

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCIANO BARBOSA DA SILVA

**METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN MAINTENANCE
UTILIZANDO O MÉTODO AHP**

PONTA GROSSA

2024

LUCIANO BARBOSA DA SILVA

**METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN MAINTENANCE
UTILIZANDO O MÉTODO AHP**

Methodology of prioritizing *Lean* Maintenance tools using the AHP method

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Flávio Trojan.

PONTA GROSSA

2024



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

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



**Ministério da Educação Universidade
Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa**



LUCIANO BARBOSA DA SILVA

**METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN MAINTENANCE
UTILIZANDO O MÉTODO AHP**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 03 de Maio de 2024

Dr. Flavio Trojan, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Ana Carolina Braga Kodum, Doutorado - Faculdade de Tecnologia Senai Joinville (Senai de Joinville)

Dr. Hugo Valadares Siqueira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Mauro Lizot, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 03/05/2024.

Dedico este trabalho à minha família, pela
compreensão dos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar meus agradecimentos à minha companheira, Marilei Aparecida, pelo companheirismo, paciência e constante incentivo e apoio no desenvolvimento deste estudo.

Aos meus pais, Joacir (in memoriam) e Vera, sou eternamente grato pela educação, incentivo e ajuda ao longo de toda a minha vida. Estendo este agradecimento aos meus filhos, Maycon e Mayara, pela compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu orientador, Professor Dr. Flavio Trojan, agradeço por ter me aceitado como orientando e pela sabedoria com que me guiou durante esta trajetória.

Aos membros da banca de qualificação e defesa, Professores: Dra. Ana Carolina Braga Kodum, Dr. Hugo Valadares Siqueira, Dr. Mauro Lizot e Dr. Antonio Carlos Francisco, agradeço pelas valiosas contribuições à minha pesquisa.

Aos meus colegas que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, meu muito obrigado.

Agradeço a todos os professores com quem tive o prazer de cursar disciplinas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo compartilhamento de seu conhecimento.

A Deus, agradeço pelas bênçãos que me guiaram nesta conquista.

À Secretaria do Curso, minha gratidão pela cooperação.

Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto
você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!

(Mario Sergio Cortella, 2022)

RESUMO

A busca pela redução dos custos de produção tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias nas empresas, como manutenção preditiva, Indústria 4.0, Big Data e Inteligência Artificial, com o objetivo de aprimorar os processos, especialmente no setor de manutenção. No entanto, ainda se observa um número elevado de paradas indesejadas nos processos devido à baixa qualidade nas intervenções de manutenção, frequentemente causadas pela falta de habilidades dos profissionais e pela dificuldade nas tomadas de decisões assertivas. Desta forma, este estudo aborda a problemática da falta de métodos específicos para a tomada de decisões baseadas nas necessidades dos clientes. A tomada de decisões no setor de manutenção é particularmente desafiadora devido à complexidade e à diversidade de fatores a serem considerados. A escolha correta das ações de manutenção é vital para evitar interrupções não planejadas, mas é dificultada pela necessidade de equilibrar vários critérios e pela carência de métodos estruturados de decisão. Como solução, este estudo propõe a utilização do método multicritério Analytical Hierarchy Process (AHP) combinado com a filosofia *Lean* para identificar soluções para o aprimoramento das atividades de manutenção. Com base na revisão bibliográfica e na aplicação do mapeamento do fluxo de valor (VSM) no “chão de fábrica” durante as paradas programadas, foram selecionadas 20 alternativas, avaliadas por 36 profissionais da empresa, considerados clientes da manutenção. Esses profissionais foram divididos em cinco níveis hierárquicos: operadores, especialistas em manutenção, analistas, supervisores e gerentes, formando, assim, uma equipe multidisciplinar. Cada nível hierárquico recebeu um grau de importância na escala Saaty, de acordo com seu nível de decisão na empresa. Como resultado, foi possível identificar as cinco alternativas de maior relevância para solucionar o problema em questão. O método proposto mostrou-se relevante para o setor de manutenção. A abordagem empírica demonstrou que a utilização do *Lean Maintenance*, aliada ao método multicritério AHP, é capaz de identificar e priorizar as atividades de manutenção, tornando o setor mais eficaz. Portanto, com uma abordagem qualitativa baseada na Voz do Cliente (VOC), foi possível direcionar os esforços do departamento de manutenção para aumentar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos, reduzindo os custos de produção. Este estudo evidencia que a integração de metodologias estruturadas e filosofias de melhoria contínua pode superar as dificuldades inerentes à tomada de decisão na manutenção, proporcionando uma gestão mais eficiente e estratégica das atividades de manutenção.

Palavras-chave: Manutenção enxuta; confiabilidade; multicritério; MTBF; AHP.

ABSTRACT

The search for reducing production costs has driven the development of new technologies in companies, such as predictive maintenance, Industry 4.0, Big Data and Artificial Intelligence, with the aim of improving processes, especially in the maintenance sector. However, a high number of unwanted stops in processes are still observed due to the low quality of maintenance interventions, often caused by the lack of skills of professionals and the difficulty in making assertive decisions. In this way, this study addresses the problem of the lack of specific methods for making decisions based on customers needs. Decision-making in the maintenance sector is particularly challenging due to the complexity and diversity of factors to be considered. The correct choice of maintenance actions is vital to avoid unplanned outages but is hampered by the need to balance several criteria and the lack of structured decision methods. As a solution, this study proposes the use of the multi-criteria Analytical Hierarchy Process (AHP) method combined with the *Lean* philosophy to identify solutions for improving maintenance activities. Based on the literature review and the application of value stream mapping (VSM) on the “factory floor” during preventive shutdowns, 20 alternatives were selected, evaluated by 36 company professionals, considered maintenance customers. These professionals were divided into five hierarchical levels: operators, maintenance specialists, analysts, supervisors and managers, thus forming a multidisciplinary team. Each hierarchical level received a degree of importance on the Saaty scale, according to its decision-making level in the company. As a result, it was possible to identify the five most relevant alternatives to solve the problem in question. The proposed method proved to be relevant for the maintenance sector. The empirical approach demonstrated that the use of *Lean* Maintenance, combined with the AHP multi-criteria method, is capable of identifying and prioritizing maintenance activities, making the sector more effective. Therefore, with a qualitative approach based on the Voice of the Customer (VOC), it was possible to direct the maintenance department's efforts to increase the reliability and availability of equipment, reducing production costs. This study shows that the integration of structured methodologies and continuous improvement philosophies can overcome the difficulties inherent in decision-making in maintenance, providing more efficient and strategic management of maintenance activities.

Keywords: Lean maintenance; reliability; multi-criteria; MTBF; AHP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama da organização da dissertação (parte 1).....	23
Figura 2 - Diagrama da organização da dissertação (parte 2).....	24
Figura 3 - Diagrama da organização da dissertação (parte 3).....	25
Figura 4 - Os oito desperdícios, segundo o <i>Lean Manufacturing</i>	39
Figura 5 - <i>Iceberg</i> causa efeito.....	51
Figura 6 - Diagrama de Ishikawa.....	52
Figura 7 - Roteiro proposto baseado nos cinco princípios <i>Lean</i>	56
Figura 8 - Os oito pilares da TPM.....	61
Figura 9 - Relação entre OEE, os três fatores e as perdas.....	65
Figura 10 - Fluxograma para decisão nível de criticidade.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ferramentas do <i>Lean</i>	37
Quadro 2 - Objetivo dos pilares do TPM	62
Quadro 3 - Critérios para avaliação de criticidade de máquinas e equipamentos	70
Quadro 4 - Matriz quadrada de julgamento	75
Quadro 5 - Escala de julgamento Saaty	76
Quadro 6 - Referências bibliográficas versus alternativas selecionadas	81
Quadro 7 - Desperdícios identificado versus alternativas proposta	83
Quadro 8 - Escala de concordância Likert	85
Quadro 9 - Escala de importância dos decisores	86
Quadro 10 - Níveis de importância entre os analistas	88
Quadro 11 - Níveis de importância dos supervisores	89
Quadro 12 - Níveis de importância dos gerentes	91
Quadro 13 - Nível de importância dos decisores por hierarquia	94
Quadro 14 - Matriz de avaliação operadores	123
Quadro 15 - Matriz de avaliação especialista em manutenção	124
Quadro 16 - Matriz de avaliação analistas	125
Quadro 17 - Matriz de avaliação supervisores	126
Quadro 18 - Matriz de avaliação gerentes	127
Quadro 19 - Matriz de avaliação gerentes atuantes na fábrica em estudo	128
Quadro 20 - Matriz de avaliação gerentes com experiência internacional	129
Quadro 21 - Matriz de avaliação geral	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de consistência da matriz	77
Tabela 2 - Escala de concordância Likert	84
Tabela 3 - Definição dos pesos operadores.....	87
Tabela 4 - Definição dos pesos especialistas em manutenção.....	88
Tabela 5 - Definição dos pesos analistas.....	89
Tabela 6 - Definição dos pesos supervisores.....	90
Tabela 7 - Definição dos pesos supervisores.....	92
Tabela 8 - Gerentes atuantes na planta em estudo	93
Tabela 9 - Gerentes com experiência internacional.....	94
Tabela 10 - Matriz de avaliação AHP por hierarquia.....	95
Tabela 11 - Priorização das alternativas nível operadores	97
Tabela 12 - Priorização das alternativas especialistas em manutenção	99
Tabela 13 - Priorização das alternativas analistas	100
Tabela 14 - Priorização das alternativas supervisores	102
Tabela 15 - Priorização das alternativas gerentes.....	103
Tabela 16 - Priorização das alternativas das categorias de gerentes	105
Tabela 17 - Priorização das alternativas gerais	106
Tabela 18 - Comparativo das prioridades das alternativas por hierarquia	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AM	<i>Autonomous Maintenance</i>
CNI	Confederação Nacional da Industrial
EE	Eficiência do equipamento
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
Fp	Fator de produtividade
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFF	Instituto Federal Fluminense
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
Lm	<i>Lean Maintenance</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
MA	Manutenção Autônoma
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MCDA	<i>Multi-Criteria Decision Analysis</i>
MCDM	<i>Multiple Criteria Decision Making</i>
MM	Modelo de Maturidade
MP	Manutenção Planejada
MPBC	Manutenção Preventiva Baseada em Condições
MPBT	Manutenção Preventiva Baseada no Tempo
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
NBR	Norma Brasileira
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PM	<i>Planned Maintenance</i>
RCA	<i>Root Cause Analysis</i>

RI	<i>Random Index</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TBM	<i>Time Based Maintenance</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VOC	Voice of Customer
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WCM	<i>World Class Manufacturing</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
1.2	Justificativa	18
1.3	Contribuição da dissertação para a sociedade acadêmica	20
1.4	Delimitação do estudo	21
1.5	Organização da dissertação	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1	Gestão de manutenção	26
2.1.1	Normas utilizadas	27
2.2	Tipos de manutenção	28
2.2.1	Manutenção preventiva	29
2.2.2	Manutenção corretiva planejada.....	30
2.2.3	Manutenção corretiva não planejada.....	30
2.2.4	Manutenção preditiva	31
2.2.5	Custos de manutenção.....	32
2.2.6	Tempo médio entre falhas.....	33
2.2.7	Planejamento e Controle da Manutenção	34
2.3	<i>Lean Manufacturing</i>	36
2.4	<i>Lean Maintenance</i>	40
2.4.1	Programa 5'S.....	41
2.4.2	Kaizen	42
2.4.3	PDCA	44
2.4.4	SMED	46
2.4.5	Mapeamento do Fluxo de Valor.....	48
2.4.6	Voz do Cliente	49
2.4.7	Poka-Yoke	49
2.4.8	Análise da Causa Raiz	50
2.5	Cinco princípios do <i>Lean Maintenance</i>	53
2.5.1	Valor na manutenção	53
2.5.2	Fluxo de valor na manutenção	54
2.5.3	Fluxo contínuo na manutenção	54

2.5.4	Manutenção puxada	54
2.5.5	Perfeição na manutenção	55
2.5.6	Os oito desperdícios do <i>Lean Maintenance</i>	57
2.6	Manutenção e a Indústria 4.0.....	59
2.7	Manutenção Produtiva Total.....	60
2.7.1	Manutenção Enxuta <i>versus</i> Manutenção Produtiva Total	62
2.7.2	Eficiência Geral do Equipamento	63
2.7.3	Pilar de Manutenção Planejada.....	65
2.7.4	Pilar de Manutenção Autônoma	67
2.7.5	Classificação ABC	68
2.8	Métodos Multicritérios	71
2.8.1	Método AHP	73
2.8.2	Procedimento AHP	74
2.8.3	Combinação da mensuração relativa com absoluta	78
3	MÉTODO DE PESQUISA	80
3.1	Seleção das alternativas.....	81
3.1.1	Seleção das alternativas baseadas no referencial teórico.....	81
3.1.2	Seleção das alternativas aplicado SMED nas paradas programadas	82
3.2	Seleção dos critérios e escala.....	83
3.3	Seleção dos decisores	84
3.4	Aplicação da entrevista	85
3.5	Definição dos pesos dos decisores.....	86
3.5.1	Definição dos pesos nível hierárquico operadores	87
3.5.2	Definição dos pesos nível hierárquico especialistas em manutenção	87
3.5.3	Definição dos pesos nível hierárquico analistas	88
3.5.4	Definição dos pesos nível hierárquico supervisores.....	89
3.5.5	Definição dos pesos nível hierárquico gerentes	90
<u>3.5.5.1</u>	<u>Definição dos pesos nível hierárquico dos gerentes - planta objeto de estudo.....</u>	<u>93</u>
<u>3.5.5.2</u>	<u>Definição dos pesos nível hierárquico dos gerentes - experiência internacional</u>	<u>94</u>
3.5.6	Definição do grau de importância das hierarquias.....	94
3.5.7	Definição dos pesos por nível hierárquico	95
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4.1	Resultado matriz de avaliação Operadores	97
4.2	Resultado matriz de avaliação Especialistas Manutenção	98

4.3	Resultado matriz de avaliação Analistas	100
4.4	Resultado matriz de avaliação Supervisores.....	101
4.5	Resultado matriz de avaliação Gerentes - primeira parte.....	103
4.6	Resultado matriz de avaliação Gerentes - segunda parte	104
4.7	Resultado matriz de avaliação	106
4.8	Considerações sobre o capítulo	108
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	110
5.1	Conclusão	110
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	111
	REFERÊNCIAS.....	113
	APÊNDICE A - Quadros	122

1 INTRODUÇÃO

A busca pela redução de custos na produção é objetivo central nas organizações. Impulsionando o desenvolvimento de novas tecnologias, a melhoria de processos busca maximizar a eficiência dos equipamentos, o que ajuda a elevar a participação das empresas no mercado globalizado. Essa busca exige, principalmente, o aprimoramento das atividades industriais. Dessa forma, a filosofia *Lean* torna-se uma metodologia relevante no setor produtivo, em que o “pensamento enxuto” ajuda a aumentar a rentabilidade das empresas pela otimização dos processos (REIS, 2016).

De acordo com Cordeiro (2019), o *Lean Manufacturing* emergiu na década de 1950 como uma solução inovadora em resposta à necessidade de reconstrução do Japão pós-Segunda Guerra Mundial e ao desenvolvimento da indústria japonesa. Desta forma, Eiji Toyoda desenvolveu o *Lean Manufacturing*, após estudar o processo de produção da Ford, visando não apenas melhorar a qualidade dos produtos e a produção em massa, mas também agregar valor através da qualificação da mão de obra, redução de estoques, eliminação de desperdícios e otimização do tempo de fabricação, remodelando, assim, o paradigma de produção em massa (REIS, 2016).

Para Reis *et al.* (2019), o *Lean Manufacturing* é um método capaz de identificar e reduzir desperdícios nos processos produtivos, visando agregar valor aos produtos por intermédio da otimização da operação. Assim, a filosofia *Lean*, nasceu dentro do Sistema Toyota de Produção (STP), como um conceito para a melhoria de processos (Mouzani *et al.*, 2019), o qual conta com diversos estudos sobre a aplicação dessa filosofia na manufatura, porém, no processo de manutenção, ainda é um método pouco explorado (DIAS; FERNANDES; MOURA, 2022).

Nesse cenário, encontram-se os estudos na área de manutenção que desenvolvem técnicas avançadas na detecção de falhas, a fim de garantir a confiabilidade dos equipamentos, como: indústria 4.0, manutenção preditiva, Big Data, Inteligência Artificial (IA), *softwares* de gestão de manutenção, dentre outras técnicas (REIS, 2016). Por outro lado, muitas atividades básicas de manutenção ainda têm gerado perdas que impactam na qualidade do produto, elevando os custos de produção. Sendo assim, é fundamental que as atividades de manutenção estejam alinhadas com as prioridades da empresa em um ambiente globalizado e competitivo (MOSTAFA; DUMRAK; SOLTAN, 2015).

Muitas dessas perdas são atribuídas à baixa qualidade dos serviços de manutenção, decorrente de falhas nas rotinas de manutenção, ociosidade, execução inadequada dos serviços, utilização de ferramentas impróprias e falta de padronização das atividades (CORDEIRO, 2019). Desta forma, observa-se que a Filosofia *Lean*, amplamente empregada na manufatura para minimizar desperdícios nos processos, ainda não foi totalmente adaptada ao setor de manutenção nas empresas (DIAS *et al.*, 2022).

Marinho (2020) e Dias *et al.* (2022) destacam a filosofia *Lean* como uma metodologia que visa melhorar o sistema de produção por meio da redução dos desperdícios de tempo, de produtividade e de ociosidade, sendo os métodos e ferramentas passíveis de serem aplicados aos processos e práticas de manutenção.

Para Antosz, Pasko e Gola (2020), a adaptação dos equipamentos com novas tecnologias aprimora a estratégia de manutenção, aumentando a disponibilidade, a vida útil e a confiabilidade dos ativos. Desta forma, o método *Lean* aplicado à manutenção é considerado proativo, ajuda a elevar a confiabilidade, a eficácia e a lucratividade. Além disso, Ribeiro *et al.* (2019) complementam que a filosofia *Lean* na manutenção é uma abordagem sistêmica focada em identificar e solucionar problemas de manutenção, otimizando processos através da redução dos desperdícios.

De acordo com Trojan (2012) e Antosz *et al.* (2020), o processo de manutenção, anteriormente visto como um mal necessário dentro das organizações, tornou-se crucial para aumentar a eficiência dos ativos nas empresas. Dessa forma, uma abordagem estratégica é essencial para garantir a sustentabilidade e o crescimento a longo prazo em um ambiente empresarial dinâmico e altamente competitivo. Essa mudança de paradigma leva o departamento de manutenção a desenvolver novos métodos de trabalho para elevar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos (Duran, Capaldo e Acevedo, 2017). Com a implementação de abordagens inovadoras, as empresas podem otimizar suas operações e maximizar o tempo de atividade dos equipamentos. Além disso, a integração de tecnologias digitais, como a análise de dados aliada a métodos de redução de desperdícios, permite uma manutenção mais eficaz, reduzindo custos e minimizando paradas não planejadas.

Essa transformação impulsiona a eficiência operacional e a competitividade da empresa em um mercado cada vez mais exigente e dinâmico. Segundo Mostafa *et al.* (2015), a manutenção é um departamento estratégico nas organizações, composto

por ações planejadas e não planejadas que visam aumentar a confiabilidade, garantir a segurança, e assegurar a disponibilidade e a qualidade dos ativos empresariais.

Portanto, no ambiente produtivo, a redução dos custos de produção e o aumento da qualidade dos produtos e serviços são fundamentais para impulsionar a competitividade da empresa no mercado globalizado (DIAS; FERNANDES; MOURA, 2022).

1.1 Objetivos

Nesta seção será apontado, o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é propor uma metodologia, para definir as ferramentas mais adequadas do *Lean Maintenance* a serem empregadas no departamento de manutenção, a partir de uma análise multicritério com profissionais da empresa.

1.1.2 Objetivos específicos

- Mapear o fluxo de valor do processo de manutenção que impacta no MTBF;
- Definir as ferramentas do *Lean* que podem ser aplicadas no processo de manutenção;
- Determinar as cinco ferramentas mais adequadas do *Lean*, a serem empregadas na manutenção, do ponto de vista dos decisores.

1.2 Justificativa

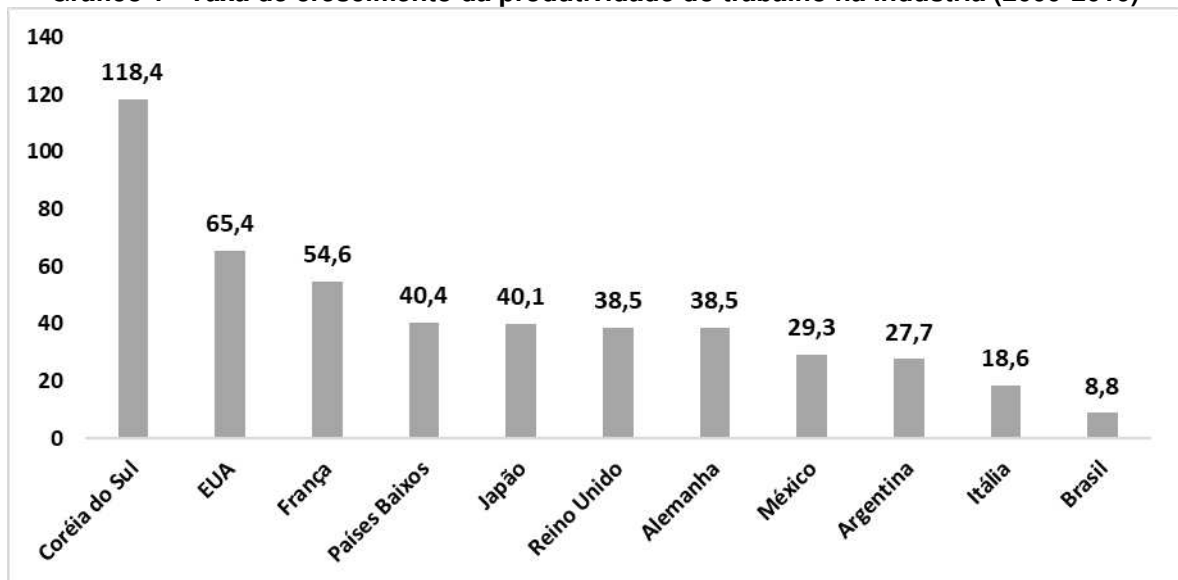
A literatura apresenta estudos sobre a indústria brasileira a fim de compreender os fatores que contribuem para a baixa eficiência e produtividade do setor. O Fator de produtividade (F_p) reflete a relação entre o tempo em que um trabalhador desempenha sua atividade e o tempo ocioso (CNI, 2018). Em meio a essa problemática, o estudo do *Lean Maintenance* se destaca como uma abordagem relevante para impulsionar a indústria brasileira para eficiência e competitividade.

O F_p incorpora o tempo de ociosidade, que utiliza o tempo de espera por peças, tempo para executar instruções de trabalho, preparo de ferramentas e

atividades sem valor agregado para calcular a produtividade média do trabalhador. Conforme dados apresentados por Pastore (2014), a produtividade do trabalhador brasileiro equivale, apenas, a 20% da produtividade de um trabalhador americano. Esse descompasso aponta para os desafios que a indústria brasileira enfrenta em termos de eficiência operacional e competitividade global.

No estudo divulgado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018), destacou a taxa de crescimento da produtividade brasileira, no período de 2000 a 2016, que foi de 8,8%, muito baixa comparada às 65,4% nos Estados Unidos e 118,4% na Coreia do Sul. Esses números ilustram a necessidade de se adotar estratégias capazes de impulsionar a produtividade e a eficiência em solo nacional. No gráfico 1, apresenta o Brasil em 11º no *ranking* da taxa de crescimento da produtividade do trabalho na indústria.

Gráfico 1 - Taxa de crescimento da produtividade do trabalho na indústria (2000-2016)



Fonte: CNI (2018)

Em 2021, as indústrias representaram 22,2%, do Produto Interno Bruto (PIB) do país, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, representavam aproximadamente 71,8% do total das exportações brasileiras. Investimentos industriais tiveram participação na arrecadação de impostos federais, com 68,6% do total e 32,9% da arrecadação de tributos federais (TRENDS, 2022).

Neste contexto, surgem os estudos sobre a Manutenção Enxuta (ME) ou *Lean Maintenance (Lm)*, inspirados nos princípios do *Lean Manufacturing*, e que buscam propor métodos e modelos para eliminar desperdícios, otimizar fluxos de trabalho e elevar a eficiência nas atividades de manutenção industrial. Ao auxiliar a reduzir os

tempos de espera por peças, tempo de ajuste de ferramentas e espera de instruções, bem como eliminar atividades sem valor agregado, o *Lean Maintenance* contribui para elevar a produtividade do trabalho, minimizando tempo da atividade efetiva de manutenção (MOSTAFA; DUMRAK; SOLTAN, 2015).

Portanto, os valores históricos do Fator de produtividade (Fp) destaca a necessidade de uma abordagem enxuta na manutenção, como uma resposta estratégica. Ao eliminar desperdícios e otimizar processos, o *Lean Maintenance* potencializa a produtividade das indústrias brasileiras, melhora a competitividade no mercado global e contribuir para o crescimento econômico do país. Sendo assim, investir no estudo e na aplicação do *Lean Maintenance* é uma medida que auxilia as atividades de manutenção na indústria brasileira para elevar a eficiência.

1.3 Contribuição da dissertação para a sociedade acadêmica

A Engenharia de Produção desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e aprimoramento dos processos produtivos em organizações industriais. A constante busca por eficiência, qualidade e redução dos custos leva a explorar abordagens e metodologias para otimização dos sistemas produtivos. Nesse contexto, destaca-se o estudo do *Lean Maintenance*, como uma abordagem que visa à aplicação dos princípios de manutenção enxuta na área de manutenção industrial.

Sendo assim, está dissertação contribuir para o desenvolvimento das áreas de Apoio à Decisão em Manutenção Industrial, Gestão de Manutenção, Modelos e Métodos de Suporte à Tomada de Decisão, dentro da área de conhecimento de Engenharia de Produção. O estudo dos processos organizacionais e a proposição de métodos, técnicas e ferramentas mais adequadas para aprimorar os processos produtivos têm o potencial de aproximar a comunidade acadêmica das empresas. A aplicação prática das ferramentas da engenharia de produção para solucionar problemas industriais não apenas enriquece o aprendizado dos estudantes, mas também oferece uma oportunidade para que eles contribuam, efetivamente, para o progresso da indústria.

Assim, o *Lean Maintenance*, inspirado nos princípios do Sistema Toyota de Produção, concentra-se na eliminação de desperdícios, na otimização de fluxos de trabalho e no aumento da eficiência dos processos de manutenção. Esses objetivos alinham-se diretamente com os princípios da Engenharia de Produção, que busca maximizar o valor entregue ao cliente enquanto minimiza desperdícios. Ao aplicar

conceitos, como, a identificação e a eliminação de atividades sem valor agregado, a padronização de processos e a promoção da melhoria contínua, o *Lean Maintenance* contribui para a eficiência operacional das empresas.

Nesse sentido, justifica-se a realização de uma análise aprofundada para determinar como os desperdícios nas atividades de manutenção impactam nas perdas de produtividade. A utilização do Método AHP (*Analytic Hierarchy Process* = Processo Analítico de Hierarquia) para nortear as tomadas de decisões revela-se como uma escolha pertinente. O AHP como uma técnica de apoio à decisão, permite avaliar alternativas, num caráter qualitativo, e priorizá-las com base em critérios e subcritérios estabelecidos. A aplicação do método AHP na priorização de ações para eliminar os desperdícios direciona esforços de forma estratégica, melhorando a eficiência e produtividade.

Portanto, a implementação do *Lean Maintenance* e a aplicação do Método AHP não só aprimoram o aprendizado, mas também têm um impacto no setor industrial. A formação de profissionais capacitados a aplicar essas abordagens enxutas na manutenção industrial contribui para melhorar a competitividade das empresas. A redução de custos operacionais e o aumento da qualidade dos produtos e serviços oferecidos promove uma interação entre a teoria acadêmica e a prática industrial, fortalecendo a colaboração entre a universidade e o setor produtivo.

1.4 Delimitação do estudo

A proposta desta pesquisa está delimitada ao desenvolvimento de um Método de Apoio à Tomada de Decisão Multicritério (MCDA) para auxiliar a gestão da manutenção na definição das melhores ferramentas do *Lean*, capazes de melhorar a eficiência das operações de manutenção. Assim, propõe-se um método de decisão para determinar as cinco principais ferramentas do *Lean*, baseando-se na perspectiva de 36 profissionais da empresa.

Para alcançar este objetivo, a pesquisa utilizou-se do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que estrutura o problema de decisão em uma hierarquia de objetivos, critérios e subcritérios. As alternativas são avaliadas comparativamente em pares em relação a cada critério. Os pesos dos critérios e a pontuação das alternativas serão, então, combinados para gerar uma classificação geral.

Algumas limitações desta pesquisa podem decorrer da falta de dados comparativos sobre os resultados obtidos com a implementação das ferramentas,

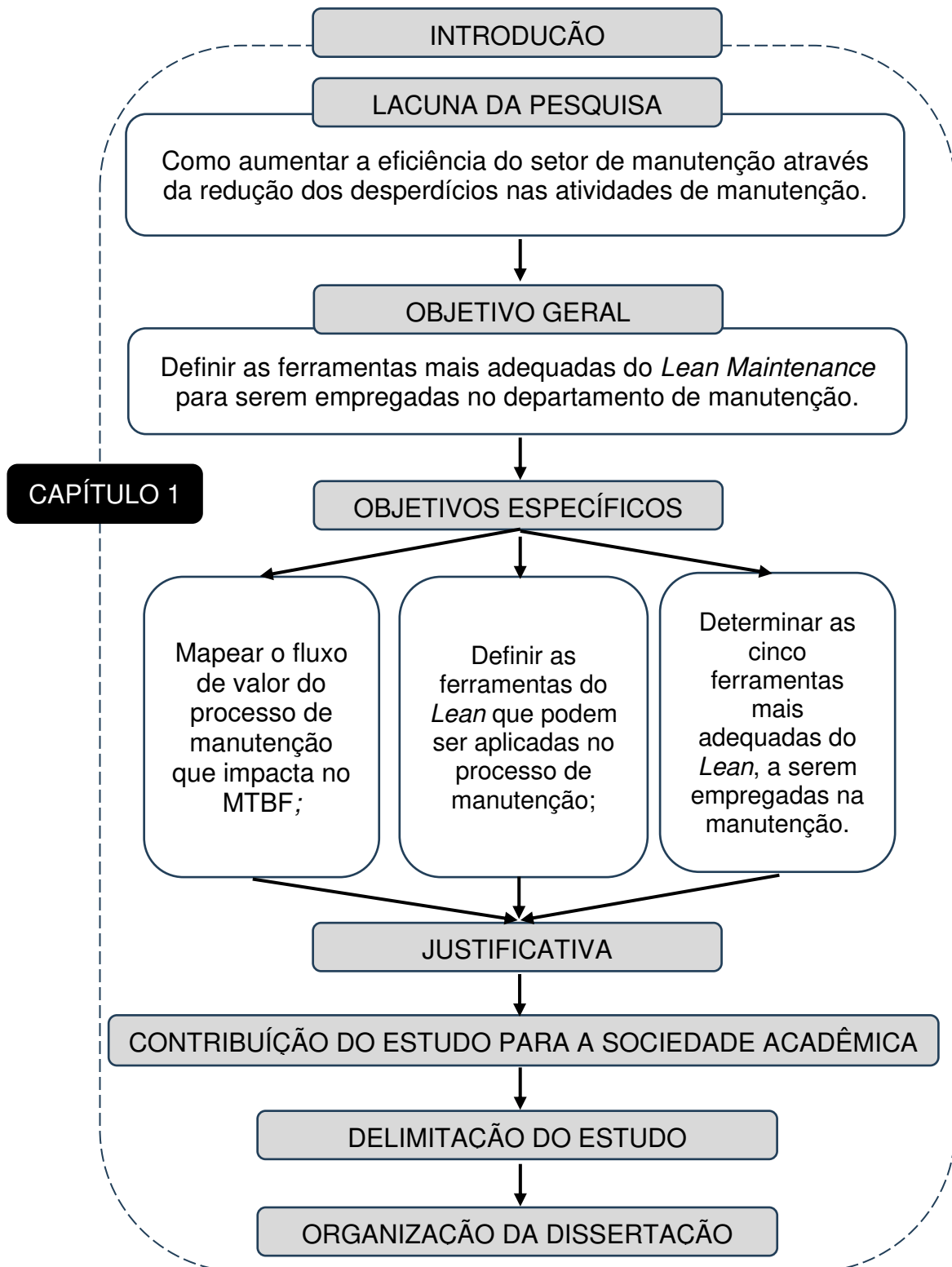
devido a restrições na divulgação de informações confidenciais da empresa. Além disso, como a pesquisa busca priorizar as ferramentas do *Lean* com base nos critérios de concordância e discordância do ponto de vista dos decisores, trata-se de uma problemática de priorização específica.

Portando, esta dissertação está delimitada no desenvolvimento e aplicação do método AHP para priorizar ferramentas *Lean* no contexto do departamento de manutenção, considerando as percepções e avaliações dos profissionais da empresa. Desta forma, a abordagem visa fornecer uma estrutura sistemática e baseada em múltiplos critérios para apoiar a decisão da gestão, na melhoria na eficiência do departamento de manutenção.

1.5 Organização da dissertação

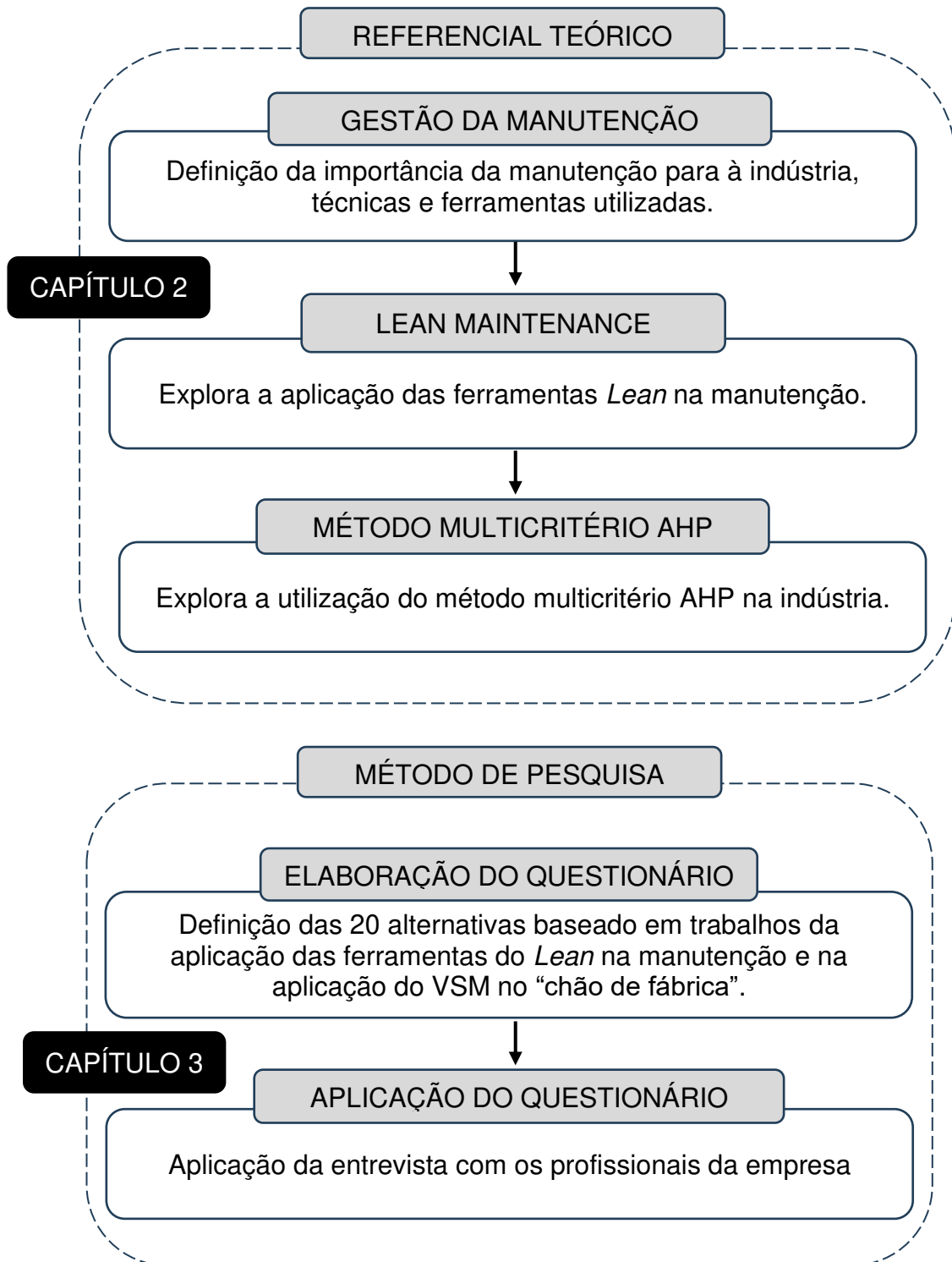
Este trabalho consiste em cinco capítulos, iniciando pela contextualização da importância da gestão de manutenção industrial e do *Lean Maintenance*, apresentando objetivos e motivações para a pesquisa. No segundo capítulo, uma revisão bibliográfica aborda conceitos de gestão de manutenção e os princípios do *Lean*, destacando sua aplicação prática, assim como o método AHP para avaliação dos multicritérios. No terceiro capítulo, são detalhados os métodos da pesquisa. Os resultados, discutidos no quarto capítulo, apresentam análises dos dados coletados e aplicação das ferramentas do *Lean Maintenance* com o método AHP. Por fim, o quinto capítulo conclui destacando contribuições e sugestões para pesquisas futuras, proporcionando uma compreensão abrangente e sistemática da aplicação do *Lean Maintenance* na gestão de manutenção industrial. Dessa forma, o diagrama das Figuras 1, 2 e 3 ilustra todas as etapas realizadas durante a elaboração deste trabalho.

Figura 1 - Diagrama da organização da dissertação (parte 1)



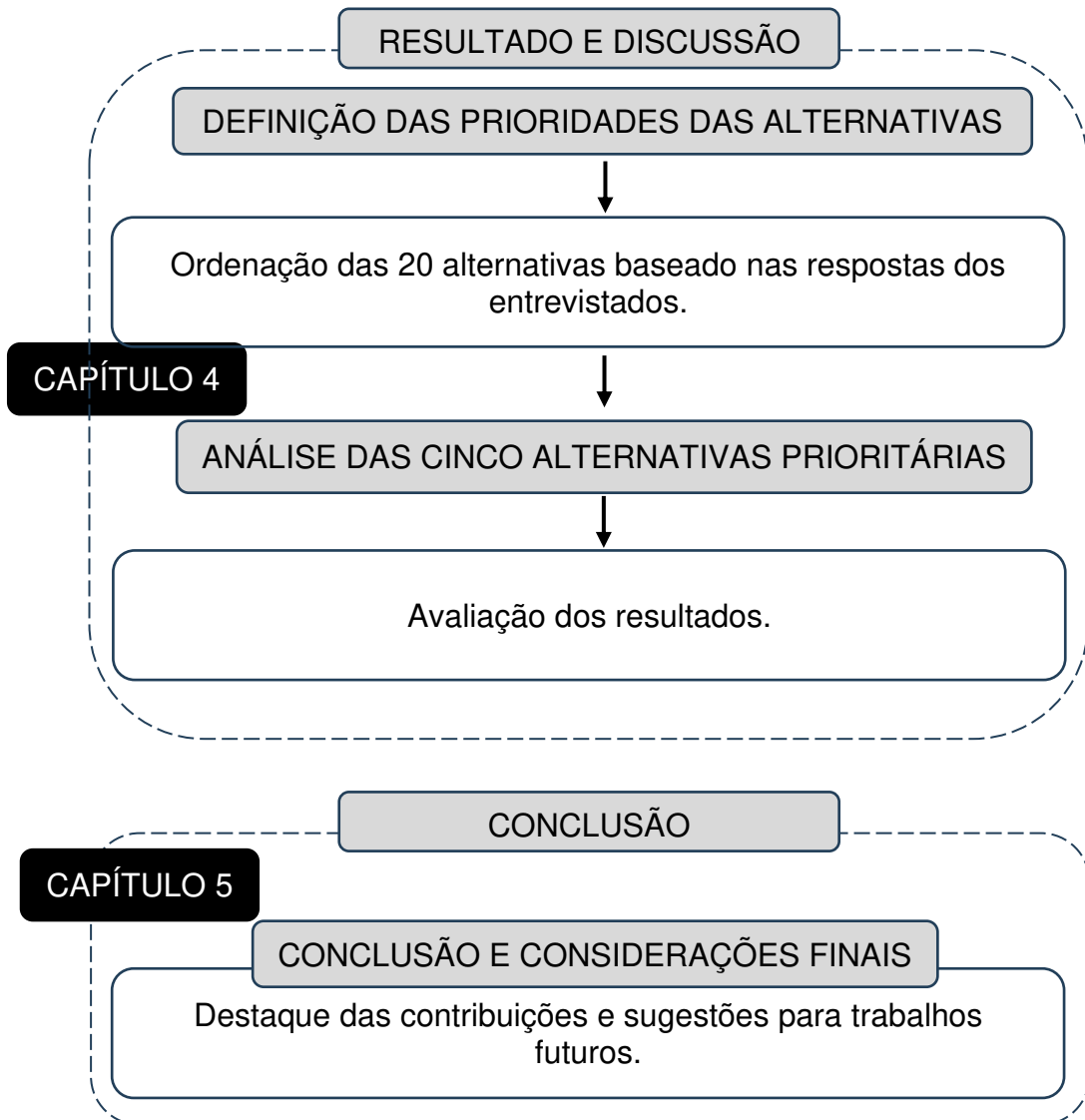
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 2 - Diagrama da organização da dissertação (parte 2)



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 3 - Diagrama da organização da dissertação (parte 3)



Fonte: Autoria própria (2024)

As Figuras 1, 2 e 3 ilustra a organização da dissertação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, será apresentada a base teórica para este trabalho, incluindo uma revisão da literatura e a exploração dos conceitos relacionados ao processo de manutenção industrial e os determinantes do *Lean Maintenance*. Além disso, serão destacados os principais estudos existentes sobre o tema.

2.1 Gestão de manutenção

A gestão da manutenção das empresas deve ser direcionada para garantir a solução de problemas operacionais, a qual devem ser estruturadas e integradas com as demais atividades da organização, buscando maximizar resultados e tornar a empresa mais competitiva. Segundo Kardec e Nascif (2019), a função da manutenção tem sido apoiar os objetivos da empresa, por meio do planejamento estratégico a garantia da confiabilidade dos equipamentos. Smith e Hawkins (2004), destaca a importância de estabelecer objetivos de curto, médio e de longo prazo, bem como objetivos de desempenho de manutenção para atingir as metas.

Com a globalização, a competitividade das empresas tem sido cada vez mais acirrada, buscando-se, para tanto, aprimorar os processos para que se tornem mais rentáveis. Dessa forma, o processo de manutenção tem desempenhado um papel importante dentro do sistema de produção contemporâneo, sendo necessário a quebra de paradigmas para se criar um sistema de gestão de ativos mais eficiente (MAZIDI; TOHIDI; SANZ-BOBI, 2017). Para Duran, Capaldo e Acevedo (2017), a incorporação de novas técnicas, a mudança de filosofias e a introdução de novas tecnologias têm sido fundamentais para a manutenção alcançar níveis de desempenho e sustentabilidade ainda não alcançados. Sendo assim, esforços têm sido realizados para prolongar a vida útil dos equipamentos, por meio do aprimoramento de estratégias de manutenção, a fim de garantir a confiabilidade dos equipamentos para aumentar os níveis de disponibilidade.

Para Maier, Schmiedbauer e Biederman (2020), a manutenção é a combinação de todos os aspectos técnicos, administrativos e de gerenciamento das ações durante o ciclo de vida de um equipamento, destinados a mantê-lo ou restaurá-lo a um estado em que ele pode executar as funções para o qual foi projetado. Nesse contexto, os autores defendem uma visão mais holística, na qual a gestão de ativos aborda o balanceamento de custos, riscos e oportunidades de ganhos no

desempenho desejado dos ativos, para alcançar os objetivos organizacionais, sendo, frequentemente, interpretado como gerenciamento da manutenção.

Dessa forma, segundo Maier, Schmiedbauer e Biederman (2020), destacam que a gestão de ativos tem se baseado em quatro fundamentos: os ativos fornecem valor para uma organização e seus *stakeholders*; a gestão de ativos está alinhada aos objetivos organizacionais; liderança e cultura organizacional são a base para o valor criação; e, o objetivo da gestão de ativos é garantir que os ativos cumpram sua finalidade exigida.

2.1.1 Normas utilizadas

Com o objetivo de cumprir a legislação vigente, as empresas têm buscado certificações de normas como: segurança do trabalho, qualidade dos produtos e, principalmente, normas ambientais, para serem reconhecidas como politicamente corretas, aumentando, assim, sua competitividade. Portanto, o conhecimento dos conceitos das normas que abrangem os processos de manutenção industriais, são extremamente relevantes. De acordo com Duran, Capaldo e Acevedo (2017), as normas ISO 55000 e SAE J4000 foram criadas como uma ferramenta de melhoria, focadas em sistemas produtivos, que trazem um conjunto de características que um sistema deve ter para ser considerado enxuto.

Assim, os autores mencionados destacam que a norma ISO 55000 é uma norma internacional que estabelece diretrizes e requisitos para a gestão de ativos. Ela fornece um *framework* abrangente e estruturado para organizações de diferentes setores implementarem práticas eficazes de gestão de ativos, visando otimizar o valor e o desempenho de seus ativos ao longo de seu ciclo de vida. Por outro lado, a norma SAE J4000 (*Identification and Measurement of Best Practice in Implementation of Lean Operation*) é uma ferramenta que identifica e mede as melhores práticas na implementação do *Lean* nas organizações desenvolvida pela *Society of Automotive Engineers* dos EUA. Smith e Hawkins (2004) definem o *Lean* como um processo de eliminação dos desperdícios nas atividades industriais. Dessa forma, os autores concluíram em seu estudo que os trabalhadores norte-americanos viram a implementação do *Lean* com uma abordagem ameaçadora devido ao aumento produtividade com menor número possível de funcionários.

No Brasil, as empresas seguem os padrões da Norma Brasileira (NBR), um conjunto de normas e regras técnicas, criadas pela Associação Brasileira de Normas

Técnicas (ABNT), que relaciona os documentos, procedimentos ou processos aplicados a empresas ou a determinadas situações. Dentre as NBRs, as que se destacam para este trabalho é a NBR ISO 14224 (ABNT, 2011), a qual fornece orientações para a codificação e categorização de falhas e modos de falha em equipamentos industriais. Embora se concentre mais na análise de falhas, ela é relevante para a manutenção industrial de diversos setores, pois ajuda a classificar e categorizar as informações relacionadas às falhas.

Por outro lado, Teles (2018) define os termos relacionados à confiabilidade e à manutenibilidade dos equipamentos industriais, a qual caracteriza a manutenção industrial como um conjunto de atividades realizadas em equipamentos, máquinas e instalações industriais com o objetivo de garantir seu funcionamento eficiente e confiável. Essas atividades visam prevenir falhas, reduzir o tempo de inatividade não programado, maximizar a disponibilidade dos equipamentos e prolongar sua vida útil.

2.2 Tipos de manutenção

Segundo as normas NBR 5462 (ABNT, 1994), NBR ISO 14224 (ABNT, 2011) e DIN EN 13306 (DIN, 2007), a manutenção refere-se ao conjunto de ações, procedimentos, técnicas e recursos aplicados para assegurar que um ativo físico, seja um equipamento, instalação ou sistema, esteja em condições adequadas para operação e funcionamento durante todo seu ciclo de vida. A manutenção tem como objetivo preservar a confiabilidade, disponibilidade e desempenho desses ativos, minimizando falhas, interrupções não planejadas e custos associados (TROJAN *et al.*, 2013).

De acordo com essas normas, a classificação dos tipos de manutenção é fundamental para estabelecer diretrizes claras e eficazes na gestão da manutenção. Com uma compreensão clara dos tipos de manutenção, as empresas podem desenvolver estratégias específicas para otimizar o desempenho de seus ativos, proporcionando uma base para a implementação de práticas de manutenção proativas e preventivas, reduzindo assim o risco de falhas e maximizando a disponibilidade operacional dos equipamentos.

2.2.1 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é um tipo de intervenção de manutenção que ocorre de maneira planejada e sistemática, com base em intervalos de tempo predefinidos ou critérios de desempenho estabelecidos. O principal objetivo da manutenção preventiva é evitar a ocorrência de falhas, degradações ou problemas nos equipamentos, mantendo-os em um estado operacional adequado e confiável (TROJAN *et al.*, 2013). Assim, no estudo realizado por esse autor, utilizou os conceitos da manutenção preventiva para propor soluções eficazes a fim de reduzir as perdas do sistema de abastecimento de água das cidades.

Desta forma, a manutenção preventiva envolve a execução regular de atividades predeterminadas, como, inspeções, lubrificações, ajustes, testes e substituições de componentes, com base no plano estabelecido. A ideia fundamental por trás da manutenção preventiva é antecipar problemas potenciais e agir antes que eles se transformem em falhas reais, contribuindo para a redução de paradas não planejadas e custos associados (FLÜGEL, 2012).

Utilizando-se dos conceitos da manutenção preventiva, Flügel (2012) propôs a otimização do plano de manutenção, com uma estruturação correta das ordens de manutenção criou um banco de dados dos equipamentos. Dessa forma, além de reduzir as manutenções corretivas, forneceu informações que auxiliam nas tomadas de decisões.

Para Piechnicki (2011), a manutenção preventiva pode ser dividida em dois principais subtipos:

- a) Manutenção Preventiva Baseada no Tempo (MPBT): nesse caso, as atividades de manutenção são agendadas de acordo com intervalos de tempo específicos, por exemplo, inspeções mensais ou plano de troca de peças semestrais ou anuais. Esse método é amplamente utilizado quando não é possível monitorar diretamente as condições do ativo;
- b) Manutenção Preventiva Baseada em Condições (MPBC): Aqui, as atividades de manutenção são realizadas com base em informações sobre as condições reais dos equipamentos. Isso envolve o monitoramento constante de parâmetros, como, temperatura, vibração, pressão, entre outros. Quando essas condições atingem níveis predefinidos, a

manutenção é programada. Esse método permite uma abordagem mais precisa e eficiente, evitando a manutenção desnecessária.

Baseado nos conceitos dos tipos de manutenção, Piechnicki (2011) definiu diversos tipos de abordagem da manutenção, com o objetivo de aumentar a eficiência e a eficácia da Gestão da Manutenção, entretanto, devem ser implementadas de acordo com as especificidades inerentes a cada tipo de setor produtivo.

2.2.2 Manutenção corretiva planejada

Marçal (2004) define que a manutenção corretiva planejada é um tipo de intervenção de Manutenção Planejada que ocorre em resposta a uma falha ou degradação conhecida, previamente, em um equipamento, sistema ou ativo. Nesse caso, a intervenção de manutenção é agendada com antecedência, para se evitar a interrupção não planejada das operações e para minimizar o impacto no funcionamento da instalação.

A manutenção corretiva planejada envolve a identificação de um problema potencial ou falha iminente, por meio de monitoramento, inspeções regulares ou análises técnicas. Com base nessa identificação, as ações de manutenção são planejadas e agendadas de maneira conveniente, de modo a otimizar a disponibilidade e a eficiência dos ativos (AMARAL, 2003).

Segundo Trojan *et al.* (2013), essa abordagem proativa permite que a equipe de manutenção se prepare adequadamente, adquira as peças sobressalentes necessárias e aloque os recursos adequados, antes de realizar as atividades de manutenção. A manutenção corretiva planejada tem como objetivo minimizar o impacto da falha no desempenho e na produção, garantindo uma resposta controlada e eficiente ao problema identificado.

2.2.3 Manutenção corretiva não planejada

Para Trojan *et al.* (2013) e Kardec e Nascif (2019), a manutenção corretiva não programada é um tipo de intervenção de manutenção que ocorre de forma reativa e não planejada, em resposta direta a uma falha inesperada em um equipamento. Nesse caso, a intervenção de manutenção é realizada após a ocorrência da falha e com o objetivo restaurar o equipamento ao seu funcionamento normal.

Embora seja considerado o tipo de manutenção mais econômico, por utilizar toda a vida útil dos equipamentos, ela deve ser evitada em equipamentos críticos, pois acarreta alto custo com peças sobressalentes, em paradas de máquinas indesejadas, comprometendo a produção e a qualidade dos produtos. Geralmente, essa intervenção é realizada o mais rápido possível, para minimizar o tempo de inatividade do equipamento e reduzir impactos negativos na produção, eficiência e segurança (FLÜGEL, 2012).

2.2.4 Manutenção preditiva

De acordo com Piechnicki (2011), a manutenção preditiva é uma abordagem de gerenciamento de manutenção que se baseia no monitoramento contínuo ou intermitente das condições reais de um equipamento, sistema ou ativo, por meio de técnicas de medição, coleta de dados e análise. O objetivo principal dessa manutenção é identificar tendências, anomalias ou sinais de degradação em estágios iniciais, antes que ocorram falhas ou problemas significativos.

Kardec e Nascif (2019) definem a abordagem da manutenção preditiva como aquela que envolve a utilização de tecnologias de monitoramento, como, sensores, análises de vibração, termografia, análises de óleo, entre outras, para coletar dados sobre o desempenho, as condições operacionais e o estado dos ativos. Com base nesses dados, algoritmos e análises estatísticas são aplicados para identificar padrões que podem indicar possíveis problemas futuros.

A manutenção preditiva difere da preventiva convencional, pois não é baseada em intervalos de tempo predefinidos, mas, sim, nas condições reais dos equipamentos. Isso significa que a intervenção de manutenção ocorre apenas quando os dados indicam uma necessidade real, o que pode reduzir custos e minimizar interrupções desnecessárias (FLÜGEL, 2012).

Um dos principais benefícios da manutenção preditiva é a capacidade de agir de forma proativa, corrigindo problemas antes que eles se transformem em falhas graves. Isso não apenas ajuda a maximizar a disponibilidade dos ativos, mas também pode contribuir para uma maior vida útil dos equipamentos e redução de custos associados a manutenções não planejadas (KAMBLE; GUNASEKARAN; DHONE, 2019).

Na pesquisa sobre os tipos de manutenção com potenciais para redução de resíduos ambientais nas indústrias da região central do Paraná, Trojan *et al.* (2013)

verificaram que a manutenção preditiva é a técnica de manutenção mais adotada nas indústrias de grande porte da região, em virtude da geração de valor à qualidade dos produtos.

Esse tipo de manutenção tem sido considerado como uma estratégia avançada de gerenciamento, que utiliza dados de monitoramento periódico para prever problemas e degradações em equipamentos antes que ocorram falhas. Ela contribui para a eficiência operacional, a disponibilidade dos ativos e a redução de custos associados a intervenções não planejadas (KARDEC; NASCIF, 2019).

2.2.5 Custos de manutenção

A manutenção tem desempenhado um papel essencial para garantir que as indústrias operem de forma contínua e confiável. No entanto, a maneira como a manutenção é gerenciada pode ter impactos significativos nos custos e na sustentabilidade (TROJAN; MARÇAL; BARAN, 2013). Nesse contexto, baseado no método multicritério ELECTRE TRI. Os autores utilizaram os custos de manutenção como um dos critérios para classificar o tipo de manutenção mais eficiente a ser aplicado.

Os custos de manutenção referem-se às despesas incorridas pelas organizações para garantir o funcionamento, a confiabilidade e a disponibilidade contínua de seus ativos, equipamentos, sistemas e suas instalações. Esses custos podem incluir despesas com mão de obra, peças de reposição, serviços contratados, ferramentas, treinamento e quaisquer outros recursos necessários para realizar atividades de manutenção (PIECHNICKI, 2011).

Os custos de manutenção é uma parte presente na gestão operacional, pois garantem que os ativos permaneçam em boas condições e cumpram suas funções de maneira eficaz. Desta forma, os estudos de Kardec e Nascif (2019) demonstraram que o impacto dos custos de manutenção gira em média de 4% do faturamento bruto das empresas. As estratégias de manutenção adotadas por uma organização podem ter um impacto direto nos custos, variando de abordagens reativas, como manutenção corretiva, a abordagens proativas, como manutenção preventiva e preditiva, que visam minimizar os custos associados a falhas e interrupções não planejadas (PIECHNICKI, 2011). A partir disso, Piechnicki (2011) concluiu que as melhores práticas para a implementação e desenvolvimento de sistemas de gestão da

manutenção se refletem nos resultados alcançados, como o aumento da disponibilidade e confiabilidade, além da otimização dos custos.

Sendo assim, é importante considerar não apenas os custos imediatos de mão de obra e materiais, mas também os custos indiretos, como a redução da produção, devido a paradas não planejadas, aos impactos ambientais e de segurança e a vida útil geral dos ativos. Portanto, a gestão eficaz dos custos de manutenção requer uma abordagem holística que considere tanto os aspectos financeiros quanto os operacionais (KARDEC; NASCIF, 2019).

2.2.6 Tempo médio entre falhas

O tempo médio entre falhas (*MTBF - Mean Time Between Failures*) é um dos principais KPIs (*Key Performance Indicator*) do setor de manutenção, utilizado para avaliar a confiabilidade de equipamentos industriais. Nesse contexto, esse indicador se tornou o tema principal deste estudo, por medir o tempo médio entre uma falha e outra que ocorre num equipamento, quanto maior for o *MTBF*, maior será a confiabilidade e, conseqüentemente, a disponibilidade do equipamento.

A determinação do *MTBF* é um processo complexo que envolve a coleta de dados, análise estatística e interpretação dos resultados. De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2011), a determinação do *MTBF* deve ser realizada de forma sistemática e consistente, de modo a garantir a precisão dos resultados. É necessário que os dados sejam coletados de forma confiável e que sejam utilizadas técnicas estatísticas adequadas para a análise dos dados. Além disso, é importante que a interpretação dos resultados seja realizada de forma correta, para que sejam obtidas informações relevantes sobre a confiabilidade dos equipamentos.

No estudo sobre Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e a Tabela FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis = Análise de Modo e Efeitos de Falha*), Fogliatto e Ribeiro (2011) concluíram que há situações em que a previsão se torna impraticável, devido a custos elevados ou impossibilidades associadas a medições, recomendando-se optar pela manutenção preventiva, realizando reparos ou substituições em intervalos predefinidos. A definição desses intervalos deve considerar o *MTBF*, que, por sua vez, pode ser calculado com base em dados limitados ou estimado pela equipe com experiência nos componentes em análise.

Para Ping *et al.* (2019), a determinação do *MTBF* pode ser utilizada para a implementação de estratégias de Manutenção Baseada em Tempo (TBM - *Time*

Based Maintenance). Uma vez que o *MTBF* é conhecido, é possível programar a manutenção preventiva do equipamento, antes que ele falhe, reduzindo, assim, os custos com manutenção corretiva e aumentando a disponibilidade dos equipamentos.

Entretanto, para que a manutenção preventiva seja eficaz, é necessário que o equipamento seja monitorado constantemente, ou seja, o *checklist* e a TBM precisa estar alinhada com as necessidades dos equipamentos para não sobrecarregar os empregados com atividades demasiadas. Segundo Reis *et al.* (2019), o monitoramento contínuo permite a identificação de falhas antes de sua ocorrência ou efetivação. Isso permite a programação da manutenção preventiva de forma mais precisa, reduzindo os custos com manutenção e aumentando a confiabilidade dos equipamentos.

Silva e Resende (2013) ressaltam a importância do *MTBF* na tomada de decisão dos gestores, por ser esse um indicador importante no momento de decidir sobre a substituição de um equipamento. Se o *MTBF* estiver abaixo do esperado, pode ser mais vantajoso substituir o equipamento do que investir em manutenção corretiva programada.

O cálculo do *MTBF* é realizado sob a Equação 1:

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

Onde:

- Tempo total de operação: tempo total em que o equipamento esteve em operação durante um determinado período;
- Tempo total de falhas: tempo total em que o equipamento ficou inoperante devido a falhas durante o mesmo período;
- Número de falhas: quantidade de vezes em que o equipamento falhou durante o período em questão.

2.2.7 Planejamento e Controle da Manutenção

Bacelar (2018) define Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) como um conjunto planejado de iniciativas destinadas a organizar, planejar, monitorar e avaliar o desempenho das operações de manutenção, comparando-os com padrões predefinidos, e implementar medidas corretivas para alinhar os resultados aos

objetivos estipulados, contribuindo, assim, para o cumprimento das metas e da missão global da empresa.

De acordo com Donato *et al.* (2021), o PCM tem como objetivo antecipar as atividades relacionadas à função de manutenção, abrangendo aspectos, como: os recursos que demandam manutenção; os níveis de estoque de materiais; a disponibilidade de peças e equipamentos de reserva; a composição da equipe de manutenção; os programas de treinamento; os serviços terceirizados; as medidas de segurança; as considerações ambientais, a gestão de ferramentas; e, os custos associados.

O estudo realizado por Viana (2022) abordou o PCM como uma atividade processual, que busca, eficientemente, coordenar todos os recursos relacionados à manutenção, a fim de atender suas demandas fundamentais, ou seja, assegurar o funcionamento adequado da maquinaria e, constantemente, buscar aprimorar os processos, oferecendo orientações sobre os passos para estabelecer uma estrutura eficaz de PCM, permitindo a organização otimizada da função de manutenção.

Na abordagem realizada por Kardec e Nascif (2019), define-se o PCM como uma ferramenta muito importante nas tomadas de decisões no departamento da manutenção é fundamental, para harmonizar todos os processos que integram a manutenção, sendo, assim, capaz de identificar:

- Que serviços serão realizados;
- Quando os serviços serão realizados;
- Os recursos necessários para a realização dos serviços;
- O tempo gasto para a realização dos serviços;
- Os custos envolvidos para cada serviço;
- Os materiais que serão aplicados no desenvolvimento das atividades;
- As máquinas, ferramentas e dispositivos necessários para a execução das tarefas;
- Nivelamento de recursos e mão de obra;
- Programação de máquinas operatrizes ou elevação de carga;
- Registro para consolidação do histórico e alimentação de sistemas;
- Especialistas; e,
- Priorização adequada dos trabalhos.

Por outro lado, um ambiente de manutenção sem planejamento pode ocasionar:

- Alto índice de retrabalho;
- Falta de pessoal qualificado;
- Convivência com problemas crônicos;
- Falta de sobressalentes no estoque;
- Número elevado de serviços não planejados;
- Baixa produtividade; e,
- Histórico de manutenção inexistente ou não confiável.

Dessa forma, Kardec e Nascif (2009), Viana (2009) e Piechnicki (2011), afirmam que o PCM precisa tratar um alto volume de informações, utilizando *software* de gestão da manutenção.

No estudo de Moreira *et al.* (2022), demonstrou-se a importância do PCM para a gestão da manutenção, com a introdução de métodos organizacionais, tendem contribuído para o desenvolvimento das empresas, especialmente diante do rápido desenvolvimento da tecnologia da informação. Essas inovações aceleraram a eficiência e a confiabilidade dos processos, ressaltando-se a importância de contar com pessoal especializado e treinado para aproveitar todo o potencial dessa ferramenta. Portanto, o surgimento do PCM foi uma resposta a essa mudança de perspectiva, levando as empresas a criarem departamentos específicos para o controle da manutenção preventiva. Assim, o PCM se tornou uma ferramenta capaz de gerenciar e otimizar a manutenção em meio aos avanços tecnológicos.

2.3 Lean Manufacturing

A implementação do conceito de produção enxuta, conhecido como *Lean Manufacturing* (LM), teve origem no Sistema Toyota de Produção. Essa abordagem, que combina elementos filosóficos e práticos, busca aprimorar os processos, minimizando os desperdícios em toda a cadeia produtiva, desde o fornecimento até o cliente final (MOUZANI; BOUAMI, 2019).

O foco do LM é definido para eliminar desperdícios no processo de fabricação, por meio de atividades do mapeamento de fluxo de valor (VSM) e a Voz do Cliente (VOC), a partir da perspectiva dos clientes (RATLALAN; TAMA; SUGIONO, 2017). Para Kamble, Gunasekaran e Dhoni (2019), o LM é um conjunto de técnicas de gestão que busca eliminar desperdícios nos processos e aumentar o valor dos produtos ou serviços na perspectiva do cliente. Seu foco está na melhoria da produção, reduzindo os custos de fabricação através da eliminação do desperdício de

processo através de uma abordagem sistemática para identificar e eliminar atividades que não agregam valor, resultando em processos mais eficientes e rentáveis.

Embora a implantação da filosofia LM tenha influenciado positivamente na eficácia do tempo, por outro lado, a variedade de produtos, a falta de recursos, a má comunicação e, principalmente, a falta de comprometimento e apoio dos gestores têm sido os principais obstáculos para sua implementação e seu sucesso (BEVILACQUA; CIARAPICA; SANCTIS, 2016). Assim, os autores uniram a entrevista de campo à revisão de literatura, estabelecendo-se conexões teóricas entre as práticas de manufatura enxuta, a capacidade de resposta operacional e o desempenho de crescimento empresarial. Nessa conjunção, os pesquisadores chegaram à conclusão de que subsiste um ceticismo em relação aos resultados em contextos além da produção de alto volume e ambientes estáveis.

Murça (2012) destaca a existência de mais de 40 ferramentas disponíveis no mercado que auxiliam na melhoria da produção, como mostra o Quadro 1:

Quadro 1 - Ferramentas do Lean

Ferramentas / Metodologia	Campo de aplicação	
	Produto	Serviço
VSM	X	X
5'S	X	X
TPM	X	X
Kaizen	X	X
Poka-Yoke	X	X
SMED	X	X
3Mudas	X	X
PDCA	X	X
Fluxo contínuo	X	X
Voz do Cliente (VOC)	X	X
Gráfico Radar		X
<i>Swimlanes</i>		X
Uniformização do trabalho	X	X
<i>Self Direct Wok Team</i>	X	X
Jidoca	X	X
Heijunka (nivelamento de produção)	X	X
Kanban	X	
Arranjo celular	X	X
Talkt time	X	X
Diagrama de Ishikawa	X	X
5W2H	X	X
FMEA	X	X
5 Porquês	X	X
Desdobramento QFD	X	X
Método científico	X	X

Gestão visual	X	X
Análise da cadeia de valor	X	X
Hoshin Kanri	X	X
TOPS 8D	X	X
<i>Pull</i>	X	X
<i>Just in time</i>	X	X
Relatório A3	X	X
<i>Cronrol chart for service</i>		X
Caixa de oportunidades		X
Capacidade gestão do serviço		X
Diagrama espaguete		X
<i>Layout</i>	X	X
Quadro de comunicação		X
Fidelização clientes		X
SIPOC		X
<i>Layers</i>		X

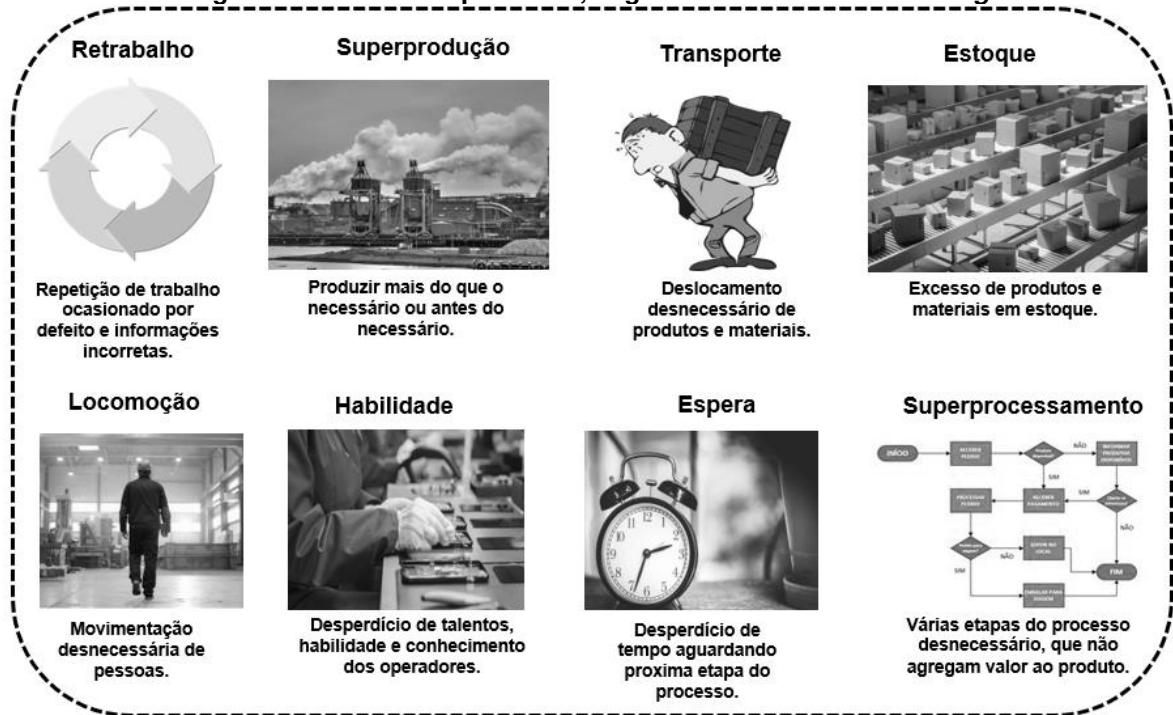
Fonte: Adaptado de Murça (2012)

O autor classificou 40 ferramentas do *Lean* aplicáveis tanto na produção de produtos quanto na área de serviços, visando melhorar a eficiência e reduzir custos operacionais. Entre essas ferramentas, destacam-se o Kaizen, para melhorias contínuas; o 5'S, que organiza o ambiente de trabalho; e o Just-in-Time, que minimiza estoques e desperdícios. Ferramentas como o Kanban, que visualiza o fluxo de trabalho, e o *Poka-Yoke*, que previne erros, são essenciais para garantir qualidade e eficiência.

No setor de serviços, essas ferramentas podem ser adaptadas para melhorar os processos internos. O mapeamento de fluxo de valor (Value Stream Mapping) elimina atividades sem valor, enquanto a manutenção produtiva total (TPM) assegura eficiência operacional. A implementação dessas ferramentas requer uma análise cuidadosa do contexto organizacional, alinhando-se aos objetivos estratégicos da empresa. A análise multicritério auxilia na seleção das ferramentas mais adequadas, garantindo eficácia na melhoria dos processos. Ademais, a classificação das 40 ferramentas *Lean* oferece uma base sólida para a aplicação de metodologias de melhoria contínua no setor da manutenção.

Assim, para Baluch, Abdullah e Mohtar (2012), o *Lean Manufacturing* classifica oito desperdícios a serem mitigados nas atividades de produção, detalhados na Figura 4:

Figura 4 - Os oito desperdícios, segundo o *Lean Manufacturing*



Fonte: Adaptado de Autodoc (2019)

Dessa forma, a identificação precisa dos tipos de desperdício permite determinar a ferramenta mais adequada para sua eliminação. Segundo Bevilacqua, Ciarapica e Sanctis (2016), e Kamble, Gunasekaran e Dhone (2019), a identificação dos desperdícios não só têm o objetivo de reduzi-los, mas também de melhorar a eficiência operacional, aumentando a produtividade e a qualidade dos produtos.

Com isto, no estudo conduzido por Ratlalan, Tama e Sugiono (2017), utilizando o mapeamento de fluxo de valor (VSM), foram identificados três dos oito desperdícios principais: excesso de estoque, superprodução e movimentação. Essa análise permitiu a readequação do fluxo de produção para eliminar esses desperdícios, implementando medidas como previsão de produção, adoção dos 5'S para organização do local de trabalho, climatização para melhorar o ambiente, manutenção preventiva, proximidade das ferramentas às máquinas, ajustes de máquinas e melhorias no *layout* do chão de fábrica.

Portanto, a abordagem sistemática do *Lean Manufacturing* não apenas identifica as fontes de desperdício, mas também promove a eficiência através da eliminação de atividades que não agregam valor. Isso não só reduz custos operacionais, mas também aumenta a capacidade de resposta da empresa, tornando-a mais competitiva no mercado

2.4 *Lean Maintenance*

A Manutenção Enxuta ou *Lean Maintenance* (Lm) uma derivação dos princípios do *Lean Manufacturing* (LM), tem sido definida como a utilização dos princípios da Produção Enxuta nas atividades de Manutenção. Essa técnica tende a reduzir o tempo de parada programada e não programada dos equipamentos e, conseqüentemente, reduzir os custos de manutenção. Assim, o *Lean Maintenance* pode ser definido como a entrega de serviços de manutenção aos clientes com o menor desperdício, promovendo a realização de um resultado desejável com o menor número de insumos possível (RIBEIRO *et al.*, 2019).

O *Lean Maintenance* busca uma visão ampla para eliminar os desperdícios nos processos industriais, no entanto, apresenta dificuldade de ser introduzida em áreas como o setor de manutenção, pois propõe combinar técnicas de gestão, com o objetivo de produzir mais com menos recursos e mão de obra (SMITH; HAWKINS, 2004).

De acordo com Dias, Fernandes e Moura (2017), a filosofia do *Lean Maintenance* depende da equipe de manutenção, que precisa ser flexível e motivada a buscar a melhoria contínua, a fim de gerar serviços de maior valor agregado para os clientes, com menor custo, recursos e desperdícios. Desta forma, o desenvolvimento da liderança, a transformação cultural das equipes e a criação de estratégias para satisfazer os clientes têm sido impulsionados por essa filosofia.

O Lm é utilizado como uma metodologia capaz de melhorar o processo de manutenção, por meio de projetos de melhoria contínua, sendo necessário, para isso, definir e aplicar um procedimento que leve a melhores resultados operacionais. A Manutenção Enxuta não é uma exceção, é necessário desenvolver um procedimento que abranja todas as fases necessárias para implementar a filosofia do pensamento enxuto nas operações de manutenção (DURAN; CAPALDO; ACEVEDO, 2017).

Desse modo, *Lean Maintenance* (Lm), segundo Duran, Capaldo e Acevedo (2017), incorpora diversas ferramentas técnicas, como 5'S, VMS, SMED, Kaizen, PDCA e VOC, visando eliminar desperdícios. A aplicação dessas ferramentas promove maior interação entre os funcionários e favorece o alcance dos objetivos estratégicos das empresas. Utilizando a norma SAE J4000 e a técnica de decisão multicritério com abordagem fuzzy AHP, os autores propõe um procedimento de prescrição para a seleção de ferramentas *Lean*, para melhorar a função de

manutenção. A elaboração de um quadro de decisão, em colaboração com uma equipe de manutenção e especialistas em *Lean*, permitiu priorizar as ferramentas SMED e 5'S. A implementação dessas ferramentas resultou em melhorias nos indicadores *MTBF* e *MTTR*, além de redução nos custos de manutenção, tornando, assim, o método AHP, o SMED e o 5'S, com potencial solução para esta pesquisa.

2.4.1 Programa 5'S

O programa 5'S é uma prática originária do Japão, desenvolvida dentro do STP, tendo como base a organização e a disciplina dos setores produtivos. Nesse contexto, estudiosos vem interpretando o 5'S como a base de toda a metodologia do STP. Para o sucesso desse programa, é fundamental o engajamento dos funcionários, bem como o comprometimento da gestão no quesito de treinamentos e a disseminação de boas práticas. Dessa forma, o 5'S pode ser definido como uma estratégia para potencializar e desenvolver as pessoas a pensarem no bem comum (KARDEC; NASCIF, 2019).

O programa 5'S é dividido em cinco fases:

- a) Senso de Utilização (*Seiri*) - consiste na triagem dos materiais e armazenamento apenas de materiais a serem utilizados. Dessa forma, os materiais sem nenhum uso serão descartados (KARDEC; NASCIF, 2019);
- b) Senso de Organização (*Seiton*) - definido como a disposição de materiais e equipamentos na área de trabalho, organizada sistematicamente, facilitando seu acesso quando necessário, pois cada material e equipamento está no lugar adequado, assim o trabalho é mais eficiente para que todos os materiais e equipamentos estão sempre em seu lugar (RATLALAN; TAMA; SUGIONO, 2017).
- c) Senso de Limpeza (*Seiso*) - tem como propósito a limpeza e a remoção de toda a sujeira, mantendo o local de trabalho, as máquinas, os instrumentos e as ferramentas limpos. Dessa forma, torna o ambiente mais seguro e agradável, proporcionando a eliminação de improvisações dos equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2019);
- d) Senso de Padronização (*Seiketsu*) - As atividades de padronização costumavam seguir as normas e regras que foram aplicadas consistentemente. Nesse caso, a empresa deve fazer o padrão ou procedimento em cada área de trabalho, e bem definido para todos os

trabalhadores, a fim de uma melhor compreensão do procedimento padrão (RATLALAN; TAMA; SUGIONO, 2017); e,

- e) Senso de Autodisciplina (*Shitsuke*) - faz parte das atividades rotineiras dos trabalhadores: fazer aquilo que foi combinado, participar efetivamente dos eventos da empresa, seguir e cumprir as normas, assim como padrões estabelecidos pela empresa (KARDEC; NASCIF, 2019).

Diante dos conceitos apresentados, a metodologia 5'S emerge como uma ferramenta essencial no setor de manutenção, promovendo a autodisciplina entre os funcionários, padronizando atividades e ferramentas, e facilitando o acesso aos recursos, tudo isso visando fomentar uma cultura de manutenção mais eficiente. (DURAN; CAPALDO; ACEVEDO, 2017).

2.4.2 Kaizen

A busca por eficiência e excelência nas operações industriais é uma constante na indústria moderna. Nesse contexto, a metodologia *Kaizen*, originária do Japão e com foco na melhoria contínua, tem se destacado como uma abordagem que visa o aprimoramento dos processos, reduzir desperdícios e maximizar a eficiência (IMAI, 2014). Embora inicialmente aplicada à gestão da produção, a metodologia *Kaizen* tem sido cada vez mais explorada na área de manutenção industrial (PIECHNICKI, 2011).

A metodologia é baseada na crença de que pequenas melhorias contínuas, realizadas por todos os membros da organização, resultam em avanços ao longo prazo. O *Kaizen* envolve: a identificação e a eliminação de desperdícios, o estabelecimento de padrões de trabalho, a padronização de processos e a promoção de uma cultura de melhoria contínua.

Atualmente, pesquisadores e profissionais têm voltado sua atenção para a aplicação do *Kaizen* na manutenção industrial, percebendo seu potencial para otimizar os processos de manutenção e, assim, aumentar a disponibilidade operacional das máquinas e dos equipamentos (BRANCO FILHO, 2008).

No estudo realizado por Uriarte, Amos e Moris (2020), destaca-se a importância da identificação e redução dos oito desperdícios, propostos no *Lean Maintenance*, associados à manutenção, incluindo o desperdício de tempo, de movimentação e de recursos. A abordagem do *Kaizen* é aplicada para eliminar esses desperdícios e melhorar a eficiência das atividades de manutenção.

A utilização do *Kaizen* na manutenção industrial tem proporcionado diversos benefícios, conforme identificado no estudo de Reis (2016) alguns dos resultados alcançados foram:

- a) Melhoria da Eficiência: por meio da identificação e eliminação de desperdícios, as atividades de manutenção tornam-se mais eficientes e direcionadas para ações que agregam valor ao processo produtivo;
- b) Aumento da Confiabilidade: a padronização dos processos de manutenção promovida pelo *Kaizen* leva a um aumento na confiabilidade das máquinas e equipamentos, reduzindo o número de falhas e paradas não programadas;
- c) Engajamento dos Funcionários: a metodologia *Kaizen* enfatiza a participação de todos os funcionários na busca por melhorias, promovendo um ambiente de trabalho mais colaborativo e engajado; e,
- d) Redução de Custos: a eliminação de desperdícios e a otimização das atividades de manutenção contribuem para a redução de custos operacionais.

Apesar dos benefícios evidentes, a aplicação do *Kaizen* na manutenção industrial também enfrenta desafios. O estudo realizado por Uriarte, Amos e Moris (2020) defende a importância de estabelecer uma cultura de melhoria contínua e garantir que os esforços de aprimoramento sejam constantes e não se restrinjam a ações pontuais. Além disso, a conscientização e o treinamento dos funcionários são essenciais para a implementação bem-sucedida da metodologia.

Considerando o cenário industrial em constante evolução, novas pesquisas têm sido propostas por autores como Rossi (2020), que exploraram a integração do *Kaizen* com tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a Manutenção Preditiva.

Sendo assim, no estudo de Moreira *et al.* (2022), concluiu-se que a aplicação da metodologia *Kaizen* na manutenção industrial tem mostrado ser uma abordagem poderosa para melhorar a eficiência, a confiabilidade e os custos operacionais, fornecendo uma base sólida para sua aplicação prática. Contudo, a implementação bem-sucedida requer comprometimento, engajamento dos funcionários e adaptação às mudanças tecnológicas. Com esforços contínuos e abordagens inovadoras, o *Kaizen* tem o potencial de revolucionar a manutenção industrial e impulsionar o

sucesso das empresas nesse ambiente altamente competitivo (KAIZEN INSTITUTE, 2022).

2.4.3 PDCA

A busca por aprimorar a eficiência e a qualidade nas operações industriais é uma prioridade para as empresas que desejam se manter competitivas no mercado. Deming (1990) define PDCA como sendo a busca pela melhoria contínua de produtos e de processos, visando atender as demandas do cliente com o alcance da excelência em qualidade. Os elevados padrões de qualidade desempenham um papel fundamental na manutenção da competitividade da empresa no mercado. Nesse contexto, a metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) tem se mostrado eficaz para promover melhorias contínuas em diversos processos organizacionais (VIERO, 2018). Inclusive, sua aplicação na área de manutenção industrial tem sido objeto de interesse de pesquisadores e profissionais, buscando otimizar as atividades de manutenção e maximizar o desempenho operacional das máquinas e equipamentos (FLÜGEL, 2012).

Para Deming (1990), o PDCA é uma metodologia baseada em quatro etapas: Planejar (*Plan*), Executar (*Do*), Verificar (*Check*) e Agir (*Act*). Essas etapas formam um ciclo contínuo de melhoria, em que o planejamento, a execução, o monitoramento e a correção são realizados de forma sistemática para alcançar metas e promover a melhoria contínua dos processos.

No estudo realizado por Kardec e Nascif (2019), aponta-se que os erros mais comuns da aplicação do PDCA ocorrem na implementação de duas fases: a de Planejar e a de Executar. Dessa forma, não é realizada uma análise crítica nem as melhorias são realizadas, sendo uma prática comum no departamento de manutenção das empresas.

Serra *et al.* (2017) destaca, a importância do planejamento adequado das atividades de manutenção, considerando a programação das intervenções, a disponibilidade de peças de reposição e a alocação de recursos. A fase de planejamento do ciclo PDCA é essencial para estabelecer as ações de manutenção a serem executadas, garantindo uma abordagem estratégica e eficaz para o gerenciamento dos processos de manutenção

Segundo Rodrigues (2014), a aplicação do PDCA na manutenção industrial tem contribuído com uma série de vantagens, permitindo alcançar diversos resultados, tais como:

- a) Melhoria na eficiência da manutenção: O PDCA promove a análise sistemática das atividades de manutenção, permitindo a identificação de gargalos e de oportunidades de melhoria, resultando em um processo de manutenção mais eficiente e direcionado;
- b) Redução de custos: A metodologia PDCA ajuda a eliminar desperdícios e a otimizar o uso de recursos na manutenção, contribuindo para a redução de custos operacionais;
- c) Aumento da confiabilidade dos equipamentos: A abordagem sistemática do PDCA permite que problemas sejam identificados e corrigidos antes que levem a falhas mais graves, aumentando a confiabilidade dos equipamentos e reduzindo o tempo de inatividade não planejado; e,
- d) Gestão baseada em dados: O PDCA incentiva a coleta e análise de dados para embasar as decisões de melhoria. Isso contribui para uma gestão mais assertiva e fundamentada em evidências.

Apesar dos benefícios, a implementação do PDCA na manutenção também enfrenta desafios, como a resistência cultural à mudança e a necessidade de treinamento dos funcionários. É fundamental que a empresa fomente uma cultura de melhoria contínua para que a metodologia seja, efetivamente, incorporada ao dia a dia da equipe de manutenção.

Considerando a evolução tecnológica e as mudanças nos processos produtivos, novas pesquisas têm sido propostas por autores como Faria e Longhini (2021), para explorar a integração do PDCA com tecnologias de manutenção e análise de dados. Sendo assim, esses autores mencionam que a utilização da metodologia PDCA na manutenção industrial tem demonstrado ser uma abordagem valiosa para promover melhorias contínuas e aumento da eficiência das operações. Contudo, é fundamental que as empresas enfrentem os desafios e se comprometam a promover uma cultura de melhoria contínua para garantir o sucesso dessa abordagem. Com esforços contínuos e a devida adaptação às mudanças tecnológicas, o PDCA como potencial de impulsionar a eficiência e a competitividade da manutenção industrial no cenário atual.

De acordo com o estudo realizado por Dias, Fernandes e Moura (2022), a gestão eficiente da manutenção industrial visa garantir a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos, bem como para otimizar os custos operacionais. Nesse contexto, a metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) tem se mostrado uma ferramenta que busca promover melhorias contínuas nos processos de manutenção.

2.4.4 SMED

A indústria moderna enfrenta constantes desafios em relação à eficiência operacional, buscando maximizar a produtividade e minimizar os custos. Diversos estudos têm sido conduzidos para avaliar como as metodologias podem ser adaptadas e implementadas para reduzir o tempo de parada das máquinas durante a realização de tarefas de manutenção preventiva e corretiva. No estudo de caso realizado por Sugai, Mcintoch e Novaski (2007), definiu-se a metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*), desenvolvida por Shigeo Shingo na década de 1950, como uma abordagem eficaz para reduzir o tempo de troca de ferramentas ou *setup* nas linhas de produção. No entanto, ao longo dos anos, sua aplicação expandiu-se para outras áreas, incluindo a manutenção industrial.

O SMED é uma metodologia focada na redução do tempo necessário para a realização de trocas de ferramentas ou ajustes em máquinas e equipamentos. Seu objetivo é alcançar tempos de *setup* de apenas alguns minutos, conhecidos como "*single-minute*" aumentando a flexibilidade e reduzindo a ociosidade nas operações industriais. A abordagem do SMED está fundamentada na diferenciação entre atividades internas e externas durante o processo de troca, identificando oportunidades para realização de etapas de preparação, enquanto a máquina ainda está em funcionamento (SHINGO, 1985).

Nakamura *et al.* (2016) realizaram um estudo destacando a importância de uma análise detalhada do processo de manutenção, identificando as etapas que podem ser realizadas previamente ao momento da intervenção. Essa análise minuciosa permitiu otimizar o tempo gasto com a manutenção, reduzindo o *downtime* das máquinas e aumentando a disponibilidade operacional.

A adoção do SMED na manutenção industrial tem proporcionado diversos benefícios, conforme identificado por Kato e Smalley (2017). Entre os principais resultados alcançados, destacam-se:

- a) Redução do tempo de parada: A análise e reorganização das atividades de manutenção viabilizam a realização das tarefas com maior agilidade, reduzindo o tempo necessário para as intervenções e, por conseguinte, mitigando o impacto adverso no fluxo produtivo;
- b) Aumento da produtividade: Com a diminuição do tempo de parada, as máquinas permanecem operacionais por longos períodos aumentando a produtividade e a capacidade de entrega dos produtos;
- c) Redução de custos: A menor ocorrência de paradas e a utilização mais eficiente dos recursos de manutenção contribuem para a redução dos custos operacionais, impactando, positivamente, o resultado financeiro da empresa; e,
- d) Segurança e qualidade: A padronização das atividades de manutenção proporcionada pelo SMED pode resultar em maior segurança para os trabalhadores e em uma maior garantia da qualidade dos processos.

Embora a aplicação do SMED na manutenção industrial tenha se mostrado promissora, alguns desafios ainda precisam ser superados. De acordo com Shingo (1985), a adaptação da metodologia para diferentes tipos de máquinas e sistemas de produção, bem como a conscientização e treinamento dos profissionais envolvidos, são aspectos fundamentais para o sucesso da implementação.

Considerando a rápida evolução tecnológica e as mudanças nos processos produtivos, novas pesquisas e abordagens têm sido propostas por autores como Li, Papadopoulos e Zhang (2019) para aprimorar ainda mais a aplicação do SMED na manutenção, incluindo a integração de tecnologias de automação e análise de dados.

Para Duran, Capaldo e Acevedo (2017), a utilização dessa metodologia na manutenção industrial tem se mostrado uma estratégia eficaz para otimizar o tempo de parada preventiva, melhorando a eficiência operacional, reduzindo o tempo de parada das máquinas e aumentando a produtividade. Dessa forma, a exploração dos benefícios e resultados obtidos com a aplicação dessa abordagem tem contribuído para o avanço do conhecimento nessa área. Contudo, ainda há desafios a serem superados, o que requer pesquisas contínuas e adaptações, à medida que a indústria evolui. Com esforços contínuos nessa direção, o SMED tem o potencial de se consolidar como uma ferramenta de otimização das atividades de manutenção industrial no cenário contemporâneo.

2.4.5 Mapeamento do Fluxo de Valor

O Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM - *Value Stream Mapping*) é uma técnica usada para descrever o fluxo de atividades durante o processo de fabricação de um produto ou serviço. Nesse mapeamento, descrever as relações entre os processos e o controle utilizado, a fim de gerenciar o ciclo de vida do produto ou serviço, por meio de informações de programação e relatórios de produção (RATLALAN; TAMA; SUGIONO, 2017).

O VSM é uma metodologia de fluxograma que ilustra todas as etapas do processo de produção, possibilitando assim, fazer uma análise e as melhorias necessárias em cada etapa para garantir a entrega de um produto ou serviço (MOUZANI; BOUAMI, 2019). Para Lorenz *et al.* (2021), métodos, como VSM, buscam identificar melhorias de processo por meio da compreensão do estado atual do processo.

Na pesquisa realizada por Ratlalan, Tama e Sugiono (2017), com uma abordagem empírica do setor de manufatura de uma empresa, buscou-se minimizar os desperdícios de produção, utilizando-se do VSM e descrevendo todas as informações do processo. Dessa forma, os pesquisadores identificaram os desperdícios por intermédio de um questionário de avaliação, para determinar a porcentagem de perdas. Com isso, foi possível a utilização do AHP para classificar os critérios e ponderação dos desperdícios. Com base nessa análise, determinaram-se os três maiores desperdícios: inventário desnecessário, superprodução e movimentação. Sendo assim, foi possível determinar as ações de melhorias, incluindo: a aplicação dos 5'S, previsão de produção, melhorias nos locais de trabalho com instalação de climatizador do ar para resfriamento do ambiente, implementação de atividades de manutenção preventiva, adição de ferramentas próximo às máquinas, ajuste da máquina e melhorias no *layout* do chão de fábrica.

O Mapeamento do Fluxo de Valor é uma ferramenta utilizada para identificar as condições atuais do processo com foco nas oportunidades de melhoria. Todo processo possui etapas com fluxos de informações e materiais que geram desperdícios que podem ser eliminados. Assim, o VSM consiste em avaliar o processo de forma a torná-lo mais eficiente, agregando valor ao produto ou serviço para o cliente (DIAS; FERNANDES; MOURA, 2017). No estudo realizado por Ratlalan, Tama

e Sugiono (2017), essa abordagem, alinhada ao método multicritério AHP, potencializou a tomada de decisão, tornando-a mais assertiva.

2.4.6 Voz do Cliente

A Voz do Cliente ou Voice of Customer (VOC) é conceituado dentro da filosofia *Lean* como uma metodologia que concentra a entrega de valor aos clientes de forma eficiente e com qualidade. Murça (2012) descreve a VOC como uma abordagem que enfatiza a importância de entender, profundamente, as necessidades do cliente. A VOC se refere à coleta e à compreensão das necessidades, expectativas, desejos e *feedbacks* dos clientes em relação a um produto ou serviço.

A filosofia *Lean* reconhece que os clientes são a parte mais importante do processo e, portanto, suas opiniões e requisitos devem ser a principal consideração, na busca pela excelência operacional. No trabalho realizado por Rother (2009), conceituou-se a VOC como uma abordagem científica com a coletada de dados, incluindo pesquisas, análises de reclamações, observações diretas e interações com os clientes. Esses dados são, então, usados de forma a compreender e orientar o desenvolvimento de produtos, processos e serviços, de acordo com as necessidades do cliente.

Nessa circunstância, a abordagem *Lean* enfatiza a importância de eliminar desperdícios e otimizar processos para fornecer o máximo valor ao cliente com o mínimo de recursos e esforços. Rother (2009) propõem, ainda, que a VOC desempenha um papel fundamental na identificação de oportunidades de melhoria e na priorização de ações para alcançar a satisfação do cliente e a competitividade no mercado. Diante do exposto, na filosofia *Lean* a VOC é uma bússola que guia todas as atividades e decisões em direção à excelência e à satisfação do cliente (MURÇA, 2012).

2.4.7 Poka-Yoke

Em certas situações dentro das operações, os operadores podem, inadvertidamente, inserir uma peça de trabalho na direção errada, resultando em danos às peças, redução da vida útil das ferramentas e equipamentos e, conseqüentemente, aumento no desperdício de materiais. Para evitar esses erros, uma solução eficaz é a implementação de um dispositivo chamado gabarito, sendo

que essa peça só pode ser inserida de uma única maneira. Esse mecanismo é conhecido como Poka-Yoke (MURÇA, 2012).

O uso do Poka-Yoke oferece a vantagem de permitir que os trabalhadores se concentrem em suas tarefas sem a necessidade de constantemente se preocuparem com a prevenção de erros. Essa abordagem é alinhada com o conceito de evitar ações de correção ou retrabalho. De acordo com Suzaki (2010), o Poka-Yoke contribui para a eficiência das operações, minimizando falhas e promovendo um ambiente de trabalho mais produtivo.

Dessa forma, Murça (2012), sob o ponto de vista da filosófica *Lean*, definiu a manutenção de uma fábrica de mobiliário para escritório e escolar como sendo “A manutenção efetuada às máquinas é praticamente inexistente, até porque as ferramentas para se proceder à manutenção das máquinas são escassas” (MURÇA, 2012). Diante do exposto, métodos mais avançados de tomada de decisão para determinar quais ferramentas utilizar e qual etapa da manutenção priorizar revelou-se desnecessária, pois as próprias ferramentas, como o VOC e o VSM, direcionaram para a adoção do 5’S na manutenção. Assim, os resultados da implementação dos conceitos *Lean* foram notáveis: um ambiente mais seguro para os trabalhadores, redução nos custos de manutenção e operação, diminuição do tempo de máquina parada e uma transformação cultural na forma de trabalhar.

2.4.8 Análise da Causa Raiz

A Análise da Causa Raiz (RCA - *Root Cause Analysis*) é uma ferramenta que tem contribuído para o processo de manutenção fazer a abordagem de solução de problemas por meio de uma investigação aprofundada da causa raiz dos problemas.

Para Blanco e Dederichs (2018), as causas raízes dos problemas não são visíveis em primeiro momento, na maioria das vezes, é necessário se aprofundar no incidente. Dessa forma, no estudo realizado, os autores consideraram a necessidade de uma investigação mais aprofundada da causa raiz, envolvendo a coleta de dados, o gráfico de fator causal, e uma investigação do comportamento do equipamento, momentos que precederam a falha.

Nesse sentido, MecFlux (2022) faz uma analogia comparando a causa/efeito com um *iceberg*. Sendo assim, a Figura 5 demonstra que acima do nível da água estão os efeitos visíveis em decorrência das causas das falhas invisíveis, que estão abaixo do nível da água.

Figura 5 - Iceberg causa efeito



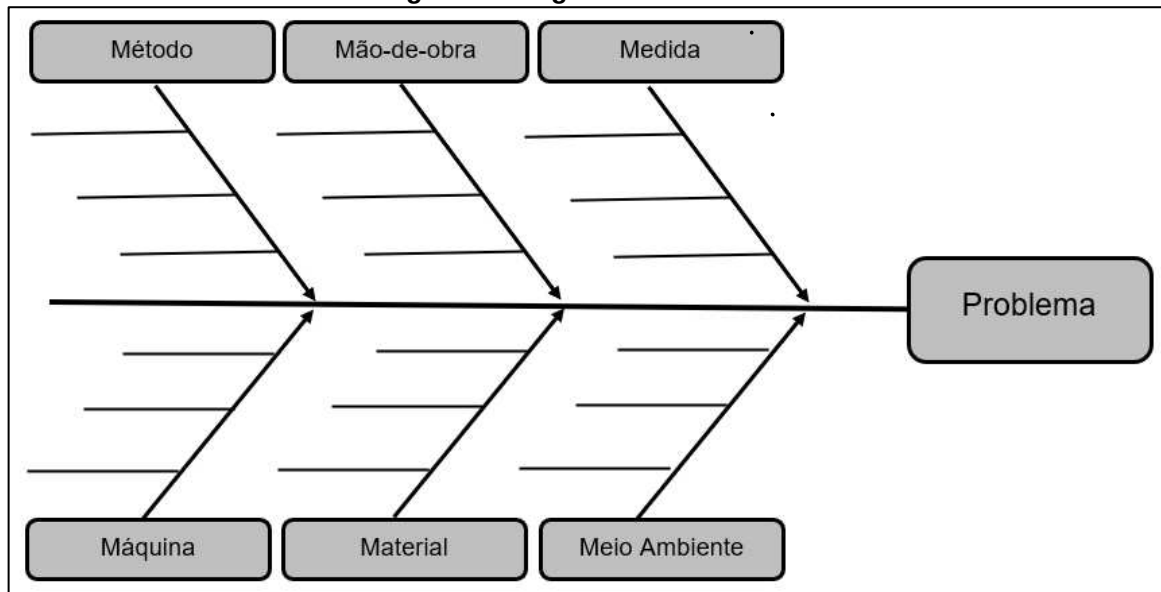
Fonte: Adaptado de MecFlux (2022)

Para Mouzani e Bouami (2019) as causas que levaram à quebra do equipamento podem ser ocasionadas por vibração, temperatura elevada, ruídos, desgastes, desnívelamento dos equipamentos, sobrecarga, corrosão, sujeira, deformação, folgas, trincas, atrito, entre outras anomalias que não são visíveis. Essas causas podem comprometer seriamente a operação dos equipamentos, levando a paradas não programadas e aumento dos custos operacionais.

Desta forma, após identificadas as causas das falhas, é possível empregar outras duas ferramentas para realizar o RCA: o Diagrama de Ishikawa e a Análise dos 5 Porquês, assim, o Diagrama de Ishikawa ajuda a mapear visualmente todas as possíveis causas das falhas, (SMITH *et al.*, 2004).

O Diagrama de Ishikawa foi introduzido por Kaoru Ishikawa na década de 1960, muito utilizado no setor de Qualidade, tem a função de identificar os maiores fatores potenciais que causam um efeito geral desejado ou indesejado. Na Figura 6, o Diagrama de Ishikawa apresentado é separado em duas partes, onde uma área declara-se o efeito do problema e do outro lado, as possíveis causas.

Figura 6 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Adaptado de Blanco e Dederichs (2018)

As causas são desenhadas como setas e todas levam ao problema declarado. Cada seta significa uma categoria de possíveis falhas (Métodos, Mão de Obra, Medida, Máquinas, Material e Meio Ambiente), formando assim os 6 M's do Diagrama de Ishikawa. O Diagrama de Ishikawa, normalmente, é preenchido durante uma reunião de análise de falhas, em que é realizado um *brainstorming* ou uma chuva de ideias para identificar as possíveis causas da anomalia e aplicar a técnica dos 5 Porquês, para identificar a causa raiz (BLANCO; DEDERICHS, 2018). Juntas, essas ferramentas proporcionam uma abordagem robusta para a identificação e eliminação das causas raiz das falhas nos equipamentos

Muitas profissionais tendem a focar na resolução dos sintomas dos problemas e não na causa raiz. Para Pinto *et al.* (2020), a análise dos 5 Porquês é um método que direciona encontrar a causa raiz dos problemas. Embora o termo seja definido como 5 Porquês, muitas causas raízes podem ser encontradas apenas com 2 ou 3 Porquês; por outro lado, falhas mais complexas podem ter mais que 5 Porquês.

Smith e Hawkins (2004) propõem que a RCA siga alguns passos para identificar a causa raiz dos problemas, incluindo:

- Identificação de problema;
- Diagnóstico do problema;
- Identificação do estado do equipamento antes da avaria;
- Identificação das razões pelas quais as causas anteriores existem.

Mouzani e Bouami (2019) afirmam que a função RCA é identificar as falhas de processos e equipamentos, devendo ser, frequentemente, utilizado na identificação de riscos de eventos a pessoas, fazendo, assim, uma interação entre as condições e ações que levaram à falha. Assim, ao examinar a causa raiz de uma falha, pode-se encontrar a solução para eliminar a recorrência do problema.

2.5 Cinco princípios do *Lean Maintenance*

A constante evolução da manufatura e da indústria, aliada à busca pela excelência operacional, são essenciais para garantir a competitividade e a satisfação do cliente. Nesse contexto, os princípios do *Lean Maintenance* desempenham um papel fundamental, concentrando-se na entrega de valor ao cliente por meio da otimização dos processos de manutenção, reduzindo desperdícios e buscando a melhoria contínua. A implementação desses princípios promove uma cultura organizacional voltada para a eficiência e a inovação, capacitando as empresas a enfrentar os desafios do mercado de forma proativa (DIAS; FERNANDES; MOURA, 2022).

Assim, os autores estabelecem que os cinco princípios do *Lean Maintenance* são fundamentais para a otimização dos processos de manutenção, a fim de promover uma abordagem focada na entrega de valor, na eliminação de desperdícios e na busca constante pela excelência operacional

2.5.1 Valor na manutenção

O primeiro princípio do *Lean Maintenance* enfatiza a necessidade de definir o valor do ponto de vista do cliente e expressá-lo em termos de um serviço específico. Isso requer uma compreensão profunda das necessidades do cliente em relação à manutenção. Significa que as atividades de manutenção devem ser direcionadas para aquilo que agrega valor aos produtos ou serviços finais. Evitar a superutilização de recursos em áreas que não agregam valor, é essencial para a eficiência operacional (DIAS; FERNANDES; MOURA, 2022). Assim sendo, a ferramenta Voz do Cliente (VOC) é fundamental para entender a necessidade do cliente.

2.5.2 Fluxo de valor na manutenção

O segundo princípio concentra-se na criação de um mapa de todas as etapas do fluxo de valor na manutenção. Isso inclui desde o momento em que uma necessidade de manutenção é identificada até a entrega do serviço ao cliente. Por meio da identificação e eliminação dos desperdícios em cada etapa desse fluxo, as operações de manutenção podem ser simplificadas, tornando-se mais eficazes e eficientes. O Mapeamento do Fluxo de Valor aliado aos 8 Desperdícios do *Lean* estrutura uma ferramenta chave, pois ajudam a visualizar e identificar os desperdícios dentro da manutenção, isso ajuda a identificar gargalos, atrasos e oportunidades de melhoria.

2.5.3 Fluxo contínuo na manutenção

O terceiro princípio do *Lean Maintenance* preconiza a execução contínua das atividades de manutenção, sem interrupções. Esse conceito implica em manter o fluxo constante de serviços e informações ao longo de todo o processo de manutenção, evitando qualquer tipo de paralisação que possa gerar atrasos, ineficiências e desperdícios. Conforme destacado por Dias, Fernandes e Moura (2022), uma estratégia de manutenção estruturada visa garantir o fluxo ininterrupto. Portanto, é indispensável ter uma coleta e gestão de dados, gerenciamento de peças de reposição e aplicação dos princípios do 5'S eficaz, a fim de promover o desenvolvimento desse princípio e a eficiência operacional da manutenção.

2.5.4 Manutenção puxada

O princípio da Manutenção Puxada, dentro do *Lean Maintenance*, promove uma abordagem proativa às demandas dos clientes, antecipando-se às suas necessidades. Esta estratégia, baseada em dados e indicadores, minimiza paradas não programadas e otimiza a utilização dos recursos de manutenção. Portanto, uma gestão proativa por meio do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é fundamental para direcionar os tipos de intervenção conforme a criticidade dos equipamentos, garantindo uma operação eficaz e contínua. A implementação da Manutenção Puxada também promove uma cultura de eficiência operacional e melhoria contínua, alinhando as práticas de manutenção com os objetivos estratégicos da empresa.

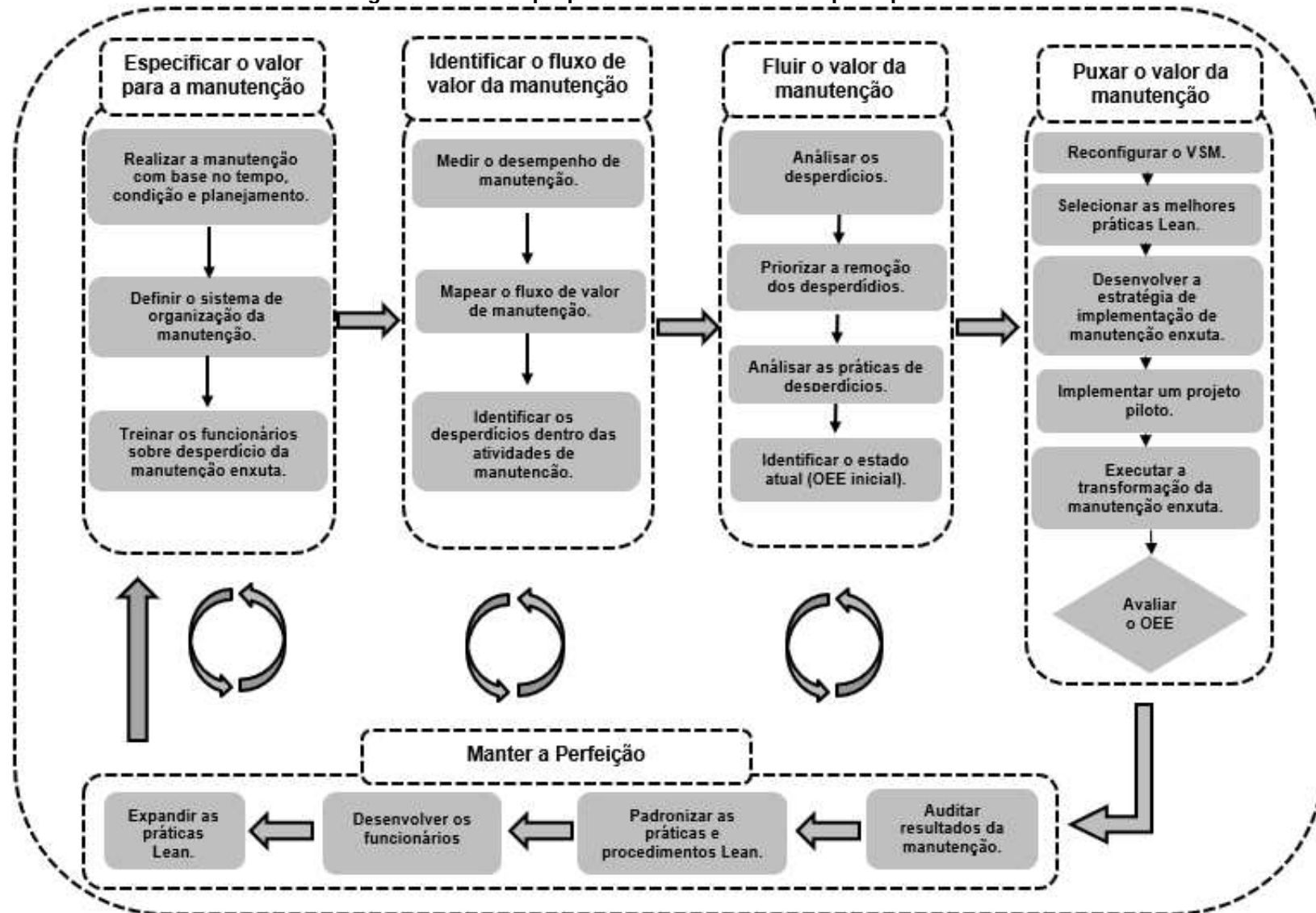
2.5.5 Perfeição na manutenção

O quinto e último princípio do *Lean Maintenance* visa à busca contínua pela perfeição, envolvendo a eliminação completa de desperdícios em todas as etapas da manutenção. A melhoria contínua é uma parte indispensável desse princípio, com a identificação constante de oportunidades para tornar os processos de manutenção mais eficientes e eficazes. A perfeição é um objetivo em constante evolução, e a busca por ela leva a um ciclo de melhoria contínua que beneficia tanto a organização quanto o cliente. Dessa forma, RCA, 5 Porquês, Kaizen e Digrama de Ishikawa são algumas das ferramentas empregadas que tem como objetivo a busca pela constante evolução do ciclo de melhoria contínua, que beneficia tanto a organização quanto o cliente.

Sendo assim, o trabalho de Mostafa, Dumrak e Soltan (2015) concluiu que os princípios do *Lean Maintenance* oferecem uma abordagem sistemática e eficaz para melhorar a manutenção industrial, aumentar a satisfação do cliente e reduzir custos operacionais. Valor, Fluxo, Continuidade, Puxada e Perfeição são os pilares que sustentam essa filosofia, permitindo que as organizações alcancem níveis mais altos de eficiência e qualidade. A aplicação desses princípios requer comprometimento, esforço contínuo e uma cultura organizacional orientada para a melhoria, porém, os benefícios para as operações de manutenção e, por consequência, para o sucesso global da organização, fazem desse investimento um passo essencial na busca pela excelência.

Mouzani e Bouami (2019) concluíram que a evolução da indústria é um processo dinâmico, onde cada avanço impulsiona a próxima inovação. A implementação dos princípios do *Lean Maintenance* não é apenas uma escolha, mas uma necessidade para permanecer relevante em um mercado cada vez mais competitivo. Cada princípio do *Lean Maintenance* é uma peça fundamental para atingir a eficiência da manutenção, trabalhando em conjunto para criar uma abordagem holística no aprimoramento das atividades. Esses princípios não apenas otimizam os processos existentes, mas também norteiam as inovações futuras, garantindo que as organizações estejam sempre um passo à frente. No cerne do *Lean Maintenance* está o compromisso com a entrega de valor ao cliente. Assim, a implementação eficaz do *Lean Maintenance*, seguindo o roteiro proposto na Figura 7, exige uma mudança cultural e o compromisso de toda a organização com a melhoria contínua.

Figura 7 - Roteiro proposto baseado nos cinco princípios *Lean*



Fonte: Adaptado de Mouzani e Bouami (2019)

2.5.6 Os oito desperdícios do *Lean Maintenance*

De acordo com Dias, Fernandes e Moura (2022), para que a filosofia *Lean* seja implantada no departamento de manutenção, ela precisa ser adaptada ao processo de manutenção, de forma a identificar e eliminar os desperdícios de manutenção.

Quando se diz que o *Lean* tem como principal objetivo eliminar o desperdício, parece ser outra atividade fácil, todavia, muitas vezes, por não se conhecer o desperdício, acredita-se que é inevitável. Assim, é necessária conscientização sobre os oito tipos de perdas presentes no processo de manutenção (BLANCO; DEDERICHS, 2018). No trabalho desenvolvido por Dias, Fernandes e Moura (2022), esses desperdícios são classificados em:

- 1) Repetição de trabalho: Esse desperdício está relacionado, diretamente, à qualidade das atividades de manutenção. Manutenções mal executadas ou inadequadas podem resultar em retrabalho, peças defeituosas e tempo perdido. Então, a busca pela melhoria contínua por meio de treinamentos e qualificação dos empregados, tende a elevar o conhecimento dos funcionários e a eliminação desse tipo de desperdício;
- 2) Trabalho improdutivo: Realizar mais manutenção do que o necessário pode ser um desperdício de recursos, pois são atividades que não agregam valor ao cliente. Realizar manutenção preventiva excessiva, por exemplo, pode ser tão prejudicial quanto realizar manutenção insuficiente. Dessa forma, otimizar o TBM pode ser uma forma eficaz, priorizando, assim, as máquinas A na classificação ABC;
- 3) Tempo de espera: Inclui qualquer tempo gasto desnecessariamente em tarefas de manutenção, como esperar por peças de reposição, movimentação de equipamentos ou retrabalho, devido a falhas de comunicação. Um exemplo desse tipo de desperdício acontece muito nas paradas de manutenção preventiva, em que os manutentores ficam ociosos:
 - a) Aguardando peças para substituição;
 - b) Liberação de atividades de risco;
 - c) Aguardando informações sobre como realizar as atividades;
 - d) Liberação da máquina pelos operadores.

Sendo assim, um bom planejamento das atividades a serem realizadas nas preventivas, por parte do PCM e a aplicação do método SMED são algumas alternativas que visam melhorar o desperdício de tempo durante as preventivas:

- 4) Movimentação desnecessária: Envolve a movimentação de pessoas ou de equipamentos de manutenção de forma ineficiente, como deslocamentos desnecessários de técnicos, transporte de ferramentas ou de equipamentos. Esse desperdício também ocorre durante as paradas preventivas e intervenções corretivas. Dessa forma, uma ferramenta que tende reduzir esses desperdícios é o 5'S. Além disso, a adequação do arranjo físico da oficina e a disponibilização de ferramentas específicas próximo às máquinas são ações que visam à redução da movimentação desnecessária dos funcionários da manutenção;
- 5) Má gestão do inventário: ter um estoque excessivo de peças de reposição ou materiais de manutenção pode resultar em custos de armazenamento e obsolescência. Além disso, pode ser um desperdício de capital que poderia ser investido em outro setores;
- 6) Mau aproveitamento do potencial humano: O uso ineficiente da força de trabalho, incluindo alocar mais pessoas do que o necessário ou não aproveitar as habilidades da equipe de manutenção de forma adequada, é considerado desperdício;
- 7) Gestão de dados ineficaz: A gestão de dados ineficaz no contexto da manutenção *Lean* se refere à má organização, coleta, análise e ao uso de informações relacionadas à manutenção de equipamentos e de processos industriais. Uma gestão de dados ineficaz pode levar a desperdícios de tempo, recursos e oportunidades de melhoria na eficiência da manutenção;
- 8) Má gestão dos equipamentos (ativos): Este tipo de desperdício ocorre quando um tipo de manutenção avançada é aplicado a equipamentos de baixa criticidade. Por outro lado, há também a falta de manutenção avançada em equipamentos críticos.

Sousa (2013), em seu trabalho, abordou a redução dos desperdícios, tanto na produção quanto nos serviços de manutenção, utilizando uma abordagem fundamentada no pensamento *Lean*, com a utilização dos princípios dos oito desperdícios. Para alcançar esse objetivo, foram conduzidas entrevistas com os funcionários da manutenção. Entretanto, por se tratar de um processo de pouca

complexidade, o estudo não precisou de uma metodologia de tomada de decisão complexa, para identificação das soluções destinadas a reduzir ou eliminar os desperdícios. Essas soluções foram desenvolvidas por meio da aplicação de diversas ferramentas analíticas da metodologia *Lean*, incluindo, 5'S, Kaizen, PDCA, TPM (*Total Productive Maintenance* = Manutenção Produtiva Total) e VSM (*Value Stream Mapping* = Mapeamento do Fluxo de Valor).

Ao adotar essa abordagem abrangente, o autor supracitado buscou não apenas identificar, mas também abordar proativamente os pontos críticos relacionados aos desperdícios, promovendo eficiência e melhorias contínuas nos processos de produção e manutenção.

Por outro lado, Mostafa e Soltan (2014) sugerem a utilização do MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*) e AHP (*Analytical Hierarchy Process*) para processos mais críticos, como uma abordagem para comparar/medir o desempenho de diferentes estratégias de manutenção (alternativas), de acordo com os critérios do *Lean*. Com o mapeamento dos desperdícios, por meio do VSM aliado ao MCDM, no contexto da manutenção, auxilia-se as organizações a melhorar a eficiência, reduzir custos e aumentar a confiabilidade dos ativos, contribuindo para a operação mais eficaz e sustentável das instalações industriais.

2.6 Manutenção e a Indústria 4.0

A técnica da Indústria 4.0 refere-se a uma abordagem inovadora e integradora que busca alinhar tecnologias avançadas, características da quarta revolução industrial. Ciano *et al.* (2021) e Kamble, Gunasekaran e Dhone (2019) utilizaram os conceitos da Indústria 4.0 com técnicas tradicionais do *Lean Manufacturing*, para otimizar os processos de produção, promover a eficiência operacional e impulsionar a competitividade das organizações.

De acordo com esses autores, a Indústria 4.0 representa uma revolução no ambiente de manufatura, incorporando tecnologias, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial, Big Data, Computação em Nuvem e Sistemas Ciber-Físicos. Essas tecnologias, quando aplicadas de maneira integrada, possibilitam a criação de ambientes de produção inteligentes e conectados, nos quais máquinas, sistemas e processos interagem de forma autônoma e eficiente.

Dessa forma, Kamble, Gunasekaran e Dhone (2019) exploraram os benefícios decorrentes da combinação entre a Indústria 4.0 e o *Lean Manufacturing*,

considerando o contexto específico da indústria manufatureira indiana. Por intermédio de uma análise aprofundada sobre a integração dessas práticas em empresas de manufatura, o estudo visou impulsionar o desempenho sustentável, proporcionando uma contribuição significativa para a compreensão de como essas abordagens contemporâneas podem ser sinergicamente combinadas para enfrentar desafios e explorar oportunidades únicas no cenário industrial indiano.

No trabalho realizado por Tortorella e Fettermann (2018), concluiu-se que, embora a Indústria 4.0 não seja uma ferramenta desenvolvida dentro dos conceitos da filosofia *Lean*, a utilização é uma técnica que visa à otimização do processo por meio do monitoramento em tempo real das condições dos equipamentos. Dessa forma, essa técnica é relevante, devido à possibilidade de otimizar as atividades da Manutenção Baseada em Tempo (TBM).

2.7 Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total (TPM) tem sido amplamente utilizada pelas empresas como uma ferramenta estratégica para melhoria dos processos, a qual vem sendo implementado com sucesso pelas organizações (PING *et al.*, 2019). Para Nakajima (1989), Lampkowski, Masson e Carrijo (2006), Melo e Loos (2018) e Kardec e Nascif (2019), o principal objetivo do TPM são quebra zero; acidente zero; defeito zero; promovendo, assim, o aumento da eficiência dos equipamentos e dos processos administrativos, devido à melhoria contínua (*Kaizen*).

O trabalho apresentado por Marinho (2020) conceitua o TPM como uma metodologia que busca a melhoria do processo, por meio da redução das perdas e do aumento da produtividade. Para Nakajima (1989), o TPM desenvolveu-se a partir da utilização das ferramentas baseadas nas ideias de Deming, Juran e Crosby, objetivando a melhoria e inovações das atividades do dia a dia das empresas japonesas.

Sendo assim, para mensurar o nível do TPM nas empresas, o principal indicador utilizado é a Eficiência Geral do Equipamento (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*), que determina a eficiência dos processos (NAKAJIMA, 1989).

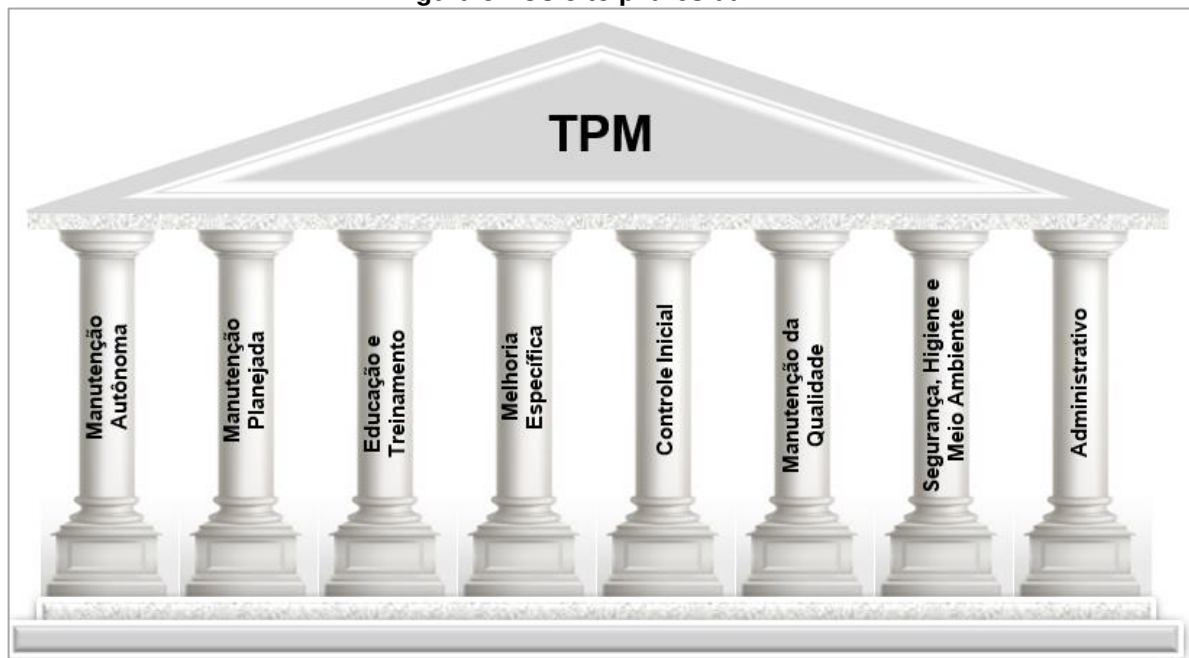
A TPM consiste em:

- a) Manutenção - significa a manutenção do sistema produtivo como um todo, desde os fornecedores ao consumidor final;

- b) Produtiva - significa aumentar a produtividade por meio da redução dos problemas de processo, redução dos riscos de acidentes e eliminação dos defeitos;
- c) Total - significa envolver todos os funcionários da companhia, a fim de cobrir todo o ciclo de vida toda da cadeia produtiva, da mesma forma, desde os fornecedores ao consumidor final.

Conforme afirmam Gardino e Pereira (2020), o TPM é composto por oito pilares de sustentação, no qual cada pilar desempenha o papel de potencializar a eficiência na produção industrial. Essa estrutura pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 - Os oito pilares da TPM



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

Com base nas categorizações e descrições do Quadro 2 dos pilares do TPM, verifica-se que cada pilar desempenha um papel fundamental na sustentação da TPM, sendo interdependentes para garantir um funcionamento eficaz. Nesse contexto, Silva *et al.* (2021) demonstraram em seu estudo os benefícios de os trabalhadores trabalharem em uma empresa segura, organizada, com metas e propósitos bem definidos. Por outro lado, vantagens obtidas pelas empresas, ao proporcionar um ambiente seguro e estimular o desenvolvimento do senso crítico na busca contínua pela melhoria dos processos, resulta na eliminação de desperdícios de produção e no aumento da qualidade, agregando valor aos produtos.

Quadro 2 - Objetivo dos pilares do TPM

Pilares do TPM	Objetivo
Manutenção Autônoma	Envolve capacitação dos operadores para realizar pequenos reparos nos equipamentos, visando identificar possíveis melhorias. Isso cultiva nos operadores o senso de responsabilidade pelas máquinas e promove o espírito de trabalho em equipe.
Manutenção Planejada	Consiste no desenvolvimento da manutenção preventiva, com o objetivo de alcançar a melhoria contínua e aumentar a confiabilidade dos equipamentos. Resultando no aumento da disponibilidade dos equipamentos e na redução dos custos de manutenção.
Educação e Treinamento	Possuem a função de capacitar e motivar os funcionários a se desenvolverem, preenchendo lacunas de habilidades e conhecimentos. Os trabalhadores adquirem as habilidades necessárias para solucionar os problemas dentro da organização.
Melhorias Específicas	Concentram-se em identificar e eliminar as principais perdas nos processos produtivos. Isso leva à redução dos desperdícios de produção e ao aumento da eficiência dos processos.
Controle Inicial	É a gestão antecipada dos equipamentos, utilizando-se de lições aprendidas com as atividades do TPM em projetos de novos equipamentos, garantindo que esses atinjam seu potencial máximo em um curto período.
Manutenção da Qualidade	Objetiva promover zero defeito, utilizando ferramentas estatísticas para determinar onde ocorrem os maiores defeitos nos processos. Isso visa garantir a satisfação dos clientes com produtos dentro dos padrões de qualidade.
Saúde, Higiene e Meio Ambiente	Desenvolvem um ambiente seguro e saudável para os trabalhadores, focando na eliminação de acidentes e promovendo um ambiente mais seguro.
Administrativo	Visa melhorar a eficiência e eliminar perdas administrativas nas organizações, proporcionando suporte às funções administrativas para o bom funcionamento da organização.

Fonte: Adaptado de Gardino e Pereira (2020)

A definição apresentada por Kardec e Nascif (2019) fundamenta que o TPM envolve a concepção de que a manutenção se estende pela participação de todos no cuidado do sistema produtivo da empresa, especialmente no chão de fábrica. Isso proporciona ganhos em conhecimento e habilidades, permitindo alcançar um novo patamar de benefícios para as empresas.

2.7.1 Manutenção Enxuta *versus* Manutenção Produtiva Total

Enquanto o *Lean Maintenance* adota uma abordagem aprofundada para identificar o desperdício do processo e propor melhorias para eliminar o desperdício, o TPM apenas gerência a eficiência do equipamento. Nesse contexto, num ambiente de alta tecnologia em rápida evolução, a metodologia TPM tem de ser adaptada para continuar a ser um meio viável de melhoria e proporcionar os melhores resultados (MOSTAFA; DUMRAK; SOLTAN, 2015).

Para Mouzani e Bouami (2019), o TPM é um conjunto de programas participativos que visam aumentar a eficiência dos equipamentos (produtividade -

qualidade - segurança), minimizar os custos do ciclo de vida dos equipamentos e maximizar a eficiência. No entanto, para Ping *et al.* (2019), o TPM não leva em consideração todos os desperdícios associados ao equipamento, trata apenas de melhorar a eficiência operacional, desenvolvendo operações com um custo mínimo, sendo o *Lean* um complemento do TPM na busca da produção enxuta.

2.7.2 Eficiência Geral do Equipamento

A ausência de um método para avaliar o desempenho das máquinas é frequentemente associada à maioria dos problemas encontrados nas indústrias. Diante desse cenário, uma abordagem utilizada para medir a eficiência dos equipamentos é a Eficiência Geral do Equipamento (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*), conforme mencionado por Sayuti e Syarifuddin (2019). Esse indicador foi desenvolvido pelo engenheiro Seiichi Nakajima, com o propósito de avaliar a eficiência dos processos, por meio da implementação da TPM, destacando áreas com baixa eficiência que necessitavam de aprimoramentos (JAQIN; ROZAK; PURBA, 2020).

O cálculo matemático do *OEE* é fundamentado nos aspectos de disponibilidade, desempenho e qualidade dos processos industriais, representado pela Equação 2:

$$OEE (\%) = Dp \times Pf \times Ql \times 100\% \quad (2)$$

Onde:

a) Disponibilidade (*Dp*): Segundo a NBR 5462 (ABNT, 1994) a disponibilidade é a capacidade de um componente ou equipamento estar em condição de executar certa função durante um intervalo de tempo. Para calcular a disponibilidade, Equação 3, leva-se em consideração o tempo produzido e o tempo disponível das máquinas.

$$Dp = (\text{Tempo Produzido} / \text{Tempo Disponível}) \times 100\% \quad (3)$$

b) Performance (*Pf*): Este indicador tem a responsabilidade de verificar se uma máquina atendeu ao planejado durante a produção. Para calcular o desempenho, Equação 4, é necessário conhecer a quantidade de produto

inicialmente planejada e compará-la com a quantidade real que foi, efetivamente, produzida.

$$Pf = (Produção\ Real/Produção\ Teórica) \times 100\% \quad (4)$$

c) Qualidade (*Ql*) : A finalidade desse indicador é avaliar em que medida os produtos atendem às especificações. O cálculo desse indicador, demonstrado na Equação 5, é fundamentado na comparação entre a quantidade de material produzido e a quantidade de material com defeito.

$$Ql = (Total\ de\ Peças\ Boas/Total\ de\ peças\ Produzidas) \times 100\% \quad (5)$$

Dessa forma, se o valor do *OEE* estiver acima dos 85% será considerado Classe Mundial e a empresa que obtiver este valor receberá o prêmio de *TPM World Class* do *Japan Institute for Plant Maintenance* (JIPM) (SAYUTI; SYARIFUDDIN, 2019).

Entretanto, as empresas precisam atender alguns resultados para atingir a meta: Disponibilidade $\geq 90\%$; Performance $\geq 95\%$; e, Qualidade $\geq 99,9\%$.

Dessa forma, o valor do *OEE* será:

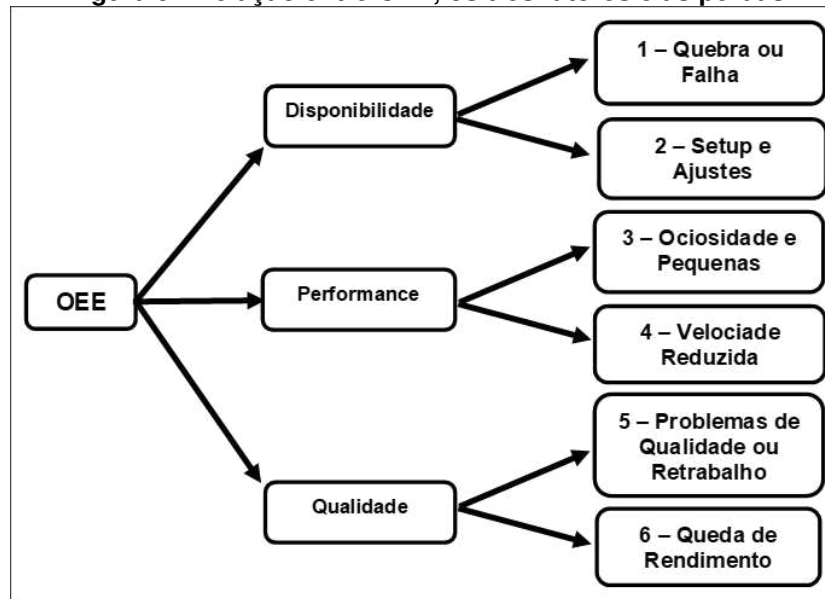
$$OEE(\%) = Dp \times Pf \times Ql \times 100\%$$

$$OEE(\%) = 90\% \times 95\% \times 99,9 \times 100\%$$

$$OEE(\%) = 85\%$$

A Figura 9 apresenta a relação entre os três fatores do *OEE* e as seis perdas consideradas pelo TPM.

Figura 9 - Relação entre OEE, os três fatores e as perdas



Fonte: Adaptado de Nakajima (1989)

Sendo assim, a identificação do baixo desempenho dos três fatores que impactam no cálculo do *OEE* e sua relação com as seis perdas é fundamental para identificar quais Pilares do TPM serão necessários atuar para atingir a meta de 85% do *OEE*. Para Herry, Farida e Lutfia (2018), a utilização do *OEE* como métrica incorpora todas as condições do equipamento a um sistema de medição que auxilia na melhoria do desempenho do equipamento e reduz os custos de produção.

2.7.3 Pilar de Manutenção Planejada

Detentora do conhecimento técnico, o pilar de Manutenção Planejada (MP) é a principal responsável pelo aumento da eficiência dos ativos. Segundo Dias, Fernandes e Moura (2022), em acordo com Kardec e Nascif (2019), o desafio da MP é gerar valor dentro das organizações, por meio da entrega de serviços de alta qualidade, baixo custo e tempo, e com segurança, dentro da legislação vigente. Para Kardec e Nascif (2019) e Utri (2020), a PM tem a função de prevenir as quebras dos equipamentos pela utilização de técnicas de redução de quebras, a fim de atingir a máxima disponibilidade das máquinas, o aumento da confiabilidade e a redução de custos de manutenção, subdividida em seis passos cruciais para o bom desenvolvimento do pilar, a saber:

1° passo - com base nos Indicadores de Performance da Manutenção (KPI, *MTBF*, *MTTR*, custo de manutenção, tempo de quebra, dentre outros, são definidas as metas para os indicadores;

2° passo - por meio de ferramentas de Análise da Causa Raiz (RCA), são realizadas as análises de falhas. Nessas análises, também são verificadas as oportunidades de melhorias nos equipamentos, sempre objetivando ações para evitar reincidência das falhas;

3° passo - a busca por melhorias no sistema de informações, garantindo a confiabilidade das informações, tornando-se um sistema confiável para as tomadas de decisões;

4° passo - a elaboração de uma rotina de manutenção é o foco deste passo, os planos de manutenções preventivas precisam ser coerentes com as necessidades dos equipamentos para se extrair a máxima performance das máquinas;

5° passo - realização da manutenção preditiva, com o uso de ferramentas e *softwares* avançados de análises, aplicada em equipamento de difícil detecção de desgastes, apenas com inspeções. Normalmente este tipo de manutenção é aplicado em máquinas críticas para o processo, em que, se houver qualquer parada, pode acarretar tempos elevados de interrupção do processo. A principal vantagem da Manutenção Preditiva é o aumento de disponibilidade e de confiabilidade dos ativos, a redução de custos de manutenção e a otimização do tempo da equipe de manutenção (Fogliatto; Ribeiro, 2011); e,

6° passo - a autoavaliação dos passos anteriores analisa se os KPIs atingiram os objetivos, se as análises de falhas estão sendo efetivas nas reduções de quebras e se o plano de manutenção e a preditiva estão detectando as falhas antes de essas ocorrerem. Essas atividades devem ser realizadas continuamente, para garantir o sucesso do pilar.

O conceito da Manutenção Planejada tem sido largamente utilizado pelas empresas, mesmo por aquelas que não utilizam a metodologia da TPM implementada em seus processos. A utilização das ferramentas básicas até as mais complexas para a gestão da manutenção e a utilização dos indicadores de performance, custo entre outros, possibilitam um controle maior dos gastos de manutenção e determinam em quais áreas são necessários investimentos. No estudo levantado por Silva *et al.*

(2021), destaca-se que, com a evolução da abordagem da TPM, o pilar de Manutenção Planejada passou a ser reconhecido como uma divisão estratégica nas organizações, assumindo o papel central na gestão dos ativos empresariais. Esse departamento desempenha um papel crucial, ao estender a vida útil dos equipamentos, impulsionar melhorias nos processos e oferecer suporte operacional. Essa transformação tem sido notada, à medida que avanços significativos são alcançados no gerenciamento das práticas de manutenção na indústria.

2.7.4 Pilar de Manutenção Autônoma

O pilar de Manutenção Autônoma (MA) é um processo de melhoria contínua que visa capacitar os operadores na realização de pequenas manutenções em seus equipamentos e máquinas. A implementação da MA tem sido amplamente adotada em diversas indústrias, como uma estratégia para melhorar a eficiência dos processos de manutenção, reduzir custos e aumentar a produtividade (KNOL *et al.*, 2018).

Ao aplicar a metodologia da Manutenção Autônoma no estudo, Grecco (2021) destacou que as atividades da MA são fundamentais em qualquer empresa que busque melhorar seus processos de produção e, conseqüentemente, aumentar sua competitividade no mercado. Dessa forma, a autora ressalta que atingimento do propósito do estudo, aumento do *MTBF*, só foi possível por despertar nos operadores o sentimento de “dono do equipamento”.

Sahoo e Yadav (2020) abordaram, em seu estudo, a MA como um processo que assume algumas responsabilidades da manutenção, como a identificação de atividades que podem ser executadas pelos próprios operadores, sem a necessidade de intervenção do pessoal especializado da manutenção. Dessa forma, esses autores destacam que a Manutenção Autônoma tem sido bem-sucedida em muitas empresas, pois permite que os operadores desenvolvam um senso de responsabilidade sobre seus equipamentos e máquinas, além de melhorar a eficiência dos processos de manutenção.

Em concordância com Knol *et al.* (2018), Sahoo e Yadav (2020) afirmam que a MA é uma parte fundamental da filosofia *Lean Manufacturing*, pois busca eliminar desperdícios e reduzir custos em processos de produção. Destacam que a AM é uma ferramenta valiosa para aumentar a eficiência dos processos de produção, reduzir os tempos de parada e melhorar a qualidade dos produtos.

Manfredini (2009) e Tondato e Gonçalves (2011) destacam os sete passos do pilar da Manutenção Autônoma:

- 1) Limpar e inspecionar;
- 2) Eliminar fontes de sujeira e lugares de difícil acesso;
- 3) Elaborar padrões de limpeza e inspeção;
- 4) Inspeção geral do equipamento;
- 5) Inspeção geral no processo;
- 6) Manutenção autônoma sistêmica; e,
- 7) Gestão autônoma.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação da Manutenção Autônoma requer um compromisso forte por parte da empresa e dos operadores envolvidos. A adoção de uma cultura de melhoria contínua, a disponibilização de treinamento adequado, a definição clara de responsabilidades e o monitoramento constante dos processos são essenciais para o sucesso desse tipo de manutenção (GRECCO, 2021).

A MA é uma estratégia valiosa para melhorar a eficiência dos processos de manutenção e aumentar a produtividade em diversas indústrias. A abordagem apresentada por Knol *et al.* (2018), Sahoo e Yadav (2020) e Grecco (2021) é um guia útil para a implementação bem-sucedida da Manutenção Autônoma em diferentes contextos industriais.

2.7.5 Classificação ABC

A classificação ABC dos equipamentos é uma técnica de gerenciamento de ativos amplamente utilizada para priorizar a alocação de recursos e o foco nas atividades de manutenção. Ela é baseada na análise do valor e na criticidade dos equipamentos em uma instalação (DONATO *et al.*, 2021). Esta metodologia permite uma gestão mais eficiente dos ativos, concentrando esforços onde eles são mais necessários e impactantes para o desempenho geral da operação. De acordo com Cyrino (2016), os equipamentos são categorizados em três grupos principais, designados pelas letras A, B e C, da seguinte forma:

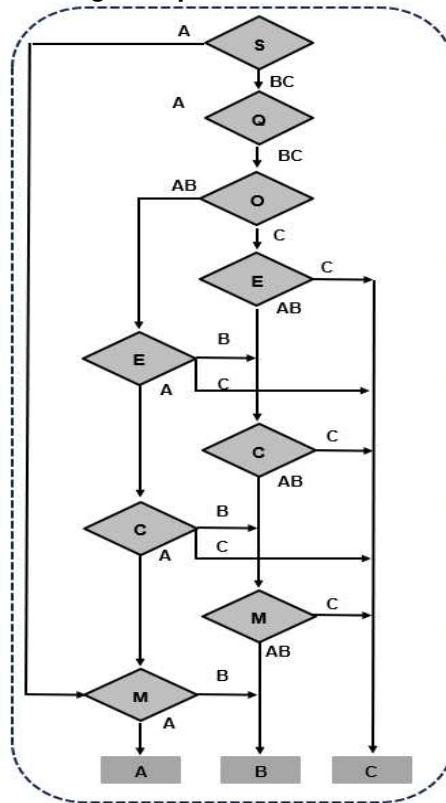
- Classe A (itens de alta prioridade): Essa categoria engloba equipamentos críticos, cuja falha pode resultar em consequências graves, como riscos à segurança, perdas financeiras ou interrupções significativas na produção. Normalmente, os equipamentos da Classe A são fundamentais para a

organização e requer atenção constante. Para isso, os equipamentos que se enquadram nessa classificação tendem a utilizar ferramentas mais avançadas de manutenção, como a manutenção preventiva e a implementação da Indústria 4.0 (monitoramento *on-line*).

- Classe B (itens de prioridade intermediária): Equipamentos na Classe B são considerados importantes, mas sua falha geralmente não resulta em consequências tão severas quanto os da Classe A. As interrupções de produção ou as perdas financeiras associadas a esses equipamentos podem ser significativas, mas menos críticas. A manutenção preventiva e corretiva é planejada com base na importância relativa desses equipamentos.
- Classe C (itens de baixa prioridade): Equipamentos na Classe C são os de menor prioridade em termos de manutenção. Sua falha geralmente tem um impacto mínimo ou insignificante nas operações, finanças e segurança. A manutenção para esses equipamentos é geralmente mais reativa, e os recursos são alocados de maneira mais flexível e menos frequente em comparação com as Classes A e B.

Considerando esses conceitos, a Figura 10 ilustra o fluxograma de forma estruturada o processo de desenvolvimento da classificação ABC dos equipamentos, destacando a segurança e a qualidade como prioridades nesse processo.

Figura 10 - Fluxograma para decisão nível de criticidade



Fonte: Cyrino (2016)

Para a utilização do fluxograma, faz-se necessária a utilização do Quadro 3 com os critérios de criticidade que possibilitam determinar a classificação das classes A, B e C. Este quadro oferece uma estrutura sólida para avaliar e classificar os equipamentos de acordo com sua importância e impacto nas operações.

Quadro 3 - Critérios para avaliação de criticidade de máquinas e equipamentos

Fatores de avaliação	Critérios de avaliação		
	A	B	C
S - Segurança e Meio Ambiente	Caso sofra parada, provoca acidente grave e problemas de contaminação com o meio ambiente	Caso sofra parada, pode provocar algum tipo de acidente, porém, só material, mas não com o meio ambiente.	Caso sofra parada, sem probabilidade de promover qualquer tipo de acidente, tampouco com o meio ambiente
Q - Qualidade do Produto	Caso sofra parada, haverá, com certeza, queda de qualidade e geração de refugos, podendo gerar reclamações de clientes.	Caso sofra parada, haverá possível queda de qualidade e poucos refugos, sem possibilidade de reclamações de clientes.	Caso sofra parada, não haverá possível queda de qualidade e poucos refugos, sem possibilidade de reclamações de clientes.

O - Condição Operacional	Tempo de utilização de máquina ou equipamento acima de 90% ao mês	Tempo de utilização de máquina ou equipamento de 50% a 90% ao mês	Tempo de utilização de máquina ou equipamento abaixo de 50% ao mês
E - Condição de Entrega	Caso sofra uma parada, pode parar uma linha de produção sem nenhuma alternativa a curto prazo.	Caso sofra uma parada, pode parar uma linha de produção, porém, com alternativas imediatas.	Caso sofra uma parada, não interfere na linha de produção e com alternativas imediatas.
C - Índice de Paradas - Confiabilidade	<i>MTBF</i> abaixo de 15 horas	<i>MTBF</i> acima de 15 horas até 30 horas	<i>MTBF</i> acima de 30 horas
M - Manutenibilidade	<i>MTTR</i> acima de 2 horas	<i>MTTR</i> de 1 a 2 horas	<i>MTTR</i> abaixo de 1 hora

Fonte: Cyrino (2016)

Após o mapeamento da classificação ABC dos equipamentos, a manutenção fica apta a elaborar um planejamento estratégico, priorizando as máquinas mais críticas.

No estudo realizado por Donato *et al.* (2021), sugere-se que a classificação ABC é uma ferramenta que visa a otimização e o gerenciamento de ativos, pois permite que as organizações aloquem seus recursos e esforços de manutenção de forma eficiente. Em consequência, pode concentrar os recursos, como pessoal, peças de reposição e tempo, de acordo com a criticidade de cada equipamento. Os autores ainda destacam que a criticidade deve ser utilizada para a elaboração dos planos preventivos dos equipamentos, destacando-se que os impactos para os negócios da empresa são os equipamentos mais críticos, classificados como A dentro da classificação ABC. Assim, essa abordagem proativa contribui significativamente para a eficiência global das operações e para a redução de custos relacionados à manutenção corretiva (CYRINO, 2016).

2.8 Métodos Multicritérios

A tomada de decisão é uma atividade crucial em todos os aspectos da vida, desde questões simples até complexos problemas empresariais, políticos e sociais. No entanto, em muitos casos, as decisões não são simples e envolvem múltiplos critérios, atributos e alternativas, tornando-as desafiadoras e suscetíveis a erros (GOFFI, 2022).

Para Belton e Stewart (2002), as MCDA (*Multi-Criteria Decision Analysis* = Metodologias Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão) são ferramentas que oferecem suporte às tomadas de decisão, especialmente em contextos caracterizados

pela presença de múltiplos objetivos e situações de elevada complexidade. Nesse cenário, é comum a aplicação de abordagens baseadas na superação, visando à seleção de um subconjunto a partir de um conjunto finito de alternativas, bem como sua ordenação (GOFFI, 2022).

Diante do exposto, devido as tomadas de decisões serem caracterizadas pela quantidade de variáveis que ocasionalmente entram em conflito umas com as outras, no estudo de Goffi *et al.* (2018), as MCDA emergem como valiosas ferramentas que permitem a ordenação, classificação e seleção de alternativas em uma ampla gama de áreas de conhecimento. Seu objetivo é definir as soluções mais adequadas para cada problema em análise.

Nesse universo de técnicas e MCDAs é notavelmente diversificado. Essas ferramentas variam, desde abordagens sofisticadas, como argumentação lógica e conjuntos ordenados, até métodos mais simples e de aplicação acessível (BOUYSSOU *et al.*, 2000).

Thokala e Duenas (2012) propõem um enfoque que segmenta os métodos de MCDA em quatro estágios distintos. Esses compreendem as seguintes etapas: em primeiro lugar, a identificação das alternativas que serão levadas em consideração no modelo; em seguida, a definição dos critérios que servirão como base para a avaliação das alternativas; depois, a atribuição de pesos que representam o valor esperado do desempenho de cada critério; por último, a realização do cálculo da razão de importância para cada critério. Isso estabelece uma relação de relevância que pode ser quantificada entre esses critérios.

Nesse contexto, cabe mencionar os tipos de MCDAs mais utilizados: método AHP, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS, SIMOS e Copeland, dentre as mais de 50 técnicas de multicritérios com uma abordagem para diferentes tipos de problemas (FIGUEIRA; GRECO; EHROGOTT, 2005).

Embora os métodos variem em sua abordagem matemática, todos têm o objetivo de desenvolver um sistema de apoio à decisão com base na análise multicritério, visando ajudar gestores e estudiosos (LONGARAY *et al.*, 2016).

A relevância dessas metodologias é amplamente debatida em diversos setores, principalmente no âmbito de tomadas de decisões na área de saneamento (GOFFI, 2022). Porém, há poucos estudos sobre sua aplicação na área da manutenção industrial, devido à complexidade dos problemas nesse setor, que, frequentemente, envolvem múltiplos aspectos e objetivos conflitantes.

Os métodos multicritérios desempenham um papel fundamental ao identificar as melhores soluções. Dessa forma, compreender detalhadamente os critérios envolvidos no processo de manutenção e o MCDAs é fundamental para as tomadas de decisões e o planejamento das ações.

2.8.1 Método AHP

O Método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é uma abordagem que se baseia na decomposição e na síntese das relações entre critérios, com o objetivo de chegar a uma priorização dos indicadores, aproximando-se de uma medida única de desempenho mais adequada (SAATY, 1991).

Conforme Gotti (2022), o método AHP pode ser dividido em três princípios fundamentais: construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica. Em situações que envolvem problemas complexos, é comum estruturar os critérios em uma hierarquia. Dessa forma, o AHP possibilita a estruturação com uma abordagem em forma de árvore, no qual o critério de nível mais alto é ramificado em níveis mais detalhados, tornando o processo de avaliação mais granular.

Para Rossi (2020), o método AHP tem como principal objetivo estruturar os fatores dentro de uma hierarquia, que se inicia com um objetivo geral e desce para critérios mais específicos, culminando nos subcritérios que convergem para uma solução. O emprego desse método proporciona uma representação minuciosa do problema, uma compreensão mais aprofundada do contexto no qual está inserido, a identificação das partes interessadas e afetadas, bem como a definição dos critérios mais adequados para cada tipo de solução proposta.

Dessa forma, Goi utilizou cinco métodos de MCDAs para definir o melhor sistema de tratamentos de efluentes, considerando quatro dimensões: econômica, técnica, ambiental e social, sendo o método AHP utilizado para determinar os pesos dos critérios.

Por sua vez, Rossi (2020) utilizou o método AHP para avaliar a maturidade operacional na área de suprimentos das indústrias farináceas. Utilizando-se de entrevistas semiestruturadas, foi possível mensurar três modelos de gestão organizacional, chegando a resultados expressivos, sendo possível propor ações contundentes para cada modelos de gestão.

No estudo de Abed e Mutlag (2020), aborda-se o método AHP a fim de determinar o tipo de manutenção capaz de melhorar a confiabilidade dos

equipamentos de uma estação de tratamento de água. Para esse estudo, foram utilizadas informações como: o número de quebra dos equipamentos, um questionário do método como era realizada a intervenção nos equipamentos e as ferramentas utilizadas. Com a aplicação do método AHP, foi possível atingir resultados superiores às decisões tradicionais, concluindo, dessa forma, os tipos de manutenção *Total Productive Maintenance* e *Predictive Maintenance* como as melhores técnicas.

Sendo assim, a opção pelo método AHP, neste estudo, foi influenciada por sua facilidade de compreensão e aplicação, bem como pela natureza, predominantemente, qualitativa das variáveis envolvidas no problema em questão. A associação do método AHP com o *Lean Maintenance* é justificada pelo seu potencial para lidar eficazmente com um amplo leque de alternativas disponíveis. Além disso, a escolha desse método encontra motivação adicional em sua capacidade de estruturar o problema de maneira hierárquica, possibilitando a representação das relações de subordinação entre os elementos, visando ao alcance do objetivo principal. Além do mais, o método AHP simplifica a quantificação dos aspectos qualitativos e viabiliza a classificação dos elementos, com base em sua contribuição para o alcance do objetivo desejado.

2.8.2 Procedimento AHP

Saaty (1991) determina que a aplicação do AHP precisa seguir cinco etapas:

- a) Estruturação dos critérios e alternativas: O problema de decisão é modelado em uma estrutura hierárquica, começando pelo objetivo principal e decompondo-se em vários critérios necessários ao seu alcance. Cada elemento do último nível é decomposto em alternativas;
 - b) Coleta de julgamentos: Os decisores realizam comparações par a par entre dois elementos de um mesmo nível, à luz do elemento foco imediatamente superior. Os julgamentos são registrados em uma matriz quadrada, cuja ordem é igual ao número de elementos subordinados ao nó imediatamente superior;
 - c) Cálculo de prioridades: As prioridades dos elementos são calculadas a partir da matriz de julgamentos;
 - d) Verificação da consistência do julgamento: A consistência dos julgamentos é verificada por meio do índice de consistência de Saaty;
- e,

- e) Cálculo das prioridades globais das alternativas: As prioridades globais das alternativas são calculadas a partir das prioridades dos critérios.
Cálculo das prioridades globais das alternativas: As prioridades globais das alternativas são calculadas a partir das prioridades dos critérios.

De acordo com os autores, alguns pontos devem ser considerados: o número de elementos em cada nível deve ser limitado a 7 ± 2 , para garantir a acurácia das comparações; o número de comparações não deve ser elevado, pois pode gerar riscos de inconsistências nos julgamentos; é recomendada a realização de um *brainstorming* com especialista ou consultas a literaturas especializadas no assunto, pelo fato de não haver procedimento padrão para o levantamento de critérios e objetivos.

Para Saaty (1991), após a hierarquização dos critérios, os decisores devem realizar comparações par a par entre os elementos de um mesmo nível, com foco no elemento imediatamente superior. Essas comparações são registradas em uma matriz quadrada, cuja ordem é igual ao número de elementos. Na matriz formada por n alternativas ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$) com os critérios C_1 , tem-se que x_{ij} são os valores de entrada, variando i e j de 1 até n , para isso, deve-se considerar o elemento mais importante do critério.

Sendo assim, como pode ser visto no Quadro 4, os resultados dos julgamentos são registrados nas posições linha i e coluna j , representado por x_{ij} e o valor recíproco na posição da linha j e coluna i , representado por $1/x_{ij}$.

Quadro 4 - Matriz quadrada de julgamento

C_1	a_1	a_2	a_3	$a \dots$	a_n
a_1	1	x_{12}	x_{13}	\dots	x_{1n}
a_2	$1/x_{12}$	1	$1/x_{23}$	\dots	x_{2n}
a_3	$1/x_{13}$	$1/x_{23}$	1	\dots	x_{3n}
$a \dots$	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
a_n	$1/x_{n1}$	$1/x_{n2}$	$1/x_{n3}$	\dots	1

Fonte: Elaborado a partir de Saaty (1991)

Dessa forma, para Ribeiro e Alves (2016), a realização do julgamento deve seguir a escala de Saaty (1991), conforme apresentado no Quadro 5. O processo deve começar com a avaliação conceitual e, em seguida, converter para a escala numérica antes de registrar na matriz, juntamente com o julgamento recíproco correspondente.

É importante que o decisor realize $n(n-1) / 2$ comparações, onde n é o número de elementos a serem comparados.

Quadro 5 - Escala de julgamento Saaty

Escala	Julgamento	Recíproco	Descrição
Igual importância	1	1	Os dois elementos comparados contribuem igualmente para o objetivo.
Importância Moderada	3	1/3	O elemento comparado é ligeiramente importante ao outro.
Mais importante	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem fortemente o elemento em relação ao outro.
Muito importante	7	1/7	O elemento comparado é muito mais forte em relação ao outro, e tal importância pode ser observada na prática.
Importância extrema	9	1/9	O elemento comparado apresenta o mais alto nível de evidência possível a seu favor.
2, 4, 6 e 8		Quando o decisor não tiver certeza entre dois graus de importância, deverá utilizar valores intermediários.	

Fonte Elaborado a partir de Saaty (1991)

Cada linha da matriz de julgamento representa o total percentual relativo de prioridades ou preferências em relação ao objetivo imediato. O resultado é o autovetor da matriz, cuja soma dos elementos é igual a 1. Depois de calcular as prioridades locais para cada nó superior, é necessário verificar a consistência dos julgamentos.

Devido às dificuldades que as pessoas enfrentam ao tomar decisões em problemas complexos com múltiplos critérios, Saaty (1991) propôs um método para calcular inconsistências resultantes do julgamento de valor entre os elementos comparados. É estabelecida uma tolerância de 10% para inconsistências. No estudo de Ribeiro e Alves (2016) descreve-se os passos para verificar a consistência do julgamento.

No primeiro passo, calcula-se o maior autovalor da matriz de julgamento (λ_{Max}), somando o produto de cada total da coluna j da matriz original de julgamentos por cada elemento na posição j do vetor de prioridade, onde j varia de 1 a n . Utiliza a Equação 6 para o cálculo do autovalor é:

$$\lambda_{Max} = \sum_{j=1}^n T_j \times P_j \quad (6)$$

Onde T_j é a soma da coluna j da matriz de julgamento e P_j é a prioridade calculada para o critério localizado na linha j .

No segundo passo, utiliza-se a Equação 7 calcula-se o índice de consistência, Consistency Index (Ci):

$$Ci = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

No terceiro passo, a Equação 8 calcula-se a razão de consistência, Consistency Ratio (Cr):

$$Cr = \frac{Ci}{Ri} \quad (8)$$

O índice randômico, Random Index (Ri), é o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada, aleatoriamente, pelo laboratório OAK Ridge. Se o Cr for maior que 0,10, a matriz de julgamento é considerada inconsistente e o julgamento deve ser refeito.

Após verificar a consistência dos julgamentos, é possível calcular o desempenho global das alternativas. As prioridades globais de cada critério correspondem a sua importância em relação ao objetivo principal. Para avaliar o impacto de cada alternativa em relação a um único critério, é necessário multiplicar a prioridade local da alternativa pelo critério correspondente pela prioridade global desse critério. A prioridade global das alternativas é obtida somando-se as prioridades globais das alternativas calculadas em cada critério, refletindo a contribuição de cada alternativa para o objetivo principal.

De acordo com Rossi (2020), o valor do Ri é tabelado, conforme apresentado na Tabela 1.

N	Fator Ri
1	0
2	0
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48

13	1,56
14	1,57
15	1,59

Fonte: Saaty (1991)

Esses valores variam segundo a ordem da matriz, que tem como objetivo identificar se a análise está sendo realizada de forma adequada. Ele compara o valor médio das posições ocupadas por cada coluna na matriz com valores médios pré-determinados para uma matriz de ordem equivalente. A consistência da matriz RI ajuda a garantir que as preferências dos critérios estejam bem definidas.

2.8.3 Combinação da mensuração relativa com absoluta

De acordo com Ribeiro e Alves (2016), a mensuração absoluta é utilizada quando se deseja mensurar os elementos em cada critério, com base em uma escala conceitual. Para isso, é necessário estabelecer uma escala conceitual, como, por exemplo, excelente, muito bom, bom, médio, regular e péssimo. Após definir a escala nominal a ser considerada em cada critério, realiza-se uma comparação pareada das escalas em relação a cada critério, a fim de obter o peso de cada elemento da escala em relação ao critério, por meio do cálculo das prioridades. Ao montar a matriz de julgamento, os elementos da escala devem ser organizados do melhor ao pior, dispostos nas colunas da direita para a esquerda e nas linhas de cima para baixo, respectivamente.

Autores como Archer e Ghasemzadeh (1999), Saaty (2005) e Padovani, Carvalho e Muscat (2010), apontam que o AHP se torna inviável quando há um grande número de alternativas. Para lidar com essa situação, Saaty (2005) propôs o uso do AHP combinado com a mensuração absoluta. Nesse caso, a mensuração absoluta é utilizada para mensurar as alternativas em cada critério. O valor global da alternativa é obtido somando-se o produto do peso global de cada critério (obtido pela mensuração relativa) pela avaliação da alternativa dada pela mensuração absoluta no respectivo critério (SAATY, 1991). Além disso, de acordo com Saaty (1987), a combinação das duas mensurações resolve o problema de inversão de ordem, apontado por Shin *et al.* (2013).

O estudo de Ribeiro e Alves (2016) teve como objetivo demonstrar a aplicação do Método AHP, combinando a mensuração relativa e absoluta para lidar com um problema complexo de decisão. A motivação para o uso desse método originou-se da necessidade de apoiar o Instituto Federal Fluminense (IFF), uma instituição pública

envolvida em atividades de ensino, pesquisa e extensão, na seleção de propostas de projetos submetidas à área de pesquisa.

Diversas propostas de projetos são submetidas a avaliações em critérios, muitos dos quais são qualitativos e difíceis de mensurar. O estudo, baseado em um caso na área de pesquisa do IFF, utilizou pesquisas bibliográficas, consulta documental e entrevistas não estruturadas.

A aplicação do método AHP tornou mais eficiente o processo de avaliação, resultando em uma lista de priorização de projetos capazes de atender aos requisitos específicos de projetos de pesquisa científica. Essa abordagem atendeu aos objetivos da instituição, destacando a utilidade do AHP na tomada de decisões em contextos complexos e na seleção de projetos que melhor se alinham aos critérios estabelecidos pela instituição. Nesse cenário, destaca-se o método AHP como uma abordagem inteiramente aplicável a processos complexos, e, com as adaptações específicas pode ser aplicado para priorizar as ações qualitativas e subjetivas do ponto de vista da gestão da manutenção com níveis elevados de tecnologia e maturidade.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A dissertação em questão foca na aplicação empírica da filosofia *Lean* no departamento de manutenção de uma empresa de embalagens cartonadas localizada na região dos Campos Gerais, Paraná. Utilizando uma abordagem qualitativa, a pesquisa analisa dados não numéricos obtidos através das avaliações dos decisores e da aplicação do modelo matemático AHP (Analytic Hierarchy Process) para determinar as ações prioritárias.

A empresa estudada possui mais de 25 anos de experiência e uma presença global significativa. O principal objetivo da manutenção é a redução dos custos de produção por meio do aumento do MTBF (Mean Time Between Failures), através do aprimoramento das paradas programadas.

A metodologia adotada iniciou-se com a contextualização do tema, abordando a função da manutenção e a filosofia *Lean*, identificando a lacuna do estudo: reduzir custos de produção por meio da melhoria nas atividades de manutenção durante as paradas de Manutenção Programadas. Em seguida, definiu-se o objetivo do estudo e sua justificativa, destacando a importância econômica da indústria brasileira e a necessidade de aprimoramento dos processos produtivos.

A revisão bibliográfica abrangeu bases de dados como Scopus e Elsevier, além de fontes como livros, sites especializados, seminários, revistas e dissertações, resultando na identificação de 99 obras relevantes. Dessa revisão, foram extraídos 38 títulos e subtítulos que embasaram o desenvolvimento do estudo, abordando aspectos da manutenção, filosofia *Lean Maintenance*, *Lean Manufacturing*, TPM, OEE, AHP e Gestão de Manutenção.

O desenvolvimento do estudo se deu com elaboração de um questionário com 20 alternativas extraídas dos trabalhos bibliográficos selecionados, e da aplicação do SMED nas paradas programadas. Sendo assim, o questionário foi enviado aos 36 profissionais/decisores para que esses expressassem o nível de concordância com as alternativas apresentadas, destacando a utilização da ferramenta VOC. Utilizando-se da escala de Likert, puderam valorar as alternativas em cinco níveis, no qual 1 discorda totalmente e 5, concorda totalmente.

Os resultados expressos pelos decisores foram separados em cinco categorias, de acordo com a hierarquia dentro da empresa: operadores, especialistas em manutenção, analistas, supervisores e gerentes.

Os resultados obtidos foram inseridos nas matrizes de decisão e os pesos dos decisores, a partir do AHP, resultando numa lista com as prioridades. Assim, destacaram-se as cinco alternativas mais relevantes de cada nível hierárquico de decisores. Ao final, criou-se uma lista de prioridade geral com base na lista de prioridade de cada categoria.

Com base nesse estudo, foi possível apresentar as melhores alternativas para redução de desperdícios nas atividades de manutenção, para aumentar a eficiência das paradas para manutenção programada e a melhoria da qualidade dos serviços de manutenção, a fim de reduzir as falhas e, conseqüentemente, atingir os objetivos do departamento, o aumento do *MTBF*.

3.1 Seleção das alternativas

A seleção das alternativas foi baseada na teoria e na observação prática das atividades de manutenção durante as paradas programadas, possibilitando a construção de um questionário com 20 alternativas/solução.

3.1.1 Seleção das alternativas baseadas no referencial teórico

As alternativas selecionadas correspondem às principais ferramentas do *Lean*, escolhidas com base nos estudos mencionados no referencial teórico. Desta forma, o Quadro 6 apresenta 13 alternativas selecionadas a partir das referências bibliográficas.

Quadro 6 - Referências bibliográficas versus alternativas selecionadas

Referências Bibliográficas	Alternativas Selecionadas
Ping <i>et al.</i> (2019), Reis <i>et al.</i> (2019),	Otimização do Plano TBM (separação das atividades do <i>checklist</i> do TBM);
Duran <i>et al.</i> (2017), Sugai <i>et al.</i> (2007), Shingo, (1985), Nakamura <i>et al.</i> (2016), Kato <i>et al.</i> (2017), Shingo (1985), Zhang <i>et al.</i> (2019), Duran <i>et al.</i> (2017).	SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);
Ciano <i>et al.</i> (2021), Kamble <i>et al.</i> (2019), Tortorella <i>et al.</i> (2018).	Realização do monitoramento <i>on-line</i> todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);
Blanco <i>et al.</i> (2018), MecFlux (2022), Mouzani <i>et al.</i> (2019), Smith <i>et al.</i> , (2004), Pinto <i>et al.</i> (2020), Smith <i>et al.</i> (2004),	Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;
Duran <i>et al.</i> (2017), Kardec <i>et al.</i> (2019), Ratlalan <i>et al.</i> (2017), Duran <i>et al.</i> (2017), Murça (2012), Dias <i>et al.</i> (2022).	Aplicação da metodologia 5'S;
Duran <i>et al.</i> (2017), Deming (1990), Viero (2018), Flügel (2012), Serra <i>et al.</i> (2017), Kardec <i>et al.</i> (2019), Rodrigues (2014), Faria <i>et al.</i> (2021).	Melhora no planejamento das paradas preventiva (PDCA);

Donato <i>et al.</i> (2021), Cyrino (2016),	Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC;
Knol <i>et al.</i> (2018), Grecco (2021), Sahoo <i>et al.</i> (2020), Manfredini (2009) e Tondato <i>et al.</i> (2011), Yadav (2020).	Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma;
Utri (2020), Kardec <i>et al.</i> (2019), Dias <i>et al.</i> (2022), Ribeiro <i>et al.</i> (2019), Silva <i>et al.</i> (2021).	Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada;
Suzaki (2010), Murça (2012),	Aplicação do <i>Poka-Yoke</i> nos equipamentos;
Reis (2016), Donato <i>et al.</i> (2021), Kardec <i>et al.</i> (2019), Ratlalan <i>et al.</i> (2017).	Melhora da Gestão de peças de reposição;
Imai (2014), Piechnickl (2011), Branco (2008), Uriarte <i>et al.</i> (2020), Reis (2016), Moreira <i>et al.</i> (2022), KAIZEN INSTITUTE (2022)	Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen
Mostafa <i>et al.</i> (2015), Ribeiro <i>et al.</i> (2019), Dias <i>et al.</i> (2022), Smith (2004). Duran <i>et al.</i> (2017).	Disseminação dos conceitos do <i>Lean</i> entre os manutentores.

Fonte: Autoria própria (2024)

As alternativas selecionadas do *Lean Maintenance* representam um conjunto abrangente de abordagens destinadas a aprimorar a eficiência e a eficácia das operações de manutenção industrial. A otimização do Plano TBM e a aplicação do SMED visam reduzir o tempo de inatividade das máquinas, enquanto o monitoramento online dos equipamentos críticos, alinha a manutenção com os princípios da Indústria 4.0. O aperfeiçoamento das análises de causa raiz e a implementação da metodologia 5'S promovem uma abordagem sistemática para resolver problemas e otimizar o ambiente de trabalho. O ciclo PDCA melhora o planejamento das paradas preventivas, enquanto o fortalecimento da gestão das máquinas conforme a classificação ABC direciona recursos de forma estratégica. O *Poka-Yoke* previne erros humanos, e a gestão aprimorada de peças contribui ainda mais para a eficiência operacional.

Desta forma, essas iniciativas, aliadas ao desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen, estabelecem uma cultura de excelência e inovação dentro da equipe de manutenção.

3.1.2 Seleção das alternativas aplicado SMED nas paradas programadas

Em acordo com os estudos de Ratlalan *et al.* (2017), para tornar a pesquisa mais dinâmica e voltada para a fábrica em estudo, foi realizado o VSM no “chão de fábrica” e uma entrevista com os mantenedores, durante as paradas programadas. Qual a maior dificuldade durante as paradas programadas? Desta forma, com base nas respostas, possibilitou identificar 7 desperdícios relacionados as paradas programadas. Assim, o Quadro 7 apresenta os desperdícios e as alternativas

propostas, oferecendo uma visão abrangente das dificuldades e ferramentas propostas para promover a eficiência do processo de manutenção.

Quadro 7 - Desperdícios identificado versus alternativas proposta

Desperdício identificado	Alternativa proposta
Perda de tempo devido à dificuldade em acessar os manuais e diagrama das máquinas durante as paradas programadas;	Facilitação do acesso aos dados da máquina [Manuais e Diagramas] (elétrico, hidráulico e pneumático);
Excesso de atividades de baixo valor agregado (limpeza de máquina após intervenção);	Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;
Falta de conhecimento dos procedimentos das atividades de manutenção;	Capacitação dos mantenedores nos procedimentos das atividades da manutenção.
Falta de padrões de ajustes das máquinas;	Inserção os procedimentos nas ordens de serviço;
Dificuldade de realização das atividades complexas por falta de ferramentas específicas;	Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;
Perda de tempo se deslocando até a oficina de manutenção para acessar a bancada;	Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas preventivas;
Falta de suporte dos operadores durante as paradas programadas.	Melhora na interação entre Manutenção Autônoma e Planejada.

Fonte: Autoria própria (2024)

A aplicação do mapeamento do fluxo de valor (VSM) e a entrevista com os mantenedores, durante as paradas programadas, além de trazer para a prática a teoria da revisão bibliográfica, também foi crucial para identificar os principais desperdícios no "chão de fábrica". Essas observações permitiram a proposição de alternativas específicas para cada desperdício.

Essas iniciativas visam aumentar a eficiência e a precisão das operações de manutenção. A transferência de atividades de baixo valor agregado para mão de obra terceirizada e a disponibilização de uma bancada de manutenção próxima às máquinas são medidas que otimizam o uso de recursos e reduzem movimentações desnecessárias. A inserção de procedimentos detalhados nas ordens de serviço padroniza os ajustes das máquinas, enquanto treinamentos regulares promovem uma cultura de melhoria contínua.

Assim, o VSM aplicado durante as paradas programadas não só identifica perdas, mas também oferece um caminho claro para melhorias. Isso resulta em operações de manutenção mais eficientes e confiáveis contribuindo para a sustentabilidade e o sucesso da empresa a longo prazo.

3.2 Seleção dos critérios e escala

Os critérios adotados nesta pesquisa foram identificados e baseados em uma escala ordinal, especificamente, na escala de *Likert* de 5 pontos, resultando na criação

de uma escala de pontuação para cada alternativa, observados na Tabela 2. Dado que as alternativas em questão apresentam uma natureza qualitativa, a escala de mensuração *Likert* proporcionar aos decisores uma percepção da solução-problema.

Discordo totalmente	1
Discordo	2
Não concordo nem discordo	3
Concordo	4
Concordo totalmente	5

Fonte: Likert (1932)

Esse método utiliza índices de concordância e discordância, fundamentado na sobreclassificação, incorporando as preferências estabelecidas pelo decisor diante do problema e das alternativas. Em situações de incerteza em relação a uma alternativa, a obtenção de conhecimento junto a especialistas no assunto é viável, sendo que o conhecimento desses especialistas é expresso em termos de valor, representando o julgamento de uma pessoa em relação a um item mensurável. Nesse contexto, o decisor estabelece pesos e avaliações para cada alternativa em relação a cada critério (VIERO, 2018).

3.3 Seleção dos decisores

Após definir o nível de concordância das alternativas, foram selecionados os decisores, levando-se em consideração o tempo de experiência no setor produtivo e a maturidade no uso das ferramentas do *Lean Manufacturing*.

Dessa forma, os decisores que fizeram parte desta pesquisa são profissionais com mais de 10 anos de experiência no desenvolvimento de grupos de melhoria, utilizando as ferramentas do *Lean Manufacturing*.

Por conseguinte, foram entrevistados 36 profissionais, os quais foram subdivididos em cinco grupos conforme a hierarquia dentro da empresa: gerentes, supervisores, especialistas em manutenção, analistas e operadores de máquinas, formando, assim, um time multidisciplinar com *expertise* no *Lean Manufacturing*.

Nesse contexto, observa-se que tanto a empresa quanto os decisores são aptos a fazerem parte desta pesquisa. Nessa abordagem, além de atender uma das principais ferramentas do *Lean*, Voz do Cliente (VOC), garantiu uma representação abrangente dos diferentes níveis de experiência e responsabilidades dentro da organização, contribuindo para a validade e relevância dos resultados obtidos.

3.4 Aplicação da entrevista

A entrevista foi conduzida via correio eletrônico (*e-mail*) devido à presença de decisores em plantas localizadas em outros países, mas com a premissa de 10 anos de experiência no *site* em estudo. Desta forma, foi enviado o questionário, conforme Quadro 8, para que os decisores avaliassem as alternativas para à solução-problema.

Quadro 8 - Escala de concordância Likert

ALTERNATIVAS		1	2	3	4	5
A1	Otimização do Plano TBM (separação das atividades do <i>checklist</i> do TBM);					
A2	SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);					
A3	Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);					
A4	Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;					
A5	Aplicação da metodologia 5'S;					
A6	Melhora do planejamento das paradas preventivas (PDCA);					
A7	Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC;					
A8	Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e pneumático));					
A9	Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma;					
A10	Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada;					
A11	Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos;					
A12	Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;					
A13	Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção;					
A14	Inserção os procedimentos nas ordens de serviço;					
A15	Melhora da Gestão de peças de reposição;					
A16	Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;					
A17	Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas preventivas;					
A18	Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada;					
A19	Desenvolvimento de Grupos de melhoria contínua - Kaizen;					
A20	Disseminação os conceitos do <i>Lean</i> entre os manutentores.					

Fonte: Autoria própria (2024)

Após a coleta das respostas dos decisores utilizando a escala Likert para medir o grau de concordância, foi possível preencher o quadro das matrizes de avaliação - Apêndice A - de acordo com a hierarquia de cada entrevistado. Essa abordagem permitiu estabelecer as prioridades das alternativas, utilizando as respostas fornecidas pelos decisores. Assim, ao realizar o cálculo das prioridades com base nas informações coletadas, proporcionou uma avaliação precisa e fundamentada nas alternativas disponíveis.

Essa metodologia robusta e sistemática garante uma tomada de decisão embasada e transparente, alinhada com as preferências e perspectivas dos decisores envolvidos no estudo. Ao adotar essa abordagem, torna-se possível identificar e selecionar as alternativas mais adequadas para atender aos objetivos e necessidades específicas do contexto em questão, promovendo, assim, resultados eficazes e alinhados com as expectativas do grupo de decisão.

3.5 Definição dos pesos dos decisores

De posse dos dados da entrevista, definiram-se os níveis de importância dos decisores conforme a hierarquia dentro da empresa. Desta forma, foi possível realizar a comparação pareada entre os decisores, através da escala de Saaty apresentada no Quadro 9. Com isto, a análise da matriz de julgamento revelou a posição dos tomadores de decisão, cujos níveis de importância foram adotados de forma consensual, indicando quais decisores têm maior relevância na solução de problemas.

Quadro 9 - Escala de importância dos decisores

Escala	Julgamento	Descrição
Igual importância	1	Os dois elementos comparados contribuem igualmente para o objetivo.
Importância Moderada	3	O elemento comparado é ligeiramente importante ao outro.
Mais importante	5	A experiência e o julgamento favorecem fortemente o elemento em relação ao outro.
Muito importante	7	O elemento comparado é muito mais forte em relação ao outro, e tal importância pode ser observada na prática.
Importância extrema	9	O elemento comparado apresenta o mais alto nível de evidência possível a seu favor.

Fonte: Saaty (1991)

Porém, para iniciar a análise dos dados, foi crucial avaliar a consistência de cada nível hierárquico, os quais deveriam ter valores de $RC \leq 0,10$, conforme definido por Saaty (1991), que afirma que quanto maior o RC, maior será a inconsistência. Nas primeiras matrizes de avaliação construída, os resultados desse índice foram acima de 0,10, ultrapassando os parâmetros aceitáveis de tolerância estabelecidos. Diante disso, tornou-se necessário reavaliar os julgamentos para identificar as inconsistências até estabelecer um valor abaixo de 0,10.

3.5.1 Definição dos pesos nível hierárquico operadores

Os pesos foram definidos considerando o grau de importância entre os diferentes níveis hierárquicos e setores de atuação dos decisores. Na classe dos operadores, foi estabelecido um nível de igual importância (1) entre os operadores, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Definição dos pesos operadores

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO AHP (PESOS DOS CRITÉRIOS)							
X	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	AutoVetor	Pesos %
OP1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
OP2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
OP3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
OP4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
OP5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
Σ	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	100,0%
					λ_{max}	4,000	
						0,000	
					RC =	0,000	Ideal $\leq 0,10$

Fonte: Autoria própria (2024)

O resultando apresentou uma porcentagem de 20% para cada decisor, assim, assegurando uma distribuição equitativa de influência. Desta forma, os pesos foram inseridos na matriz de avaliação dos operadores, demonstrado no Quadro 14 do Apêndice A, o qual foi atribuído o posicionamento de cada operador/decisor em concordância com a escala *Likert* para cada alternativa. Sendo assim, possível a determinação das cinco alternativas prioritárias no nível hierárquico dos operadores.

3.5.2 Definição dos pesos nível hierárquico especialistas em manutenção

No nível hierárquico dos especialistas em manutenção, foi aplicado o mesmo princípio utilizado para os operadores, estabelecendo que o grau de importância entre os decisores dessa classe é de igual importância (1), conforme evidenciado na Tabela 4.

Tabela 4 - Definição dos pesos especialistas em manutenção

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO AHP (PESOS DOS CRITÉRIOS)								
X	EM1	EM2	EM3	EM4	EM5	EM6	AutoVetor	Pesos %
EM1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
EM2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
EM3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
EM4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
EM5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
EM6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
Σ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	100,0%
						λ_{max}	6,000	
							0,000	
						RC =	0,000	Ideal $\leq 0,10$

Fonte: Autoria própria (2024)

Conseqüentemente, resultando num peso de 17% para cada integrante dessa classe.

Essa abordagem garante uma distribuição equilibrada de influência e participação na avaliação das alternativas, entre a hierarquia dos especialistas, promovendo uma tomada de decisão mais representativa e inclusiva dentro da equipe de manutenção.

Assim, ao atribuir os valores dos pesos aos decisores da matriz de avaliação dos especialistas em manutenção no Quadro 15 do Apêndice A, foi possível determinar as cinco alternativas de maior relevância.

3.5.3 Definição dos pesos nível hierárquico analistas

Diferente dos níveis de importância utilizados para os operadores e especialistas em manutenção, num consenso entre os decisores desta classe, foi definido que o nível de importância entre os analistas seria com base na área de atuação. Sendo assim, o Quadro 10 apresenta a escala Saaty da importância atribuída para cada decisor.

Quadro 10 - Níveis de importância entre os analistas

Decisores			
Analista Manutenção 1	AN1	5	Melhor
Analista Manutenção 2	AN2	5	Melhor
Analista Manutenção 3	AN3	5	Melhor
Analista Manutenção 4	AN4	5	Melhor
Analista Produção 1	AN5	3	Um pouco melhor
Analista Produção 2	AN6	3	Um pouco melhor
Analista Produção 3	AN7	3	Um pouco melhor
Analista_WCM_1	AN8	1	Igual Importância

Fonte: Autoria própria (2024)

Observa-se que os analistas do setor da manutenção, foram atribuídos valores de melhor importância (5), pois além do conhecimento das ferramentas *Lean* possuem o conhecimento técnico das ferramentas da manutenção. Desta forma, os valores de importância foram inseridos na matriz de avaliação do AHP da Tabela 5, para definir os pesos dos analistas.

Tabela 5 - Definição dos pesos analistas

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO AHP (PESOS DOS CRITÉRIOS)										
	AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6	AN7	AN8	AutoVetor	Pesos %
AN1	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	1,846	0,21
AN2	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	1,846	0,21
AN3	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	1,846	0,21
AN4	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	1,846	0,21
AN5	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	0,662	0,08
AN6	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	0,662	0,08
AN7	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	0,662	0,08
AN8	0,20	0,20	0,20	0,20	0,33	0,33	0,33	1,00	0,296	0,03
Σ	5,20	5,20	5,20	5,20	15,33	15,33	15,33	30,00	8,71	100,0%
									λ_{max}	
									8,928	
									0,133	
									RC =	0,094
										Ideal \leq 0,10

Fonte: Autoria própria (2024)

Com isto, ao realizar o cálculo matemático na escala de Saaty, foi possível determinar os pesos dos analistas, sendo: 21% para os analistas de manutenção, 8% para os analistas de produção e 3% para o analista de WCM.

Com os valores dos pesos dos decisores, foram determinadas as alternativas de maior prioridade, por intermédio da matriz de avaliação dos analistas, conforme observado na Quadro 16 do Apêndice A.

3.5.4 Definição dos pesos nível hierárquico supervisores

Semelhante aos níveis de importância utilizados para os analistas, definiu-se que o grau de importância entre os supervisores seria baseado na área de atuação de cada decisor. Dessa forma, o Quadro 11 apresenta a escala Saaty com os níveis de importância atribuídos aos supervisores. Essa abordagem personalizada considerou as especificidades das funções e responsabilidades de cada supervisor.

Quadro 11 - Níveis de importância dos supervisores

Decisores			
Supervisor_Manutenção_1	SM1	3	Um pouco melhor
Supervisor_Manutenção_2	SM2	3	Um pouco melhor
Supervisor_Produção_1	SP1	1	Igual Importância

Supervisor_Produção_2	SP2	1	Igual Importância
Supervisor_Produção_3	SP3	1	Igual Importância
Supervisor_Produção_4	SP4	1	Igual Importância

Fonte: Autoria própria (2024)

No entanto, ao analisar o Quadro 11, percebe-se que o nível de importância atribuído aos supervisores de manutenção é apenas um pouco melhor (3) ao dos supervisores de produção. Pois, embora os supervisores de manutenção possuam conhecimento especializado em gestão de manutenção, os supervisores de produção são os principais clientes da manutenção e são os mais interessados nas decisões relacionadas à manutenção.

Desta forma, ao aplicar esses valores na matriz de avaliação do AHP (Tabela 6), foi possível mensurar os pesos dos supervisores.

Tabela 6 - Definição dos pesos supervisores

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO AHP (PESOS DOS CRITÉRIOS)								
	SM1	SM2	SP1	SP2	SP3	SP4	AutoVetor	Pesos %
SM1	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,080	0,30
SM2	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,080	0,30
SP1	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,693	0,10
SP2	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,693	0,10
SP3	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,693	0,10
SP4	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,693	0,10
Σ	3,33	3,33	10,00	10,00	10,00	10,00	6,93	100,0%
							λ_{max}	
							6,000	
							0,000	
							RC =	
							0,000	Ideal $\leq 0,10$

Fonte: Autoria própria (2024)

Desta forma, foi possível obter os pesos de 30% para os supervisores da manutenção e 10% para os supervisores da produção. Essa diferenciação de pesos reflete a importância relativa de cada grupo de supervisores. Nessa abordagem considera as diferentes áreas de *expertise* e responsabilidades de cada grupo de supervisores, garantindo uma representação equilibrada de suas contribuições na tomada de decisão.

Com isto, foi possível aplicar os pesos na matriz de avaliação dos supervisores no Quadro 17 do Apêndice A, foram determinadas as cinco alternativas mais relevantes.

3.5.5 Definição dos pesos nível hierárquico gerentes

A definição dos pesos para os decisores desta classe foi realizada em duas partes. Na primeira etapa, considerou-se a área de atuação de cada decisor, sendo

atribuído o nível de importância conforme demonstrado no Quadro 12, a fim de determinar as cinco alternativas de maior relevância para este grupo específico de decisores. Isso permitiu uma abordagem mais personalizada, levando em conta as diferentes responsabilidades e expertise de cada gerente na organização.

Na segunda parte, os gerentes foram divididos em duas categorias: aqueles atuantes na empresa em questão e aqueles transferidos para outras unidades do grupo. Essa divisão foi fundamental para garantir uma análise dinâmica, incorporando a experiência internacional de alguns gerentes. Considerando as diferentes perspectivas e experiências dos gerentes, foi possível comparar as ações mais eficazes em outros sites da organização, proporcionando uma visão mais abrangente e informada para a tomada de decisões.

Quadro 12 - Níveis de importância dos gerentes

Decisores			
Gerente_Manutenção_1	GM1	7,00	Muito importante
Gerente_Manutenção_2	GM2	7,00	Muito importante
Gerente_Manutenção_3	GM3	7,00	Muito importante
Gerente_Produção_1	GP1	5,00	Mais importante
Gerente_Produção_2	GP2	5,00	Mais importante
Gerente_Produção_3	GP3	5,00	Mais importante
Gerente_Produção_4	GP4	5,00	Mais importante
Gerente_Projetos	GPJ1	5,00	Mais importante
Gerente_Qualidade	GQ1	3,00	Importância Moderada
Gerente_WCM	GW1	3,00	Importância Moderada
Gerente_Logistica	GL1	1,00	Igual importância

Fonte: Autoria própria (2024)

Ao examinar o Quadro 12, nota-se diferentes níveis de importância atribuídos aos gerentes conforme a área de atuação dentro da empresa, com maior ênfase nos gerentes de manutenção e produção devido ao impacto direto nos resultados da manutenção. Essa análise detalhada permitiu uma priorização eficiente das alternativas, contribuindo para decisões mais informadas pelos gestores. A aplicação dos níveis de importância na matriz de avaliação do AHP (Tabela 7), possibilitou determinar os pesos dos gerentes, refletindo sua contribuição relativa no processo decisório. Essa abordagem assegura uma análise precisa das perspectivas e contribuições dos decisores na hierarquia.

Tabela 7 - Definição dos pesos supervisores

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO AHP (PESOS DOS CRITÉRIOS)													
	GM1	GM2	GM3	GP1	GP2	GP3	GP4	GPJ1	GQ1	GW1	GL1	AutoVetor	Pesos %
GM1	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	7,00	2,390	0,19
GM2	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	7,00	2,390	0,19
GM3	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	7,00	2,390	0,19
GP1	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	1,000	0,08
GP2	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	1,000	0,08
GP3	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	1,000	0,08
GP4	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	5,00	0,896	0,07
GPJ1	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,577	0,05
GQ1	0,20	0,20	0,20	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	0,398	0,03
GW1	0,20	0,20	0,20	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	3,00	0,356	0,03
GL1	0,14	0,14	0,14	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,33	0,33	1,00	0,200	0,02
Σ	5,07	5,07	5,07	14,00	14,00	14,00	14,67	21,33	30,00	32,00	52,00	12,40	100,0%
												λmax	11,094
													0,009
												RC =	0,006
													Ideal ≤ 0,10

Fonte: Autoria própria (2024)

Conseqüentemente, obteve-se diferentes pesos para cada decisor, atrelado a área de atuação, sendo que os maiores pesos foram para os gerentes de manutenção com 19%, gerentes de produção 8%. Essa diferenciação de pesos reflete a importância relativa de cada grupo de gerentes. Assim como no nível hierárquico dos supervisores, essa abordagem considera as diferentes áreas de expertise e responsabilidades de cada gerente, garantindo uma representação equilibrada de suas contribuições na tomada de decisão.

Com isto, foi possível aplicar os pesos na matriz de avaliação dos gerentes no Quadro 18 - Apêndice A, sendo possível determinar as cinco alternativas mais relevantes, no ponto de vista dos gerentes.

3.5.5.1 Definição dos pesos nível hierárquico dos gerentes - planta objeto de estudo

Para a realização da segunda parte, foi considerado que os gerentes possuem igual importância (1). Ao aplicar esse critério na matriz de avaliação do AHP da Tabela 8, foi possível determinar os pesos dos gerentes.

Tabela 8 - Gerentes atuantes na planta em estudo

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO AHP (PESOS DOS CRITÉRIOS)								
X	G1	G3	G3	G4	G5	G6	AutoVetor	Pesos %
GM2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
GP1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
GP3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
GPJ1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
GQ1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
GL1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,17
Σ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	100,0%
						λ_{max}	6,000	
							0,000	
						RC =	0,000	Ideal $\leq 0,10$

Fonte: Autoria própria (2024)

Desse modo, para os gerentes da planta, foi matematicamente definido o peso de 17% para cada gerente, assegurando uma distribuição justa e igualitária da responsabilidade entre os gerentes da planta. Ao atribuir o mesmo peso a todos os gerentes, foi possível garantir uma representação equilibrada de suas contribuições no processo de tomada de decisão.

Por conseguinte, foi aplicado os pesos na matriz de avaliação dos gerentes no Quadro 19 do Apêndice A, determinando, assim, as cinco alternativas prioritária, na perspectiva dos gerentes da fábrica objeto de estudo.

3.5.5.2 Definição dos pesos nível hierárquico dos gerentes - experiência internacional

Da mesma forma foi reconhecido que todos os gerentes têm igual importância (1). Ao empregar este critério na matriz de avaliação do AHP apresentada na Tabela 9, foi possível estabelecer os pesos relativos dos gerentes.

Tabela 9 - Gerentes com experiência internacional

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO AHP (PESOS DOS CRITÉRIOS)							
X	G1	G3	G5	G7	G10	AutoVetor	Pesos %
GM1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
GM3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
GP2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
GP4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
GL1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,20
Σ	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	100,0%
					λ_{max}	4,000	
						0,000	
					RC=	0,000	Ideal $\leq 0,10$

Fonte: Autoria própria (2024)

Assim, para os gerentes com experiência internacional, foi estabelecido que cada gerente teria um peso de 20%, garantindo assim uma distribuição justa e igualitária entre os decisores. Atribuindo o mesmo peso aos gerentes, garante uma percepção equilibrada de suas contribuições no processo de tomada de decisão.

Logo, os pesos foram utilizados na matriz de avaliação dos gerentes conforme o Quadro 20 do Apêndice A, resultando na determinação das cinco alternativas prioritárias, demonstrando o ponto de vista dos gerentes com experiência internacional.

3.5.6 Definição do grau de importância das hierarquias

Para a priorização das alternativas de modo geral, num consenso entre os decisores, foram estabelecidos diferentes valores de importância, de acordo com a hierarquia de decisão dentro da empresa. Dessa forma, o Quadro 13 demonstra a importância adotada para cada nível hierárquico dos decisores.

Quadro 13 - Nível de importância dos decisores por hierarquia

Decisores		
Gerente	5,00	Mais importante
Supervisores	5,00	Mais importante
Analistas	3,00	Importância Moderada
Especialistas em manutenção	1,00	Igual importância
Operadores	1,00	Igual importância

Fonte: Autoria própria (2024)

Com isto, observa-se que, quanto maior o nível hierárquico, maior é a importância na tomada de decisões dentro da empresa, em virtude do grau de responsabilidade dos indicadores de fábrica. Assim, os níveis de superiores e gerentes, foi atribuído o nível de mais importante por terem a tarefa de analisar dados complexos e tomar decisões estratégicas que impactam diretamente o desempenho da organização. Além disso, a responsabilidade pelos resultados se intensifica, exigindo uma maior competência e conhecimento detalhado dos processos produtivos.

A tomada de decisão nestes níveis não apenas afeta a eficiência operacional, mas também a competitividade e sustentabilidade a longo prazo da empresa. Portanto, a experiência dos líderes de alto nível são essenciais para assegurar que as decisões tomadas sejam as mais acertadas possíveis, refletindo diretamente no sucesso global da empresa.

3.5.7 Definição dos pesos por nível hierárquico

Ao aplicar os valores do grau de importância na matriz de avaliação do AHP da Tabela 10, possibilitou-se determinar o peso dos decisores por nível hierárquico.

Tabela 10 - Matriz de avaliação AHP por hierarquia

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO AHP (PESOS DOS CRITÉRIOS)							
	GER	SUP	AN	EM	OP	AutoVetor	Pesos %
GER	1,00	1,00	3,00	5,00	5,00	2,371	0,36
SUP	1,00	1,00	3,00	5,00	5,00	2,371	0,36
AN	0,33	0,33	1,00	3,00	3,00	1,000	0,15
EM	0,20	0,20	0,33	1,00	1,00	0,422	0,06
OP	0,20	0,20	0,33	1,00	1,00	0,422	0,06
Σ	2,73	2,73	7,67	15,00	15,00	6,59	100,0%
					λ_{max}	5,053	
						0,013	
					RC=	0,012	Ideal $\leq 0,10$

Fonte: Autoria própria (2024)

Desse modo, os pesos definidos para cada nível hierárquico foram: 36% para os gerentes e supervisores, 15% para os analistas e 6% para os especialistas em manutenção e operadores. Após a definição dos pesos, com a utilização da matriz de avaliação geral, Quadro 21 do Apêndice A, foi possível determinar as cinco alternativas prioritárias para o grupo de profissionais que participaram dessa pesquisa, na qual inseriram-se os valores dos pesos dos níveis hierárquicos. Porém, para os valores das alternativas de cada elemento, foram utilizadas as médias calculadas das matrizes de cada nível hierárquico.

Dessa forma, este método garantiu uma análise equilibrada e justa, refletindo a importância relativa de cada grupo na organização. A inclusão das médias ponderadas permitiu que as decisões fossem baseadas em uma visão holística, contemplando diferentes perspectivas dentro da empresa. Sendo assim, a metodologia aplicada assegurou que as alternativas escolhidas fossem aquelas com maior consenso e relevância estratégica. Além disso, a estruturação dos pesos ajudou a identificar claramente as áreas que demandam maior atenção e recursos, alinhando as decisões às necessidades operacionais e estratégicas da organização.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação das matrizes de avaliação presentes no Apêndice A. A utilização deste método permitiu identificar as principais alternativas e ações do ponto de vista dos decisores, capazes de melhorar a performance da manutenção.

Ao final da seção, são apresentadas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros, além das implicações decorrentes da aplicação do método nas atividades de manutenção. Os resultados demonstram como as estratégias identificadas podem otimizar processos, aumentar a eficiência e reduzir custos. As conclusões destacam a eficácia do método utilizado e fornecem recomendações práticas para sua implementação contínua. As sugestões para trabalhos futuros incluem a análise de novas variáveis e a adaptação do método a diferentes contextos operacionais, buscando sempre aprimorar a manutenção e a gestão de ativos.

4.1 Resultado matriz de avaliação Operadores

Ao analisar a matriz de avaliação dos operadores no Quadro 14 - Apêndice A, observa-se as preferências em relação às alternativas resultando assim, na Tabela 11, com a priorização das alternativas nível operadores.

Tabela 11 - Priorização das alternativas nível operadores

<u>Priorização</u>	<u>Alternativas</u>
1	A1
2	A2
2	A10
2	A13
2	A15
6	A16
7	A7
8	A9
9	A11
9	A4
9	A5
12	A17
13	A12
13	A18
15	A3
16	A6
17	A19
17	A8
19	A14
20	A20

Fonte: Autoria própria (2024)

Dessa forma, as cinco alternativas mais relevantes apontados pelos operadores foram:

- 1) A1 - Otimização do plano TBM (separação das atividades do *checklist* do TBM);
- 2) A2 - SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);
- 3) A10 - Desenvolvimento dos seis passos da Manutenção Planejada;
- 4) A13 - Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção; e,
- 5) A15 - Melhora na gestão de peças de reposição.

Entretanto, observa-se que as alternativas A2, A10, A13 e A15 possuem o mesmo nível de prioridade, ocupando a segunda posição. Esse fato ocorre devido ao grande número de operadores que qualificaram essas alternativas como muito importantes.

Se, por um lado, tem suas vantagens identificar que estas alternativas estão na segunda posição entre as cinco prioritárias, por outro lado, há uma dificuldade em determinar qual alternativa necessita de maior esforço para implementação. Essa dificuldade surge porque todas as alternativas empatadas exigem uma análise mais detalhada para discernir suas necessidades específicas. Assim, torna-se necessário um número maior de decisores para avaliar criteriosamente cada uma dessas alternativas, garantindo uma alocação eficiente dos recursos e esforços. Este aumento no número de decisores pode ajudar a esclarecer as prioridades e facilitar a implementação das ações mais impactantes para a melhoria da manutenção.

4.2 Resultado matriz de avaliação Especialistas Manutenção

A Tabela 12, elaborada com base na matriz de avaliação dos especialistas em manutenção do Quadro 15 - Apêndice A, apresenta a priorização das alternativas de forma estruturada e objetiva.

Logo, esse processo permitiu identificar as ações prioritária, a serem tomadas com base nas avaliações dos especialistas em manutenção, contribuindo para uma tomada de decisão eficaz.

Tabela 12 - Priorização das alternativas especialistas em manutenção

<u>Priorização</u>	<u>Alternativas</u>
1	A13
2	A1
2	A4
2	A8
5	A12
5	A14
5	A16
5	A17
9	A3
9	A6
9	A7
9	A15
9	A20
14	A2
14	A18
16	A5
17	A9
17	A10
17	A11
20	A19

Fonte: Autoria própria (2024)

Sendo assim, para o nível dos especialistas em manutenção, as cinco alternativas mais relevantes foram:

- 1) A13 - Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção;
- 2) Na segunda posição ficaram as alternativas:
 - a) A1 - Otimização do plano TBM (separação das atividades do *checklist* do TBM);
 - b) A4 - Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;
 - c) A8 - Facilitação do acesso aos dados da máquina [manuais, procedimentos e diagramas] (elétrico, hidráulico e pneumático);
- 3) Na quinta posição ficaram as alternativas:
 - a) A12 - Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;
 - b) A14 - Inserção os procedimentos nas ordens de serviço;
 - c) A16 - Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;
 - d) A17- Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas preventivas.

Semelhante ao ocorrido na matriz de avaliação dos operadores, observa-se um empate nas prioridades das alternativas no segundo e quinto lugares, dificultando assim determinar as alternativas de maior prioridade. Este empate demonstra a

necessidade de um processo de avaliação mais robusto e detalhado, que considere diversos critérios além das opiniões dos mantenedores.

Dessa forma, evidencia-se a importância de obter perspectivas externas à manutenção, incluindo opiniões de gestores, analistas e operadores, para determinar quais alternativas têm maior relevância na solução do problema. A inclusão de uma visão multidisciplinar tende a ajudar a esclarecer quais ações trarão os maiores benefícios e facilitar a implementação de soluções mais eficazes e alinhadas com os objetivos estratégicos da organização.

4.3 Resultado matriz de avaliação Analistas

Os resultados obtidos após a inserção dos valores do nível de importância e pesos na matriz de avaliação dos analistas, Quadro 16 do Apêndice A, foi possível construir a Tabela 13 com a priorização das alternativas.

Tabela 13 - Priorização das alternativas analistas

Prioridades	Alternativas
1	A3
2	A4
3	A13
4	A8
5	A19
6	A1
7	A18
8	A2
9	A15
10	A7
11	A16
12	A11
13	A14
14	A9
15	A10
16	A5
17	A20
18	A6
19	A17
20	A12

Fonte: Autoria própria (2024)

Desse modo, a classificação das cinco alternativas de maior prioridade foram:

- 1) A3 - Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);

- 2) A4 - Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;
- 3) A13 - Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção;
- 4) A8 - Facilitação do acesso aos dados da máquina [manuais, procedimentos e diagramas] (elétrico, hidráulico e pneumático); e,
- 5) A19 - Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen.

Com uma visão mais analítica por parte dos analistas, observa-se um ponto de vista com tendências mais tecnológicas para a solução do problema, sendo a alternativa mais importante a implementação do monitoramento online das máquinas críticas do processo. Dessa forma, alinha-se ao trabalho realizado por Tortorella e Fettermann (2018), os quais concluíram que, embora a Indústria 4.0 não seja uma ferramenta desenvolvida dentro dos conceitos da filosofia *Lean*, a utilização dessa técnica visa à otimização do processo por meio do monitoramento em tempo real das condições dos equipamentos.

Deste modo, um enfoque tecnológico permite uma gestão mais precisa e eficiente dos recursos, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a produtividade geral. A integração de tecnologias avançadas, como sensores IoT e análises de dados em tempo real, proporciona uma visão mais abrangente e proativa da manutenção, antecipando falhas e garantindo a continuidade operacional.

4.4 Resultado matriz de avaliação Supervisores

A partir do Quadro 17 - Apêndice A, foi possível identificar as opções mais pertinentes para a resolução do problema, conforme apresentado na Tabela 14, no nível hierárquico dos supervisores. Esta análise considerou as diferentes perspectivas e contribuições dos supervisores envolvidos, baseando-se em suas áreas de atuação. A diversidade de experiências e conhecimentos dos supervisores permitiu uma avaliação mais completa e detalhada, ajudando a destacar as alternativas com maior potencial de impacto positivo na solução do problema. Essa abordagem colaborativa e multifacetada assegura que as decisões tomadas sejam bem fundamentadas e alinhadas com os objetivos estratégicos da organização.

Tabela 14 - Priorização das alternativas supervisores

Prioridade	Alternativa
1	A4
2	A11
3	A3
4	A13
5	A7
5	A19
7	A9
8	A2
9	A18
10	A10
11	A8
11	A16
13	A6
14	A5
15	A17
16	A15
16	A20
18	A1
19	A12
19	A14

Fonte: Autoria própria (2024)

Da mesma forma que as classes hierárquicas anteriores, as cinco alternativas de maior relevância foram:

- 1) A4 - Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;
- 2) A11 - Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos;
- 3) A3 - Realizar o monitoramento on-line de todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);
- 4) A13 - Capacitação dos manutenedores nos procedimentos das atividades da manutenção; e,
- 5) Na quinta posição ficaram com as alternativas:
 - a) A7 - Melhorar a gestão das máquinas conforme classificação ABC e;
 - b) A19 - Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - *Kaizen*;

Com base nas cinco alternativas priorizadas pelos supervisores, observa-se uma tendência para evitar a recorrência das falhas, como o aperfeiçoamento das Análises de Causa Raiz e o emprego de *Poka-Yoke*, gabaritos à prova de erros. Isto demonstra que a reincidência de falhas é o que mais está impactando o desempenho do processo na perspectiva dos supervisores. Além disso, a ênfase em métodos

preventivos reflete uma abordagem proativa para manter a integridade dos sistemas operacionais.

Desta forma, observa-se um posicionamento mais alinhado aos trabalhos de Blanco e Dederichs (2018), que indicam que as causas raízes dos problemas não são visíveis, exigindo uma investigação aprofundada. Assim, é necessário realizar uma análise detalhada dos incidentes, incluindo a coleta de dados precisos, gráficos comportamentais dos equipamentos e a identificação possíveis anomalias que precederam a falha. Esse processo detalhado de investigação permite identificar de maneira mais eficaz as causas subjacentes e implementar soluções robustas.

4.5 Resultado matriz de avaliação Gerentes - primeira parte

Os resultados obtidos com a aplicação dos níveis de importância e dos pesos na matriz de avaliação dos gerentes, conforme apresentado no Quadro 18 - Apêndice A, permitiram determinar as cinco alternativas de maior relevância para o grupo, demonstradas na Tabela 15. Essa abordagem metodológica possibilitou uma análise criteriosa das opções, refletindo a prioridade estratégica dada pelos gerentes para direcionar as tomadas de decisões e otimizar as atividades de manutenção, a fim de direcionar esforços para as alternativas de maior impacto na organização.

Tabela 15 - Priorização das alternativas gerentes

(continua)

Prioridade	Alternativa
1	A13
2	A3
3	A4
4	A10
5	A9
6	A16
7	A11
8	A8
9	A15
10	A2
11	A19
12	A1
13	A18
14	A7
15	A14
16	A6
17	A20

Tabela 15 - Priorização das alternativas gerentes**(conclusão)**

Prioridade	Alternativa
18	A17
19	A5
20	A12

Fonte: Autoria própria (2024)

Sendo assim, as cinco alternativas de maior importância foram:

- 1) A13 - Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção;
- 2) A3 - Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);
- 3) A4 - Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;
- 4) A10 - Desenvolvimento dos seis passos da Manutenção Planejada;
- 5) A9 - Fortalecimento dos sete passos da Manutenção Autônoma.

Ao analisar as cinco alternativas de maior impacto na perspectiva dos gerentes, observa-se uma tendência clara na qualificação e capacitação tanto dos manutentores quanto dos operadores, visando o desenvolvimento das atividades com maior eficiência.

Esta ênfase na formação e capacitação indica a importância atribuída à melhoria contínua das habilidades dos profissionais, garantindo que estejam bem-preparados para enfrentar desafios técnicos e operacionais. Além disso, o aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz e o uso de tecnologias avançadas, como o monitoramento on-line, demonstram um compromisso com a detecção precoce de anomalias nos ativos, prevenindo falhas e aumentando a confiabilidade dos processos. Essa abordagem integrada não apenas aprimora a eficiência operacional, mas também promove uma cultura de prevenção e inovação tecnológica dentro da organização.

4.6 Resultado matriz de avaliação Gerentes - segunda parte

Após ser atribuído os pesos e os valores de importância de cada gerente, nas matrizes de avaliação dos gerentes atuantes na fábrica objeto de estudo e com experiência internacional, conforme demonstrado nos Quadros 19 e 20 - Apêndice A, possibilitou a obtenção da priorização das alternativas conforme apresentado na Tabela 16. Por conseguinte, foi possível determinar/comparar as cinco alternativas de

maior relevância para cada grupo de gerentes, proporcionando uma visão clara das ações prioritárias a serem tomadas com base nas avaliações e experiência dos gerentes. Conseqüentemente, contribuindo para uma tomada de decisão mais informada e alinhada com os objetivos estratégicos globais da organização.

Tabela 16 - Priorização das alternativas das categorias de gerentes

Gerentes atuantes na fábrica em estudo		Gerentes com experiência internacional	
Prioridade	Alternativa	Prioridade	Alternativa
1	A3	1	A4
2	A13	2	A13
3	A1	3	A3
4	A2	3	A8
5	A4	3	A9
6	A18	6	A10
7	A9	6	A11
7	A11	6	A19
9	A10	9	A7
9	A15	9	A14
11	A19	9	A16
12	A14	9	A18
13	A16	13	A1
14	A7	13	A6
15	A6	15	A15
16	A5	16	A20
16	A8	17	A2
18	A20	17	A17
19	A17	19	A5
20	A12	19	A12

Fonte: Autoria própria (2024)

Para a classe dos gerentes atuantes na planta objeto de estudo, as cinco alternativas de maior relevância foram:

- 1) A3 - Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);
- 2) A13 - Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção;
- 3) A1 - Otimização do plano TBM (separação das atividades do *checklist* do TBM);
- 4) A2 - SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas); e,
- 5) A4 - Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz.

Já para a classe dos gerentes com experiência internacional, as cinco alternativas de maior relevância são:

- 1) A4 - Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;

- 2) A13 - Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção;
- 3) Em terceiro lugar ficaram as alternativas:
 - a) A3 - Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);
 - b) A8 - Facilitação do acesso aos dados da máquina [manuais, procedimentos e diagramas] (elétrico, hidráulico e pneumático);
 - c) A9 - Capacitar / Suportar a Manutenção Autônoma nas paradas preventivas.

Observou-se um consenso significativo entre os gerentes, evidenciado pelo fato das alternativas A3, A4 e A13 surgiram entre as cinco principais em ambas as categorias. Essa convergência destaca a importância atribuída à introdução da indústria 4.0 no diagnóstico de falhas, aprimorando as análises de falhas com a implementação de ações mais eficaz, bem como o investimento na capacitação dos manutentores. Tais medidas emergem como prioridades tanto para os gerentes atuantes na fábrica em estudo quanto para aqueles com experiência internacional.

Essa consistência nas escolhas reflete um alinhamento das expectativas dos gerentes em relação ao departamento de manutenção. Indica também uma compreensão compartilhada dos desafios enfrentados e das estratégias necessárias para impulsionar a eficiência e a eficácia das operações de manutenção, demonstrando a sinergia e a cooperação entre os gestores, fortalecendo, assim, a capacidade de enfrentar os desafios de maneira unificada e eficaz.

4.7 Resultado matriz de avaliação

Diante das médias das alternativas e os pesos de cada nível hierárquico, inseridos no Quadro 21 - Apêndice A, foi possível determinar, as prioridades das alternativas, apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Priorização das alternativas gerais

(continua)

Priorização	Alternativas
1	A4
2	A3
3	A13
4	A11
5	A8
6	A19

Tabela 17 - Priorização das alternativas gerais

(conclusão)

Priorização	Alternativas
7	A7
8	A2
9	A16
10	A9
11	A18
12	A10
13	A1
14	A6
15	A15
16	A14
17	A20
18	A5
19	A17
20	A12

Fonte: Autoria própria (2024)

Por meio desta, observa-se que as cinco alternativas de maior relevância são:

- 1) A4 - Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;
- 2) A3 - Realização do monitoramento on-line de todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);
- 3) A13 - Capacitação dos manutenedores nos procedimentos das atividades da manutenção;
- 4) A11 - Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos; e,
- 5) A8 - Melhora do acesso aos dados da máquina [manuais, procedimentos e diagramas] (elétrico, hidráulico e pneumático).

Diante das alternativas apresentadas, na percepção dos 36 decisores que participaram deste estudo, demonstra a necessidade de aprimorar as Análises da Causa Raiz (A4) para identificar e evitar a recorrência de falhas. Assim como, o investimento no monitoramento on-line (A3) permitindo uma supervisão contínua e preditiva dos equipamentos, antecipando possíveis problemas.

Além disso, a capacitação dos manutenedores (A13) e a melhoria do acesso aos dados da máquina (A8) facilitarão a consulta e a utilização de informações críticas para a manutenção, melhorando a qualidade das intervenções e agilizando a resolução de problemas e a execução de procedimentos. Na aplicação de *Poka-Yoke* (A11), dispositivos à prova de erro, na busca de prevenção de equívocos durante as intervenções, aumentando a segurança e a confiabilidade dos processos.

Juntas, essas medidas formam uma estratégia abrangente para aumentar a eficiência operacional e a confiabilidade dos sistemas de manutenção, garantindo uma abordagem proativa e bem-informada na gestão da manutenção.

4.8 Considerações sobre o capítulo

Por meio da aplicação do método matemático AHP, foi possível determinar a prioridade das alternativas mais relevantes para cada nível hierárquico, destacando as cinco ferramentas do *Lean Maintenance* de maior impacto para alcançar os objetivos propostos no item 1.1 deste trabalho, conforme demonstrado no comparativo da Tabela 18. A escolha das alternativas e critérios baseou-se em estudos anteriores e na experiência prática, com entrevistas conduzidas entre os profissionais da empresa. Os pesos foram definidos de acordo com a hierarquia e área de atuação dos decisores, assegurando uma representação precisa conforme o cargo. A aplicação desses pesos nas matrizes de avaliação permitiu identificar as alternativas mais relevantes de cada nível hierárquico, contribuindo para uma tomada de decisão eficaz e alinhada com os objetivos estratégicos da organização.

Nos níveis hierárquicos de operadores e especialistas em manutenção, observou-se uma equiparação entre algumas alternativas devido à elevada incidência de concordância total (5) entre os decisores, destacando a necessidade de um grupo com diferentes perspectivas e conhecimento dos negócios da empresa. Além disso, ao comparar as cinco alternativas de maior relevância entre os grupos hierárquicos, nota-se uma semelhança entre as alternativas, evidenciando a interação dos profissionais com os objetivos estratégicos da empresa. Também foi observado um consenso significativo entre os gerentes, ressaltando a importância de medidas como a introdução da Indústria 4.0 e a capacitação dos manutentores. Isso reflete um alinhamento das expectativas dos gestores em relação ao departamento de manutenção, fortalecendo a capacidade da empresa de enfrentar desafios de forma unificada e eficaz.

Desta forma, os resultados da pesquisa indicam que o AHP foi eficaz na identificação das ferramentas *Lean Maintenance* mais impactantes, baseando-se em critérios sólidos e uma participação diversa dos profissionais da empresa. A convergência das escolhas entre diferentes níveis hierárquicos reforça o alinhamento com os objetivos estratégicos, enquanto a necessidade de diversidade de perspectivas sublinha a complexidade da tomada de decisão na manutenção.

Tabela 18 - Comparativo das prioridades das alternativas por hierarquia

Operadores		Esp Man		Analistas		Supervisores		Gerentes		Grupo	
Prioridade	Alternativa	Prioridade	Alternativa	Prioridade	Alternativa	Prioridade	Alternativa	Prioridade	Alternativa	Prioridade	Alternativa
1	A1	1	A13	1	A3	1	A4	1	A13	1	A4
2	A2	2	A1	2	A4	2	A11	2	A3	2	A3
2	A10	2	A4	3	A13	3	A3	3	A4	3	A13
2	A13	2	A8	4	A8	4	A13	4	A10	4	A11
2	A15	5	A12	5	A19	5	A7	5	A9	5	A8
6	A16	5	A14	6	A1	5	A19	6	A16	6	A19
7	A7	5	A16	7	A18	7	A9	7	A11	7	A7
8	A9	5	A17	8	A2	8	A2	8	A8	8	A2
9	A11	9	A3	9	A15	9	A18	9	A15	9	A16
9	A4	9	A6	10	A7	10	A10	10	A2	10	A9
9	A5	9	A7	11	A16	11	A8	11	A19	11	A18
12	A17	9	A15	12	A11	11	A16	12	A1	12	A10
13	A12	9	A20	13	A14	13	A6	13	A18	13	A1
13	A18	14	A2	14	A9	14	A5	14	A7	14	A6
15	A3	14	A18	15	A10	15	A17	15	A14	15	A15
16	A6	16	A5	16	A5	16	A15	16	A6	16	A14
17	A19	17	A9	17	A20	16	A20	17	A20	17	A20
17	A8	17	A10	18	A6	18	A1	18	A17	18	A5
19	A14	17	A11	19	A17	19	A12	19	A5	19	A17
20	A20	20	A19	20	A12	19	A14	20	A12	20	A12

Fonte: Autoria própria (2024)

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta seção apresenta, inicialmente, as conclusões relacionadas ao modelo e sua aplicação, seguidas por sugestões para trabalhos futuros

5.1 Conclusão

O objetivo principal desta pesquisa foi desenvolver uma análise multicritério para identificar as ferramentas mais eficazes do *Lean Maintenance* para apoiar as decisões na manutenção industrial. Nesse sentido, foi proposto um modelo de decisão multicritério, baseado no método AHP, para ordenar as ferramentas do *Lean* de maneira apropriada, levando em consideração as características tanto da ferramenta quanto do problema em questão.

Em segundo plano, demonstrou-se uma relação entre o TPM e a filosofia *Lean* e, embora as empresas tenham consolidado o TPM em suas atividades e departamentos, a utilização da metodologia *Lean Maintenance* tem se destacado na identificação dos desperdícios que estão impactando o processo, em acordo com os estudos de Mouzani e Bouami (2019), que caracterizam o *Lean* como mais uma ferramenta a ser integrada no TPM.

Embora não tenha aparecido como uma das alternativas prioritárias, duas ferramentas foram essenciais para obter os resultados: o VOC e o VSM. A aplicação do questionário foi a melhor forma de entender as necessidades dos clientes, de acordo com as premissas de Murça (2012) e Rother (2009), para compreender expectativas e desejos dos clientes em relação ao serviço de manutenção. Além disso, demonstrou-se a importância da realização do VSM dentro da manutenção, sendo uma ferramenta fundamental para identificar oportunidades de melhoria e redução de desperdícios. Conforme discutido por Ratlalan, Tama e Sugiono (2017), os relatórios emitidos no VSM permitem maior controle gerencial por meio do entendimento das etapas das atividades de manutenção.

Por outro lado, a utilização do método AHP foi essencial para definir as melhores alternativas a partir da perspectiva e *know-how* dos profissionais em processos críticos, como sugere o estudo de Mostafa e Soltan (2014), que trata da utilização do AHP para tomadas de decisões nos processos mais complexos.

Sendo assim, o estudo é significativamente relevante para a empresa estudada. Por meio de uma abordagem crítica do processo de manutenção,

demonstra as oportunidades de ganhos e a importância da melhoria contínua no processo. A implantação de ferramentas de trabalho desenvolvidas para serem utilizadas na produção é uma boa opção para identificar a oportunidade de ganho no processo de manutenção. Em conformidade com os estudos realizados por Dias, Fernandes e Moura (2022), ao fazer as adaptações necessárias no *Lean* e implementá-las na manutenção, é possível identificar os desperdícios nas atividades que não são identificados apenas com o uso da metodologia TPM. Dessa forma, a implementação da metodologia *Lean Maintenance* é capaz de identificar em que ponto a manutenção necessita melhorar para maximizar os esforços, buscando assim o aumento do MTBF e, conseqüentemente, a redução dos custos operacionais.

Sendo assim, esta dissertação contribui teoricamente para a evolução da metodologia *Lean* aplicada na manutenção, onde se observa que as empresas com alto nível de tecnologia aplicada no processo de manutenção precisam controlar as perdas para entregar serviços cada vez mais eficientes e de alta qualidade para atender as necessidades dos clientes. Dessa forma, este trabalho poderá servir como fonte de pesquisa para trabalhos futuros sobre a aplicação da metodologia *Lean* aliada ao método multicritério AHP para tomadas de decisões mais assertivas, tornando a manutenção mais eficiente e eficaz.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se a realização de estudos futuros que explorem a aplicação do método AHP combinado com outras metodologias de tomada de decisão multicritério, como o TOPSIS ou o PROMETHEE, para comparar a eficácia e os resultados na priorização das ferramentas *Lean Maintenance*. Além disso, seria interessante investigar a integração da metodologia *Lean Maintenance* com outras abordagens de melhoria contínua, como Seis Sigma, para avaliar o impacto combinado na eficiência e eficácia das operações de manutenção.

Outra sugestão é realizar estudos longitudinais que acompanhem a implementação das ferramentas *Lean Maintenance* ao longo do tempo, avaliando o impacto em métricas específicas de desempenho, como o MTBF (Mean Time Between Failures) e o custo operacional. Isso poderia fornecer uma visão mais detalhada dos benefícios a longo prazo e das áreas que necessitam de ajustes contínuos.

Adicionalmente, seria valioso realizar pesquisas que examinem a aplicação do *Lean Maintenance* em diferentes setores industriais, comparando os resultados e identificando adaptações específicas necessárias para maximizar os benefícios em contextos variados.

Por fim, explorar mais os benefícios das tecnologias emergentes, como *Machine Learning* em conjunto com a metodologia *Lean Maintenance* e AHP, poderiam revelar novas oportunidades para otimizar processos de manutenção e melhorar a tomada de decisão baseada em dados em tempo real. Desta forma, os estudos futuros não só contribuiriam para a literatura acadêmica, mas também ofereceriam *insights* práticos para a indústria na busca por excelência operacional.

REFERÊNCIAS

ABED, K. A.; MUTLAG, S. Using AHP Methods in maintenance to improve reliability and equipment performance. *In: IOP CONFERENCE SERIES MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, Proceedings [...]*, v. 978, n. 1, p. 12008, 2020.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR-5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ABNT NBR ISO 14224: Indústrias de petróleo e gás natural - Coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção para equipamentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

AMARAL, C. P. **Manutenção Produtiva Total: método PMRI**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2003.

ANTOSZ, K.; PASKO, L.; GOLLA, A. The use of artificial intelligence methods to assess the effectiveness of *Lean* Maintenance concept implementation in manufacturing enterprises. **Journal Applied Sciences**, v. 10, n. 21, p. 2076-3417, out. 2020.

ARCHER, N. P.; GHASEMZADEH, F. An integrated framework for project portfolio selection. **International Journal of Project Management**, v. 17, n. 4, p. 207-216, 1999.

AUTODOC. **Princípios da Construção Enxuta**. *Lean Construction*, aug. 2019. Disponível em: <https://autodoc.com.br/conteudos/lean-construction-entregue-produtos-com-mais-valor-em-menos-tempo/>. Acesso em: 2 nov. 2023.

BACELAR, L. M. F. **Gestão da manutenção baseada em modelo de decisão multicritério fuzzy TOPSIS: uma estratégia chave para a produtividade**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE), 2018.

BALUCH, N.; ABDULLAH, C. S., MOHTAR, S. TPM and *Lean* Maintenance: a critical review. **Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business**, v. 4, n. 2, p. 850-857, 2012.

BELMONTE, D. L. **Gestão do conhecimento: aplicabilidade da prática na gestão da manutenção**. 2005. Monografia (Especialização em Gestão Industrial) - Centro Federal de Educação Tecnológica, Ponta Grossa, 2005.

BELTON, V., STEWART, T. **Multiple Criteria Decision Analysis: an integrated approach**. New York (USA): Springer, 2002.

BEVILACQUA, M.; F. E. CIARAPICA; SANCTIS, I. *Lean practices*

implementation and their relationships with operational responsiveness and company performance: an Italian study. **International Journal of Production Research**, p.0020-7543, 2016.

BLANCO, J. G.; DEDERICHS, T. **Lean Maintenance**: a practical, step-by-step guide for increasing efficiency. New York (USA): Taylor & Francis Group, 2018.

BOUYSSOU, D.; *et al.* **Evaluation and decision models**: a critical perspective. London: Springer Science & Business Media, 2000.

BRANCO FILHO, G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

CNI (Confederação Nacional da Indústria). **Mapa estratégico da indústria 2018-2022**. Portal da Indústria, set. 2018. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/ee/50/ee50ea49-2d62-42f6-a304-1972c32623d4/mapa_final_ajustado_leve_out_2018.pdf. Acesso em: 2 fev. 2023.

CORDEIRO, G. U. Aplicação das ferramentas *Lean* no setor de manutenção industrial. **Journal Engevista**, fev. 2019.

CORTELLA, M. S. Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda! **Frases de Crescimento**. Disponível em: <https://frases.win/2023/11/06/faca-o-teu-melhor-na-condicao-que-voce-tem-enquanto-voce-nao-tem-condicoes-melhores-para-fazer-melhor-ainda-mario-sergio-cortella>. Acesso em: 4 fev. 2023.

CYRINO, L. Classificação ABC de máquinas e equipamentos. **Revista Manutenção, Manutenção em Foco**, 20 mar. 2016. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/classificacao-abc>. Acesso em: dez. 2023.

DEMING, W. E. **Qualidade**: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

DIAS, M. F.; FERNANDES, M. R.; MOURA, A. **Manutenção Lean**. Rio de Janeiro: Qualimark Publisher, 2022.

DIAS, M. F.; FERNANDES, M. R.; MOURA, A. Princípios da filosofia *Lean* aplicados no processo de manutenção. In: XIII CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA, 2017, 13., 2017, Lisboa. **Anais [...]**, Lisboa, 2017.

DIN (*Deutsche Institut für Normung*). **DIN EN 13306**: Maintenance terminology. Berlin (GER): DIN, 2007.

DONATO, T.; *et al.* **Importância da criticidade de equipamentos na gestão da manutenção**. Belo Horizonte: Centro Universitário de Belo Horizonte, 2021.

DURAN, O.; CAPALDO, A.; ACEVEDO, P. A. D. *Lean Maintenance* applied to improve maintenance efficiency in thermoelectric power plants. **Journal Energies**, p. 1996-1073, 2017.

FARIA, G. N. L.; LONGHINI, T. M. Ciclo PDCA aplicado à gestão da manutenção de equipamentos. **Produto & Produção**, v. 22, n. 2, p. 19-37. 2021.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHROGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis**: state of the art surveys. New York (USA): Springer, 2005.

FLÜGEL, J. C. S. **Manutenção x produtividade**: a importância da gestão da manutenção para o aumento da produtividade em uma indústria de manufatura de madeira. 2012. Monografia (Especialização em Gestão Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

GARDINO, L. F.; PEREIRA, C. A. TPM: Manutenção Produtiva Total e seus resultados ilustrados no OEE (Eficiência Global do Equipamento). *In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA*, 9., 2020, **Anais [...]**, Fatec de Botucatu (SP), 2020.

GOFFI, A. S. **Modelo para definição do uso de sistemas adequados para tratamento de esgoto urbano em pequenas e médias localidades**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

GOFFI, A. S.; *et al.* Economic feasibility for selecting wastewater treatment systems. **Water Science and Technology**, v. 78, n. 12, p. 2518-2531, 2018.

GRECCO, C. P. **Implementação da Manutenção Autônoma em uma linha de produção de uma indústria tabagista**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

HERRY, A.; FARIDA, F.; LUTFIA, N. Performance analysis of TPM implementation through Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Losses. *In: IOP CONFERENCE SERIES: Materials Science and Engineering*, **Proceedings [...]**, v. 453. 012061, 2018.

IMAI, M. **Gemba Kaizen**: uma abordagem de bom senso à estratégia de melhoria contínua. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

JAQIN, C. A.; ROZAK, H.; PURBA, H. Case study in increasing overall equipment effectiveness on progressive press machine using Plan-Do-Check-Act cycle. **International Journal of Engineering**, p. 2245-2251, 2020.

KAIZEN Institute. **História do desenvolvimento da metodologia Kaizen™**.

Disponível em: [https:// br.Kaizen.com/about-us](https://br.Kaizen.com/about-us). Acesso em: 10 ago. 2023.

KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; DHONE, N. C. Industry 4.0 and manufacturing practices for sustainable organizational performance in Indian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, 0020-7543, 2019.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção função estratégica**. 5. ed. Rio de Janeiro: Qualimark Publisher, 2019.

KATO, I.; SMALLEY, A. **Toyota Kaizen methods**: six steps to improvement. New York: Productivity Press, 2017. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b10296/toyota-kaizen-methods-isao-kato-art-smalley>. Acesso em: 12 jan. 2023.

KNOL, W. H.; *et al.* Implementing *Lean* practices in manufacturing SMEs: testing 'critical success factors' using necessary condition analysis. **International Journal of Production Research**, n. 7543, p. 1-19, 2018.

LAMPKOWSKI, F. J.; MASSON A. C. P; CARRIJO, M. TPM: Total Productive Maintenance: resultados da implementação: um estudo de caso. *In*: SIMPEP, 12, 2006, Bauru (SP), **Anais [...]**, Bauru (SP), 2006.

LI, J.; PAPADOPOULOS, C. T.; ZHANG, L. Continuous improvement manufacturing and service systems. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 21, p. 6281-6284, 2016.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 1-55, 1932.

LONGARAY, A. A., *et al.* A systematic literature review regarding the use of multicriteria methods towards development of decision support systems in health management. **Procedia Computer Science**, v. 100, p. 701-710, 2016.

LORENZ, R. J.; *et al.* Using process mining to improve productivity in make-to-stock manufacturing. **International Journal of Production Research**, p. 0020-7543, 2021.

MAIER, H.T; SCHMIEDBAUER, O.; BIEDERMANN, H. Validation of a lean smart maintenance maturity model. **Technical Journal**, 2020.

MANFREDINI, A. **Manutenção autónoma em operações na Procter & Gamble Porto**. 2009. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.

MARÇAL, R. F. Gestão da Manutenção. Ponta Grossa: Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção (PPGEP). Notas de aula, 2004.

MARINHO, P. S. L. **Implementação TPM - Total Productive Maintenance**.

2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto (POR), 2020.

MAZIDI, P.; TOHIDI, Y.; SANZ-BOBI, M. Strategic maintenance scheduling of an offshore wind farm in a deregulated power system. **Energies**, v. 10, n. 313, p. 1-20, 2017.

MECFLUX. **Iceberg da manutenção**. Disponível em: <https://www.mecflux.com.br/novidades/iceberg-da-manutencao> Acesso em: 5 dez. 2023.

MELO, F. T.; LOOS, M. J. Análise da metodologia da Manutenção Produtiva Total (TPM): estudo de caso. **Revista Espacios**, v. 39, n. 3, p. 13, 2018.

MOREIRA, M.; *et al.* **Aplicação da metodologia Kaizen para uma manutenção mais eficiente**: estudo de caso em indústria cervejeira. Sete Lagoas (MG): Centro Universitário UNA, 2022.

MOSTAFA, S.; DUMRAK, J.; SOLTAN, H. *Lean Maintenance Roadmap*. In: INTERNATIONAL MATERIALS, INDUSTRIAL, AND MANUFACTURING ENGINEERING CONFERENCE, 2., 2015, **Proceedings [...]**, Bali. Indonesia, fev. 2015.

MOSTAFA, S.; SOLTAN, M. *Leanness and agility within maintenance process*. **International Journal of Engineering Research and Technology**, v. 3, p. 553-555, 2014.

MOUZANI, I. A.; BOUAMI, D. The integration of *Lean Manufacturing* and *Lean Maintenance* to improve production efficiency. **International Journal of Mechanical and Production**, 22496890, 2019.

MURÇA, V. A. A. **Aplicação da filosofia Lean na área da manutenção**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa (POR), 2012.

NAKAJIMA, S. **Introduction to total productive maintenance**. Cambridge (ENG): Productivity Press, 1989.

NAKAMURA, T. History of TPM and JIPM: the TPM Awards from the Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM). In: BARONCELLI, C.; BALLERIO, N. (Eds.). **WCOM (World Class Operations Management)**. London: Springer, 2016.

PADOVANI, M.; CARVALHO, M. M.; MUSCAT, A. R. N. Seleção e alocação de recursos em portfólio de projetos: estudo de caso no setor químico. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 1, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/GNFwqfcFVRLnXxGCn9KVvWR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 6 nov. 2023.

PASTORE, J. Educação, trabalho e desenvolvimento. **Revista USP**, São Paulo, p. 67-76, 2014.

PIECHNICKI, A. S. **Metodologias para implantação e desenvolvimento de sistemas de gestão da manutenção**: as melhores práticas. 2011. Monografia (Especialização em Gestão Industrial: Produção e Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

PING, K. C.; *et al.* Sustainable manufacturing: exploring antecedents and influence of Total Productive Maintenance and *Lean* Manufacturing. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 11, n. 11, 2019.

PINTO, G. F. C.; *et al.* Implementing a maintenance strategic plan using TPM methodology. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 11, n. 3, p. 192-204, sept. 2020.

RATLALAN, R. M., TAMA, I. P.; SUGIONO, S. Implementation of *Lean* Manufacturing to minimize waste in the process of plastic Box 260 using VSM and AHP method. **Journal of Engineering Management Industrial System**, v. 5, n. 2, p. 67-76, 2017.

REIS, G. P. **Lean Manufacturing aplicado à gestão da manutenção**: estudo de múltiplos casos. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), 2016.

REIS, M. D. O.; *et al.* TPM strategy implementation in an automotive production line through loss reduction. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLEXIBLE AUTOMATION AND INTELLIGENT MANUFACTURING, 29., **Proceedings [...]**, Limerick, Ireland, 2019. p. 908-915.

RIBEIRO, D. R.; *et al.* An overview about the implementation of *Lean Maintenance* in manufacturing processes. **Journal of Lean Systems**, v. 4, n. 3, p. 44-59, jun. 2019.

RIBEIRO, M. C. C. R.; ALVES, A. S. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 3, p. 270-281, 2016. Disponível em: <https://revistasg.uff.br/sg/article/view/988>. Acesso em: 14 out. 2023.

RODRIGUES, M. V. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo, sistema de produção Lean Manufacturing**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

ROSSI, A. H. G. **Modelos de maturidade aplicados na gestão da cadeia de suprimentos na indústria farinácea do estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

ROTHER, M. **Toyota Kata**: managing people for improvement, adaptiveness

and superior results. New York (USA): McGraw Hill, 2009.

SAATY, T. L. How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9-26, 1991.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L. **Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks**. Pittsburgh: RWS Publications, 2005.

SAHOO, S.; YADAV, S. Influences of TPM and TQM practices on performance of engineering product and component manufacturers. *In: GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE MANUFACTURING*, 7., **Proceedings [...]**, Bangladesh (India): Elsevier. 2020.

SAYUTI, M. J.; SYARIFUDDIN; F. Analysis of the Equipment Effectiveness (OEE) to minimize six big losses of pulp machine: a case study in pulp and paper industries. **International Conference on Design, Engineering Sciences**, 2019.

SERRA, M. C.; *et al.* A utilização do ciclo PDCA para melhoria da qualidade na manutenção de shunts. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 9, n. 18, p. 48-70, 2017.

SHIN, Y. B.; *et al.* A critical review of popular multi-criteria decision making methodologies. **Issues in Information Systems**, v. 14, n. 1, p. 358-365, 2013. Disponível em: http://iacis.org/iis/2013/225_iis_2013_358-365.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

SHINGO, S. **A revolution in manufacturing: the SMED system**. Cambridge (ENG): Routledge, 1985.

SILVA, L. B.; *et al.* Manutenção Produtiva Total - TPM: estudo de caso de uma empresa de embalagens. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 11., 2021, **Anais [...]**, Ponta Grossa, 2021, p. 4-6.

SILVA, L. D.; RESENDE, A. Manutenção Produtiva Total (TPM) como ferramenta para melhoria da eficiência global de equipamento (OEE). *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 32., 2013. **Anais [...]**, Salvador (BA): ABEPRO, 2013.

SMITH, R.; HAWKINS, B. **Lean Maintenance**. Burlington (ENG): Elsevier Butterworth Heinemann, 2004.

SOUSA, N. J. P. **Aplicação da metodologia Lean no serviço de manutenção de uma empresa alimentar**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa (POR), 2013.

SUGAI, M.; MCINTOCH, R. I.; NOVASKI, O. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. **Gestão Produção**, v. 14, n. 2, p. 323-335, maio-ago. 2007.

SUZAKI, K. **Gestão de operações Lean**: metodologias Kaizen para a melhoria contínua. Rio Meão (POR): *LeanOp Press*, 2010.

TELES, J. Tipos de manutenção de acordo com a NBR 5462. **EngeTeles**, 2018. Disponível em: <https://engeteles.com.br/tipos-de-manutencao>. Acesso em: 15 out. 2023.

THOKALA, P., DUENAS, A. Multiple Criteria Decision Analysis for health technology assessment. **Value Health**, v. 15, n. 8, p. 1172-1181, 2012.

TONDATO, R.; GONÇALVES, M. B. Manutenção autônoma: um estudo de caso. *In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 1., 2011, **Anais [...]**, Ponta Grossa, 2011.

TORTORELLA, G. L., FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and *Lean* Production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, 2018.

TRENDS. **Conectando negócios a investimentos**. 2022. Disponível em: <https://www.trendsce.com.br/2022/09/19/industria-brasileira-e-responsavel-por-222-do-pib-nacional>. Acesso: 15 dez. 2023.

TROJAN, F. **Modelos multicritério para apoiar decisões na gestão da manutenção de redes de distribuição de água para a redução de custos e perdas**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE), 2012.

TROJAN, F.; MARÇAL, R. F. M.; BARAN, L. R. Classificação dos tipos de manutenção pelo Método de Análise Multicritério ELECTRE TRI. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 45., **Anais [...]**, Natal (RN), 2013. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf>. Acesso em: 3 out. 2023.

TROJAN, F.; *et al.* Pesquisa sobre os tipos de manutenção com potenciais para redução de resíduos ambientais nas indústrias da região central do Paraná. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 33., **Anais [...]**, 2013, Ponta Grossa, 2013.

URIARTE, A. G.; AMOS H.C. N. G.; MORIS, M. U. Bringing together *Lean* and simulation: a comprehensive review. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 1, p. 87-117, 2020.

UTRI, T. C. **Pilar da Manutenção Planejada**: TPM. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/pilar-da-manuten%C3%A7%C3%A3o-planejada-tpm-thomas-cebulski-utri>. Acesso em: 25 out. 2022.

VIANA, H. **PCM: Planejamento e Controle da Manutenção**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2022.

VIERO, A. **Modelo multicritério para classificação de ferramentas da qualidade orientadas para decisões gerenciais**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

APÊNDICE A - Quadros

Quadro 14 - Matriz de avaliação operadores

Alternativas	Otimização do Plano TBM (separação as atividades do check list do TBM); SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas); Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0); Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz; Aplicação da metodologia 5" S; Melhora do planejamento das paradas preventiva (PDCA); Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC; Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e pneumático); Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma; Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada; Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos; Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada; Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção. Inserção dos procedimentos nas ordens de serviço; Melhora da Gestão de peças de reposição; Aquisição de peças de uso específico; Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada. Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen Disseminação dos conceitos do Lean entre os manutentores.																				
	Critérios	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
Operador_1	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	3	3	0,20
Operador_2	5	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5	0,20
Operador_3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	2	0,20
Operador_4	3	4	5	4	3	3	4	3	5	4	5	4	5	3	4	4	3	4	4	4	0,20
Operador_5	5	3	1	1	2	3	2	2	1	3	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	0,20
MÉDIA	4,60	4,40	3,80	4,00	4,00	3,80	4,20	3,80	4,20	4,40	4,20	4,00	4,40	3,40	4,40	4,40	4,00	4,00	3,80	3,20	1,00
ORDEM	1	2	15	10	10	15	7	18	7	2	7	13	2	19	2	2	10	13	15	20	

Fonte: Autoria própria (2024)

Quadro 15 - Matriz de avaliação especialista em manutenção

Alternativas	Otimização do Plano TBM (separar as atividades do check list do TBM);	SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);	Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);	Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;	Aplicação da metodologia 5' S;	Melhora do planejamento das paradas preventiva (PDCA);	Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC;	Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e pneumático));	Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma;	Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada;	Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos;	Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;	Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção.	Inserção dos procedimentos nas ordens de serviço;	Melhora da Gestão de peças de reposição;	Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;	Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas	Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada.	Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen	Disseminação dos conceitos do Lean entre os manutentores.	
Critérios	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	PESOS
Esp_Manutenção_1	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	5	3	4	5	5	4	4	4	0,17
Esp_Manutenção_2	5	3	3	5	3	3	3	5	3	4	4	5	5	5	3	3	3	4	3	3	0,17
Esp_Manutenção_3	5	5	5	5	4	5	4	5	3	2	2	4	5	5	5	5	5	4	2	5	0,17
Esp_Manutenção_4	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2	2	5	5	5	5	5	5	4	2	5	0,17
Esp_Manutenção_5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0,17
Esp_Manutenção_6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0,17
MÉDIA	4,83	4,33	4,50	4,83	4,33	4,50	4,50	4,83	3,67	3,67	3,67	4,67	5,00	4,67	4,50	4,67	4,67	4,33	3,50	4,50	1,00
ORDEM	2	14	9	2	16	9	9	2	17	17	17	5	1	5	9	5	5	14	20	9	

Fonte: Autoria própria (2024)

Quadro 16 - Matriz de avaliação analistas

Alternativas	Otimização do Plano TBM (separar as atividades do check list do TBM;																				PESOS
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	
SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	0,21
Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);	5	4	5	5	4	4	3	5	3	3	3	4	4	4	4	4	2	4	5	3	0,21
Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;	4	5	5	5	4	4	4	5	4	4	5	3	5	3	4	4	3	4	5	4	0,21
Aplicação da metodologia 5' S;	5	3	5	4	3	2	5	5	3	3	2	1	5	4	4	3	4	4	3	3	0,21
Melhora do planejamento das paradas preventiva (PDCA);	4	5	5	5	4	3	3	4	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	4	0,08
Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC;	3	3	5	5	2	1	4	3	5	5	5	4	4	4	4	4	3	5	5	4	0,08
Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e pneumático);	4	5	3	5	4	4	3	4	5	4	4	5	4	2	4	4	3	5	4	4	0,08
Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma;	3	5	4	2	3	2	3	4	4	3	5	1	4	3	2	2	3	5	3	2	0,03
Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada;	4,97	4,76	5,36	5,24	4,04	3,86	4,47	5,00	4,17	4,13	4,41	3,57	5,15	4,33	4,58	4,45	3,69	4,84	4,98	3,95	
Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos;	6	8	1	2	16	18	10	4	14	15	12	20	3	13	9	11	19	7	5	17	
Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;																					
Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção.																					
Inserção dos procedimentos nas ordens de serviço;																					
Melhora da Gestão de peças de reposição;																					
Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;																					
Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas																					
Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada.																					
Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen																					
Disseminação dos conceitos do Lean entre os manutentores.																					

Fonte: Autoria própria (2024)

Quadro 17 - Matriz de avaliação supervisores

Alternativas	Critérios																				PESOS
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	
Otimização do Plano TBM (separar as atividades do check list do TBM);	2	4	5	5	3	3	4	3	4	3	5	1	4	2	3	3	3	3	4	1	0,30
SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);	3	5	4	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	3	4	5	4	4	4	5	0,30
Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);	4	4	5	5	3	3	3	4	5	5	4	5	4	3	3	4	3	5	5	4	0,10
Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;	4	2	5	5	3	2	3	2	3	3	5	2	4	2	1	2	2	3	3	1	0,10
Aplicação da metodologia 5' S;	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	5	3	5	5	4	5	4	5	5	5	0,10
Melhora do planejamento das paradas preventiva (PDCA);	3	3	5	5	4	3	4	3	3	3	5	3	3	3	3	3	3	5	5	4	0,10
Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC;	3,10	4,00	4,70	5,00	3,50	3,70	4,20	3,80	4,00	3,90	4,90	2,80	4,30	2,80	3,20	3,80	3,30	3,90	4,20	3,20	
Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e pneumático);	18	8	3	1	14	13	5	11	7	10	2	19	4	19	16	11	15	9	5	16	
Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma;																					
Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada;																					
Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos;																					
Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;																					
Capacitação dos manutenedores nos procedimentos das atividades da manutenção.																					
Inserção dos procedimentos nas ordens de serviço;																					
Melhora da Gestão de peças de reposição;																					
Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;																					
Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas																					
Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada.																					
Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen																					
Disseminação dos conceitos do Lean entre os manutenedores.																					

Fonte: Autoria própria (2024)

Quadro 18 - Matriz de avaliação gerentes

Alternativas	Otimização do Plano TBM (separar as atividades do check list do TBM); SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas); Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0); Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz; Aplicação da metodologia 5' S; Melhora do planejamento das paradas preventiva (PDCA); Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC; Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma); Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada; Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos; Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra Capacitação dos manutenedores nos procedimentos das atividades da Inserção dos procedimentos nas ordens de serviço; Melhora da Gestão de peças de reposição; Aquisição de ferramentas especiais de uso específico; Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada. Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen Disseminação dos conceitos do Lean entre os manutenedores.																					
	Crítérios	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	PESOS
Ger Manutenção 1	5	4	5	5	2	4	5	5	5	5	5	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	0,19
Ger Manutenção 2	4	5	5	5	5	4	4	4	5	5	4	3	5	4	5	5	3	4	4	4	4	0,19
Ger Manutenção 3	2	4	3	4	2	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	0,19
Ger Produção 1	4	4	3	1	3	4	1	2	2	3	1	1	5	3	5	5	3	2	1	1	1	0,08
Ger Produção 2	3	1	5	5	3	4	3	4	5	4	4	2	5	3	3	4	3	5	5	1	1	0,08
Ger Produção 3	4	2	5	4	1	2	2	2	3	3	5	1	4	3	2	2	2	3	4	3	3	0,08
Ger Produção 4	3	4	5	5	4	5	4	5	4	5	4	2	5	5	4	4	3	4	4	4	4	0,07
Ger Projetos	3	2	4	3	1	3	2	2	2	3	3	4	3	3	2	3	2	3	4	3	3	0,05
Ger Qualidade	4	4	5	4	2	2	3	2	4	3	4	1	3	2	3	1	2	4	4	3	3	0,03
Ger WCM	5	3	4	5	3	2	4	4	5	4	5	3	5	5	4	4	3	4	5	5	5	0,03
Ger Logística	4	5	4	5	4	2	5	4	4	3	3	1	5	4	3	2	3	5	2	2	2	0,02
MÉDIA	3,70	3,75	4,44	4,36	2,85	3,58	3,66	3,85	4,03	4,07	3,87	2,72	4,46	3,62	3,76	4,00	3,08	3,68	3,71	3,22		
ORDEM	12	10	2	3	19	16	14	8	5	4	7	20	1	15	9	6	18	13	11	17		

Fonte: Autoria própria (2024)

Quadro 19 - Matriz de avaliação gerentes atuantes na fábrica em estudo

Alternativas																					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	PESOS
Otimização do Plano TBM (separar as atividades do check list do TBM;																					
SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);																					
Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);																					
Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;																					
Aplicação da metodologia 5' S;																					
Melhora do planejamento das paradas preventiva (PDCA);																					
Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC;																					
Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e pneumático);																					
Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma;																					
Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada;																					
Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos;																					
Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;																					
Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção.																					
Inserção dos procedimentos nas ordens de serviço;																					
Melhora da Gestão de peças de reposição;																					
Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;																					
Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas																					
Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada.																					
Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen																					
Disseminação dos conceitos do <i>Lean</i> entre os manutentores.																					
Ger_Man_2	4	5	5	5	5	4	4	4	5	5	4	3	5	4	5	5	3	4	4	4	0,17
Ger_Prod_1	4	4	3	1	3	4	1	2	2	3	1	1	5	3	5	5	3	2	1	1	0,17
Ger_Prod_3	4	2	5	4	1	2	2	2	3	3	5	1	4	3	2	2	2	3	4	3	0,17
Ger_Proj_1	3	2	4	3	1	3	2	2	2	3	3	4	3	3	2	3	2	3	4	3	0,17
Ger_Qual_1	4	4	5	4	2	2	3	2	4	3	4	1	3	2	3	1	2	4	4	3	0,17
Ger_Log_1	4	5	4	5	4	2	5	4	4	3	3	1	5	4	3	2	3	5	2	2	0,17
MÉDIA	3,91	3,74	4,42	3,74	2,72	2,89	2,89	2,72	3,40	3,40	3,40	1,87	4,25	3,23	3,40	3,06	2,55	3,57	3,23	2,72	
ORDEM	3	4	1	5	16	15	14	16	7	9	7	20	2	12	9	13	19	6	11	18	

Fonte: Autoria própria (2024)

Quadro 20 - Matriz de avaliação gerentes com experiência internacional

Alternativas	Otimização do Plano TBM (separar as atividades do check list do TBM;	SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);	Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);	Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;	Aplicação da metodologia 5' S;	Melhora do planejamento das paradas preventiva (PDCA);	Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC;	Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e pneumático);	Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma;	Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada;	Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos;	Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;	Capacitação dos manutenedores nos procedimentos das atividades da manutenção.	Inserção dos procedimentos nas ordens de serviço;	Melhora da Gestão de peças de reposição;	Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;	Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas preventivas;	Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada.	Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen	Disseminação dos conceitos do Lean entre os manutenedores.	
Crítérios	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	PESOS
Ger_Man_1	5	4	5	5	2	4	5	5	5	5	5	3	4	4	4	4	3	3	4	4	0,20
Ger_Man_3	2	4	3	4	2	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3	0,20
Ger_Prod_2	3	1	5	5	3	4	3	4	5	4	4	2	5	3	3	4	3	5	5	1	0,20
Ger_Prod_4	3	4	5	5	4	5	4	5	4	5	4	2	5	5	4	4	3	4	4	4	0,20
Ger_WCM_1	5	3	4	5	3	2	4	4	5	4	5	3	5	5	4	4	3	4	5	5	0,20
MÉDIA	3,60	3,20	4,40	4,80	2,80	3,60	4,00	4,40	4,40	4,20	4,20	2,80	4,60	4,00	3,60	4,00	3,20	4,00	4,20	3,40	
ORDEM	13	17	3	1	19	13	9	3	3	6	6	19	2	9	15	9	17	9	6	16	

Fonte: Autoria própria (2024)

Quadro 21 - Matriz de avaliação geral

Alternativas	Otimização do Plano TBM (separar as atividades do check list do TBM);	SMED (preparação de peças e ferramentas antes das paradas preventivas);	Realização do monitoramento on-line todos os equipamentos classificados como A (Indústria 4.0);	Aperfeiçoamento das Análises da Causa Raiz;	Aplicação da metodologia 5' S;	Melhora do planejamento das paradas preventiva (PDCA);	Fortalecimento da gestão das máquinas conforme classificação ABC;	Facilitação do acesso aos dados da máquina (Manuais, Procedimentos e Diagramas (elétrico, hidráulico e pneumático));	Fortalecimento dos sete Passos da Manutenção Autônoma;	Desenvolvimento dos seis Passos da Manutenção Planejada;	Aplicação de Poka-Yoke nos equipamentos;	Treinamento e transferência das atividades de baixa criticidade para mão de obra terceirizada;	Capacitação dos manutentores nos procedimentos das atividades da manutenção.	Inserção dos procedimentos nas ordens de serviço;	Melhoria da Gestão de peças de reposição;	Aquisição de ferramentas especiais de uso específico;	Disponibilização de bancada de manutenção próximo da máquina, durante as paradas preventivas;	Melhora da interação entre Manutenção Autônoma e Planejada.	Desenvolvimento de grupos de melhoria contínua - Kaizen	Disseminação dos conceitos do Lean entre os manutentores.	
Critérios	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	PESOS
Gerentes	3,70	3,75	4,44	4,36	2,85	3,58	3,66	3,85	4,03	4,07	3,87	2,72	4,46	3,62	3,76	4,00	3,08	3,68	3,71	3,22	0,36
Supervisores	3,10	4,00	4,70	5,00	3,50	3,70	4,20	3,80	4,00	3,90	4,90	2,80	4,30	2,80	3,20	3,80	3,30	3,90	4,20	3,20	0,36
Analistas	4,97	4,76	5,36	5,24	4,04	3,86	4,47	5,00	4,17	4,13	4,41	3,57	5,15	4,33	4,58	4,45	3,69	4,84	4,98	3,95	0,15
Especialistas	4,83	4,33	4,50	4,83	4,33	4,50	4,50	4,83	3,67	3,67	3,67	4,67	5,00	4,67	4,50	4,67	4,67	4,33	3,50	4,50	0,06
Operadores	2,43	2,54	2,94	2,97	2,09	2,39	2,53	2,59	2,56	2,56	2,65	1,93	2,91	2,30	2,42	2,60	2,15	2,50	2,52	2,19	0,06
MÉDIA	3,67	3,95	4,58	4,66	3,31	3,65	3,96	3,99	3,92	3,90	4,23	2,95	4,44	3,42	3,65	3,95	3,29	3,90	3,99	3,34	
ORDEM	13	8	2	1	18	14	7	5	10	12	4	20	3	16	15	9	19	11	6	17	

Fonte: Autoria própria (2024)