ERP.
Gerenciamento materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona para operação a lista de materiais; • Visibilidade do fluxo de materiais; • Informações sobre disponibilidade, estoque, lote e qualidade de matérias-primas disponibilizadas através de interfaces do ERP; • Requisições de matérias-primas para o ERP; • Atualizar automaticamente o consumo e apontamento de produção no ERP; • Manter os dados de inventário atualizados; • Rastreabilidade dos materiais; • Identificação do fluxo dos materiais e a composição de produtos semiacabados e acabados.
Indicadores para análise	<ul style="list-style-type: none"> • Informações precisas relacionadas à operação; • Monitoramento de indicadores chave para tomadas de decisão (OEE, controle estatístico do processo, entre outros); • Os dados podem ser obtidos manualmente ou automaticamente; • Informação disponível quase em tempo real; • Tomadas de decisão rápidas e assertivas.
Digitalização do fluxo de trabalho	<ul style="list-style-type: none"> • A padronização e criação de fluxo de trabalho de forma eletrônica, com sequenciamento dos passos de produção; • Solicitação de informações e ações aos times de qualidade; • Interface visual para guiar os operadores a seguirem o procedimento padrão; • Todas as ações executadas são assinadas pela operação e registradas em relatórios.
Segurança da operação	<ul style="list-style-type: none"> • Automatização de atividades como setup/calibração de equipamentos, baseadas em dados reais;

	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da possibilidade de erro humano; • Redução de paradas não produtivas; • Poka-Yokes podem ser desenvolvidos no sistema evitando erros e defeitos de produção.
BIG DATA	
Decisões em tempo reduzido	<ul style="list-style-type: none"> • Acesso a diversos dados atualizados e indicadores relevantes; • Modificação dos parâmetros de produção em tempo reduzido para atender às alterações de demanda; • Mudança de planejamento com maior velocidade e eficiência.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> • Otimização de equipes com treinamentos sob demanda para colaboradores com desempenho insatisfatório em determinada operação; • Redução de custo na geração de relatórios e dados sobre processos; • Redução de tempo de manutenção de equipamentos; • Análise de horário de pico e planejamento de manutenções preventivas fora deste período; • Equipamentos informatizados saberão quais rotinas devem manter; • Previsão do tempo de operação antes de cada manutenção; • Identificação rápida de problemas; • Processos analisados constantemente identificando oportunidades de melhoria.
NUVEM	
Velocidade da informação	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da velocidade de acesso à informação; • Aumento da automação, buscando uma maior eficiência operacional; • Maior segurança, pois provedores investem em sistemas de proteção; • Integração entre as informações dos sistemas que controlam a fábrica como o SCADA, MES e ERP; • Pagamento de tecnologia por uso, as fábricas podem ser modernizadas com projetos pequenos e crescer conforme os resultados alcançados; • Controle das plantas pelos smartphones, decisões tomadas com mais rapidez.

Fonte: O autor, 2022.

4.5 Resultados Esperados

Com a implementação sugerida na proposta, espera-se os ganhos mostrados na tabela 1, bem como, ganhos nos atributos descritos no Quadro 8. Os resultados esperados apresentados neste quadro possuem uma complexidade e dificuldade para que sejam estimados, em virtude de muitos deles estarem condicionados a várias ações paralelas necessárias a serem adotadas e efetivas, desta maneira os resultados serão mostrados de forma qualitativa em virtude da falta de dados quantitativos.

Tabela 8. Resultados esperados do TPM

Produtividade	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do rendimento das máquinas; • Redução das paradas não programadas.
Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da capacidade de processo; • Diminuição do índice de rejeitados; • Diminuição das reclamações do cliente.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos custos industriais; • Menor consumo de peças de reposição nas máquinas e equipamentos; • Redução do trabalho.
Logística	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de estoque; • Aumento da confiabilidade nos prazos de entrega.
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do número de acidentes de trabalho; • Diminuição de sujidade e desperdícios; • Economia de material e energia.
Motivação	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do número de sugestões de melhoria; • Motivação para o trabalho em grupo; • Criação de uma mentalidade de melhoria contínua.

Fonte: Vitorino, 2011 *apud* Coelho, 2009

Quadro 8. Resultados esperados

Item	Atual	Futuro
Nº de OM(s)	Baixo	Satisfatório
Nº de dados de OEE	Baixo	Satisfatório
Tempo parado	Elevado	Mínimo
Alerta de paradas	Inexistente	Em equipamentos A
Tempo tomada de decisão	Lenta	Em tempo Real
Manipulação de dados	Manual	Automática
Lucro cessante	Elevado	Mínimo
OEE	Baixa	Satisfatória
DISP	Razoável	Satisfatória
MTTR	Elevado	Satisfatório
MTBF	Baixo	Satisfatório
Avaliação TPM	Inexistente	Adequado
Risco de Acidentes	Preocupante	Controlado
Satisfação do operador	Baixa	Satisfatório
Produtividade	Razoável	Satisfatória

Fonte: O autor, 2022.

Com o ganho proporcionado nestes atributos citados acima, espera-se que o potencial de retorno financeiro seja atingido, com a redução do LC que representa parte significativa do custo de manutenção demonstrado no estudo.

5 CONCLUSÃO

Com as novas perspectivas tecnológicas trazidas com a indústria 4.0, pode-se observar a cada dia suas possibilidades de aplicação, como o proposto por este estudo. O conteúdo desta obra evidencia as relações e a importância da coleta, tratamento e análise dos dados para uma realização da gestão de manutenção. Como visto através das informações é possível identificar gargalos de manutenção, possibilitando o planejamento eficiente e posteriormente sua execução. Porém como analisado, os dados podem não representarem a realidade e colocar dúvidas sobre sua veracidade e a suficiência do seu volume, podendo comprometer a análise e a eficiência das estratégias adotadas.

A análise dos robôs de soldagem demonstra a importância dos dados para identificação de oportunidades, fornecendo informações de suporte para a manufatura, bem como estratégia para atender os equipamentos e aumentar sua disponibilidade. Todavia a informação e a análise não trazem resultados sem a adoção de uma metodologia que transforme tais informações em estratégias de ação padronizadas e em um ciclo contínuo de melhoria. Portanto, a união da metodologia consagrada da TPM, implementada e adotada com uso das tecnologias apresentadas neste estudo, é um caminho exequível e de ganhos para a empresa. Como mostra o estudo de Alves e Oliveira, 2014, onde a implementação da TPM trouxe mudança cultural, aumento da produção e das vendas, melhora dos indicadores de performance, menores custos de fabricação e melhor uso dos recursos.

No exemplo ilustrativo percebe-se que há um potencial de ganhos que pode ser alcançado, por meio da redução de lucro cessante do tempo de resposta e parada de atendimento. Porém, o tempo total de indisponibilidade, demonstrado no exemplo, pode ser um valor maior na realidade do que o observado, o que pode ser constatado com a coleta de dados mais precisa através da implementação da TPM com o auxílio de tecnologias da indústria 4.0, que demonstra a relação entre os dados e a produtividade, apresentada na Figura 23.

Como relatado, o contexto atual da indústria 4.0 coloca uma nova perspectiva para implementação da TPM, pois agora a empresa que busca avançar rapidamente para esse novo mundo deve pensar nele antes mesmo da implementação de tecnologias e metodologias. Isso prepara o caminho para o 4.0, como por exemplo, ao definir o fluxo de trabalho e informação dentro da TPM é possível preparar os novos equipamentos para fornecer, a estrutura já definida, os dados necessários de forma rápida e automática. Com isso há redução do custo de mão de

obra qualificada para o tratamento e análise dos dados e aumento de eficiência na resolução e identificação de problemas, através de uma tomada decisão rápida por meio de um plano de ação baseado nas informações obtidas quase em tempo real.

Esse potencial de ganhos justifica a implementação da proposta elaborada, baseada na metodologia aplicada. Todo o esforço envolvido na realização deste estudo, bem como o esforço e investimento necessário para implementação da proposta, justificam-se do início ao fim pautados na visão do que é manutenção industrial na atualidade, que pode ser resumido em uma frase: **Manutenção não é consertar equipamentos e sim evitar que eles falhem!**

6 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Como descrito na metodologia o indicador de OEE não foi explorado, pois não foi possível levantá-lo e correlacionar seus resultados com este estudo, devido a empresa estudada não o analisar no setor de manutenção, além de certa dificuldade na medição do indicador. Com isso, a análise do OEE é sugerida em trabalhos futuros, vinculando-o as metodologias e tecnologias abordados nesse estudo, como sugestão:

- Demonstrar o uso do OEE na melhoria dos indicadores de manutenção, posteriormente a implementação da TPM;
- Comparar o ganho no volume, veracidade, velocidade dos dados com a adoção de das tecnologias citadas neste estudo, bem como mostrar os resultados através dos indicadores de manutenção e OEE.

Outro estudo relevante é descrever o processo de implementação da TPM conforme a proposta deste trabalho, analisar e comparar os resultados, com o esperado e demonstrar seus ganhos.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. G.; FABRO, E. Indústria 4.0 como ferramenta na engenharia de manutenção com base na metodologia TPM. **SCIENTIA CUM INDUSTRIA**, v. 7, p. 23-39, 2019.

ALVES, L. M.; OLIVEIRA, F. D. P. Estudo de implementação do sistema TPM na indústria de alimentos e seus ganhos. **Gestão & Conhecimento**, Poços de Caldas, n. 2014, p. 23, 2014.

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

DE OLIVEIRA, B. E. C. **Estudos dos Impactos da Indústria 4.0 na Implementação do TPM: Pilares MA, MP e ME**. Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Bárbara D'Oeste, p. 102, 2021.

GONÇALVES, G. V. B. **Monitoramento de OEE de uma linha de produção para uso e integração com a Revolução 4.0**. Universidade Estadual Paulista. Sorocaba, p. 79. 2019.

GREGÓRIO, G. F. P.; SANTOS, D. F.; PRATA, A. B. **Engenharia de manutenção**. Recurso Eletrônico. ed. Porto Alegre: SAGAH, 2018. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025493/>>. Acesso em: 12 Fevereiro 2022.

GUPTA, S.; JAIN, S. K. A literature review of lean manufacturing. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, Ambala, v. 8, n. 4, p. 241-249, 2013.

KARDEC, A. **Manutenção - Função estratégica**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, v. I, 2015.

MATOS, J. S. **Estudo do Impacto da Implementação da TPM numa Fábrica de Componentes para Automóveis**. Universidade do Porto. Porto, p. 132, 2008.

MEGIOLARO, M. R. D. O. **Indicadores de manutenção industrial relacionados a eficiência global de equipamentos**. UTFPR. Pato Branco, p. 87, 2015.

OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados**. Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, p. 368, 1999.

PEREIRA, M. J. **Engenharia de Manutenção - Teoria e Prática**. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, v. I, 2011.

RIBEIRO, C. R. **Processo de Implementação da Manutenção Produtiva Total (T.P.M) na Indústria Brasileira**. Universidade de Taubaté. Taubaté, p. 85, 2003.

SANTOS, B. P. **Interação entre Filosofia Lean e Indústria 4.0 Estudo Exploratório**. Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2017.

SCHNEIDER, J. **Medição do nível de maturidade do uso de tecnologia em ambiente da indústria 4.0**. Universidade de Caxias do Sul. Bento Gonçalves, p. 115, 2018.

SILVA, A. C. S. **Análise de Uso de Banco de Dados por Sistemas de Automação Industrial**. Universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 57, 2018.

SILVA, L. F. **Projeto de automação CLP-SCADA de uma linha de produção simulada de portas automotivas**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 119, 2017.

VITORINO, F. M. C. **Preparação para a implementação do conceito TPM - Total Productive Maintenance - na indústria cimenteira**. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, p. 148, 2011.