

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RENAN GUILHERME BORGES

**PROPOSTA PARA ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE QUEBRAS DE MÁQUINAS
INTEGRADA AO MÉTODO A3 EM UMA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA**

LONDRINA

2025

versão 11.0 (abr.25)

RENAN GUILHERME BORGES

**PROPOSTA PARA ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE QUEBRAS DE MÁQUINAS
INTEGRADA AO MÉTODO A3 EM UMA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA**

**Proposal for root cause analysis of machine breakdowns integrated with the
A3 method in a pharmaceutical industry**

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

Orientador(a): Pedro Rochavetz de Lara Andrade

LONDRINA

2025



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

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

RENAN GUILHERME BORGES

**PROPOSTA PARA ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE QUEBRAS DE MÁQUINAS
INTEGRADA AO MÉTODO A3 EM UMA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA**

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

Data de aprovação: 25/junho/2025

Erico Daniel Ricardi Guerreiro
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marco Antônio Ferreira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Pedro Rochavetz de Lara Andrade
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2025

Dedico este trabalho a meus pais, por sempre me apoiarem e serem meus símbolos de força, amor e perseverança.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de procedimento de trabalho para aplicação da Análise de Causa Raiz (RCA) integrada ao método A3 em uma indústria farmacêutica multinacional. A organização já possui um setor de manutenção estruturado, com subdivisões por área, sistema SAP-PM implementado para controle de ordens de serviço e indicadores de desempenho como MTBF (Tempo médio entre falhas) e disponibilidade, além de um formulário de relatório A3 contendo ferramentas como 5W2H, diagrama de Ishikawa e os 5 porquês. No entanto, não há um procedimento formalizado que defina critérios para a aplicação da RCA nem treinamentos específicos sobre sua utilização. Diante disso, esta pesquisa propõe um procedimento padronizado que estabelece os critérios para identificar quais falhas devem ser investigadas, com base na criticidade dos ativos e indicadores operacionais. A proposta também estrutura as etapas da investigação, define prazos, compõe a equipe de análise e orienta o uso adequado das ferramentas já disponíveis no A3 da empresa. A metodologia adotada foi qualitativa, com caráter explicativo e abordagem de pesquisa-ação, envolvendo observações de campo, análise de documentos internos e entrevistas com colaboradores dos setores de manutenção. Com a conclusão deste trabalho, foi possível desenvolver um procedimento estruturado e adequado à realidade da organização para aplicação da Análise de Causa Raiz. A proposta apresentada contribui para a padronização das análises, maior assertividade na identificação das causas raiz, aumento da confiabilidade dos ativos, melhoria dos indicadores de manutenção, capacitação técnica dos colaboradores e fortalecimento da cultura de melhoria contínua.

Palavras-chave: análise de causa raiz; gestão da manutenção; método A3; confiabilidade de equipamentos.

ABSTRACT

This study presents a proposed work procedure for applying Root Cause Analysis (RCA) integrated with the A3 method in a multinational pharmaceutical company. The organization already has a structured maintenance department, with subdivisions by area, an implemented SAP-PM system for managing service orders, and performance indicators such as MTBF (Mean Time Between Failures) and equipment availability. Additionally, it uses an A3 report form that incorporates tools like 5W2H, Ishikawa diagram, and the 5 Whys. However, there is no formalized procedure that defines clear criteria for applying RCA, nor specific training on its use. In response to this gap, this research developed a standardized procedure that establishes criteria for identifying which failures should be investigated, based on asset criticality and operational indicators. The proposal also structures the investigation stages, defines deadlines, establishes the analysis team, and guides the appropriate use of the tools already included in the company's A3 form. The adopted methodology was qualitative, with an explanatory approach and action research strategy, involving field observations, internal document analysis, and interviews with maintenance personnel. As a result of this work, a structured and context-appropriate procedure was developed for RCA application. The proposed solution contributes to the standardization of analyses, greater assertiveness in identifying root causes, improved asset reliability, enhanced maintenance performance indicators, technical training of personnel, and the strengthening of a culture of continuous improvement.

Keywords: root cause analysis; maintenance management; A3 method; equipment reliability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Passos da análise de causa raiz.....	13
Figura 2 - Ciclo PDCA.	14
Figura 3 - Separação da estrutura do A3 dentro do ciclo PDCA.....	15
Figura 4 - Fluxo típico de um relatório A3 de solução de problemas.....	16
Figura 5 - Etapas de construção do diagrama de Ishikawa.....	18
Figura 6 - Exemplo do método dos Cinco Por quês.	19
Figura 7 - Oito pilares da TPM.....	20
Figura 8 - Fórmula para calcular o MTBF.....	22
Figura 9 - Fórmula para calcular o índice de disponibilidade.	22
Figura 10 - Fórmula para calcular o percentual de indisponibilidade por quebra.	22
Figura 11 - Fluxograma do processo de análise de causa raiz proposto.....	29
Figura 12 - Percepção inicial do problema da emblistadeira.	31
Figura 13 - Ações imediatas diante da falha da emblistadeira.....	31
Figura 14 - <i>Brainstorming</i> das causas potenciais da falha da emblistadeira. .	32
Figura 15 - Análise dos 5 porquês da causa potencial validada.....	33
Figura 16 - Ações corretivas e preventivas estabelecidas.	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Justificativa.....	9
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivos Específicos	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	Manutenção industrial e gestão da manutenção.....	11
2.2	Análise de causa raiz (RCA)	12
2.2.1	Relatório A3.....	14
2.2.2	5W2H	17
2.2.3	Diagrama de Ishikawa	17
2.2.4	5 Porquês	19
2.3	Manutenção Produtiva Total (TPM).....	20
2.3.1	Manutenção programada – Identificação de falhas, indicador de tempo médio entre falhas (MTBF) e indisponibilidade por quebra	21
3	MÉTODOS E TÉCNICAS	23
4	PROPOSTA DE PROCEDIMENTO DE TRABALHO DE ANÁLISE DE CAUSA RAIZ INTEGRADA AO MÉTODO A3.....	25
4.1	Diagnóstico do Grau de maturidade da organização nos conceitos da Análise de causa raiz e planejamento de manutenção	25
4.2	Fatores determinantes para aplicação da RCA	27
4.3	Etapas do processo de investigação de falhas	28
4.3.1	Definição da equipe de investigação	30
4.3.2	Prazo para início e conclusão das investigações	30
4.3.3	Percepção inicial do problema	30
4.3.4	Ações imediatas	31
4.3.5	Análise de causa e efeito (Ishikawa)	32
4.3.6	Análise dos 5 porquês	33
4.4	Possíveis ações resultantes das investigações	34
4.5	Acompanhamento da eficácia das ações.....	35
5	RESULTADOS ESPERADOS	37
	APÊNDICE A - FORMULÁRIO DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS A3	41

1 INTRODUÇÃO

A importância de um controle eficiente de gastos nas indústrias tem sido amplamente discutida ao longo do tempo. A função da gestão da manutenção, uma subárea da engenharia de produção, é justamente atuar sobre a manutenção de maneira a otimizar o desempenho, a disponibilidade, a manutenibilidade, a confiabilidade e a longevidade dos ativos, o que, conseqüentemente, reduz os custos operacionais da organização.

As falhas e quebras de máquinas em um sistema produtivo podem gerar diversos impactos negativos no desempenho geral da organização, como perda de produtividade, atrasos, gastos excessivos e também um maior risco de acidentes.

Portanto, para que uma organização produza com qualidade é necessário que seus processos sejam confiáveis e isso só é alcançado através de máquinas que estejam integralmente cumprindo as atividades para as quais foram designadas, este é o objetivo central da gestão da manutenção.

Diante da relevância da manutenção para o desempenho geral da organização, elaborou-se uma proposta de procedimento de trabalho padronizado para aplicação da Análise de Causa Raiz (RCA) em falhas de máquinas e equipamentos. A proposta define critérios para aplicação da metodologia, orienta o uso das ferramentas já disponíveis na organização e estrutura as etapas da investigação de forma sistemática.

Esta pesquisa foi realizada em uma unidade produtiva de uma indústria farmacêutica localizada no norte do Paraná. A empresa é uma multinacional fundada na Suíça em 1886 e atua, principalmente, na produção de medicamentos genéricos e biossimilares. A unidade abordada neste estudo tem sua operação voltada à produção e embalagem de comprimidos, que são distribuídos em sua maior parte no mercado nacional, com o restante deles sendo direcionado a países da América Latina e Europa.

Além disso, a unidade conta com laboratórios de controle de qualidade que realizam análises das matérias-primas antes de serem colocadas em processo, bem como análises do produto acabado, tanto desta unidade quanto de outras da empresa, atestando a conformidade com os critérios dos órgãos reguladores e comprovando a qualidade dos produtos antes de serem liberados para distribuição.

Resumidamente o processo produtivo dos comprimidos nesta organização é feito da seguinte forma:

No setor de produção é feita a pesagem da matéria-prima em pó, granulação, mistura e compressão para formar os comprimidos, que, em alguns casos, passam por um processo de revestimento.

Em seguida, os comprimidos são enviados para o setor de embalagem, onde passam pelo processo de embalagem primária, que inclui o emblistamento dos comprimidos, e pela embalagem secundária, que compreende o encartuchamento dos blísteres e bulas e encaixotamento. Por último, as caixas são organizadas em paletes e enviadas para o setor logístico onde ficam armazenados aguardando a coleta para distribuição.

O foco deste estudo foi no setor de manutenção desta empresa, que se subdivide em quatro áreas: manutenção da produção, manutenção da embalagem, manutenção de utilidades e manutenção civil.

Para tanto, essa pesquisa foi organizada em 6 tópicos, sendo: 1. Introdução; 2. Referencial Teórico; 3. Métodos e Técnicas; 4. Elaboração do Procedimento de Trabalho da RCA; 5. Resultados; e 6. Referências.

1.1 Justificativa

Embora a organização escolhida para este trabalho possua uma gestão da manutenção consolidada, não há um documento formal e nenhum treinamento que instrua as etapas de aplicação de ferramentas de análise de causas raízes das falhas, o que pode resultar em manutenções ineficazes e perda de oportunidades de melhorias, pois apenas aqueles que possuem conhecimento prévio das ferramentas conseguem aplicá-las corretamente.

Diante desse cenário, esta pesquisa visa otimizar o processo de análise da causa raiz, propondo um procedimento de trabalho que defina as falhas que devem ser investigadas, assim como as etapas da investigação, utilizando as ferramentas de investigação presentes no formulário de resposta aos eventos (relatório A3) da organização.

Este trabalho contribuirá para a formação acadêmica do autor, para a melhoria dos resultados da empresa e para evidenciar a importância da Engenharia de Produção no ambiente organizacional. Isso se deve ao fato de que as ferramentas de

investigação são amplamente abordadas em diferentes disciplinas do curso, que têm como um dos seus pilares a promoção da melhoria contínua.

1.2 Objetivos

Desenvolver uma proposta de procedimento de trabalho para a aplicação da Análise de Causa Raiz (RCA) em falhas e quebras de máquinas e equipamentos em uma indústria farmacêutica.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver um referencial teórico sobre a manutenção industrial e gestão da manutenção, os conceitos e ferramentas de análise de causa raiz que serão utilizados, a manutenção produtiva total (TPM) com foco no pilar de manutenção planejada e o indicador MTBF;
- Realizar um diagnóstico do grau de maturidade da organização em relação à Análise de Causa Raiz e aos conceitos do pilar de manutenção planejada da Manutenção Produtiva Total (TPM);
- Desenvolver uma proposta de procedimento de trabalho para aplicação da análise de causa raiz no setor de manutenção;
- Apresentar e discutir os resultados esperados com a implementação do procedimento, considerando os impactos na confiabilidade dos ativos e na melhoria contínua dos processos de manutenção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, o embasamento teórico do trabalho é apresentado, inicialmente tratando sobre a manutenção industrial e a gestão da manutenção. Em seguida, trata-se da análise de causa raiz e algumas das principais técnicas para esta atividade. Por fim, aborda-se a Manutenção Produtiva Total (TPM).

2.1 Manutenção industrial e gestão da manutenção

Conforme descreve Otani e Machado (2008), a manutenção é responsável pela disponibilidade dos ativos e tem importância capital nos resultados da empresa de modo que, quanto mais eficaz for sua gestão, maior o impacto positivo nestes resultados e, portanto, as organizações devem realizar melhorias contínuas em sua gestão da manutenção, buscando incessantemente melhorar seus índices de produtividade e confiabilidade.

Uma gestão da manutenção eficaz se dá pela adoção de estratégias adequadas e efetivas de manutenção para os ativos da organização, existem três principais tipos de estratégias de manutenção, sendo elas a manutenção corretiva, a preventiva e a preditiva.

De acordo com Gregório e Silveira (2018), a manutenção corretiva ocorre em reação a uma falha ou quebra de equipamento ou máquina e tem como objetivo recolocar o ativo em uso, e se subdivide em manutenção corretiva não programada em que se corrige uma falha assim que ela ocorre para poder dar continuidade ao processo ou a manutenção corretiva programada em que se busca, em um momento conveniente, como a parada programada da linha, fazer reparos a fim de corrigir o seu desempenho.

A manutenção corretiva é recomendada para situações nas quais o custo da falha da máquina não é relevante, mas por vezes acaba por ser a única alternativa, especialmente em empresas que não possuem uma gestão da manutenção aplicada o que, devido a sua imprevisibilidade, pode afetar gravemente a produtividade gerando grandes prejuízos para a empresa, a fim de evitá-la pode-se utilizar das outras duas principais estratégias de manutenção: a manutenção preventiva e a manutenção preditiva.

A manutenção preventiva obedece a um padrão de paradas periódicas de máquinas para a substituição de peças gastas por novas, assegurando, durante um determinado período, o perfeito funcionamento da máquina e o bom andamento das atividades (WEBER et al., 2008).

Ainda a respeito da manutenção preventiva, o plano de manutenção pode também incluir atividades como limpeza do equipamento, reaperto dos bornes e organização de cabos elétricos e lubrificação dos elementos mecânicos, com base nas orientações do fabricante e nas experiências obtidas durante sua utilização.

Já a manutenção preditiva, de acordo com Gregório e Silveira (2018), aplica técnicas de análise com o objetivo de reduzir tanto as manutenções corretivas quanto as preventivas dos equipamentos ou de seus componentes.

Essas técnicas geralmente envolvem o uso de tecnologias sofisticadas, que exigem constantes atualizações, mas, apesar disso, oferecem a vantagem de permitir a utilização eficiente dos ativos durante toda a sua vida útil. Algumas análises utilizadas são: alteração no nível de vibração de elementos rotativos e nas temperaturas dos componentes.

2.2 Análise de causa raiz (RCA)

Segundo Fagerhaug e Andersen (2006, p. 12, tradução nossa), a análise de causa raiz, também conhecida pela sigla RCA do inglês *Root Cause Analysis*, é definida como “uma investigação estruturada que visa identificar a verdadeira causa de um problema e as ações necessárias para eliminá-la.” De forma complementar, Rooney e Heuvel (2004, p. 45, tradução nossa) definem que a RCA é “projetada para ajudar a identificar não apenas o quê e como um evento ocorreu, mas também por que ele aconteceu.”

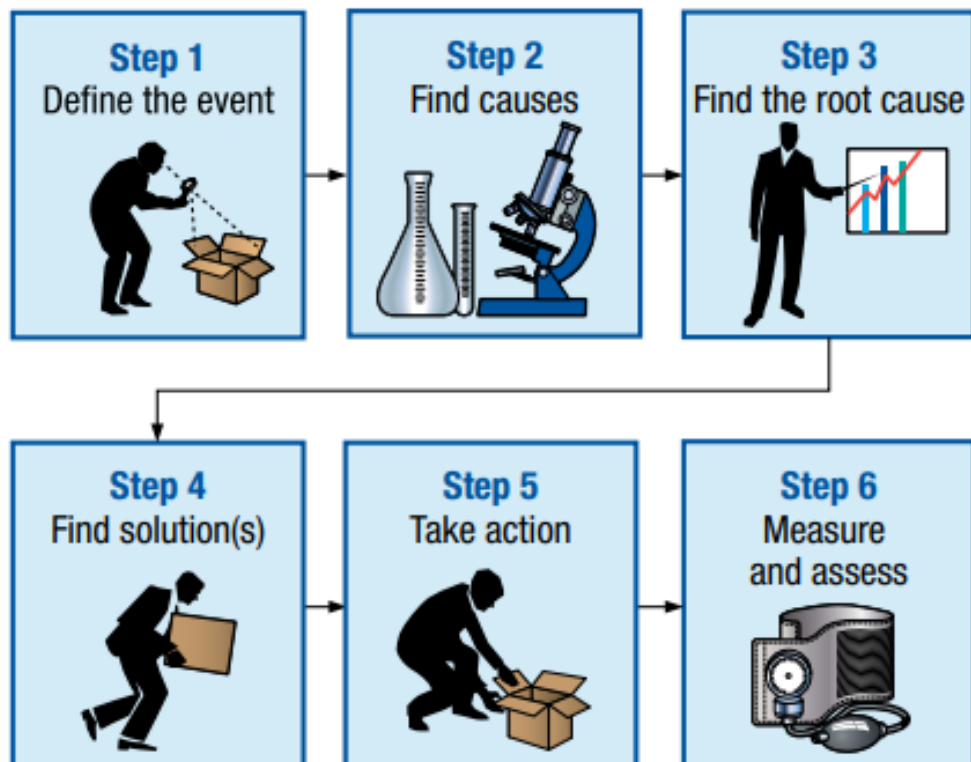
Além disso, Fagerhaug e Andersen (2006) destacam que a análise de causa raiz é um termo coletivo para a união de diferentes abordagens, ferramentas e técnicas utilizadas para descobrir a causa de problemas. No contexto deste estudo, a análise de causa raiz é utilizada para identificar a causa ou o conjunto de causas das falhas e quebras de máquinas e eliminá-las, o que condiz com as definições apresentadas.

A análise de causa raiz é de grande importância para que as organizações possam solucionar problemas de maneira efetiva pois “Somente quando os investigadores conseguem determinar por que um evento ou falha ocorreu é que

serão capazes de especificar medidas corretivas viáveis que previnam eventos futuros do tipo observado." (ROONEY E HEUVEL, 2004, p. 45, tradução nossa)

De acordo com Andersen e Fagerhaug (2013), a RCA pode ser realizada em seis passos: fazer a descrição do evento, encontrar as causas potenciais, descobrir a causa raiz, encontrar soluções para resolver o problema e evitar que o evento se repita, implementar as soluções encontradas e, por fim, medir e avaliar os resultados.

Figura 1 - Passos da análise de causa raiz.



Fonte: Andersen e Fagerhaug (2013, p. 17).

Não existe um documento específico para a realização da Análise de Causa Raiz. No entanto, ela pode ser adaptada ao relatório A3, devido às características em comum entre o conceito e a ferramenta. Conforme destacado por Flinchbaugh (2008), uma das características do A3 é justamente utilizar o problema como ponto de partida.

2.2.1 Relatório A3

O relatório A3, também chamado de método A3 ou resolução de problemas A3 ou simplesmente A3, é uma ferramenta que foi desenvolvida pela *Toyota Motor Corporation* em meados dos anos 60 que reúne técnicas para a resolução de problemas e melhoria contínua (BRANDÃO, 2023).

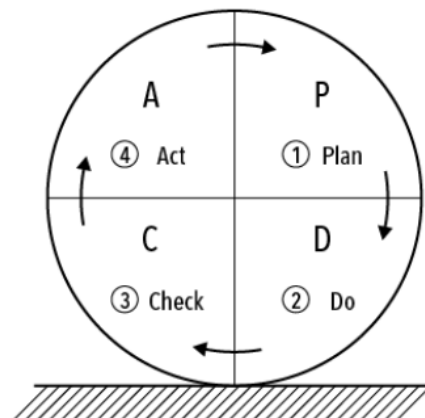
Os autores Sobek II e Smalley (2016) e Flinchbaugh (2008), enfatizam em suas obras que o relatório A3 é uma ferramenta colaborativa, isto é, para que se encontre melhores resultados, ele deve ser desenvolvido em equipe.

De acordo com Sobek II e Smalley (2016, p. 54), “Os relatórios A3 têm esse nome porque cabem em um lado de uma folha de papel A3, equivalente a 42 x 29,7 cm”. O autor Koenigsaecker (2011, p. 22) define que o formato do relatório “força o usuário a registrar todos os principais passos na análise de um problema, ou de uma ação.”

Segundo Brandão (2023), o A3 baseia-se no ciclo PDCA, uma metodologia desenvolvida em 1930 por Walter Andrew Shewhart e mais tarde aperfeiçoada por William Edwards Deming. Sobek II e Smalley (2016, p. 54) apontam que os relatórios A3 são, resumidamente, “documentos de uma página que registram os principais resultados do ciclo PDCA.”

Conforme a definição com Oribe (2022, p. 119), o ciclo PDCA é “um acrônimo das quatro palavras inglesas: ‘Plan’, ‘Do’, ‘Check’ e ‘Act’, que significam, em português, ‘Planejar, Fazer, Verificar e Corrigir’.” O ciclo PDCA estrutura as quatro etapas necessárias para a realização de qualquer trabalho e tem um funcionamento de caráter contínuo, isto é, “para que a melhoria ocorra de maneira permanente é preciso girar o ciclo constantemente” (ORIBE, 2022, p. 120).

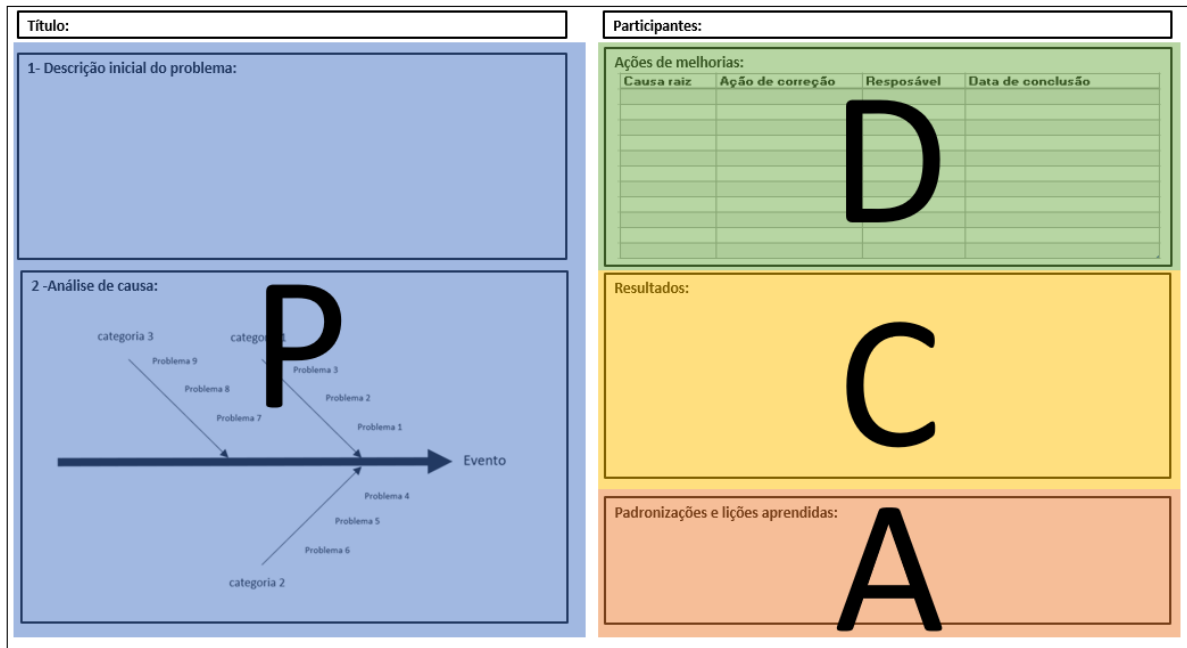
Figura 2 - Ciclo PDCA.



Fonte: Oribe (2022, p. 120).

Portanto, baseado nas informações levantadas, pode-se definir que, resumidamente, o relatório A3 é documento de folha única estruturado dentro do conceito do ciclo PDCA que, dentre outras funções, pode ser utilizado para solucionar problemas, conforme ilustrado abaixo na Figura 3.

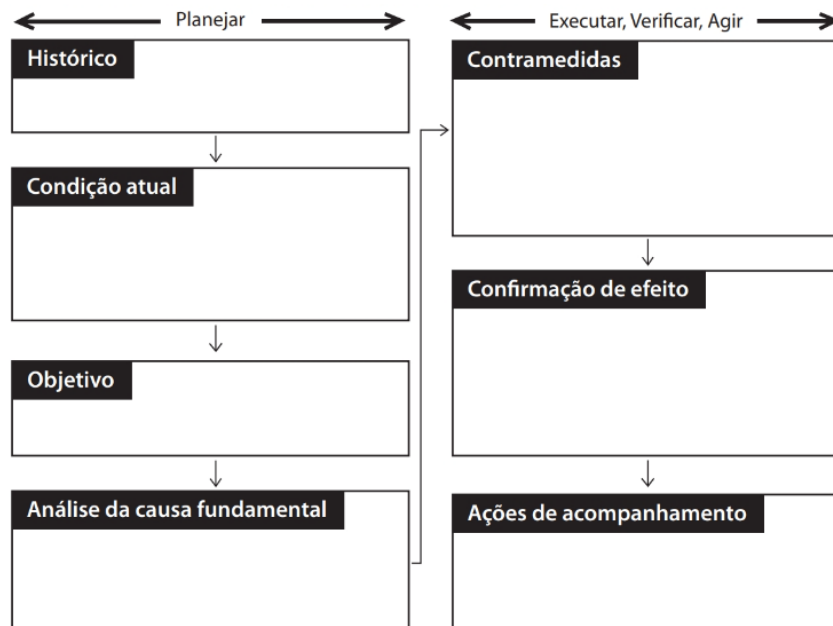
Figura 3 - Separação da estrutura do A3 dentro do ciclo PDCA.



Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com Bassuk e Washington (2013), o *Seattle Children's Research Institute* utiliza uma ferramenta A3 estruturada em um fluxo de 10 passos, enquanto Sobek II e Smalley (2016) Sugerem um modelo estruturado em um fluxo de 7 passos da Figura 4. Como a ferramenta A3 não possui etapas específicas, ela pode ser dividida da forma que for mais interessante para a organização, desde que se mantenha dentro do conceito do ciclo PDCA.

Figura 4 - Fluxo típico de um relatório A3 de solução de problemas.



Fonte: Adaptado de Sobek II e Smalley (2016, p. 54).

Sobek II e Smalley (2016) descrevem que no lado esquerdo do A3 normalmente são abordadas as atividades de planejamento e no lado direito as etapas executar, verificar e agir dividem o restante do espaço. Isso é feito de forma intencional pois popularmente dentro da Toyota, pelo menos metade do esforço deve ser gasto compreendendo adequadamente a situação antes de prosseguir com a investigação. (SOBEK II E SMALLEY, 2016).

Segundo Flinchbaugh (2008) é possível encaixar diferentes ferramentas de resolução de problemas dentro do A3, sendo a grande vantagem desta adaptação, comunicar com clareza os meios utilizados para encontrar a solução.

Como indicado por Brandão (2023), no relatório A3 podem ser utilizados o diagrama de Ishikawa na procura das causas potenciais do problema e a técnica dos 5 porquês para encontrar as causas raízes.

Neste estudo, será abordado o uso do diagrama de Ishikawa seguido da ferramenta dos 5 porquês, explorando de que forma estas ferramentas contribuem para a análise de causa raiz.

2.2.2 5W2H

O 5W2H é uma ferramenta constituída por sete perguntas: *What* (o quê), *Who* (quem), *Why* (por quê), *When* (quando), *Where* (onde), *How* (como) e *How Much* (quanto), utilizada para gerar respostas que esclareçam um problema a ser resolvido ou organizar as ideias para a solução de um problema (SOUZA, 2018).

O autor Oribe (2022, p. 175) afirma que “uma das primeiras coisas a se fazer ao tratar um problema é caracterizá-lo bem, e uma das formas de fazer isso é usando a técnica do 5W2H”. tornando a ferramenta importante para uma análise inicial bem detalhada do problema.

Com base nas definições dos autores, é possível concluir que a ferramenta pode ser aplicada no início da análise de causa raiz para realizar a descrição inicial do problema e para planejar as ações que serão tomadas após a conclusão das etapas de investigação.

2.2.3 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa ou diagrama de causa e efeito, diagrama de espinha-peixe ou diagrama 6M é uma ferramenta utilizada para o gerenciamento e controle da qualidade em diferentes processos (SOUZA, 2018). No contexto análise de causa raiz, os autores Fagerhaug e Andersen (2006) a descrevem como uma ferramenta que auxilia no *brainstorming* e no entendimento da relação entre um problema e suas causas potenciais.

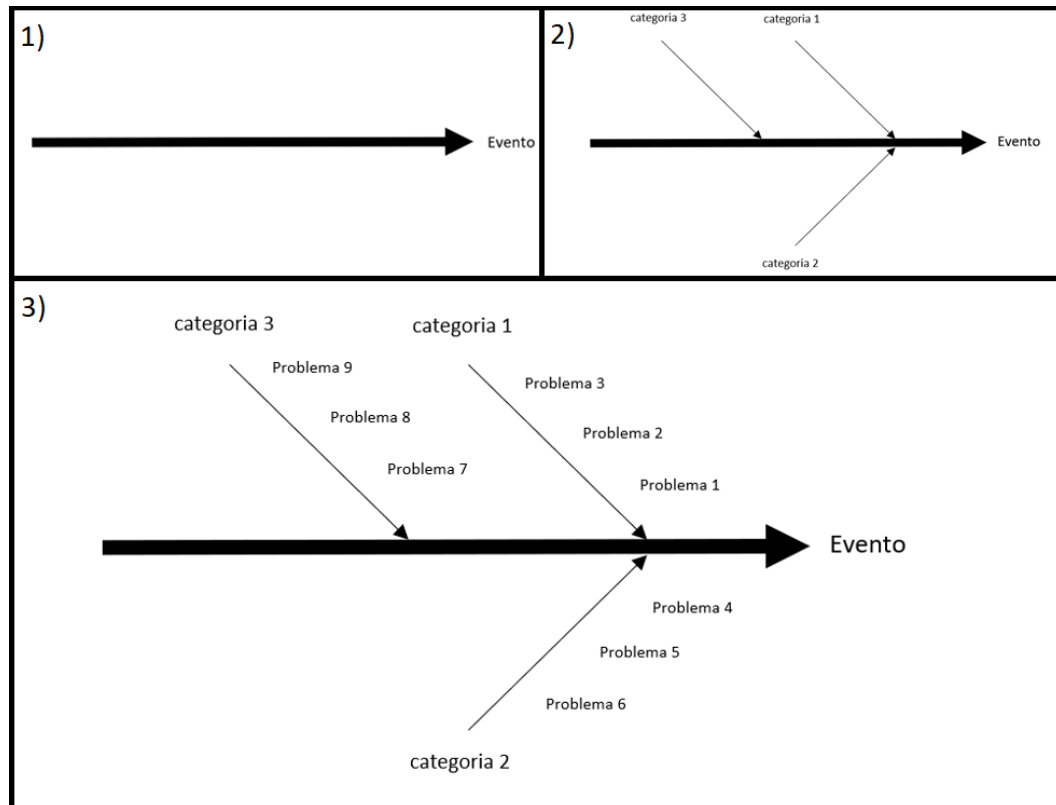
A ferramenta foi desenvolvida por Kaoru Ishikawa e apresentada em seu livro *Guide to Quality Control* como uma ferramenta para organizar em categorias as causas de dispersão da qualidade, facilitando a análise da relação entre uma ou mais causas e um determinado problema. “Um diagrama de causa e efeito é útil para nos ajudar a resolver as causas da dispersão e organizar as relações mútuas.” (ISHIKAWA, 1976, p.19, tradução nossa)

Com base na descrição de Fagerhaug e Andersen (2006), a construção do diagrama pode ser realizada por meio das seguintes etapas:

- 1) Em um quadro ou folha colocar o evento a ser investigado na extremidade direita de uma grande seta horizontal;
- 2) Identificar as principais categorias de causas e separar em linhas ramificadas a partir da seta principal;

3) Realizar um *Brainstorming* junto aos participantes da investigação analisando uma categoria por vez anotando em uma descrição breve e sucinta os problemas encontrados na categoria adequada, repetindo-os caso se enquadre em mais de uma categoria.

Figura 5 - Etapas de construção do diagrama de Ishikawa.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por se tratar de uma ferramenta de *Brainstorming*, Fagerhaug e Andersen (2006), destacam que é importante a participação do máximo de colaboradores ligados ao evento, independentemente de sua função. Além disso, todas as ideias devem ser registradas sem qualquer crítica ou discussão.

Quanto ao número de categorias, de acordo com Brandão (2023) normalmente os autores apresentam cinco: máquinas, mão-de-obra, material, método e medição e em alguns casos é incluído meio ambiente como uma sexta categoria.

Após a elaboração do diagrama de Ishikawa, é possível selecionar quais causas potenciais se relacionam com o evento e prosseguir para etapa de definição da(s) causa(s) raiz(es), utilizando o método dos 5 porquês.

2.2.4 5 Porquês

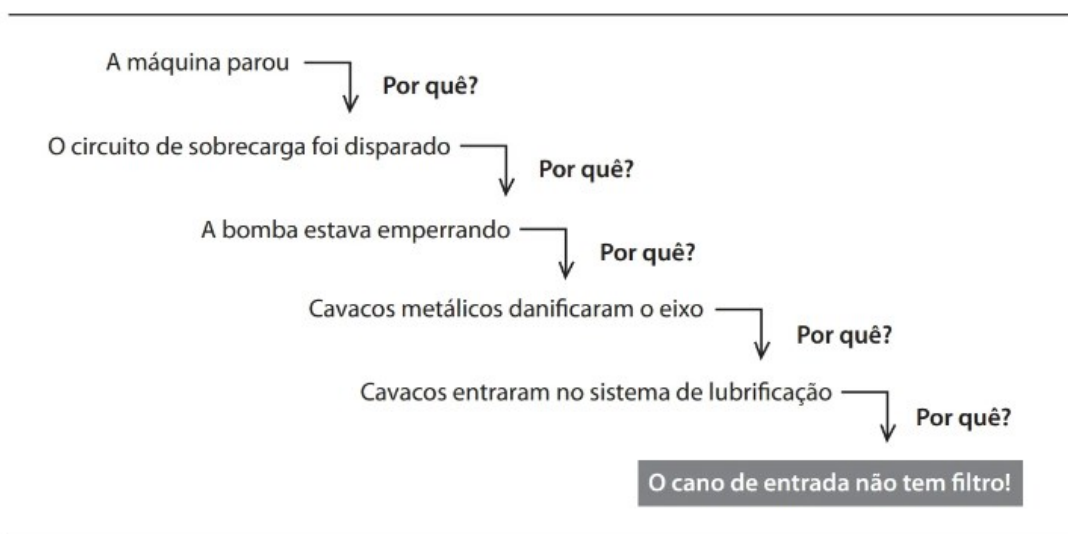
De acordo com Andersen e Fagerhaug (2013), Sobek II e Smalley (2016) e Brandão (2023), os 5 porquês é uma ferramenta utilizada para identificação da causa raiz dos eventos. A técnica foi apresentada por Taiichi Ohno em sua obra *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, segundo Ohno (2001), ao se perguntar “por quê?” por cinco vezes e responder a cada vez, é possível chegar à verdadeira causa do problema, muitas vezes oculta atrás dos sintomas mais óbvios.

Sobek II e Smalley (2016) explica que ao se perguntar “Por que esse problema está ocorrendo?” o investigador encontrará a causa subjacente ao problema até de fato atingir a causa raiz, que se tratada eliminará junto todos os sintomas encontrados anteriormente no fluxo da análise.

Apesar do nome, a ferramenta não se restringe a cinco perguntas, Andersen e Fagerhaug (2013) explicam que essa denominação se deve ao fato de que, partindo do sintoma original, frequentemente são necessárias cinco rodadas da pergunta “por quê?” para se chegar à causa raiz. No entanto, há casos em que a pergunta deve ser feita mais ou menos vezes.

No exemplo apresentado abaixo, o sintoma analisado foi “A máquina parou”, ao se perguntar “por quê?”, foi apontado como causa o disparo do circuito de sobrecarga, ao se perguntar “por quê?” novamente, a última resposta passa a ser observada como um sintoma. O ciclo se repete até que não se possa obter mais respostas, encontrando a causa raiz “O cano de entrada não tem filtro!”.

Figura 6 - Exemplo do método dos Cinco Por quês.



2.3 Manutenção Produtiva Total (TPM)

A manutenção produtiva total, ou TPM, do inglês: *Total Productive Maintenance* pode ser considerada uma filosofia que incorpora a manutenção preventiva com a total participação dos empregados das organizações (KARDEC e NASCIF, 2009).

Segundo Kardec e Nascif (2009), durante muito tempo as indústrias atuavam apenas com o sistema de manutenção corretiva, o que gerava desperdícios, retrabalho, perda de produtividade e, por consequência deste e demais efeitos, o prejuízo financeiro.

Ainda de acordo com Kardec e Nascif (2009), em 1950 foi introduzido na indústria japonesa o conceito de manutenção preventiva que mais tarde serviu de base para o surgimento da TPM.

Conforme descreve Gregório e Silveira (2018), a TPM foi desenvolvida no Japão na década de 1970 e chegou ao Brasil por volta do ano de 1986. O objetivo da filosofia é fazer com que o índice de quebras de máquinas tenda a zero, buscando melhorias nas práticas de manutenção e nos processos produtivos, administrativos e de suporte adotando os princípios de trabalho em equipe e melhoria contínua (GREGÓRIO E SILVEIRA, 2018).

A manutenção produtiva total se sustenta sobre oito pilares, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Oito pilares da TPM.



Fonte: Seleme (2015, p. 67).

Baseado na obra de Gregório e Silveira (2018), de forma resumida é possível atribuir os seguintes significados para cada pilar:

Saúde e segurança – Implementação de conceitos e ferramentas de segurança e avaliação de riscos de tarefas e ambientes com o objetivo de se atingir a meta de zero acidentes;

Educação e formação – Capacitação dos colaboradores seja de manutenção ou de nível operacional em seus conhecimentos técnicos, gerenciais e comportamentais, potencializando os resultados do TPM;

Manutenção autônoma – Treinamentos dos operadores para realizar atividades básicas de limpeza, lubrificação, manutenção e detecção de falhas;

Manutenção programada – Identificação das causas de problema e a implementação de soluções eficazes com o objetivo de se atingir zero defeitos de máquinas e otimizar o tempo médio entre falhas;

Manutenção da qualidade – Atividades que possuem o objetivo de eliminar defeitos da qualidade dos produtos, retrabalho e rejeitos;

Melhorias específicas – Atividades que visam eliminar as perdas de eficiência produtivas das máquinas reduzindo paradas e tempo de *setup*;

Sistemas de suporte – Utilização de técnicas da TPM para identificar e solucionar problemas administrativos como falta de peças, descontrole dos prazos e falta de padronização;

Gestão da fase inicial – Criação de equipes para avaliar toda a cadeia produtiva buscando oportunidade de melhorias no processo de novos produtos e nos produtos já produzidos.

Diante destas informações, é possível compreender que as abordagens deste estudo derivam dos pilares educação e capacitação por meio do treinamento dos colaboradores em ferramentas de melhoria contínua e manutenção programada por meio das melhorias obtidas eliminando as causas raízes das falhas e quebras de equipamentos.

2.3.1 Manutenção programada – Identificação de falhas, indicador de tempo médio entre falhas (**MTBF**) e indisponibilidade por quebra

Conforme explicado anteriormente, é no pilar de manutenção programada que, segundo Gregório e Silveira (2018, p. 179), “ocorre a identificação das causas do

problema e a implementação de soluções”, no qual podem ser aplicadas as análises de causa raiz no processo de identificação e eliminação de falhas.

Quanto ao processo de medição de desempenho dos equipamentos, é possível utilizar o MTBF (do inglês *Mean Time Between Failures*) que é o tempo médio entre o fim de uma falha e o início da outra nos equipamentos reparáveis (GREGÓRIO E SILVEIRA, 2018). Ou seja, ao eliminar continuamente as causas das falhas dos equipamentos, o MTBF tende a aumentar como consequência.

Para calcular o MTBF, é necessário coletar os dados descritos na fórmula da Figura 8 abaixo:

Figura 8 - Fórmula para calcular o MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{somatório das horas de trabalho em bom funcionamento}}{\text{número de paradas para manutenção corretiva}}$$

Fonte: Adaptado de Gregório e Silveira (2018, p. 165).

Um outro indicador de desempenho de equipamentos é o índice de disponibilidade, que, de acordo com Nakajima (1989), representa a proporção de tempo em que o equipamento está efetivamente disponível para operar, em relação ao tempo total programado para funcionamento. O índice de disponibilidade pode ser calculado pela fórmula:

Figura 9 - Fórmula para calcular o índice de disponibilidade.

$$\text{Índice de disponibilidade} = \frac{\text{Tempo operacional}}{\text{Tempo programado}}$$

Fonte: Adaptado de Gregório e Silveira (2018, p. 165).

Para avaliar especificamente o percentual de indisponibilidade causado por manutenções não planejadas, é possível modificar a fórmula, substituindo o tempo operacional, pelo tempo total para restauração do equipamento e multiplicando o índice por 100, conforme apresentado a seguir:

Figura 10 - Fórmula para calcular o percentual de indisponibilidade por quebra.

$$\text{Indisponibilidade (\%)} = \frac{\text{Tempo total para restauração}}{\text{Tempo total de produção planejado}} * 100$$

Fonte: Autoria própria (2024).

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

Para atingir os objetivos deste trabalho, adotou-se uma abordagem metodológica compatível com a proposta do estudo. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, pois busca compreender o contexto organizacional, diagnosticar o grau de maturidade da empresa em relação à aplicação da Análise de Causa Raiz (RCA) e propor um procedimento de trabalho adequado à sua realidade.

De acordo com Prodanov e Freitas (2013, p. 70), "a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa", sendo que "o ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave".

Quanto ao objetivo, a pesquisa é de natureza explicativa, pois procura identificar fatores que influenciam a aplicação das ferramentas de análise de causa raiz na organização e indicar sugestões de melhoria para a padronização e fortalecimento desse processo.

Quanto ao método, adota-se a pesquisa-ação, pois, conforme Prodanov e Freitas (2013, p. 65), trata-se de um método utilizado "quando concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo."

No presente trabalho, a pesquisa-ação assume um caráter propositivo, focando na elaboração de um procedimento de trabalho que poderá ser implementado posteriormente pela organização.

Quanto às etapas metodológicas, elas foram distribuídas da seguinte maneira:

- Na primeira etapa, foi realizada a fundamentação teórica sobre manutenção industrial, gestão da manutenção, Análise de Causa Raiz (RCA), Manutenção Produtiva Total (TPM) com foco no pilar de manutenção planejada e os indicadores MTBF e disponibilidade;
- Na segunda etapa, foi feito o diagnóstico do grau de maturidade da organização em relação aos conceitos estudados, bem como uma análise do nível de desenvolvimento da gestão da manutenção, da cultura de melhoria contínua e de outros aspectos relevantes ao contexto organizacional.
- Na terceira etapa, foi elaborada uma proposta de procedimento de trabalho para padronizar a aplicação da RCA na manutenção,

utilizando os recursos já existentes na empresa, como o formulário A3 e o sistema SAP-PM;

- Na quarta etapa, foi realizada a apresentação dos resultados esperados com a futura implementação do procedimento, indicando os benefícios potenciais para a confiabilidade dos ativos e para a melhoria contínua da organização.

4 PROPOSTA DE PROCEDIMENTO DE TRABALHO DE ANÁLISE DE CAUSA RAIZ INTEGRADA AO MÉTODO A3

Neste tópico, serão apresentados os diagnósticos acerca da maturidade da empresa na aplicação das ferramentas de análise de causa raiz e os recursos, documentos e procedimentos já disponíveis que possam ser utilizados. Por fim, com base no diagnóstico, será apresentada uma proposta de procedimento de trabalho adequada à realidade da organização.

4.1 Diagnóstico do Grau de maturidade da organização nos conceitos da Análise de causa raiz e planejamento de manutenção

Antes da elaboração do procedimento de trabalho proposto, foi realizado um diagnóstico qualitativo do grau de maturidade da organização em relação aos conceitos de RCA e ao pilar de manutenção programada do *Total Productive Maintenance* (TPM).

O objetivo do diagnóstico foi verificar se a organização:

- Está disposta a formalizar o processo de RCA e/ou promover a disseminação de ferramentas de melhoria contínua no setor de manutenção;
- Realiza a gestão estruturada das atividades de manutenção de seus ativos;
- Identifica e classifica adequadamente seus ativos produtivos.

O não cumprimento desses requisitos compromete a implementação do procedimento, pois dificulta a padronização das análises, a priorização das falhas críticas, o acompanhamento individual e global do desempenho dos ativos, além da definição de ações corretivas e preventivas eficazes. Sem uma estrutura adequada, o engajamento das equipes e o controle eficiente dos ativos, a RCA tende a ser aplicada de forma pontual, em vez de sistemática.

O diagnóstico foi conduzido por meio de:

- Observações de campo;
- Análise de documentos internos;
- Avaliação dos sistemas utilizados para a gestão da manutenção (notadamente o módulo SAP-PM);

- Entrevistas informais com colaboradores da área de manutenção (em especial os coordenadores, especialistas e os analistas de PCM e confiabilidade).

Em relação aos conceitos de análise de causa raiz, constatou-se que apenas uma parcela limitada dos colaboradores possui conhecimento aprofundado sobre as ferramentas aplicáveis (como 5W2H, Diagrama de Ishikawa e 5 Porquês). Essa constatação reforça a necessidade de formalizar um procedimento de trabalho para padronizar a aplicação da RCA, bem como implementar programas de capacitação para todo o time de manutenção.

Por outro lado, foi possível verificar que a organização já reconhece oficialmente essa necessidade. A empresa possui como objetivo estratégico a ampliação do número de colaboradores treinados nas técnicas e ferramentas de melhoria contínua em todos os níveis hierárquicos, conforme diretrizes internas relacionadas à sustentabilidade e melhoria contínua (*Continuous Improvement - CI*)

Além disso, um recurso que pode ser utilizado para viabilizar e estruturar a aplicação da Análise de Causa Raiz na organização é o formulário A3 já existente na empresa. Esse formulário já inclui as metodologias e ferramentas discutidas ao longo deste estudo, além de conter outros recursos internos da organização (ver Apêndice A).

Dentre as ferramentas contidas no formulário, há o 5W2H para caracterização inicial dos eventos, o Diagrama de Ishikawa para levantamento de causas potenciais e a técnica dos 5 Porquês para aprofundamento da análise.

Uma vez identificada a causa raiz, o próprio A3 orienta a definição e registro das ações corretivas e/ou preventivas necessárias para a eliminação do problema.

Em relação à gestão da manutenção, a empresa possui um sistema consolidado de gestão de ativos e de manutenção, operando através do módulo SAP-PM (*Plant Maintenance*) como ferramenta principal para registro, controle e acompanhamento das atividades de manutenção.

O processo de gestão de ativos contempla a identificação de todos os equipamentos utilizados direta ou indiretamente no processo produtivo, a definição de planos de manutenção preventiva e preditiva, o controle de ordens de serviço e o cálculo de indicadores-chave, como o MTBF (*Mean Time Between Failures*).

As atividades de manutenção corretiva também são gerenciadas pelo sistema SAP. Quando ocorre uma falha ou quebra de um equipamento, a área responsável

realiza a abertura de um chamado, que é convertido pela equipe de manutenção em uma ordem de serviço.

Durante a execução da ordem, os técnicos envolvidos no processo de reparo registram as atividades realizadas, os materiais utilizados, bem como a data e o horário de início e término de cada atividade, permitindo que esses dados sejam utilizados na elaboração dos indicadores mensais de desempenho.

Além disso, dentro da organização é adotada uma metodologia estruturada para classificação da criticidade dos ativos em cinco classes de criticidade sendo elas:

Criticidade A – Quality Relevant (Relevante para Qualidade) - Equipamentos cuja falha pode comprometer a qualidade do produto ou interromper o processo produtivo, levando à perda ou diminuição da produção programada.

Criticidade B – Safety Relevant (Relevante para Segurança) - Equipamentos cuja falha pode representar risco à saúde e segurança das pessoas ou causar impactos ambientais.

Criticidade C – Maintenance Relevant (Relevante para Manutenção) - Equipamentos cuja falha impacta o funcionamento operacional, sem afetar diretamente a qualidade do produto ou a segurança.

Criticidade D – Non Relevant (Não Relevante) - Equipamentos cuja falha não afeta a qualidade do produto, o processo produtivo, a saúde, a segurança dos colaboradores nem o meio ambiente.

Criticidade E – Quality + Safety Relevant (Relevante para Qualidade e Segurança) - Equipamentos cuja falha impacta simultaneamente a qualidade do produto ou o processo produtivo e também a segurança das pessoas ou o meio ambiente.

Por fim, é possível afirmar que, com base na estrutura de gestão da manutenção, nas metodologias adotadas e nos recursos internos disponíveis, a organização apresenta um cenário favorável à implementação de um procedimento de Análise de Causa Raiz.

4.2 Fatores determinantes para aplicação da RCA

Com base na análise inicial, é possível estabelecer que os ativos que, por causas ainda desconhecidas, apresentem falhas recorrentes, quedas significativas ou tendências negativas no MTBF ao longo dos meses, bem como aquelas falhas que resultarem em indisponibilidades superiores a quatro horas, valor que representa

aproximadamente 10% do total de quebras nesta organização, devem ser submetidos ao processo de análise de causa raiz.

Para o cálculo destes indicadores, será necessário extrair do sistema SAP-PM os seguintes dados: a quantidade de ordens de manutenção corretiva abertas para cada equipamento e os relatórios de apontamento das horas trabalhadas em cada ordem. Outro dado essencial para o cálculo, o tempo total de produção planejado por equipamento, deverá ser solicitado mensalmente à equipe de Planejamento e Controle da Produção (PCP).

É importante destacar que, além de seguir estes indicadores, é preciso levar em consideração a criticidade do ativo.

Equipamentos relevantes para qualidade e segurança, isto é, os com criticidade A, B e E, devem obrigatoriamente passar pelo processo investigativo. Equipamentos relevantes para a manutenção, categoria C, devem ser avaliados caso a caso, a fim de determinar se é interessante ou não realizar uma análise de causa raiz.

Por último, quebras equipamentos de criticidade D, os não relevantes, não precisam ser analisados, uma vez que, nesta categoria, enquadram-se equipamentos, em sua maioria, simples e/ou substituíveis, como impressoras e paleteiras. Logo, a realização de um processo investigativo não traria retornos significativos.

4.3 Etapas do processo de investigação de falhas

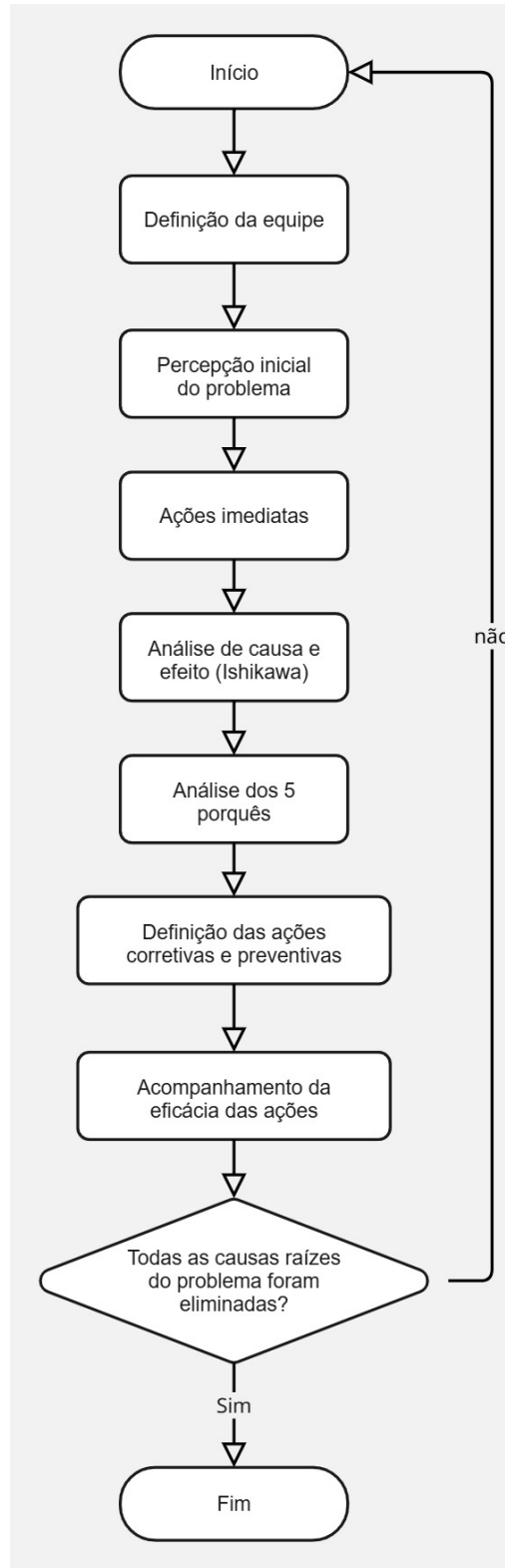
Após constatar que um equipamento deve passar por Análise de Causa Raiz, seguem-se as etapas do processo investigativo descritas a seguir.

Para melhor entendimento do processo e maior clareza na aplicação prática das ferramentas, será gradualmente desenvolvido ao longo dos subtópicos, um exemplo ilustrativo que aborda a análise de uma falha que gerou alto impacto e indisponibilidade superior a quatro horas em uma emblistadeira da linha 4 de embalagem primária, equipamento classificado como Criticidade E, ou seja, com potencial de afetar aspectos de qualidade e segurança.

Em algumas etapas, será apresentado um recorte de um formulário A3 preenchido com fins ilustrativos, baseado no modelo constante no Anexo A deste trabalho, acompanhado de uma breve explicação técnica que evidencie a aplicação prática da metodologia.

A Figura 11, a seguir, apresenta uma visão geral das etapas do processo de investigação de falhas, que serão detalhadas nos subtópicos seguintes.

Figura 11 - Fluxograma do processo de análise de causa raiz proposto.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.3.1 Definição da equipe de investigação

Antes do início da investigação, deverá ser reunida uma equipe multidisciplinar, composta por pelo menos: um responsável pela operação do equipamento, como um operador experiente ou um líder; um técnico responsável pela manutenção do equipamento; e, por fim, o engenheiro de confiabilidade e/ou analista de PCM, que conduzirá a análise com base no formulário A3.

Para o exemplo ilustrativo, considera-se que, para compor a equipe de investigação, foram designados: um operador experiente da linha 4, que acompanhava o turno no momento da falha; os técnicos do setor de manutenção da embalagem, responsáveis pelas intervenções no equipamento; e o engenheiro de confiabilidade, que atuou como facilitador da análise.

4.3.2 Prazo para início e conclusão das investigações

As investigações devem ser iniciadas em até 24 horas após a constatação do problema, e o prazo para conclusão deverá ser definido conforme a criticidade do evento. Quanto mais rápido o processo de investigação for concluído, maior a chance de sucesso na correção do problema.

4.3.3 Percepção inicial do problema

A primeira etapa será a descrição inicial do problema utilizando a ferramenta 5W2H como apoio, determinando, não necessariamente nesta ordem, o que ocorreu, quem identificou o problema, por que ocorreu, quando ocorreu, onde ocorreu, como ocorreu e qual foi o impacto.

Dessa forma, é possível obter uma descrição inicial detalhada e padronizada do problema e prosseguir para as etapas seguintes.

Na Figura 12, é apresentada uma descrição do problema ilustrativo em conformidade com o 5W2H:

Figura 12 - Percepção inicial do problema da emblistadeira.

1	PERCEPÇÃO INICIAL DO PROBLEMA (Descreva o problema / detalhes sobre o ocorrido) Responda às perguntas: O que? Por que? Onde? Quem? Quando? Como? Quanto? - 5W2H
	<p style="text-align: center;">No início da produção do lote 2025B123 do Comprimido XYZ 25mg, no dia 27/01/2025, a emblistadeira modelo X da linha 4 de embalagem primária apresentou falhas na formação das bolhas, resultando em bolhas mal formadas, o que comprometeu a selagem dos blisters. O problema foi identificado pelo operador João por volta das 07h45, momento em que a produção foi interrompida.</p> <p style="text-align: center;">Para corrigir a falha, foram realizadas as seguintes ações: troca das bobinas de PVC, substituição de componentes elétricos e aumento da temperatura de aquecimento do PVC. Após essas modificações, a produção foi normalizada, mas a indisponibilidade total da linha foi de 4 horas e 15 minutos. Como resultado, houve perda de 400 blisters e 4.000 comprimidos.</p>

Fonte: Autoria própria (2025).

4.3.4 Ações imediatas

Nesta etapa, são definidas as ações tomadas imediatamente após a ocorrência, tais como o isolamento do equipamento, substituição de componentes danificados, redução da carga de trabalho ou da velocidade do equipamento, entre outras medidas para conter ou reduzir provisoriamente os impactos, conforme o exemplo da Figura 13.

Figura 13 - Ações imediatas diante da falha da emblistadeira.

2	AÇÕES IMEDIATAS (Descreva as AÇÕES geradas para conter danos ou restaurar funções)
1.	Parada total da linha ao constatar a falha.
2.	Troca das bobinas de PVC e de componentes elétricos
3.	Aumento da temperatura de aquecimento do PVC.

Fonte: Autoria própria (2025).

4.3.5 Análise de causa e efeito (Ishikawa)

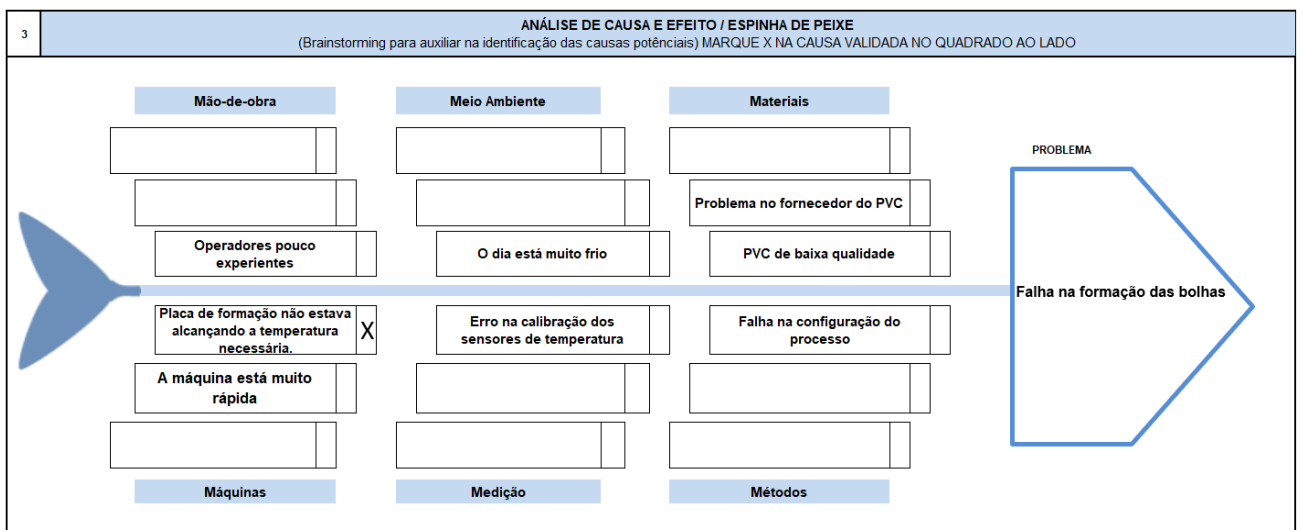
Na análise de causa e efeito, de fato, a investigação começa a se aprofundar. Será utilizado o diagrama de Ishikawa para que a equipe realize um *brainstorming*, levantando todos os problemas conhecidos e fatores que possam ter influenciado direta ou indiretamente a ocorrência da falha.

Após o *brainstorming*, deve-se avaliar tudo o que foi levantado. As hipóteses que forem verdadeiras e aparentarem ter relação com a falha devem seguir para a próxima etapa, enquanto as demais devem ser descartadas.

No *brainstorming* do exemplo ilustrativo, apresentado na Figura 14, foram levantadas diferentes hipóteses e após as verificações apenas a hipótese da “Placa de formação não estava alcançando a temperatura necessária” da categoria máquinas foi validada.

As demais hipóteses foram descartadas por não apresentarem relação com a falha como o caso da hipótese “O dia estava muito frio” ou porque após ser verificado, constatou-se que não se tratava de uma afirmação verdadeira como na hipótese “Erro na calibração dos sensores de temperatura”.

Figura 14 - Brainstorming das causas potenciais da falha da emblistadeira.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.3.6 Análise dos 5 porquês

Após a seleção das hipóteses, é possível seguir para a análise dos 5 porquês. Por meio da repetição da pergunta “por quê?”, as hipóteses são testadas e aprofundadas até que se chegue a uma ou mais causas raízes do problema inicial.

Caso seja possível responder e comprovar cada resposta com evidências documentais, testes ou inspeções, considera-se que a hipótese foi validada, a última resposta pode ser considerada uma das causas raízes.

Na Figura 15, foi realizada a análise dos 5 porquês da causa potencial validada, levando a conclusão de que a causa direta identificada foi um mau contato na alimentação do contator de acionamento da estação de aquecimento da placa de formação, e a causa raiz foi a ausência de atividades que orientassem o reaperto dos bornes dos painéis de comando.

Figura 15 - Análise dos 5 porquês da causa potencial validada.

4	ANÁLISE DOS 5 PORQUÊS (Por quê ocorreu a não conformidade?) Insira o ponto de causa detectado na Espinha de Peixe e realize os 5 Por quês
Por que aconteceu?	Por que houve problema no aquecimento da placa de formação? 1. Porque a placa de formação não estava alcançando a temperatura necessária para que o PVC fosse moldado corretamente, comprometendo a formação das bolhas.
	Por que a placa de formação não estava alcançando a temperatura necessária? 2. Porque estava ocorrendo falha no acionamento da estação de aquecimento, impedindo o funcionamento correto da mesma.
	Por que estava ocorrendo falha no acionamento da estação de aquecimento? 3. Porque o contator de acionamento estava falhando intermitentemente, o que impedia que o aquecimento ocorresse de forma consistente.
	Por que o contator de acionamento estava falhando intermitentemente? 4. Porque havia um mal contato no borne de alimentação do contator, fazendo estação de aquecimento desacionar.
	Porque havia um mal contato no borne de alimentação do contator? 5. Porque o plano de manutenção preventiva não incluía nenhuma atividade de reaperto dos bornes de ligações nos painéis de comando da máquina, levando o contator a falhar após um afrouxamento nos parafusos.
	6. N/A
	Causa direta Mau contato na alimentação do contator de acionamento da estação de aquecimento da placa de formação.
5	CAUSA RAIZ (Fonte comprovada do Problema)
	O plano de manutenção preventiva não possui nenhuma atividade de reaperto dos bornes dos painéis de comando da máquina.

Fonte: Autoria própria (2025).

Por outro lado, se não for possível justificar logicamente a sequência de porquês, se as respostas se desviarem do problema investigado, ou se as evidências e testes comprovarem que a hipótese é inválida, ela deve ser descartada.

4.3.7 Ações e acompanhamento dos resultados

Com uma ou mais causas raízes identificadas, é possível definir ações para eliminá-las. Espera-se que, com isso, o problema inicial e todos os seus efeitos negativos também sejam eliminados.

O acompanhamento posterior é essencial para verificar a eficácia das ações implementadas. Em casos críticos, ele pode indicar a necessidade de reinício da investigação.

4.4 Possíveis ações resultantes das investigações

Ao final do processo de investigação, é possível definir ações corretivas e preventivas direcionadas à eliminação das causas identificadas. Essas ações devem ser específicas, mensuráveis e aplicáveis à realidade da organização.

Entre as ações corretivas mais comuns estão a revisão dos planos de manutenção, podendo incluir a criação de novas atividades, caso a causa raiz envolva tarefas já previstas no plano, bem como o ajuste na frequência de inspeções, manutenção, lubrificação e troca de componentes críticos.

Também pode ser necessário substituir peças ou insumos por outros de qualidade superior, especialmente quando for constatado que os fornecedores apresentam desempenho insatisfatório, com base em critérios de qualidade e conformidade técnica.

As ações corretivas relacionadas ao plano de manutenção devem ser conduzidas pelos profissionais responsáveis pela gestão da manutenção, como engenheiros de confiabilidade, analistas de planejamento e controle de manutenção (PCM), especialistas técnicos e coordenadores da área.

No que diz respeito às ações corretivas dos especialistas de processo, líderes e coordenadores de produção envolvem possíveis alterações em métodos operacionais, ajustes de *setup* ou revisões nos procedimentos de parada e partida de máquinas.

Além disso, as ações preventivas podem incluir a atualização ou criação de procedimentos operacionais padrão (POPs), a elaboração de treinamentos específicos para operadores e técnicos, e o reforço da comunicação entre turnos.

A escolha das ações deve sempre considerar os fatores humanos, técnicos e organizacionais envolvidos.

No exemplo ilustrativo, foram definidas duas ações direcionadas aos profissionais responsáveis pela gestão da manutenção, conforme mostrado na figura 16.

Figura 16 – Ações corretivas e preventivas estabelecidas.

6	AÇÕES - SUGESTÕES CAPA (Descreva as AÇÕES corretivas e/ou preventivas)
1.	Ação corretiva: Revisão do plano de manutenção preventiva, incluindo a atividade de reaperto periódico dos bornes dos painéis de comandos elétricos da máquina
2.	Ação preventiva: verificar se os planos de manutenção de outros equipamentos possuem o mesmo problema e, se necessário, adequá-los.
3.	N/A

Fonte: Autoria própria (2025).

A ação corretiva eliminará pontualmente a causa raiz da falha e a ação preventiva evitará que a mesma falha ocorra em outros equipamentos.

4.5 Acompanhamento da eficácia das ações

O acompanhamento da eficácia das ações corretivas e preventivas definidas ao final das investigações é essencial para garantir que as causas raízes tenham sido efetivamente eliminadas. A ausência desse acompanhamento pode comprometer os resultados esperados e permitir que as falhas voltem a ocorrer, gerando novos prejuízos à operação.

Esse monitoramento deve ser realizado por meio da análise contínua do MTBF e dos percentuais de indisponibilidade dos equipamentos. Espera-se que, com a eliminação das causas raízes, o MTBF aumente e os tempos de parada sejam reduzidos, refletindo diretamente na melhoria da confiabilidade dos ativos.

Além disso, a não reincidência das falhas investigadas deve ser considerada um indicativo de sucesso das ações adotadas. Para isso, é importante verificar se, de fato, não houve abertura de novos chamados no SAP-PM, garantindo a eficácia das medidas implementadas.

O acompanhamento deve ser conduzido pelos profissionais responsáveis pela gestão da manutenção em conjunto com as áreas operacionais envolvidas. Caso seja verificado que as ações não surtiram os efeitos desejados, o processo deve ser reavaliado e, se necessário, reiniciar a análise de causa raiz com base nas novas evidências.

Caso não haja reincidência da falha descrita no exemplo ilustrativo após alguns meses, pode-se dizer que a causa raiz foi efetivamente encontrada e eliminada. Por outro lado, se o problema voltar a ocorrer, a análise deverá ser reiniciada, pois a causa raiz apontada pode ter sido inválida, as ações implementadas podem ter sido ineficazes ou ainda pode haver outras causas raízes não detectadas na primeira investigação.

5 RESULTADOS

O trabalho desenvolvido resultou na construção de um procedimento de análise de causa raiz estruturado e alinhado à realidade da organização estudada. A proposta contempla critérios claros para seleção de falhas, definição das etapas de investigação e uso das ferramentas disponíveis, como o relatório A3 e o SAP-PM. Com isso, foi possível oferecer uma solução concreta e aplicável, capaz de orientar tecnicamente as equipes de manutenção e promover maior confiabilidade operacional.

A adequação do procedimento às práticas já existentes na empresa, como o relatório A3, bem como à sua estrutura de gestão de ativos utilizando o sistema SAP-PM, reforça a viabilidade da proposta. Ao reunir fundamentação teórica, diagnóstico prático e organização metodológica, o trabalho apresenta um caminho objetivo para sistematizar a investigação de falhas, fortalecer a cultura de melhoria contínua e ampliar os resultados da manutenção.

Com a aplicação do procedimento proposto para análise de causa raiz integrado ao método A3, espera-se obter uma série de benefícios no setor de manutenção e demais áreas da indústria estudada.

Entre os principais resultados esperados está a padronização do processo investigativo, por meio de um processo claro que define quando iniciar uma análise, quais critérios considerar, quais ferramentas utilizar em cada etapa e como registrar as conclusões e ações decorrentes. Isso permitirá que qualquer membro da equipe, mesmo sem conhecimento prévio aprofundado, consiga conduzir ou participar de uma investigação de forma estruturada.

Espera-se que o uso sistemático das ferramentas 5W2H, Diagrama de Ishikawa e 5 Porquês dentro do contexto do A3 proporcione maior profundidade e assertividade na identificação das causas raízes dos problemas, reduzindo a probabilidade de conclusões superficiais ou ações ineficazes.

A proposta também busca fortalecer a cultura de melhoria contínua na organização, promovendo o desenvolvimento da competência analítica da equipe de manutenção e facilitando a comunicação entre áreas operacionais, técnicas e de gestão.

A respeito dos indicadores de desempenho, a aplicação consistente do procedimento deve contribuir para o aumento do MTBF (tempo médio entre falhas)

dos equipamentos, e na redução da indisponibilidade causada por manutenções corretivas não planejadas, o que reflete diretamente no aumento da confiabilidade dos ativos e na eficiência da produção.

Por fim, espera-se que a formalização deste procedimento e sua possível integração aos treinamentos internos contribua para o desenvolvimento técnico dos colaboradores, promovendo maior autonomia e capacidade de resposta diante de falhas e desvios, além de reforçar o papel estratégico da manutenção na busca por excelência operacional.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, Bjørn; FAGERHAUG, Tom. **ASQ pocket guide to root cause analysis**. Quality Press, 2013.
- BASSUK, James A.; WASHINGTON, Ida M. **The A3 problem solving report: a 10-step scientific method to execute performance improvements in an academic research vivarium**. PloS one, v. 8, n. 10, p. e76833, 2013.
- BRANDÃO, Afonso Melo Pojal Soveral. **O uso do IOT no A3 problem solving**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Instituto superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2023. Disponível em: <http://https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/24074>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- FAGERHAUG, Tom; ANDERSEN, Bjorn. **Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques**. 2. ed. New York: ASQC Quality Press, 2006.
- FLINCHBAUGH, Jamie. **A3 Problem Solving: Applying Lean Thinking**. 2012.
- GREGÓRIO, Gabriela F P.; SILVEIRA, Aline M. **Manutenção industrial**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595026971. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595026971/>. Acesso em: 18 jun. 2023.
- ISHIKAWA, Kaoru. **Guide for Quality Control**. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1976.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KOENIGSAECKER, George. **Liderando a transformação lean nas empresas**. Porto Alegre: Grupo A, 2011. E-book. ISBN 9788577808168. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577808168/>. Acesso em: 15 ago. 2024.
- NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Cambridge: Productivity Press, 1988.
- ORIBE, Claudemir Y. **Advanced Kaizen: o método de análise e solução de problemas na manufatura enxuta e em outros contextos**. Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2022. E-book. ISBN 9786555208115. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555208115/>. Acesso em: 15 ago. 2024.
- Otani, M., & Machado, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, 4(2), 1-16. 2008. DOI: 10.3895/S1808-04482008000200001. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/16>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ROONEY, James J.; HEUVEL, Lee N. Vanden. **Root cause analysis for beginners**. Quality progress, v. 37, n. 7, 2004.

SELEME, R. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. Curitiba: Intersaberes, 2015.

SILVEIRA, Aline M.; VILSEKE, Abel J.; PEZZATTO, Alan T.; et al. **Confiabilidade de sistemas**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595028456. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595028456/>. Acesso em: 19 ago. 2024.

SOBEK II, Durward K.; SMALLEY, Art. **Entendendo o pensamento A3: um componente crítico do PDCA da Toyota**. Bookman Editora, 2016.

SOUZA, Stefania M O. **Gestão da qualidade e produtividade**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595025561. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025561/>. Acesso em: 16 ago. 2024.

WEBER, Abilio José et al. **Manutenção de máquinas e equipamentos**. 1. ed. Contagem, MG: SENAI – CFP “Alvimar Carneiro de Rezende”, 2008.

APÊNDICE A - Formulário de resolução de problemas A3

NOTA: Este formulário, nomeado como A3, pode ser utilizado como ferramenta durante investigações, a fim de identificar com precisão a causa raiz do desvio. É um formulário local que abrange ferramentas, como 5 Porquês e diagrama de espinha de peixe, utilizadas na avaliação e tratamento de desvios, em conformidade com o documento de origem vigente.

Resposta ao Evento Resolução Prática de Problemas A3

Codificação do Desvio ou Projeto

1 PERCEÇÃO INICIAL DO PROBLEMA (Descreva o problema / detalhes sobre o ocorrido) Responda às perguntas: O que? Por que? Onde? Quem? Quanto? Como? Quanto? Como? Quanto? - 5W2H

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

Causa direta

2 AÇÕES IMEDIATAS (Descreva as AÇÕES geradas para conter danos ou restaurar funções)

1. _____

2. _____

3. _____

3 ANÁLISE DE CAUSA E EFEITO / ESPINHA DE PEIXE (Brainstorming para auxiliar na identificação das causas potenciais) MARQUE X NA CAUSA VALIDADA NO QUADRADO AO LADO

Mão-de-obra							
Meio Ambiente							
Materials							
Máquinas							
Medição							
Métodos							

PROBLEMA

4 ANÁLISE DOS 5 PORQUÊS (Por que ocorreu a não conformidade?) Insira o ponto de causa detectado na Espinha de Peixe e realize os 5 Porquês

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

Causa direta

5 CAUSA RAIZ (Fonte comprovada do Problema)

6 AÇÕES - SUGESTÕES CAPA (Descreva as AÇÕES corretivas e/ou preventivas)

1. _____

2. _____

3. _____

7 Fatores Contribuintes (Descreva os fatores que contribuíram para o desvio)

8 DESVIO Recorrente? (Verifique via sistema de gerenciamento de desvios)

9 Time de Investigação (Todos os envolvidos na INVESTIGAÇÃO devem assinar abaixo)
