



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHEIRA MECÂNICA**

**GUILHERME VINICIUS SILVA SOARES**

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE E SOLUÇÕES DE  
PROBLEMAS (MASP) APLICADO NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS  
ALCOÓLICAS**

**RECIFE**

**2025**

**GUILHERME VINICIUS SILVA SOARES**

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE E SOLUÇÕES DE  
PROBLEMAS (MASP) APLICADO NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS  
ALCOÓLICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como  
requisito final para a obtenção de grau de  
bacharelado em Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal de Pernambuco.

Orientador: Maxime Montoya.

**RECIFE  
2025**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Soares, Guilherme Vinicius Silva.

Utilização da Metodologia de Análise e Soluções de Problemas (MASP)  
Aplicado na Indústria de Bebidas Alcoólicas / Guilherme Vinicius Silva Soares.  
- Recife, 2025.

58 p : il., tab.

Orientador(a): Maxime Montoya

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica -  
Bacharelado, 2025.

8,5.

Inclui referências.

1. Manutenção. 2. Indústria de Bebidas Alcoólicas. 3. MASP. 4. Gestão de  
Qualidade. I. Montoya, Maxime. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

**GUILHERME VINICIUS SILVA SOARES**

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE E SOLUÇÕES DE  
PROBLEMAS (MASP) APLICADO NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS  
ALCOÓLICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como  
requisito final para a obtenção de grau de  
bacharelado em Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal de Pernambuco.

Orientador: Maxime Montoya.

Aprovado em: 18/12/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Maxime Montoya (Orientador)  
Universidade federal de Pernambuco

---

Prof. Flavio José da Silva (Internto)  
Universidade federal de Pernambuco

---

Prof. Jane Kelly Barbosa de Almeida (Externa)  
UNINASSAU - Centro Universitário Maurício de Nassau

**RECIFE  
2025**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão, em primeiro lugar, a Deus e à minha família, pelo suporte e apoio incondicionais ao longo desta longa jornada. Dedico este trabalho, especialmente, aos meus pais, meu irmão, minha esposa e minha filha Laura, a quem sou eternamente grato pelo incentivo que me permitiu chegar até aqui. A todos, meu mais sincero agradecimento.

Agradeço também a uma parte do corpo docente do DEMEC e DMAT, com destaque para os professores Maxime Montoya e César Castilho, que representam verdadeiros exemplos de dedicação e comprometimento com a profissão de educador, transmitindo com amor o verdadeiro significado de lecionar.

Aos membros do projeto de extensão Mangue Baja, onde passei metade de minha graduação, meu agradecimento sincero. Este foi o local onde pude desenvolver tanto meu crescimento pessoal quanto profissional, preparando-me para os desafios do mercado de trabalho. Durante esses quatro anos, tive a oportunidade de fazer amigos, construir uma rede de contatos e estabelecer conexões com diversos profissionais do mercado.

Por fim, agradeço aos meus amigos, que ao longo dos anos e durante todo o curso, fizeram parte da minha trajetória. A colaboração em trabalhos, o compartilhamento de ideias e, sobretudo, a convivência diária foram fundamentais para o meu desenvolvimento. A todos, meu sincero reconhecimento.

## RESUMO

Toda indústria precisa manter seus planos de manutenção atualizados e estar preparada para imprevistos e falhas nas linhas de produção, pois tais imprevistos podem resultar em paradas não planejadas, impactando diretamente a eficiência operacional, produtividade e qualidade do produto. O problema abordado neste estudo está relacionado ao alto índice de paradas inesperadas na linha de produção de cerveja, que comprometem a continuidade da operação e a qualidade do produto, resultando em prejuízos financeiros e danos à reputação da empresa. No contexto da indústria de bebidas alcoólicas, especialmente no setor cervejeiro, é essencial adotar ferramentas de gestão de manutenção eficientes, que permitam a identificação e correção proativa de falhas, minimizando a ocorrência dessas paradas imprevistas. Com isso, o objetivo deste trabalho é descrever o processo de aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) para melhorar a eficiência da produção e reduzir custos operacionais relacionados à manutenção e ao tempo de inatividade dos equipamentos. A metodologia foi aplicada em três etapas: diagnóstico, implementação de soluções e verificação de resultados. Com base nas causas identificadas, foram propostas soluções corretivas, incluindo a manutenção preventiva, a calibração de equipamentos e a revisão do processo de controle de qualidade. O acompanhamento pós-implementação visou garantir a eficácia das soluções aplicadas. Desta forma, este trabalho contribui para a compreensão de como as metodologias de gestão de qualidade e manutenção preventiva podem ser aplicadas eficazmente na indústria cervejeira, focando na redução das paradas inesperadas e na melhoria contínua da produção.

**Palavras-chave:** Manutenção; Indústria de bebidas alcoólicas; MASP; Gestão de qualidade.

## **ABSTRACT**

Every industry needs to keep its maintenance plans up to date and be prepared for unforeseen events and failures in production lines, as such incidents may result in unplanned downtime, directly impacting operational efficiency, productivity, and product quality. The problem addressed in this study is related to the high rate of unexpected stoppages in the beer production line, which compromise operational continuity and product quality, resulting in financial losses and damage to the company's reputation.

In the context of the alcoholic beverage industry, especially in the brewing sector, it is essential to adopt efficient maintenance management tools that allow the proactive identification and correction of failures, minimizing the occurrence of these unforeseen stoppages. Therefore, the objective of this work is to describe the process of applying the Problem Analysis and Solution Method (MASP) to improve production efficiency and reduce operational costs related to maintenance and equipment downtime.

The methodology was applied in three stages: diagnosis, implementation of solutions, and verification of results. Based on the identified causes, corrective solutions were proposed, including preventive maintenance, equipment calibration, and a review of the quality control process. Post-implementation monitoring aimed to ensure the effectiveness of the solutions applied.

Thus, this work contributes to the understanding of how quality management methodologies and preventive maintenance can be effectively applied in the brewing industry, focusing on reducing unexpected downtime and promoting continuous improvement in production.

**Keywords:** Maintenance; Food industry; MASP; Quality management.

## LISTAS DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Ferramentas da Qualidade .....   | 15 |
| Figura 2 - Gráfico de frequência de falhas por tipo durante o período analisado. .... | 23 |
| Figura 3 - Frequência de falhas por tipo – Acumulado por Mês .....                    | 24 |
| Figura 4 - Diagrama de Ishikawa para as Falhas do Processo .....                      | 27 |
| Figura 5 - Custo total por Tipo de Falha (mês) .....                                  | 28 |
| Figura 6 - Custo Total por Tipo de Falha .....  | 30 |
| Figura 7 - Custo Médio por Tipo de Falha .....  | 31 |
| Figura 8 - Custo total por Categoria Ishikawa .....                                   | 33 |
| Figura 9 - Tempo total de Parada por Falha (mês) .....                                | 34 |
| Figura 10 - Tempo de Parada x Tipo de Galha .....                                     | 36 |
| Figura 11 - Tempo médio de Parada x Tipo de Falha .....                               | 37 |
| Figura 12 - Quantidade de Falhas por Turno .....                                      | 38 |
| Figura 13 - Diagrama de Ishikawa para Ajuste Operador sem POP .....                   | 39 |
| Figura 14 - Diagrama de Ishikawa para Contaminação do Anel de Vedação. ....           | 40 |
| Figura 15 - Diagrama de Ishikawa para Desalinhamento da Tampa .....                   | 41 |
| Figura 16 - Diagrama de Ishikawa para Desgaste Bico Envase .....                      | 42 |
| Figura 17 - Diagrama de Ishikawa para Falha no Alinhador de Tampas .....              | 43 |
| Figura 18 - Diagrama de Ishikawa para Rótulo Úmido .....                              | 44 |
| Figura 19 - Diagrama de Ishikawa para Sensor de Nível Falho .....                     | 45 |
| Figura 20 - Diagrama de Ishikawa para Setup Inadequado .....                          | 46 |
| Figura 21 - Diagrama de Ishikawa para Torque Irregular .....                          | 47 |
| Figura 22 - Diagrama de Ishikawa para Variação de Pressão de Ar .....                 | 48 |
| Figura 23 - Plano 5W2H para as causas raízes. ....                                    | 51 |





## LISTAS DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Variáveis e Definições da Base de Dados .....  | 19 |
| Tabela 2 - Plano de Ação 5W2H .....   | 20 |
| Tabela 3 - Frequência Mensal de Falhas e Índice de Qualidade (PPM = falhas por milhão de garrafas produzidas) ..... | 24 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2.OBJETIVOS 2.1Objetivo Geral .....</b>                                 | <b>9</b>  |
| <b>2.2Objetivos Específicos .....</b>                                      | <b>9</b>  |
| <b>3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                       | <b>10</b> |
| <b>3.1Qualidade Industrial, Variabilidade e Controle Estatístico .....</b> | <b>10</b> |
| <b>3.2Confiabilidade Industrial e Processos de Manutenção.....</b>         | <b>10</b> |
| <b>3.3Processos Produtivos na Indústria Cervejeira .....</b>               | <b>11</b> |
| <b>3.4Metodologias de Melhoria Contínua e Cultura da Qualidade .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>3.5MASP – Estrutura, Filosofia e Aplicações Industriais .....</b>       | <b>12</b> |
| <b>3.6Ferramentas da Qualidade .....</b>                                   | <b>13</b> |
| 3.6.1Diagrama de Pareto .....  | 13        |
| 3.6.2Diagrama de Ishikawa .....  | 13        |
| 3.6.3Histograma .....  | 14        |
| 3.6.4Gráficos de tendência .....   | 14        |
| 3.6.55W2H .....  | 15        |
| <b>3.7Síntese Integrativa da Fundamentação .....</b>                       | <b>15</b> |
| <b>4MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>4.1.Classificação da Pesquisa.....</b>                                  | <b>16</b> |
| <b>4.2.Etapas da Pesquisa.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>4.3Métodos.....</b>   | <b>18</b> |
| <b>4.4Estudo de Caso .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>5RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                       | <b>22</b> |
| <b>5.1Mapeamento e Análise das Falhas na Linha.....</b>                    | <b>22</b> |
| 5.1.1Análise Quantitativa de Falhas na Linha .....                         | 22        |
| 5.1.2Impacto Financeiro Total das Falhas por Mês .....                     | 28        |
| 5.1.3Impacto de Tempo de Parada Total das Falhas por Mês.....              | 34        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1.4Distribuição das Falhas por Turno.....                       | 38        |
| <b>5.2Análise de Ishikawa para cada Falha .....</b>               | <b>39</b> |
| 5.2.1Ajuste de operador sem POP.....                              | 39        |
| 5.2.2Contaminação do Anel de vedação.....                         | 40        |
| 5.2.3Desalinhamento Tampa .....                                   | 41        |
| 5.2.4Desgaste Bico Envase .....                                   | 42        |
| 5.2.5Falha Alinhador Tampas .....                                 | 43        |
| 5.2.6Rótulo Úmido .....   | 44        |
| 5.2.7Sensor Nível Falho.....                                      | 45        |
| 5.2.8Setup Inadequado .....                                       | 46        |
| 5.2.9Torque Irregular.....  | 47        |
| 5.2.10Variação Pressão de Ar .....                                | 48        |
| <b>5.3Elaboração de plano 5W2H com Base as Causas Raízes.....</b> | <b>49</b> |
| <b>6.CONCLUSÃO .....</b>  | <b>52</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>54</b> |

## 1.INTRODUÇÃO

A indústria cervejeira desempenha papel relevante na economia brasileira, movimentando bilhões de reais em produção e distribuição, ao mesmo tempo em que emprega tecnologias avançadas em processos de fermentação, filtragem, envase e controle de qualidade. De acordo com a CervBrasil (2023), o setor responde por mais de 2% do PIB nacional e demanda padrões rígidos de segurança, higiene e precisão operacional para garantir consistência sensorial e competitividade. Sob essa perspectiva, qualquer desvio nos processos finais de envase e tampagem pode comprometer não apenas a eficiência produtiva, mas também a integridade do produto entregue ao consumidor.

Em ambientes industriais complexos, como o setor cervejeiro, a necessidade de métodos estruturados de controle e melhoria de processos torna-se essencial. Conforme afirma Montgomery (2020), *“a qualidade de um processo é analisada não somente no final, apenas no produto e sim durante todo o processo”*. Assim, compreender padrões de falhas, mensurar suas causas e propor intervenções embasadas são etapas fundamentais para manter a estabilidade produtiva. De modo semelhante, Garvin (1992) destaca que a qualidade industrial está diretamente relacionada à prevenção de problemas, e não apenas à inspeção do produto acabado.

Portanto, este trabalho foi desenvolvido justamente para atender a essa necessidade, investigando o comportamento operacional de uma linha de envase e tampagem de cerveja, por meio da análise de uma base de dados simulada.

Essa base inclui registros detalhados de falhas, tempos de parada, perdas de produto e impacto financeiro, permitindo reproduzir condições reais observadas na indústria. A elaboração dessa base foi um dos elementos centrais, exigindo a simulação de cenários coerentes com padrões de variação descritos por Montgomery (2020) e com características de falhas crônicas e esporádicas observadas em sistemas produtivos complexos.

Devido a esse contexto, adotou-se a Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP) como arcabouço metodológico do estudo. O MASP, amplamente difundido na literatura de qualidade e utilizado em empresas de classe mundial, oferece um conjunto lógico de etapas capazes de orientar a identificação, observação, análise e correção de problemas complexos. Werkema (2020) destaca que o MASP é

particularmente eficaz quando associado ao uso disciplinado de ferramentas estatísticas, pois permite conectar sintomas observáveis às causas estruturais do processo. Além disso, Harrington (1991) aponta que metodologias estruturadas promovem “*disciplina organizacional na busca por melhorias sustentáveis*”, algo essencial em setores de alta padronização como o cervejeiro.

As ferramentas aplicadas neste estudo — histogramas, análise de tendência mensal, distribuição de falhas entre turnos, Diagrama de Pareto e Diagrama de Ishikawa — permitiram aprofundar o entendimento da variabilidade do processo, bem como identificar causas raízes ligadas às categorias Máquina, Método e Mão de Obra. Essa abordagem está alinhada ao pensamento de Slack, Chambers e Johnston (2019), que reforçam que análises baseadas em dados são cruciais para garantir eficiência operacional e reduzir perdas.

Com base nas causas críticas identificadas, foi elaborado um Plano de Ação 5W2H, contemplando ações como substituição preventiva de componentes sujeitos a desgaste, calibração frequente de sensores, revisão de procedimentos operacionais padrão (POPs), treinamentos direcionados para operadores dos turnos A(manhã), B(tarde) e C(noite/madrugada) e implementação de checklists de inspeção. Essas ações respondem diretamente às recomendações de Shingo (1986) e Ohno (1997), que defendem que *a padronização e a manutenção sistemática dos processos são pilares para prevenir reincidência de falhas*.

A elaboração deste TCC também envolveu desafios metodológicos relevantes. A construção e validação da base de dados exigiram atenção à coerência estatística, enquanto a aplicação das ferramentas da qualidade demandou interpretação rigorosa e criteriosa das informações. Esses desafios contribuíram para o desenvolvimento de competências essenciais no campo da engenharia de produção, como análise estatística, raciocínio crítico, visão sistêmica e tomada de decisão baseada em evidências.

Diante do exposto, este trabalho demonstra a relevância da aplicação do MASP para a identificação e solução de problemas em ambientes produtivos complexos, como o da indústria cervejeira.

## **2.OBJETIVOS**

### **2.1Objetivo Geral**

Aplicar a Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP) para identificar, analisar e propor ações corretivas para as falhas recorrentes nos processos de envase e tapagem de uma cervejaria.

### **2.2Objetivos Específicos**

- Mapear e analisar quantitativamente as falhas ocorridas nos processos de envase e tapagem, identificando padrões, tendências e impactos operacionais entre julho e dezembro de 2024.
- Priorizar as causas críticas das falhas utilizando ferramentas estatísticas de qualidade, como histogramas e Diagrama de Ishikawa, fundamentando-se nos dados operacionais coletados.
- Propor ações corretivas estruturadas (5W2H) direcionadas às causas raízes identificadas, visando reduzir paradas não programadas, desperdícios de produto e variabilidade dos processos.

### 3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresento os principais conceitos teóricos que fundamentam o desenvolvimento deste trabalho.

#### 3.1Qualidade Industrial, Variabilidade e Controle Estatístico

A gestão da qualidade constitui um dos pilares centrais da engenharia de produção moderna, sendo fundamental para garantir a competitividade e a sustentabilidade operacional de indústrias que trabalham com processos contínuos e de alta precisão, como a cervejeira. A noção contemporânea de qualidade transcende a inspeção final e passa a abranger todo o ciclo produtivo, focando na prevenção de falhas e na redução sistemática da variabilidade (GARVIN, 1992).

Montgomery (2020) destaca que *“a variabilidade é o inimigo natural da qualidade”*, argumentando que processos que apresentam flutuações não controladas tendem a gerar defeitos, retrabalhos e desperdícios. Essa visão está alinhada ao pensamento de Deming (1986), que afirma que a variabilidade é uma das principais causas de degradação da produtividade industrial. Assim, controlar e compreender a variabilidade em cada etapa do processo se torna essencial.

A literatura distingue entre causas comuns, inerentes ao processo, e causas especiais, eventos anômalos que indicam falhas ou condições inadequadas. Segundo Deming (1986), enquanto causas comuns exigem melhorias sistêmicas, causas especiais devem ser tratadas por análise de causa raiz, abordagem que fundamenta o MASP.

Na indústria cervejeira, a variabilidade é especialmente crítica devido à sensibilidade do produto. Pequenas flutuações em torque, pressão, alinhamento de tampagem ou nível de enchimento podem gerar problemas estéticos, sensoriais ou até mesmo riscos sanitários, reforçando a necessidade de rigor operacional e metodologias estruturadas de melhoria.

#### 3.2Confiabilidade Industrial e Processos de Manutenção

A confiabilidade industrial refere-se à probabilidade de um equipamento desempenhar sua função de forma adequada por um período determinado, sem falhas (MOBLEY, 2002). Em linhas de envase e tampagem, essa confiabilidade é



diretamente impactada pelo desgaste de componentes, calibração de sensores, precisão mecânica e pela padronização operacional.

Segundo Shingo (1986), *“a maior parte das falhas repetitivas é resultado direto de causas raízes não tratadas”*, o que reforça a importância de metodologias sistemáticas para prevenção e eliminação de falhas crônicas. O autor diferencia falhas aleatórias de falhas recorrentes, argumentando que estas últimas indicam deterioração progressiva do processo ou falhas de método.

A manutenção industrial evoluiu de modelos puramente corretivos para abordagens preventivas e, mais recentemente, preditivas. Segundo Wireman (2005), a falta de um sistema estruturado de manutenção preventiva tende a multiplicar o número de paradas não programadas, elevar custos e acelerar o desgaste dos componentes.

No contexto, falhas como desgaste de bicos, desalinhamento e problemas de torque são típicas de processos com manutenção inadequada, reforçando a necessidade de aplicação do MASP e de ferramentas estatísticas.

### **3.3 Processos Produtivos na Indústria Cervejeira**

A cadeia produtiva da cerveja é composta por processos químicos, bioquímicos e mecânicos altamente integrados. Etapas como brassagem, fermentação, maturação e filtração são profundamente sensíveis a parâmetros físico-químicos; já as etapas finais de envase e tampagem demandam precisão mecânica e sincronização.

Slack, Chambers e Johnston (2019) classificam processos como o de envase como sistemas de alta cadência e baixa tolerância à variabilidade, onde desvios mínimos podem causar grandes perdas acumuladas. Esses autores destacam que processos repetitivos e de larga escala são fortemente impactados por falhas de método, máquina e mão de obra — precisamente as categorias abordadas pelo Diagrama de Ishikawa.

Além disso, o envase é uma etapa crítica porque envolve:

- controle de nível,
- controle de espuma e pressão interna,
- torque adequado da tampagem,
- integridade do recipiente,
- alinhamento mecânico.

Estudos como o de Bamforth (2017) reforçam que falhas nesse estágio geram perdas diretas e impactam diretamente a percepção de qualidade do consumidor final.

### **3.4 Metodologias de Melhoria Contínua e Cultura da Qualidade**

A melhoria contínua, ou Kaizen, é um dos pilares da filosofia Lean. Ohno (1997) afirma que *“a qualidade começa e termina com a padronização”*, destacando que inconsistências operacionais criam terreno fértil para falhas repetitivas.

Harrington (1991) complementa que *“não existe melhoria sem mensuração”*, reforçando a importância de sistemas de registro de falhas, dados confiáveis e controle estatístico, elementos essenciais para embasar o MASP.

Garvin (1992) acrescenta que organizações maduras em qualidade mantêm ciclos constantes de monitoramento, análise, intervenção e padronização, o que se alinha diretamente à estrutura metodológica do MASP.

### **3.5 MASP – Estrutura, Filosofia e Aplicações Industriais**

O MASP é uma metodologia sistemática de solução de problemas amplamente adotada no Brasil, especialmente em setores industriais de grande porte. Campos (1999), responsável por difundir o método nacionalmente, afirma que *“o MASP permite resolver problemas com base em fatos e dados, e não em opiniões ou percepções subjetivas”*.

O método é composto por oito etapas:

1. Identificação do Problema
2. Observação
3. Análise
4. Plano de Ação
5. Ação
6. Verificação
7. Padronização
8. Conclusão

Werkema (2020) reforça que o MASP é mais eficiente quando associado ao uso disciplinado de ferramentas estatísticas, uma vez que estas permitem compreender a lógica da variabilidade e quantificar a magnitude dos problemas.

O MASP também favorece:

- visão estruturada do processo,

- priorização baseada em impacto,
- eliminação de causas raízes,
- tomada de decisão assertiva.

Esses princípios são particularmente relevantes no envase e tampagem, onde há grande repetitividade, alto volume e interdependência mecânica.

### **3.6 Ferramentas da Qualidade**

As Ferramentas da Qualidade representam um conjunto de métodos essenciais para monitorar, interpretar e melhorar processos industriais, constituindo a base operacional das metodologias de solução de problemas, como o MASP. Segundo Werkema (2020), tais ferramentas fornecem um suporte estruturado para organizar dados, identificar tendências, reconhecer causas raízes e orientar decisões fundamentadas. No contexto da indústria cervejeira, sua aplicação é especialmente relevante devido à elevada sensibilidade dos processos às variações operacionais e ao impacto direto das falhas sobre a qualidade do produto.

#### **3.6.1 Diagrama de Pareto**

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta analítica baseada no princípio 80/20, proposto por Vilfredo Pareto e amplamente difundido na literatura da qualidade por Juran (1998), que afirma que *“a maioria dos problemas decorre de um número reduzido de causas fundamentais”*. A utilização do Pareto permite identificar os “poucos vitais” responsáveis pela maior parte dos impactos negativos em um processo, distinguindo-os dos “muitos triviais”.

Em indústrias de processo contínuo, como a cervejeira, o Pareto é essencial para priorizar falhas, otimizar recursos e direcionar esforços de investigação para as causas com maior potencial de redução de perdas. Sua aplicação fornece uma visão clara da distribuição das ocorrências, contribuindo para decisões estratégicas nas etapas de análise e planejamento do MASP.

#### **3.6.2 Diagrama de Ishikawa**

Desenvolvido por Kaoru Ishikawa, o Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como “Espinha de Peixe”, organiza de maneira sistemática as causas potenciais associadas a um problema específico. Ishikawa (1985) destaca que a

ferramenta facilita a compreensão da estrutura do processo ao agrupar fatores nas categorias clássicas: Máquina, Método, Mão de Obra, Material, Medida e Meio Ambiente.

Shingo (1986) reforça que o método é eficaz para diferenciar causas superficiais de causas raízes, permitindo que equipes de melhoria visualizem a relação entre variáveis e identifiquem as origens estruturais das falhas. Na indústria cervejeira, sua aplicação é apropriada para analisar problemas mecânicos recorrentes, variações de enchimento, falhas de torque e inconsistências operacionais.

### **3.6.3Histograma**

O histograma é uma ferramenta estatística utilizada para representar graficamente a distribuição de uma variável, permitindo visualizar padrões, dispersões e tendências na variabilidade dos dados. De acordo com Montgomery (2020), o histograma é fundamental para avaliar o comportamento de processos contínuos, pois evidencia se a distribuição segue padrões normais, assimétricos ou irregulares, o que auxilia na identificação de problemas inerentes ao processo.

No envase cervejeiro, o histograma permite analisar a distribuição do volume envasado, tempo de parada e torque da tampagem, facilitando a identificação de desvios que possam comprometer a conformidade do produto. Essa visualização é crucial para tomada de decisões relativas a ajustes mecânicos, calibrações ou intervenções de manutenção.

### **3.6.4Gráficos de tendência**

Os gráficos de tendência — ou run charts — são utilizados para acompanhar o comportamento de um processo ao longo do tempo. Harrington (1991) afirma que *“não existe gestão eficaz sem controle longitudinal, pois é o tempo que revela o padrão do processo”*. Assim, os gráficos de tendência permitem detectar variações sazonais, ciclos de falhas, picos de ocorrência e padrões recorrentes, sendo indispensáveis para a fase de Observação do MASP.

Na indústria cervejeira, esses gráficos são úteis para identificar padrões mensais de falhas, variações entre turnos ou efeitos acumulativos de desgaste mecânico. Eles fornecem indicadores essenciais para análises comparativas e intervenções preventivas.

### 3.6.55W2H

O 5W2H é uma ferramenta gerencial utilizada para estruturar planos de ação de maneira clara, prática e objetiva, respondendo a sete perguntas fundamentais: *What, Why, Where, When, Who, How* e *How Much*. Campos (1999) destaca que o 5W2H é uma das ferramentas mais relevantes no planejamento de ações corretivas por sua simplicidade e capacidade de transformar diagnósticos em ações concretas.

No contexto do MASP, o 5W2H é aplicado na etapa de Planejamento de Ação e serve como ponte entre a análise das causas raízes e a implementação das soluções. Em indústrias com processos repetitivos, como a cervejeira, essa ferramenta garante que as ações sejam tecnicamente fundamentadas, bem distribuídas entre os responsáveis e economicamente viáveis, contribuindo para a efetividade e sustentabilidade das melhorias.

### 3.7 Síntese Integrativa da Fundamentação

Figura 1 - Ferramentas da Qualidade



Fonte: Autoria Própria, 2025.

As ferramentas de qualidade, Figura 1, em conjunto, formam a base operacional da metodologia aplicada, permitindo a transição entre dados brutos, diagnóstico complexo e ações estruturadas. A integração entre Pareto, Ishikawa, Histogramas, Gráficos de Tendência e 5W2H não apenas fortalece a confiabilidade analítica, como também garante a precisão das decisões tomadas ao longo do estudo, alinhando-se às melhores práticas acadêmicas e industriais.

## **4MATERIAIS E MÉTODOS**

Na presente seção serão apresentados os detalhes acerca das ferramentas metodológicas que foram utilizadas para a elaboração do presente trabalho.

### **4.1.Classificação da Pesquisa**

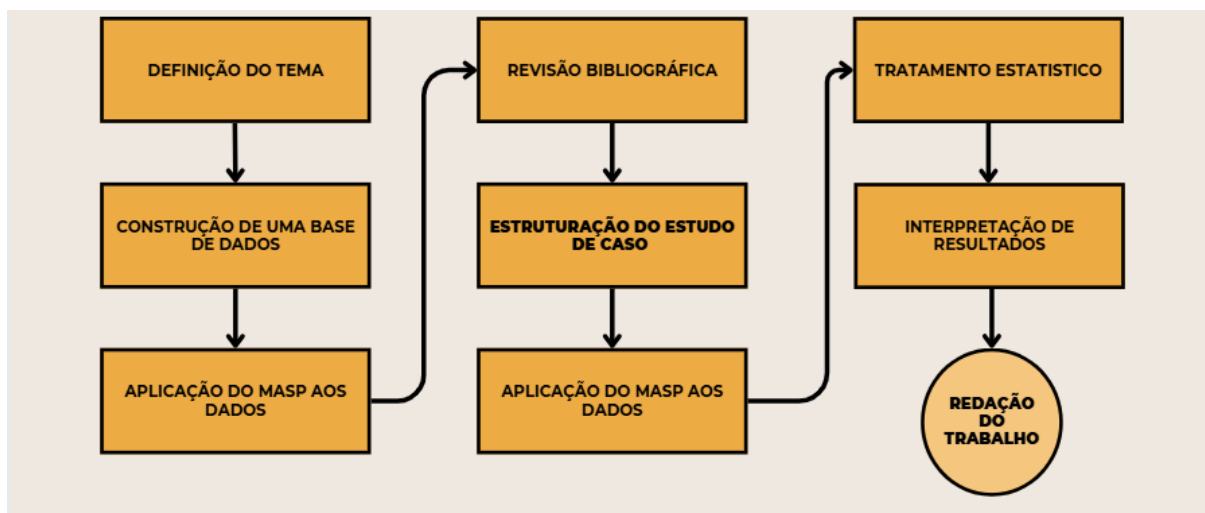
A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo aplicado, uma vez que utiliza técnicas e ferramentas consolidadas de gestão da qualidade — especificamente a Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP) — para analisar um conjunto de dados reais simulados referentes ao processo produtivo de uma cervejaria. O propósito central não é a formulação de novos conceitos teóricos, mas sim a aplicação prática de métodos analíticos para compreensão e tratamento de falhas operacionais em sistemas industriais.

Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa quantitativa e descritiva. O caráter quantitativo decorre do uso de dados estruturados contendo registros de falhas, tempos de parada, perdas de produto e variabilidade de processo. Esses dados foram analisados estatisticamente com o auxílio de histogramas, gráficos de Pareto e tabelas de frequência. Já o caráter descritivo se manifesta na intenção de compreender o comportamento das falhas ao longo do tempo, identificar padrões e estabelecer relações entre eventos operacionais e suas possíveis causas.

### **4.2.Etapas da Pesquisa**

O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu seguindo um conjunto de etapas sistemáticas, como pode ser observado no Fluxograma 1:

Fluxograma 1: Etapas para elaboração do Trabalho



Fonte: Autoria Própria, 2025.

1. Definição do tema e do problema central: identificou-se a necessidade de explorar a aplicação do MASP em processos produtivos complexos, selecionando o envase e a tampagem de cerveja como foco do estudo.
2. Construção da base de dados: gerou-se um conjunto de dados simulados representando falhas operacionais entre julho e dezembro de 2024, incluindo eventos de parada, variabilidade de envase e torque de tampagem.
3. Revisão bibliográfica: foram consultadas referências sobre gestão da qualidade, MASP, ferramentas estatísticas e processos cervejeiros.
4. Estruturação do estudo de caso: definiu-se a empresa, sua capacidade produtiva, seus equipamentos críticos e o contexto de operação.
5. Aplicação da metodologia MASP aos dados: executaram-se as etapas de identificação, observação, análise e proposição de ações corretivas utilizando a base de dados.
6. Tratamento estatístico: construíram-se gráficos, tabelas e indicadores de desempenho para embasar a análise.
7. Interpretação dos resultados: avaliou-se o impacto dos tipos de falhas, tendências mensais e causas raízes.
8. Redação do TCC: os achados foram organizados em formato acadêmico, compondo o estudo de caso e suas implicações para a melhoria contínua.

### 4.3 Métodos

Para o tratamento do problema proposto, aplicou-se a Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP), seguindo suas oito etapas clássicas: identificação, observação, análise, plano de ação, ação, verificação, padronização e conclusão. Cada etapa foi adequada ao contexto simulado, mantendo coerência com o procedimento metodológico tradicional presente em literatura como Campos (1999) e Werkema (2020).

- **Identificação:** Utilizou-se a base de dados de falhas para definir o problema operacional — falhas recorrentes no envase e tampagem.
- **Observação:** Foram examinadas ocorrências por mês, por máquina e por categoria Ishikawa, organizando tendências, frequências e impactos.
- **Análise:** Aplicaram-se ferramentas estatísticas como **Diagrama de Pareto**, **histogramas** e **Diagrama de Ishikawa** para priorizar causas.
- **Plano de Ação:** Elaborou-se um **5W2H** destinado às causas raízes identificadas.
- **Ação e Verificação:** Os resultados esperados das ações foram projetados com base nos dados históricos simulados.
- **Padronização e Conclusão:** Propuseram-se recomendações estruturais para manutenção e melhoria contínua.

### 4.4 Estudo de Caso

O estudo de caso foi conduzido em uma **Cervejaria**, com capacidade produtiva de aproximadamente 70 mil litros por mês. O foco da análise recaiu sobre os processos de **envase e tampagem** de garrafas de 600 ml, considerados críticos para a eficiência produtiva e para a qualidade final do produto.

A base de dados simulada utilizada neste estudo é composta por **716 registros individuais**, ou seja, criada artificialmente com valores representativos abrangendo o período de julho a dezembro de 2024. Podemos observar a base de dados por meio do [link](#), distribuídos entre os meses de julho e dezembro de 2024. Cada registro representa um evento de falha ocorrido na linha de envase e tampagem da cervejaria, contendo informações como tipo de falha, data, tempo de parada, perdas estimadas e custos associados, conforme Tabela 1. Essa quantidade de observações fornece massa crítica suficiente para análises estatísticas robustas,



permitindo identificar padrões de comportamento, tendências temporais e concentrações de falhas por turno, tipo ou categoria Ishikawa.

Tabela 1 - Variáveis e Definições da Base de Dados

| <b>Variável</b>           | <b>Definição</b>   |
|---------------------------|--|
| <b>data</b>               | Julho 2024 - Dezembro 2024                                     |
| <b>turno</b>              | Turno em que a falha foi detectada: Manhã, tarde ou Noite;     |
| <b>máquina</b>            | Envasadora e Tampadora   |
| <b>falha</b>              | Qual falha o equipamento está apresentando                     |
| <b>categoria_Ishikawa</b> | Máquina, meio ambiente, mão de obra, material, medida, método. |
| <b>tempo_parada_min</b>   | Tempo de máquina parada por minuto                             |
| <b>perda_litros</b>       | Perda de Produto em Litros                                     |
| <b>custo_estimado_R</b>   | Custo estimado de perda em Real                                |

Fonte: Autoria Própria, 2025.

A amplitude da base possibilitou a aplicação consistente das ferramentas do MASP, como histogramas, diagramas de Pareto, Ishikawa e gráficos de tendência, garantindo confiabilidade aos resultados obtidos. Além disso, o volume de dados permitiu identificar causas raízes com maior precisão e fundamentar a elaboração de um plano de ação 5W2H, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Plano de Ação 5W2H

| <b>Etapa do MASP</b>    | <b>Aplicação no Estudo de Caso</b>   | <b>Ferramentas Utilizadas</b>                            |
|-------------------------|--|--|
| <b>1. Identificação</b> | Definição do problema central a partir dos dados de falhas nos processos de envase e tampagem.                   | Análise preliminar dos registros; leitura exploratória.  |
| <b>2. Observação</b>    | Levantamento e organização dos dados por mês, máquina, turno e tipo de falha, identificando padrões recorrentes. | Estatística descritiva; tabelas de frequência; gráficos. |
| <b>3. Análise</b>       | Priorização das falhas mais relevantes e investigação das possíveis causas-raiz.                                 | Diagrama de Pareto; Histograma; Diagrama de Ishikawa.    |
| <b>4. Plano de Ação</b> | Formulação das ações corretivas para as causas-raiz identificadas na etapa anterior.                             | Ferramenta 5W2H.   |
| <b>5. Ação</b>          | Descrição conceitual da execução das ações propostas, considerando aspectos técnicos e operacionais.             | Cronograma e especificações técnicas.                    |
| <b>6. Verificação</b>   | Projeção dos resultados esperados após a implementação do plano de ação proposto.                                | Comparação entre cenários e indicadores.                 |
| <b>7. Padronização</b>  | Sugestão de procedimentos para assegurar a manutenção das melhorias identificadas.                               | Procedimentos Operacionais Padrão (POPs).                |

|                     |  |   |
|---------------------|--|---|
| <b>8. Conclusão</b> | Síntese dos achados, reflexão sobre o processo e recomendações de melhoria contínua. | Avaliação crítica e narrativa conclusiva. |
|---------------------|--|---|

Fonte: Autoria Própria, 2025.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os principais resultados obtidos a partir da análise estatística dos dados operacionais relacionados aos processos de envase e tampagem da Cervejaria, no período compreendido entre julho e dezembro de 2024. Os dados utilizados foram gerados exclusivamente para fins acadêmicos, não representando valores reais, mas simulados para permitir o desenvolvimento metodológico e analítico deste Trabalho.

A interpretação dos resultados integra técnicas de análise de falhas, estatística descritiva e ferramentas da qualidade, articuladas às etapas propostas pela Metodologia. A discussão está fundamentada na literatura de qualidade, confiabilidade e engenharia de produção, permitindo compreender não apenas os valores observados, mas também sua relação com o comportamento típico de processos produtivos do setor cervejeiro.

A análise inicial dos dados revelou problemas relevantes, como aumento mensal no número de falhas, discrepâncias significativas entre turnos, elevada repetitividade de falhas e impacto financeiro expressivo decorrente de eventos críticos. Tais comportamentos são condizentes com o que Campos (1999) define como *“processos instáveis, com causas especiais atuando de forma recorrente e não eliminadas na origem”*. Shingo (1986) reforça essa visão ao afirmar que *“a repetição de falhas é um sintoma inequívoco de que a causa raiz permanece intacta”*, evidenciando a necessidade de uma abordagem estruturada para sua eliminação.

Para garantir clareza e profundidade, os resultados foram organizados em com base nos objetivos específicos listados anteriormente:

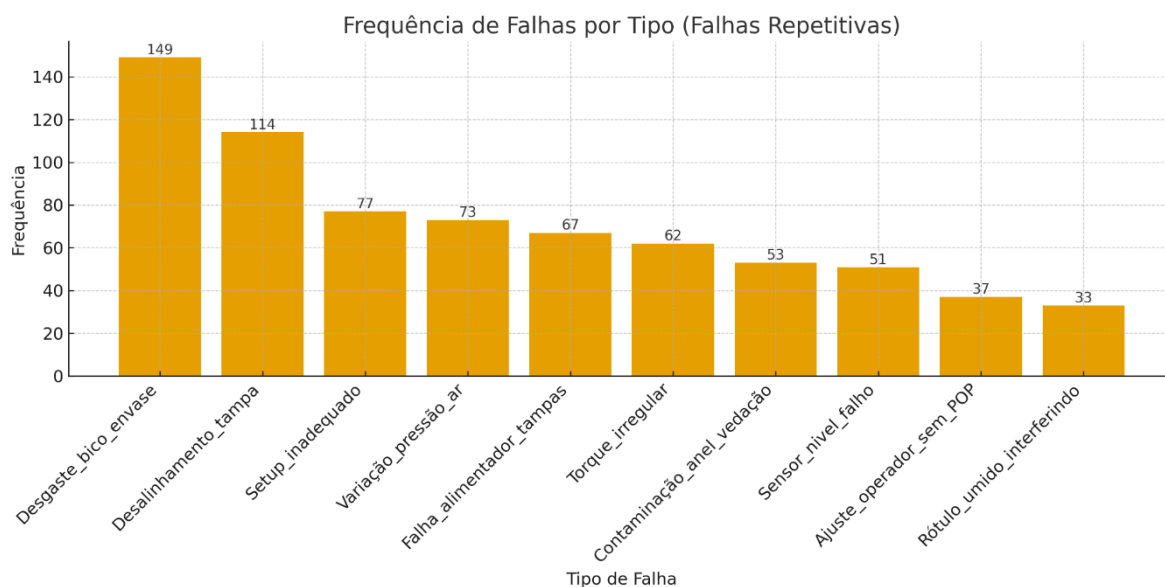
### 5.1 Mapeamento e Análise das Falhas na Linha

#### 5.1.1 Análise Quantitativa de Falhas na Linha

A análise da frequência das falhas analisada no período de 6 meses, Figura 2, recorrentes revela um padrão de concentração nos itens “desgaste do bico de envase” com 149 ocorrências) e “desalinhamento da tampa” com 114 ocorrências,

evidenciando falhas mecânicas associadas a componentes críticos da linha de produção.

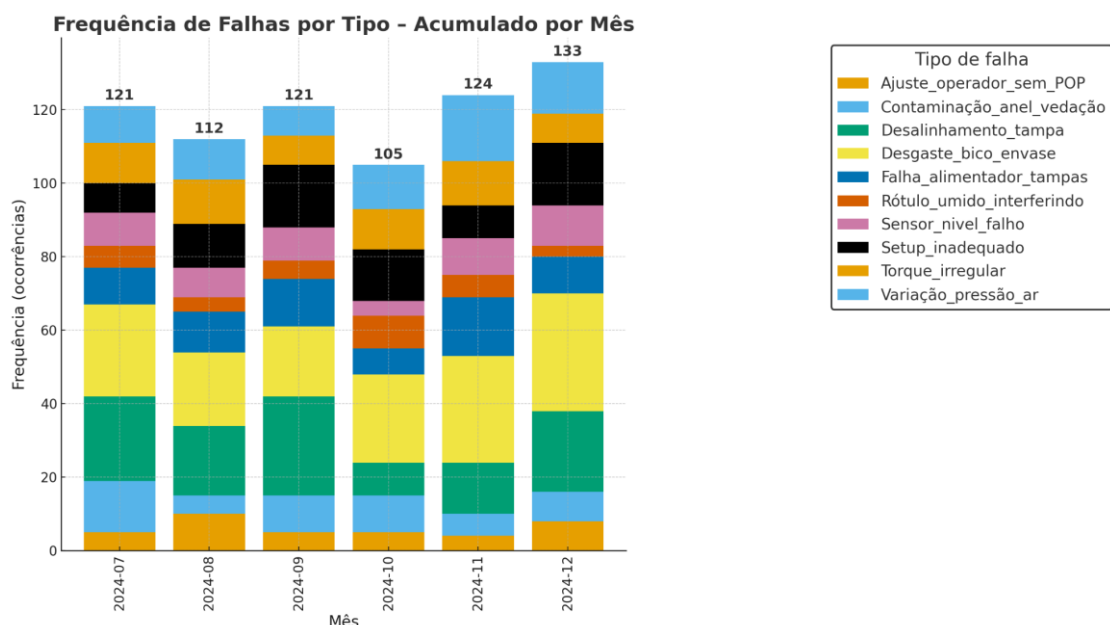
Figura 2 - Gráfico de frequência de falhas por tipo durante o período analisado.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Esse padrão sugere a presença de problemas estruturais, relacionados à ausência de inspeções sistemáticas e à limitação do plano de manutenção preventiva. Essas falhas impactam diretamente a eficiência do processo, aumentando as paradas não programadas e a variabilidade da produção. Em resposta a essas ocorrências, foram propostas ações corretivas no plano 5W2H, incluindo a implementação de checklist de verificação, substituição programada de peças e treinamentos para padronização dos setups.

Figura 3 - Frequência de falhas por tipo – Acumulado por Mês



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 3 apresenta a distribuição da frequência de falhas ocorridas na linha de envase e tampagem, entre os meses de julho e dezembro de 2024. Os dados estão segmentados por tipo de falha e representados por meio de um gráfico de barras empilhadas, o que permite visualizar simultaneamente tanto o volume total de falhas mensais quanto a composição das ocorrências por categoria.

Tabela 3 - Frequência Mensal de Falhas e Índice de Qualidade (PPM = falhas por milhão de garrafas produzidas)

| <i><b>Mês</b></i> | <i><b>Falhas</b></i> | <i><b>Produção</b></i> | <i><b>PPM</b></i> |
|-------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| <b>2024-07</b>    | 121                  | 57.510                 | <b>2103,98</b>    |
| <b>2024-08</b>    | 112                  | 68.830                 | <b>1627,20</b>    |
| <b>2024-09</b>    | 121                  | 61.220                 | <b>1976,48</b>    |
| <b>2024-10</b>    | 105                  | 59.800                 | <b>1755,85</b>    |
| <b>2024-11</b>    | 124                  | 51.200                 | <b>2421,88</b>    |
| <b>2024-12</b>    | 133                  | 54.000                 | <b>2462,96</b>    |

Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Tabela 3 apresenta a frequência mensal de falhas e a produtividade da linha de envase e tampagem entre julho e dezembro de 2024. Com base nesses dados, foi calculado o índice PPM (*Parts Per Million*), que representa a razão entre o número absoluto de falhas e o volume de produção mensal, multiplicado por um milhão, uma métrica amplamente utilizada na engenharia da qualidade para quantificar o desempenho de processos.

Observou-se um comportamento de estabilidade relativa do processo produtivo entre os meses de julho e outubro de 2024. Nesse intervalo, os índices de falhas variaram entre 1.750 e 2.100 PPM, oscilação considerada natural em sistemas industriais sujeitos a pequenas variações operacionais, como ajustes de turno, calibração de equipamentos e intervenções de rotina. A amplitude observada está dentro dos limites de controle estatístico aceitáveis, não havendo evidências de desvios significativos que comprometam a estabilidade do sistema produtivo.

Entretanto, nos meses subsequentes — novembro e dezembro — identificou-se um aumento acentuado dos índices de falhas, com valores de 2.421 PPM e 2.462 PPM, respectivamente. Esses níveis representam um acréscimo estatisticamente significativo entre +22% e +23% em relação à média de PPM observada no quadrimestre anterior (jul-out). Esse salto, aliado à manutenção das falhas absolutas e à redução de produtividade, caracteriza uma tendência clara de instabilidade no processo.

As possíveis causas dessa deterioração incluem: acúmulo de desvios não tratados ao longo do tempo, desgaste acelerado de componentes críticos, típico do encerramento de ciclos produtivos, manutenção de procedimentos operacionais ineficazes e ausência de intervenções corretivas estruturadas. Esses fatores, quando somados, indicam a necessidade de reavaliação das estratégias de controle de qualidade e manutenção para restaurar a estabilidade operacional e reduzir os custos associados às falhas recorrentes.

Observa-se uma variação significativa na quantidade total de falhas ao longo dos meses, oscilando entre 105 e 133 registros mensais. Esse comportamento instável do processo produtivo sugere a presença de causas especiais não controladas, conforme aponta Montgomery (2020), que associa grandes amplitudes de variação à existência de falhas crônicas não tratadas. Em outubro, registra-se o menor número de falhas 105, enquanto dezembro apresenta o pico 133,

possivelmente causado por algum desgaste da linha, visto que no mês de outubro houve um aumento na produção.

Para aprofundar a análise, adotou-se como critério de priorização das falhas a frequência relativa acumulada e a persistência temporal, classificando como críticas aquelas que ocorreram de forma recorrente em todos os meses e que concentraram os maiores volumes de registros. Essa abordagem está em consonância com os fundamentos da confiabilidade e melhoria contínua, conforme proposto por Montgomery (2020), que recomenda a identificação e o tratamento de falhas crônicas com alto impacto no desempenho do processo.

Com base nesse critério, foram identificadas como falhas prioritárias: desgaste do bico de envase, desalinhamento da tampa, setup inadequado, variação na pressão de ar e falha no alimentador de tampas. A recorrência desses problemas evidencia a presença de causas raízes sistêmicas não tratadas. Segundo Shingo (1986), tais falhas indicam deficiências estruturais nos processos produtivos, reforçando a necessidade de ações corretivas que envolvam padronização, manutenção preventiva e capacitação operacional.

A análise mensal evidencia que, embora existam variações no volume total de falhas, certos tipos se mantêm recorrentes ao longo do tempo, como o desgaste do bico de envase, o desalinhamento da tampa e a variação da pressão de ar. No entanto, a distribuição das falhas não segue rigorosamente o princípio de Pareto, pois as três principais categorias de falhas não concentram 80% do total de ocorrências. Isso indica que os problemas estão mais distribuídos entre múltiplas causas, o que pode sugerir uma diversidade de fragilidades estruturais no processo produtivo, ao invés da predominância de poucos fatores críticos.

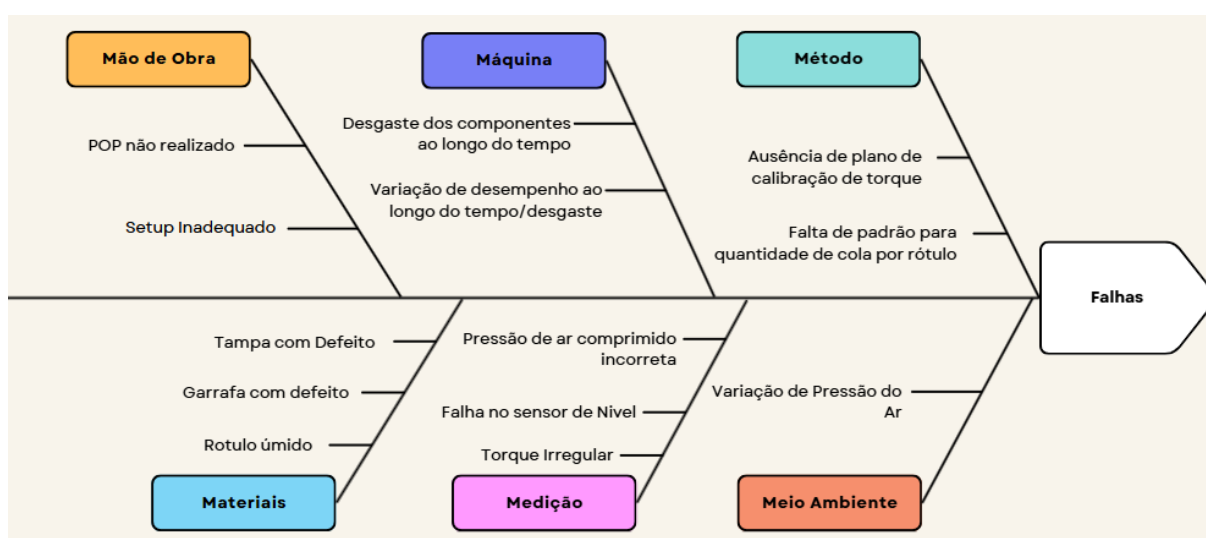
Esse comportamento reforça a necessidade de uma abordagem sistêmica e abrangente na análise das falhas, considerando tanto os efeitos mais frequentes quanto a persistência e complexidade das causas. Como apontam Montgomery (2020) e Campos (1999), a melhoria contínua depende da identificação criteriosa das causas, mesmo quando a concentração de falhas não é suficientemente alta para priorização clássica via Pareto. Assim, estratégias como o diagrama de Ishikawa e a análise temporal das ocorrências tornam-se ainda mais relevantes para embasar intervenções corretivas.



Além disso, o gráfico permite visualizar facilmente oscilações em falhas específicas ao longo do tempo. Por exemplo, a falha “Desgaste do bico de envase” apresenta crescimento gradual nos meses finais, indicando possível deterioração acelerada do componente. Já a falha “Setup inadequado” mantém contribuição expressiva e constante, sugerindo deficiências recorrentes nos métodos de preparação da máquina ou variações na execução de procedimentos operacionais.

No conjunto, a análise evidencia que a linha opera sob influência significativa de falhas concentradas nas categorias Máquina, Método e Mão de Obra, conforme proposto no Diagrama de Ishikawa, figura 4. A persistência dessas falhas ao longo dos meses indica que processos de manutenção preventiva, calibração e padronização de procedimentos devem ser priorizados no plano de ação do MASP.

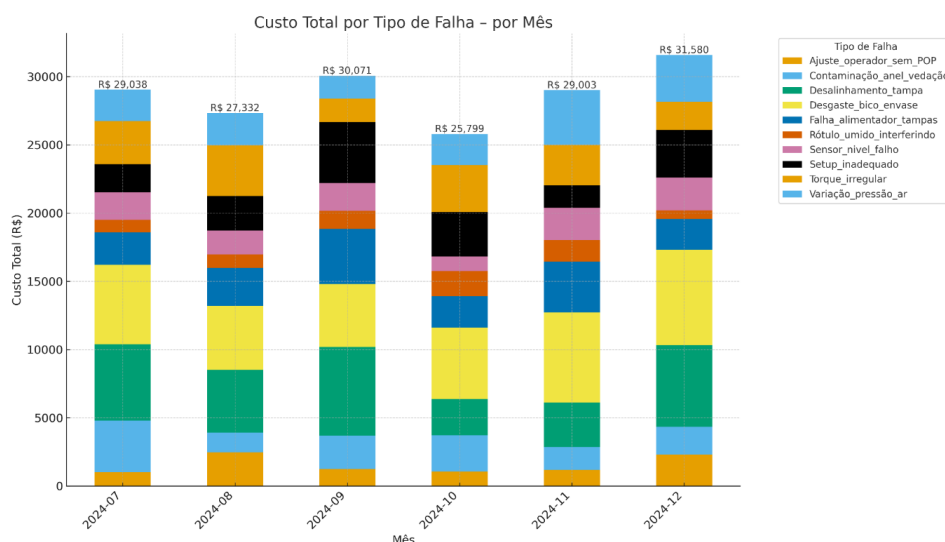
Figura 4 - Diagrama de Ishikawa para as Falhas do Processo



Fonte: Autoria Própria, 2025.

### 5.1.2 Impacto Financeiro Total das Falhas por Mês

Figura 5 - Custo total por Tipo de Falha (mês)



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 5 apresenta a distribuição do custo total associado às falhas operacionais da linha de envase e tampagem no período de julho a dezembro de 2024. O gráfico, estruturado em barras empilhadas, permite analisar simultaneamente tanto o custo consolidado por mês quanto a contribuição relativa de cada tipo de falha para o montante final. Esse tipo de visualização se alinha às recomendações de Montgomery (2020) e Slack et al. (2019) para interpretação de dados multivariados em ambientes fabris.

Os resultados demonstram que o custo mensal associado às falhas operacionais variou entre aproximadamente R\$ 25.799 e R\$ 31.580 ao longo do período analisado. Esses valores foram obtidos com base na multiplicação do tempo total de parada registrado para cada evento pelo custo médio de hora parada da linha de produção, conforme parâmetros internos definidos pela empresa. Tal metodologia visa estimar o impacto financeiro direto das interrupções operacionais. Apesar das oscilações mensais, observa-se um patamar elevado e relativamente constante de perdas, indicando a presença de falhas persistentes ou “crônicas”, segundo a definição de Shingo (1986) que comprometem de forma contínua a eficiência produtiva da cervejaria.

Ao analisar a composição das barras, observa-se que alguns tipos de falhas contribuem de forma mais significativa para o custo total, tais como:

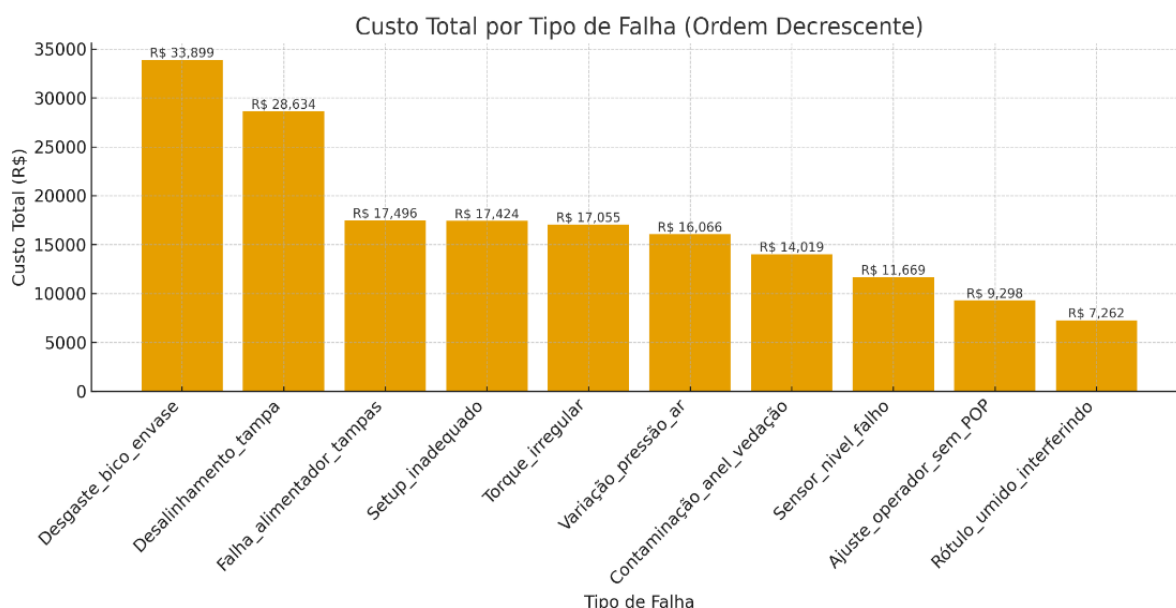
- Desgaste do bico de envase,
- Contaminação do anel de vedação,
- Desalinhamento da tampa,
- Setup inadequado,
- Variação de pressão de ar.

Embora a concentração dos custos por tipo de falha não configure uma distribuição típica segundo o princípio de Pareto — que pressupõe que aproximadamente 20% a 30% das causas sejam responsáveis por cerca de 80% das perdas totais (JURAN, 1998) —, observa-se que determinadas falhas apresentam simultaneamente elevada frequência e impacto financeiro significativo. Tais falhas configuram um grupo de alto impacto operacional, justificando sua priorização com base em critérios de criticidade técnica e custo-efetividade. A alocação de esforços corretivos nesses pontos, mesmo fora do padrão clássico de Pareto, representa uma estratégia racional de otimização de recursos e melhoria contínua do processo.

A análise temporal revela ainda que, embora a proporção de cada falha por mês apresente variações, o perfil geral das falhas permanece semelhante ao longo do período analisado, reforçando a hipótese de que as causas raízes são persistentes e sistêmicas. Esse padrão é típico de processos com lacunas em manutenção preventiva, padronização de procedimentos ou capacitação operacional, conforme apontado por Campos (1999) e Paladini (2012).

Ao relacionar esses achados com a metodologia MASP, é possível afirmar que a etapa de observação identifica não apenas os meses mais críticos, mas principalmente os tipos de falhas com maior impacto financeiro, permitindo priorizar ações corretivas eficazes no plano 5W2H. Essa análise reforça a importância de concentrar esforços em práticas estruturadas de manutenção, revisão de setups, controle de insumos e reforço de padrões operacionais para mitigação dos prejuízos recorrentes.

Figura 6 - Custo Total por Tipo de Falha



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 6 apresenta o custo total associado a cada tipo de falha registrada na linha de envase e tampagem entre julho e dezembro de 2024. Para estimar esses custos, foi considerado o tempo médio de parada por falha em minuto), multiplicado pela frequência de ocorrência de cada tipo de falha e pelo custo operacional estimado por minuto de linha parada em R\$/min. Esse valor foi previamente definido com base em dados históricos da unidade produtiva, considerando mão de obra ociosa, perdas de produtividade e impacto sobre o rendimento operacional.

Observa-se que a falha “Desgaste do bico de envase” apresenta o maior impacto financeiro, totalizando aproximadamente R\$ 33.899 no período. Esse comportamento corrobora a literatura, que aponta que falhas em componentes críticos e de contato direto com o produto estão mais suscetíveis ao desgaste acelerado, especialmente sob alta demanda produtiva (SHINGO, 1986). A combinação de alta frequência e custo por ocorrência justifica a priorização dessa falha no planejamento de ações corretivas e preventivas.

Em seguida, as falhas “Desalinhamento da tampa” com custo de R\$ 28.634 e “Falha no alimentador de tampas” com custo de R\$ 17.496 compõem o segundo bloco de maior custo. Ambas estão diretamente relacionadas ao sistema de fechamento das garrafas, o qual desempenha papel essencial para a integridade do produto e para a prevenção de refugos. Esses resultados reforçam a importância de manutenções

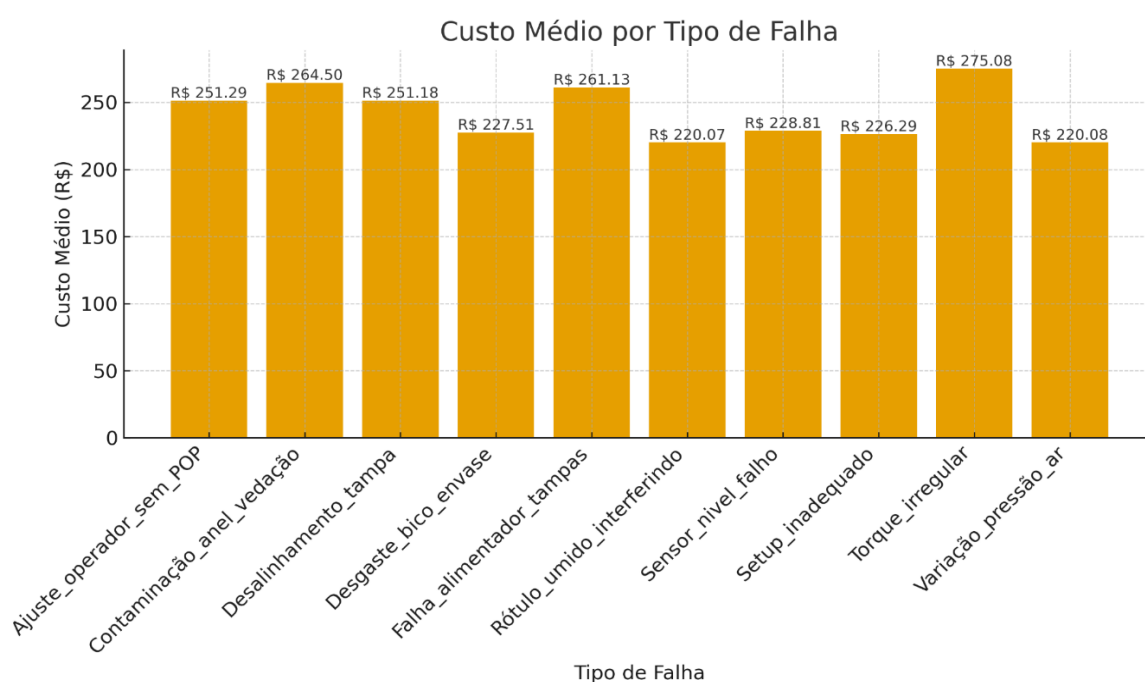
sistemáticas de elementos mecânicos da linha de tampagem, corroborando as recomendações de Slack et al. (2019) sobre confiabilidade de operações.

Na faixa intermediária de custo total aparecem as falhas “Setup inadequado” representa o valor de R\$ 17.424) e “Torque irregular” com R\$ 17.055, indicando que fatores ligados ao método de operação — especialmente procedimentos de troca, ajustes e parametrizações — têm contribuição significativa para o impacto financeiro geral. Tais achados reforçam a necessidade de padronização operacional (POP), treinamento contínuo e aplicação rigorosa de métodos de setup rápido, conforme sugestões de Shingo (1986) em sua abordagem SMED.

Outras falhas, como “Variação de pressão de ar” com custo de R\$ 16.066) e “Contaminação do anel de vedação” com o valor de R\$ 14.019, também apresentam impacto financeiro relevante, vinculando-se às categorias de Ambiente e Material, respectivamente, no Diagrama de Ishikawa. Isso evidencia a contribuição significativa de fatores externos e de insumos para perdas operacionais.

De maneira geral, o gráfico indica que poucas falhas são responsáveis pela maior parte do custo total do processo, confirmando o comportamento clássico da “distribuição 80/20” de Pareto. Essas informações são fundamentais para orientar a etapa de Análise do MASP e subsidiar a priorização no plano de ação 5W2H, direcionando esforços para as intervenções com maior potencial de retorno financeiro e melhoria operacional.

Figura 7 - Custo Médio por Tipo de Falha



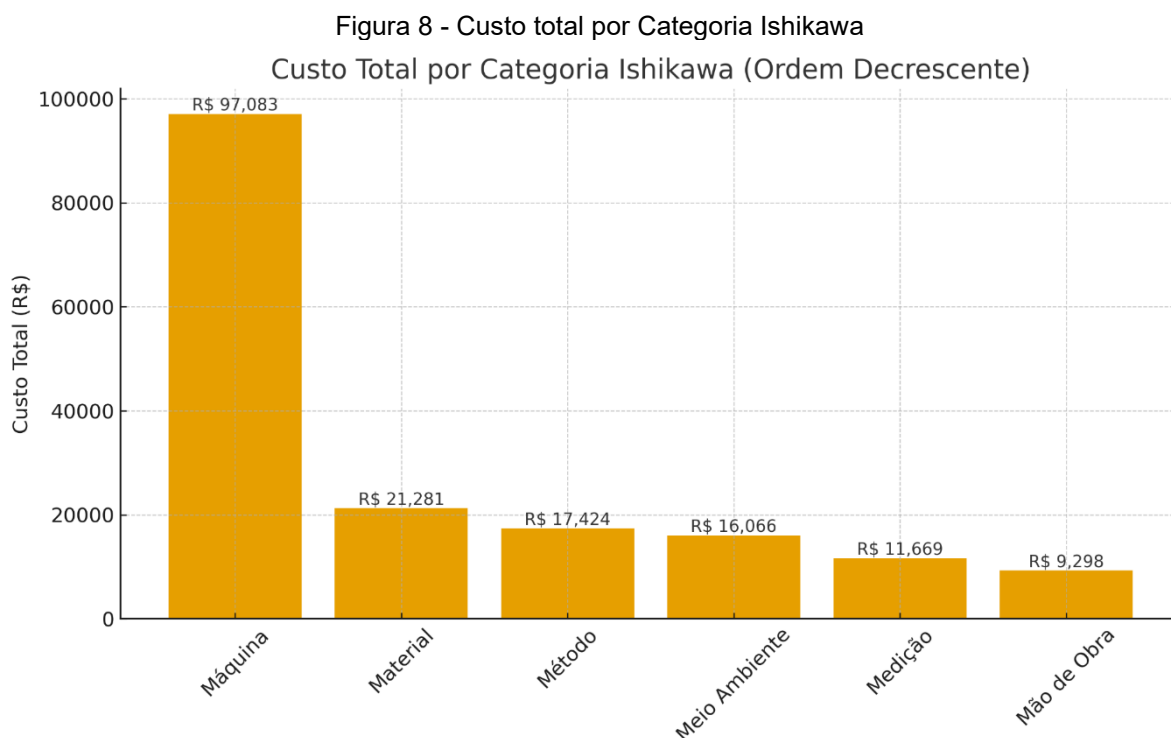
Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 7 apresenta o custo médio associado a cada tipo de falha registrada na linha de envase e tampagem durante o período analisado. O custo médio representa o valor financeiro estimado por ocorrência, obtido pela razão entre o custo total e o número de eventos de cada falha. Esse indicador é fundamental para avaliar a severidade econômica individual de cada tipo de falha, permitindo distinguir eventos de alta gravidade mesmo quando sua frequência é relativamente baixa (MONTGOMERY, 2020).

De maneira geral, observa-se que os custos médios variam entre R\$ 220,07 e R\$ 275,08, indicando que, apesar das diferenças entre os tipos de falhas, há certa proximidade nos impactos financeiros individuais. Entretanto, dentro desse intervalo, algumas falhas demonstram maior criticidade operacional.

A falha "Torque irregular" apresenta o maior custo médio (R\$ 275,08), sugerindo que, quando ocorre, tende a gerar perdas significativas — possivelmente relacionadas à rejeição de embalagens, vazamentos ou retrabalho da linha. Esse resultado reforça a importância de calibrar periodicamente equipamentos de torque e monitorar variações mecânicas, alinhando-se às recomendações de Shingo (1986) sobre controle de variáveis críticas de processo.

O conjunto dos resultados reforça que, embora algumas falhas apresentem menor frequência, sua ocorrência gera impacto financeiro relevante, o que evidencia a necessidade de priorização não apenas baseada na quantidade de eventos, mas também na severidade média das perdas. Essa visão é coerente com a abordagem do MASP, que recomenda avaliar criticidade com base em múltiplos critérios — frequência, impacto financeiro e impacto operacional — para subsidiar a priorização do plano de ação.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 8 apresenta o custo total associado às categorias do Diagrama de Ishikawa, considerando a classificação das falhas ocorridas no processo de envase e tampagem. Essa abordagem é coerente com os princípios de análise de causa raiz (ISHIKAWA, 1985) e com o método de priorização sugerido por Juran (1998), que recomenda concentrar esforços nos elementos mais críticos.

O resultado evidencia que a categoria Máquina é, de forma destacada, a que apresenta o maior custo total, acumulando aproximadamente R\$ 97.083. Esse valor é mais de quatro vezes superior ao da segunda categoria mais onerosa e indica que problemas mecânicos, desgaste de componentes, desalinhamentos e falhas de funcionamento representam a principal fonte de prejuízo econômico no processo analisado. Tal predominância reforça o que Shingo (1986) descreve como falhas físicas de equipamento, que tendem a ser recorrentes e de alto impacto quando não há uma política de manutenção preventiva eficaz.

A categoria Material, com custo total em torno de R\$ 21.281, ocupa a segunda posição em criticidade. Ela inclui problemas relacionados à qualidade de insumos e componentes, como contaminação de peças, inconsistências nos itens de embalagem ou falhas de funcionamento decorrentes de desgaste inadequado. Segundo Slack et al. (2019), falhas ligadas a materiais comprometem não apenas o desempenho da

linha, mas também a qualidade final do produto, podendo gerar perdas significativas por retrabalho ou refugo.

De forma geral, o gráfico aponta para uma concentração acentuada dos custos na categoria Máquina, reforçando a necessidade de priorização de ações corretivas e preventivas neste grupo. Isso está em plena consonância com o MASP, que direciona o foco para as categorias com maior impacto, permitindo que o plano 5W2H seja construído de maneira estratégica e baseado em evidências concretas.

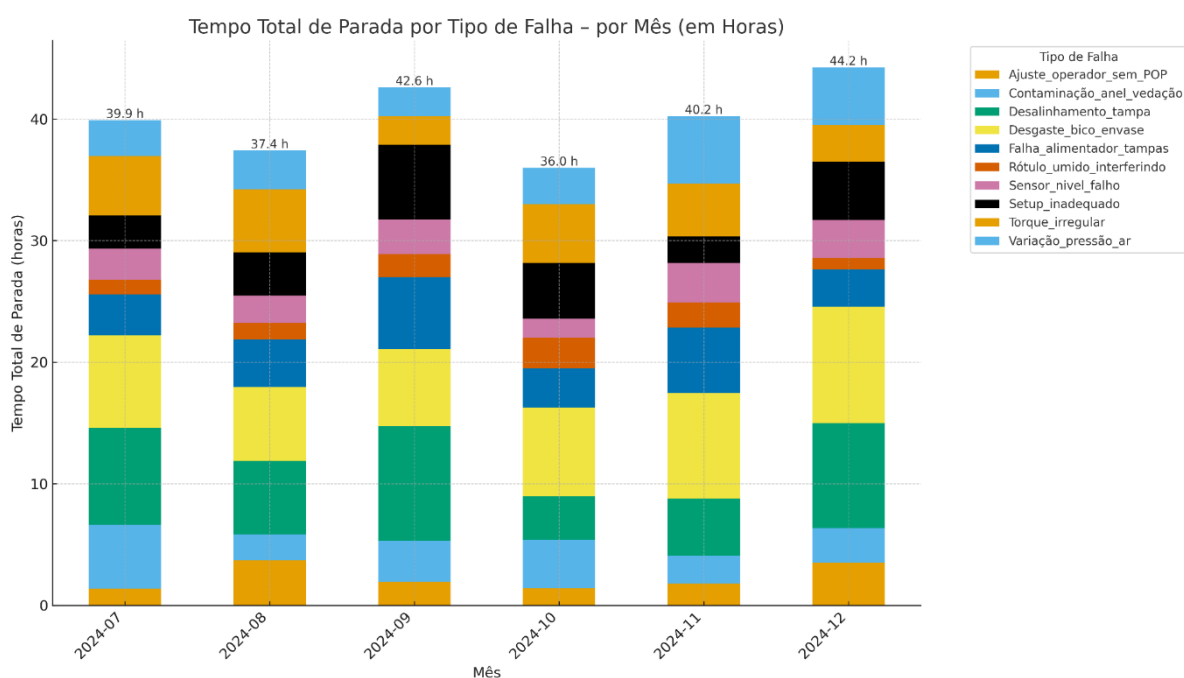
### 5.1.3 Impacto de Tempo de Parada Total das Falhas por Mês

Avalia as consequências operacionais das falhas, considerando:

- o tempo total de parada por tipo de falha, fundamental para identificar eventos críticos que comprometem a produtividade;
- o tempo médio de parada, que indica a profundidade ou severidade operacional de cada falha.

O tempo parado é reconhecido na literatura (MONTGOMERY, 2020; SHINGO, 1986) como um dos principais indicadores de eficiência industrial, sendo, portanto, um elemento central nesta análise.

Figura 9 - Tempo total de Parada por Falha (mês)



Fonte: Autoria Própria, 2025.



A Figura 9 representa o tempo total de parada da linha de envase e tampagem, distribuído por tipo de falha, no período de julho a dezembro de 2024.

Esses valores evidenciam que o processo permanece submetido a um nível significativo de indisponibilidade mensal, com médias próximas de 40 horas de parada por mês, o que impacta diretamente a produtividade e a eficiência global do equipamento (OEE). Segundo Shingo (1986), tempos de parada sistematicamente elevados são indicativos de falhas crônicas, típicas de processos com causas raízes não tratadas ou com lacunas de manutenção preventiva.

Ao analisar a composição de cada barra, observa-se que falhas como Desgaste do bico de envase, Contaminação do anel de vedação, Desalinhamento da tampa, Variação de pressão de ar e Falha no alimentador de tampas aparecem com frequência expressiva em praticamente todos os meses, representando grande parte do tempo total de indisponibilidade. Esses resultados sugerem forte influência da categoria Máquina, o que corrobora a análise de custo realizada anteriormente.

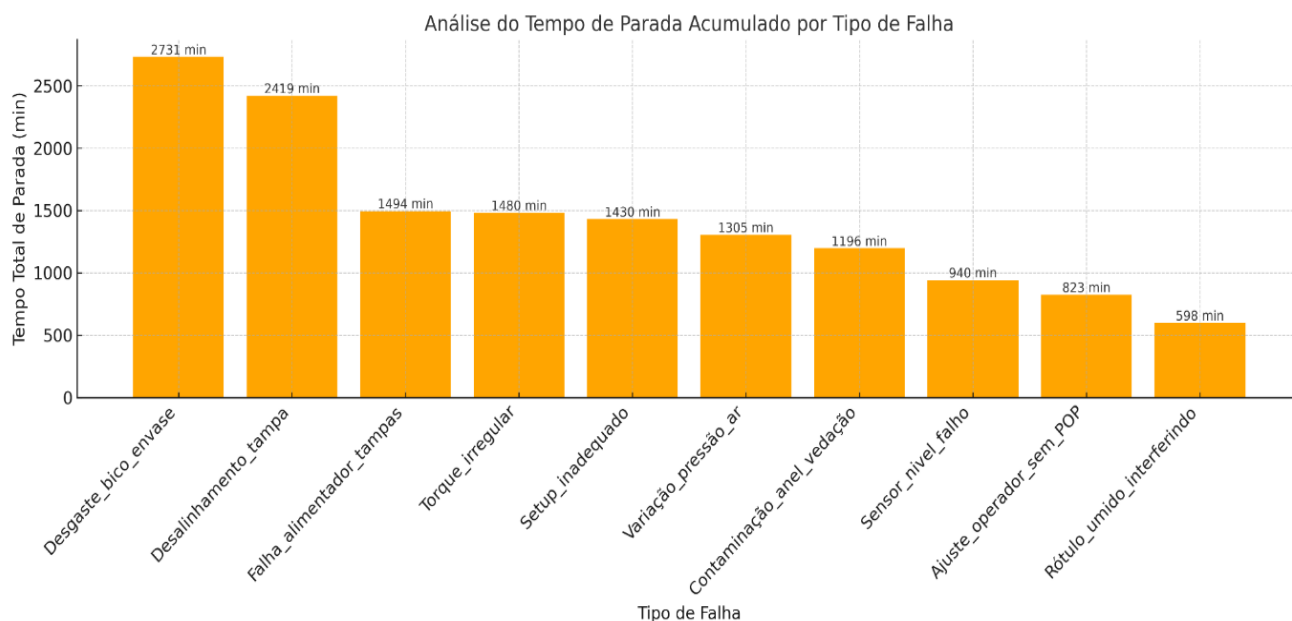
O mês de dezembro, com aproximadamente 44,2 horas de parada total, apresenta o maior impacto entre os meses avaliados. Esse aumento pode estar relacionado a consequências da alta produção dos meses anterior.

Importante destacar que a distribuição interna das barras demonstra que o perfil das falhas se mantém relativamente constante ao longo dos meses. Isso significa que as mesmas falhas dominam o tempo parado de forma recorrente, confirmando a presença de causas raízes persistentes. Conforme Montgomery (2020), essa repetitividade em indicadores operacionais reforça a necessidade de intervenção sistemática e uso de métodos estruturados de análise, como o MASP.

De forma geral, o gráfico permite concluir que o processo apresenta alto tempo de indisponibilidade acumulada, caracterizado por:

- repetitividade de falhas mecânicas,
- forte contribuição de categorias relacionadas a Máquina e Material,
- variação moderada entre meses, mas sem tendência clara de redução,
- impactos distribuídos entre várias causas, mas com concentração nas falhas de maior severidade.

Figura 10 - Tempo de Parada x Tipo de Falha



Fonte: Autoria Própria, 2025.

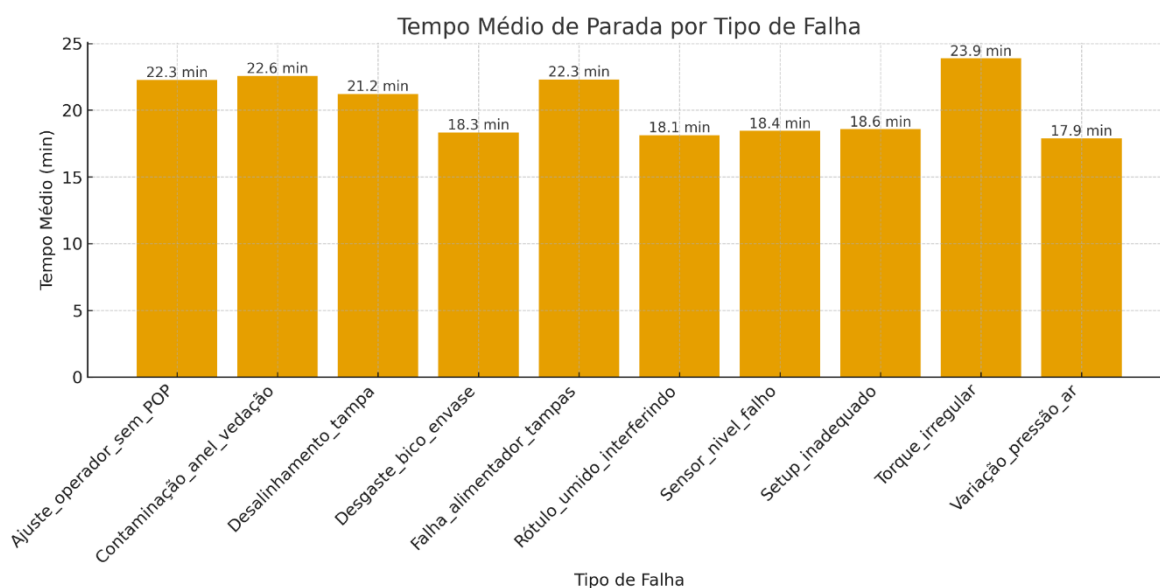
A Figura 10 apresenta o tempo total de parada associado a cada tipo de falha na linha de envase e tampagem, organizado em ordem decrescente. Observa-se que o maior impacto operacional está concentrado em poucas falhas, reforçando o princípio de Pareto.

A falha “Desgaste do bico de envase” representa o maior tempo de indisponibilidade, totalizando aproximadamente 2.731 minutos, seguida por “Desalinhamento da tampa” com 2.419 minutos. Essas duas falhas, ambas relacionadas ao componente mecânico da máquina, demonstram forte influência da categoria *Máquina* no tempo perdido, indicando a necessidade de intervenções estruturadas em manutenção preventiva e melhoria de componentes críticos.

Em um segundo nível de impacto estão falhas como “Falha no alimentador de tampas” com 1.494 min, “Torque irregular” com 1.480 min e “Setup inadequado” com 1.430 min. Apesar de apresentarem tempos menores, ainda representam perdas significativas e revelam a contribuição de fatores ligados a *Método* e *Operação*.

De forma geral, o gráfico evidencia que as falhas mecânicas são responsáveis pela maior parte do tempo perdido na operação, reforçando a necessidade de priorização de intervenções em componentes da linha, padronização de procedimentos e auditorias de manutenção.

Figura 11 - Tempo médio de Parada x Tipo de Falha



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 11 apresenta o tempo médio de parada associado a cada tipo de falha registrada no processo de envase e tampagem. Esse indicador permite avaliar a severidade operacional de cada ocorrência, mostrando quanto tempo, em média, a linha permanece indisponível sempre que a falha acontece.

Os resultados mostram que os tempos médios variam entre 17,9 min e 23,9 min, evidenciando que, embora existam diferenças entre as falhas, o impacto operacional individual é relativamente próximo. A falha “Torque irregular” apresenta o maior tempo médio com 23,9 min, indicando que, quando ocorre, provoca paralisações mais longas, possivelmente relacionadas a ajustes mecânicos complexos.

Falhas como “Contaminação do anel de vedação” com 22,6 min, “Falha no alimentador de tampas” com 22,3 min e “Ajuste de operador sem POP” com 22,3 min também apresentam tempos médios elevados, reforçando que fatores ligados a equipamento, material e operação contribuem significativamente para a indisponibilidade da linha.

De forma geral, o gráfico mostra que todas as falhas analisadas possuem impacto significativo, com tempos médios superiores a 17 minutos, indicando a necessidade de ações de melhoria voltadas tanto à redução da ocorrência quanto ao tempo de intervenção.

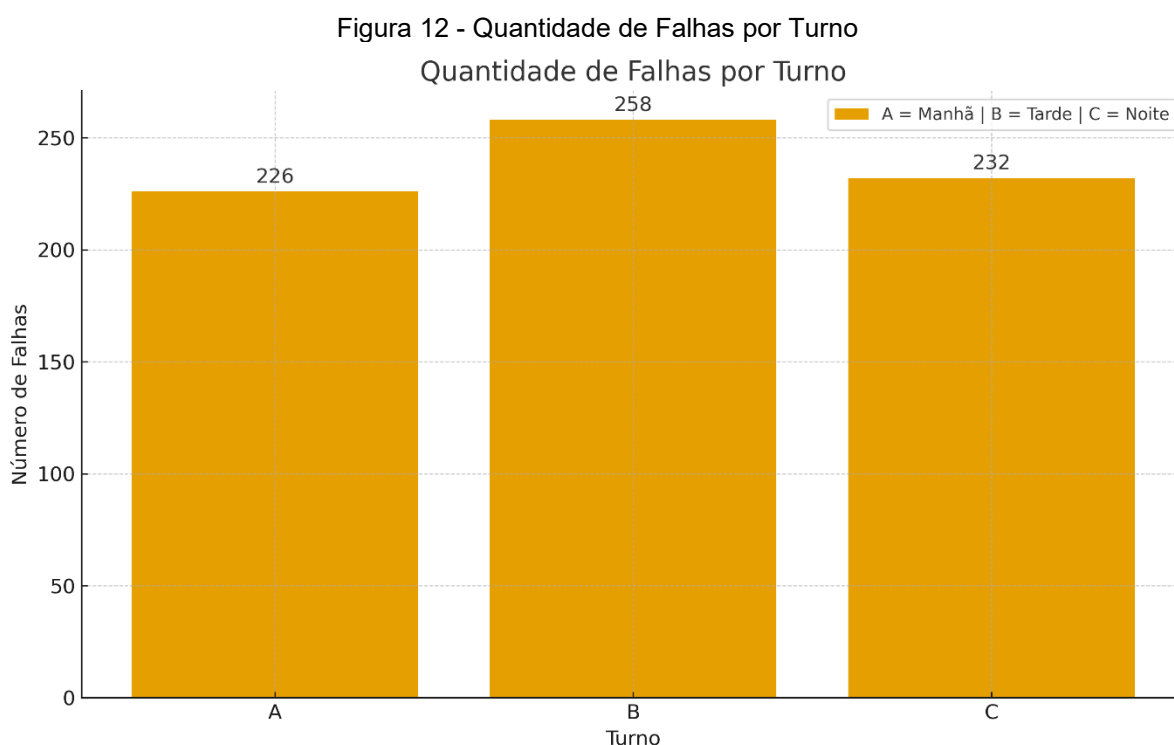
#### 5.1.4 Distribuição das Falhas por Turno

análises específicas para aprofundar a compreensão dos fenômenos observados:

- Diferenças entre turnos, permitindo avaliar como a variação de equipes e práticas operacionais influencia o desempenho da linha.
- Repetitividade de falhas, fundamental para identificar problemas crônicos, típicos de causas raízes não tratadas.
- Causas críticas segundo Pareto, utilizando o princípio 80/20 para destacar os fatores com maior impacto operacional e financeiro.

Essas análises convergem diretamente para a etapa de Análise do MASP, fundamentando a identificação de causas raízes e auxiliando na priorização das ações que compõem o plano 5W2H.

A análise das falhas por turno demonstra a existência de assimetrias relevantes na operação entre as equipes A, B e C conforme Figura 12. Embora realizem as mesmas atividades em uma infraestrutura idêntica, a discrepância na quantidade de falhas sugere influência de fatores humanos e organizacionais, tais como:



Fonte: Autoria Própria, 2025.

- Variações no nível de capacitação técnica dos operadores;
- Diferenças na execução dos procedimentos de setup e inspeção;

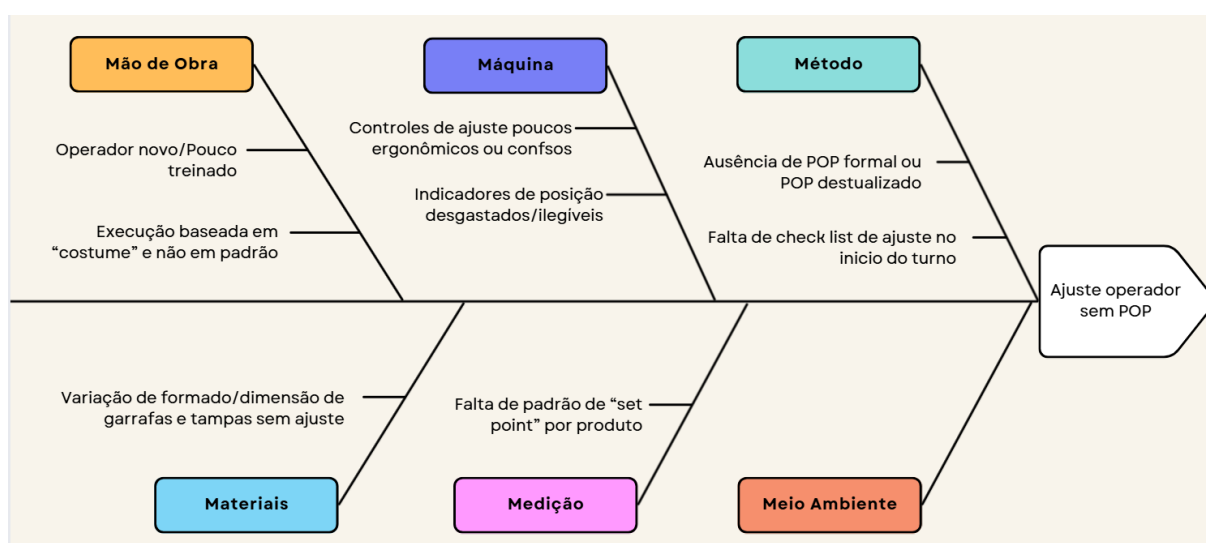
- Rotinas operacionais específicas de cada período do dia;
- Maior ou menor disponibilidade de suporte da equipe de manutenção.

Do ponto de vista da qualidade, Campos (1999) enfatiza que variações entre turnos normalmente evidenciam falhas de padronização, indicando que o processo não está adequadamente estabilizado. A existência de diferenças significativas entre os turnos também pode refletir problemas de aderência aos POPs (Procedimentos Operacionais Padrão), demandando ações de capacitação, revisão dos procedimentos ou inspeções mais frequentes.

## 5.2 Análise de Ishikawa para cada Falha

### 5.2.1 Ajuste de operador sem POP

Figura 13 - Diagrama de Ishikawa para Ajuste Operador sem POP



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 13 apresenta o Diagrama de Ishikawa referente à falha "Ajuste de operador sem POP", permitindo a identificação estruturada de suas causas-raiz. A análise evidencia que a origem do problema é multifatorial, distribuída entre seis categorias.

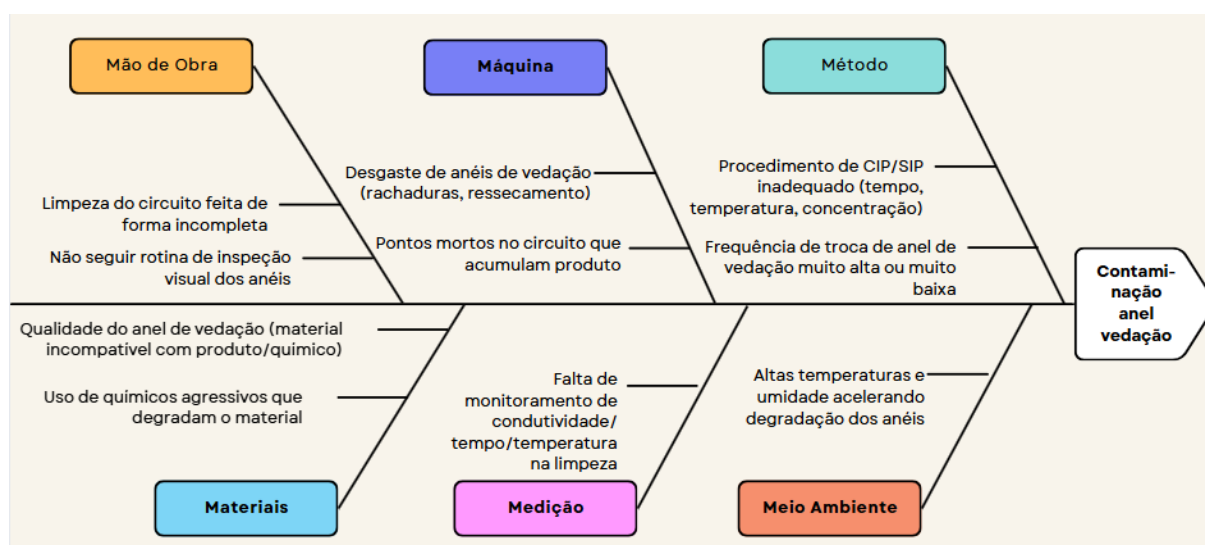
Na dimensão Mão de Obra, destacam-se operadores pouco treinados, alta rotatividade e execução baseada em hábitos, em vez de padrões definidos. Em Máquina, controles pouco ergonômicos e indicadores desgastados dificultam o ajuste correto. Quanto ao Método, observa-se ausência ou desatualização dos POPs e falta de checklists operacionais. Em Materiais, há incompatibilidades entre as dimensões

de garrafas/tampas e os ajustes necessários. Na categoria Medição, não há registros padronizados dos parâmetros críticos.

Essa estrutura reforça a natureza sistêmica da falha, exigindo ações integradas de padronização, capacitação e controle operacional para garantir a estabilidade do processo.

## 5.2.2 Contaminação do Anel de vedação

Figura 14 - Diagrama de Ishikawa para Contaminação do Anel de Vedação.



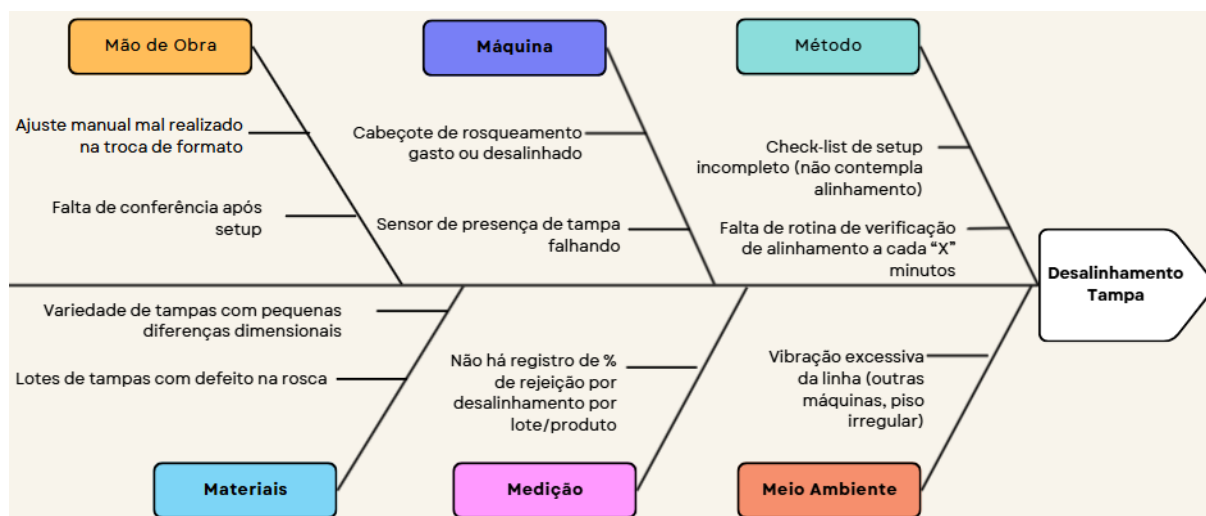
Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 14 apresenta o diagrama de Ishikawa referente à falha “Contaminação do anel de vedação”, destacando suas principais causas associadas às categorias clássicas da qualidade. Identificam-se fatores críticos ligados à mão de obra (limpeza incompleta e ausência de inspeção visual), método (procedimentos de CIP/SIP inadequados), materiais (uso de anéis incompatíveis ou degradados por químicos), máquina (pontos mortos no circuito e desgaste físico dos anéis), medição (ausência de monitoramento de parâmetros de limpeza) e meio ambiente (altas temperaturas e umidade).

Essa análise evidencia a necessidade de revisão sistemática dos procedimentos de limpeza e inspeção, assim como da qualificação dos insumos e controle operacional, a fim de mitigar o risco de reincidência da falha.

### 5.2.3 Desalinhamento Tampa

Figura 15 - Diagrama de Ishikawa para Desalinhamento da Tampa



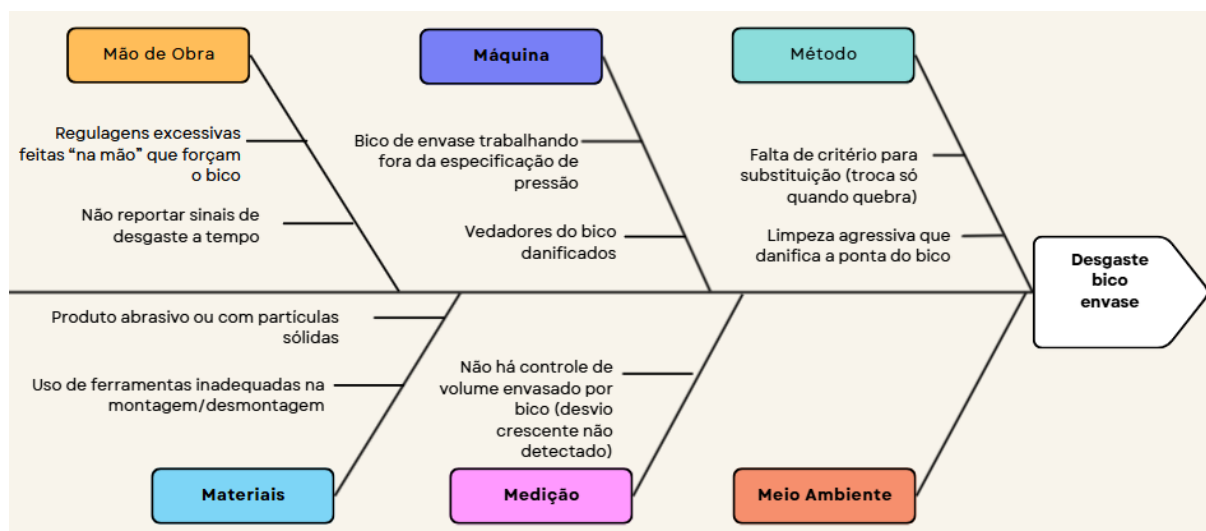
Fonte: Autoria Própria, 2025.

O Diagrama de Ishikawa, Figura 15, referente à falha “Desalinhamento da tampa” evidência múltiplas causas interligadas que comprometem a eficiência do processo de envase e tampagem. No eixo de mão de obra, destacam-se falhas operacionais como ajustes manuais inadequados e ausência de conferência pós-setup. No aspecto máquina, são observados desgastes e desalinhamentos em componentes como cabeçotes e trilhos de alimentação.

A categoria método aponta a insuficiência de rotinas sistemáticas de verificação e listas de checagem incompletas. Em materiais, a variabilidade dimensional das tampas e defeitos na rosca são fatores críticos. Já em medição, a ausência de registros específicos de rejeição dificulta o monitoramento da falha. Por fim, fatores de meio ambiente, como a vibração excessiva da linha, agravam a instabilidade operacional. Essa análise estruturada permite a priorização de ações corretivas com base em causas raiz.

## 5.2.4 Desgaste Bico Envase

Figura 16 - Diagrama de Ishikawa para Desgaste Bico Envase



Fonte: Autoria Própria, 2025.

O diagrama de Ishikawa, Figura 16, também conhecido como diagrama de causa e efeito, foi utilizado para identificar e categorizar as principais causas do desgaste prematuro dos bicos de envase. Entre os fatores humanos, destacam-se regulagens manuais inadequadas e a ausência de comunicação sobre sinais de desgaste. No fator máquina, observou-se operação fora dos parâmetros de pressão e vedadores danificados, evidenciando falhas de manutenção preventiva.

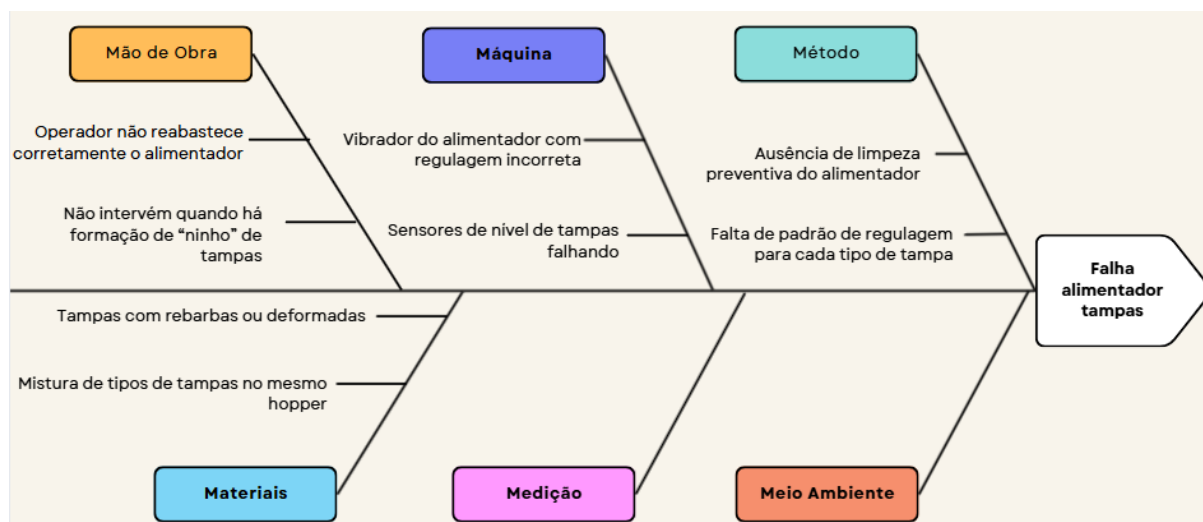
No aspecto metodológico, a falta de critérios claros para substituição e práticas de limpeza agressivas contribuem diretamente para o problema. Quanto aos materiais, o uso de produtos abrasivos e ferramentas inadequadas durante a montagem/desmontagem intensificam o desgaste. Por fim, a ausência de controle específico sobre o volume envasado por bico impede a detecção precoce de desvios operacionais.

Essas causas, quando associadas, apontam para a necessidade de ações corretivas estruturadas, com foco em padronização, capacitação e melhoria nos controles de processo.



### 5.2.5 Falha Alinhador Tampas

Figura 17 - Diagrama de Ishikawa para Falha no Alinhador de Tampas



Fonte: Autoria Própria, 2025.

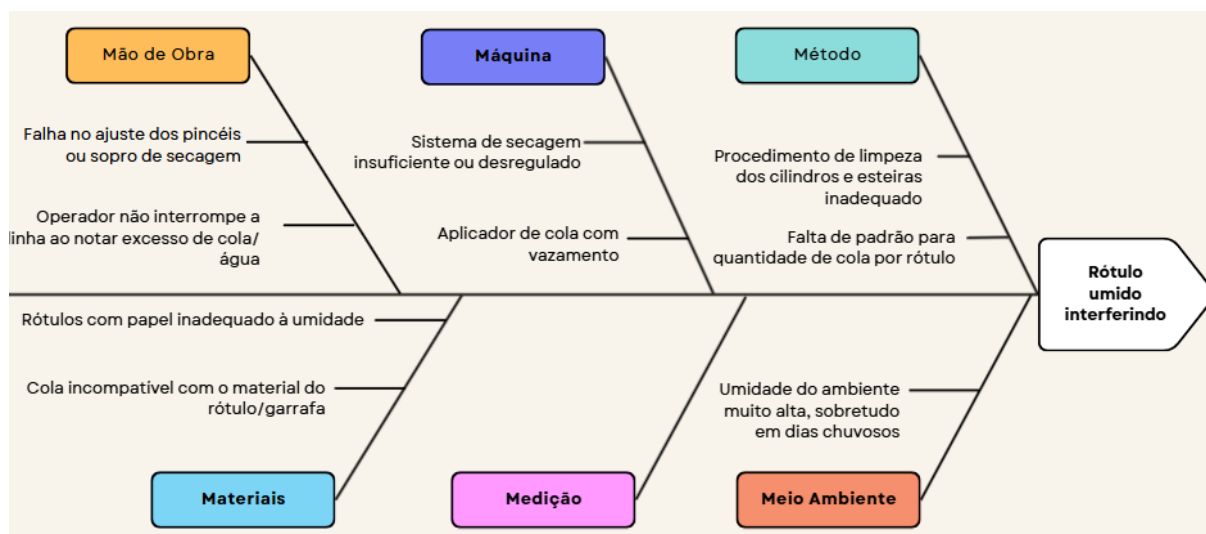
O diagrama de Ishikawa, Figura 17, construído para a falha no alimentador de tampas permitiu identificar causas distribuídas em seis categorias principais. No eixo de mão de obra, observam-se falhas operacionais relacionadas ao abastecimento inadequado do alimentador e à ausência de intervenção diante da formação de “ninhos” de tampas. No fator máquina, destacam-se sensores de nível defeituosos e regulagem incorreta do vibrador do alimentador.

Do ponto de vista metodológico, a ausência de padronização nos ajustes para diferentes tampas e a falta de limpeza preventiva comprometem a confiabilidade do processo. Quanto aos materiais, o uso de tampas deformadas ou com rebarbas, assim como a mistura de modelos em um único hopper, agrava o risco de falhas. Por fim, fatores de medição e ambiente não apresentam causas diretas, reforçando o foco em variáveis operacionais e de manutenção.

Essa análise evidencia a importância de ações corretivas voltadas à padronização dos procedimentos, capacitação dos operadores e controle da qualidade dos insumos.

### 5.2.6 Rótulo Úmido

Figura 17 - Diagrama de Ishikawa para Rótulo Úmido



Fonte: Autoria Própria, 2025.

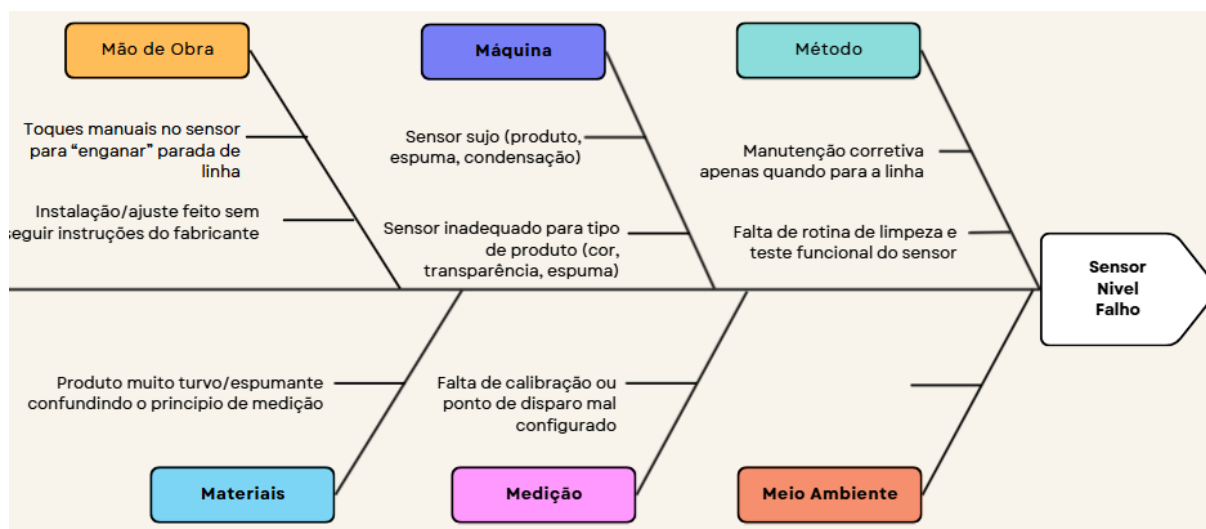
O diagrama de Ishikawa, Figura 18, referente à falha de rótulo úmido identificou causas distribuídas entre seis categorias principais. No aspecto de mão de obra, destacam-se falhas no ajuste de secagem e ausência de intervenção diante do excesso de cola ou umidade. Em relação à máquina, a origem do problema pode estar em sistemas de secagem ineficientes ou aplicadores de cola com vazamentos.

Do ponto de vista metodológico, a falta de padronização na aplicação de cola e a limpeza inadequada dos componentes contribuem para o acúmulo de umidade. Entre os materiais, observa-se o uso de rótulos sensíveis à umidade e colas incompatíveis com os substratos. O fator ambiental, particularmente a alta umidade relativa em dias chuvosos, também agrava a falha, enquanto a categoria de medição não apresenta causas diretamente associadas.

A análise evidencia a necessidade de controles mais rigorosos sobre os insumos, ajustes operacionais e adequações ambientais para mitigar falhas relacionadas à umidade no processo de rotulagem.

### 5.2.7 Sensor Nível Falho

Figura 18 - Diagrama de Ishikawa para Sensor de Nível Falho



Fonte: Autoria Própria, 2025.

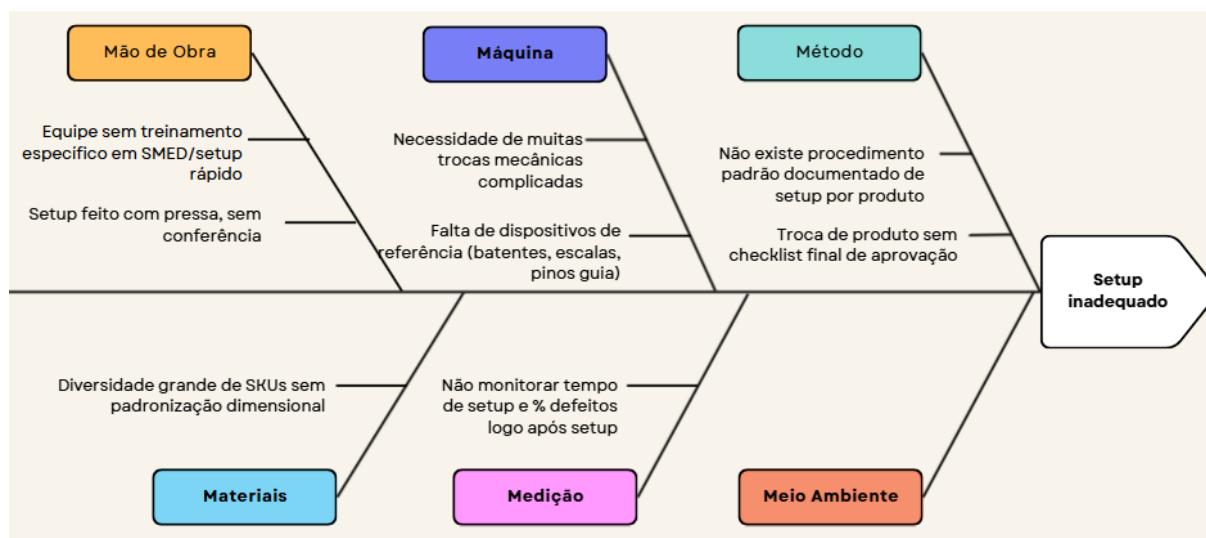
A falha no sensor de nível foi analisada utilizando o diagrama de Ishikawa, *figura 19*, identificando causas distribuídas em seis categorias. No fator mão de obra, destacam-se interferências manuais intencionais no sensor e ajustes realizados sem seguir orientações técnicas do fabricante. Em relação à máquina, o mau funcionamento está associado a sensores sujos ou mal especificados para o tipo de produto, espuma, transparência, cor.

Do ponto de vista metodológico, a ausência de rotinas de limpeza e de testes preventivos compromete a confiabilidade do equipamento, agravada por práticas de manutenção reativas. Quanto aos materiais, a presença de produtos espumantes ou turvos interfere diretamente na detecção do nível. Na categoria de medição, destaca-se a falta de calibração adequada ou configuração incorreta do ponto de disparo do sensor. Embora o meio ambiente não tenha causas específicas citadas, condições externas adversas podem potencializar os fatores já mencionados.

Essa análise demonstra a importância da padronização de procedimentos, especificação técnica adequada de sensores e manutenção preventiva estruturada para assegurar a precisão da leitura de nível nos processos industriais.

### 5.2.8 Setup Inadequado

Figura 19 - Diagrama de Ishikawa para Setup Inadequado



Fonte: Autoria Própria, 2025.

O diagrama de Ishikawa, Figura 20, construído para o problema de “Setup inadequado” identifica diversas causas distribuídas entre os principais pilares da manufatura. Em relação à mão de obra, destacam-se a ausência de treinamento específico em e a execução apressada do setup, sem etapas de conferência. Esses fatores elevam a variabilidade do processo e reduzem a estabilidade operacional.

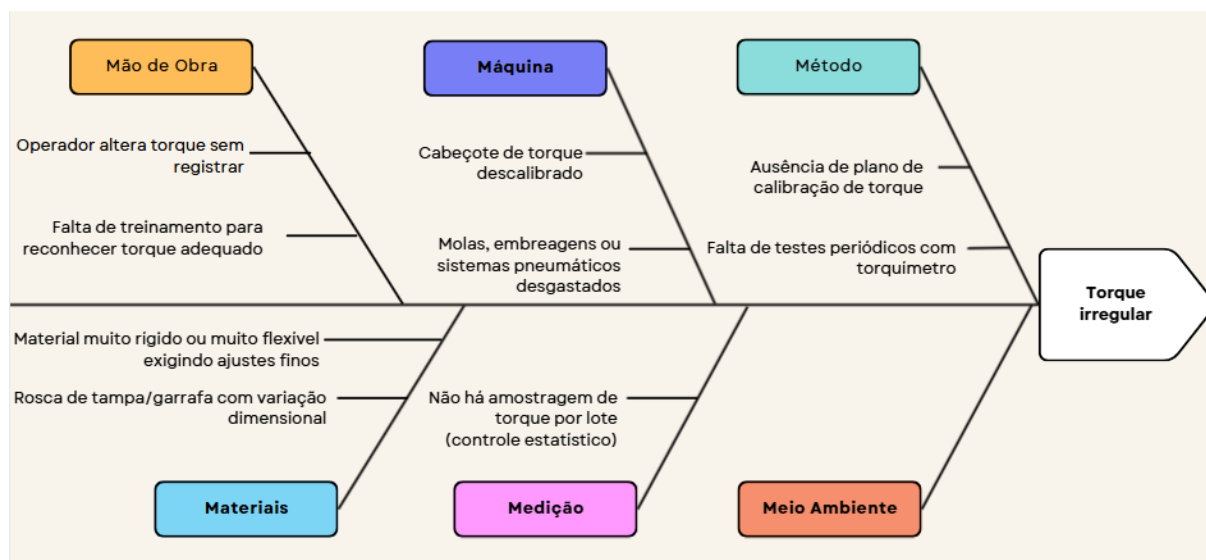
Do ponto de vista das máquinas, a complexidade das trocas mecânicas e a falta de dispositivos de referência (como escalas ou pinos guias) dificultam a padronização dos ajustes. No eixo metodológico, observa-se a inexistência de procedimentos documentados e ausência de checklist de aprovação final, o que compromete a confiabilidade do setup.

No que tange aos materiais, a diversidade de SKUs sem padronização dimensional dificulta a adaptação da linha, enquanto falhas no monitoramento do tempo de setup e indicadores de defeitos logo após a troca são lacunas críticas da categoria medição. Embora o meio ambiente não apresente causas diretas na imagem, sua inclusão no modelo garante a abrangência da análise sistêmica.

Essa estrutura causal evidencia a necessidade de padronização, capacitação técnica da equipe e monitoramento contínuo de indicadores para assegurar a eficácia e a repetibilidade dos setups.

### 5.2.9 Torque Irregular

Figura 20 - Diagrama de Ishikawa para Torque Irregular



Fonte: Autoria Própria, 2025.

O diagrama de Ishikawa, Figura 21, referente ao problema de “Torque irregular” permite uma avaliação estruturada das causas associadas à variabilidade no aperto de tampas. Sob o eixo da mão de obra, evidenciam-se falhas como a alteração não registrada dos parâmetros de torque pelos operadores e a ausência de treinamento adequado para reconhecimento do torque correto, comprometendo a padronização do processo.

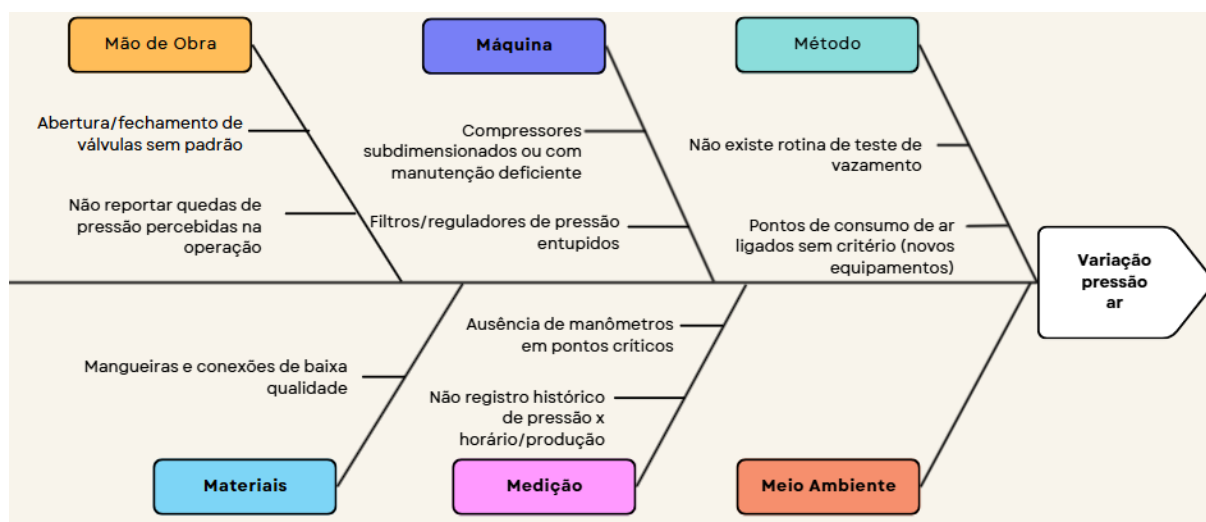
Do ponto de vista técnico, causas atribuídas ao equipamento incluem cabeçotes de torque descalibrados e componentes desgastados, como molas, embreagens ou sistemas pneumáticos, que influenciam diretamente a precisão do torque aplicado. Em termos metodológicos, destacam-se a ausência de um plano formal de calibração e a não realização de testes periódicos com torquímetro, falhas que afetam o controle sistemático da qualidade.

No eixo de materiais, observa-se que a rigidez ou flexibilidade excessiva dos componentes, assim como variações dimensionais nas roscas de tampas e garrafas, exigem ajustes finos e aumentam a variabilidade do torque. Por fim, a falta de amostragem estatística por lote compromete a rastreabilidade e o controle da qualidade do processo de torqueamento.

Essa análise evidencia a necessidade de integração entre capacitação técnica, manutenção preventiva e controle estatístico para garantir a consistência do torque aplicado, assegurando a qualidade do fechamento e a integridade do produto.

## 5.2.10 Variação Pressão de Ar

Figura 21 - Diagrama de Ishikawa para Variação de Pressão de Ar



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A análise de causa e efeito representada pelo diagrama de Ishikawa, Figura 22, evidencia os principais fatores que contribuem para a variação de pressão de ar no processo produtivo. No fator “Mão de Obra”, identificam-se práticas operacionais inadequadas, como abertura e fechamento de válvulas sem padronização e falhas na comunicação de quedas de pressão percebidas durante a operação, o que compromete a resposta corretiva imediata.

No eixo “Máquina”, observam-se causas como compressores subdimensionados ou com manutenção deficiente e a presença de filtros ou reguladores de pressão entupidos, que impactam negativamente a estabilidade da rede pneumática. Quanto ao “Método”, a ausência de rotina para teste de vazamentos e a ativação de pontos de consumo de ar sem critérios técnicos — especialmente no comissionamento de novos equipamentos — são fatores críticos que agravam a variabilidade da pressão.

Em “Materiais”, o uso de mangueiras e conexões de baixa qualidade contribui para perdas e falhas no sistema. Já na categoria “Medição”, destaca-se a ausência

de instrumentos de controle, como manômetros em pontos críticos, e a inexistência de registros históricos de pressão em correlação com a produção e os horários de operação, limitando a rastreabilidade e a capacidade de análise preditiva.

O diagnóstico evidencia a necessidade de ações integradas de padronização operacional, manutenção preventiva e implantação de sistemas de monitoramento contínuo para garantir a estabilidade da pressão de ar, assegurando o desempenho eficiente e a confiabilidade dos processos industriais.

### **5.3 Elaboração de plano 5W2H com Base as Causas Raízes**

Com base na análise estruturada das dez principais não conformidades identificadas no processo produtivo, aplicou-se a metodologia do Diagrama de Pareto com o objetivo de identificar as causas raiz mais recorrentes e com maior impacto sobre os desvios de qualidade. Fundamentado no princípio de que 80% dos efeitos advêm de 20% das causas, o Pareto permite uma priorização racional e eficaz das ações corretivas.

Os dados coletados foram organizados segundo as categorias clássicas do Diagrama de Ishikawa — Mão de Obra, Máquina, Método, Materiais, Medição e Meio Ambiente —, facilitando a quantificação da frequência relativa das causas. A análise revelou que as falhas relacionadas ao Método foram as mais representativas, correspondendo a 26,7% das ocorrências. Este resultado evidencia deficiências na padronização de processos, como a ausência de Procedimentos Operacionais Padrão (POPs), inexistência de checklists e práticas inadequadas de manutenção preventiva.

Na sequência, destacaram-se as falhas de Mão de Obra (23,3%), refletindo a carência de treinamento técnico específico, a execução de ajustes sem conferência e a prevalência de práticas baseadas em hábitos não padronizados. As causas relacionadas à Medição (16,7%) também apresentaram forte impacto, demonstrando a ausência de controle estatístico, falta de registros formais e calibração deficiente de parâmetros críticos.

As categorias Máquina e Materiais representaram, respectivamente, 16,7% e 15% das causas levantadas. Tais resultados apontam para falhas técnicas, como sensores inadequados, desgaste de componentes e variações dimensionais nos insumos utilizados. Por fim, o Meio Ambiente apareceu em 10% das ocorrências, evidenciando que fatores externos como umidade, temperatura e condições estruturais também impactam negativamente o desempenho do sistema produtivo.

Essa priorização, baseada em evidências, direcionou a formulação do plano de ação 5W2H, conforme figura 23, concentrando esforços nas categorias mais críticas. As iniciativas definidas visam à padronização dos procedimentos operacionais, capacitação contínua da equipe, implantação de sistemas eficazes de medição e controle, além da melhoria da confiabilidade dos equipamentos. A abordagem integrada entre Diagrama de Ishikawa e Pareto se mostrou essencial para a tomada de decisão estratégica e a alocação eficiente dos recursos, promovendo a melhoria contínua do processo produtivo.



Figura 22 - Plano 5W2H para as causas raízes.

| What (O que será feito?)   | Why (Por que será feito?)   | Where (Onde?)                    | When (Quando?)       | Who (Por quem?)              | How (Como?)  | How Much (Quanto?)                    |
|--|---|----------------------------------|----------------------|------------------------------|--|---------------------------------------|
| Revisar e padronizar os Procedimentos Operacionais Padrão (POPs)         | Eliminar falhas por ausência de padrão operacional (categoria MÉTODO)     | Linha de envase e tampagem       | 2 meses após início  | Engenharia de Processos      | Criação de POPs enxutos, visuais e por SKU                         | R\$ 0 (uso de equipe interna)         |
| Implementar checklists de setup e ajustes                                | Garantir conformidade e repetibilidade no processo (MÉTODO / MÃO DE OBRA) | Postos de setup e operação       | 2 meses após início  | Supervisão da Produção       | Checklists digitais vinculados à troca de turno e troca de produto | R\$ 500 (impressão e tablets)         |
| Capacitar operadores em setup, ajustes e inspeções                       | Reduzir falhas humanas por falta de preparo técnico (MÃO DE OBRA)         | Equipe de operação da envase     | Treinamentos mensais | RH + Coordenação de Produção | Treinamentos internos com foco em SMED, inspeção visual e POP      | R\$ 1.500/ano                         |
| Criar rotina de verificação por amostragem estatística                   | Melhorar o controle e rastreabilidade dos parâmetros críticos (MEDIÇÃO)   | Controle de Qualidade / Produção | 3 meses após início  | Qualidade + Operações        | Definição de frequência e planos de amostragem por falha           | R\$ 0 (inserção no sistema existente) |
| Estabelecer critérios e periodicidade de calibração de sensores e torque | Eliminar desvios não identificados por falhas de medição (MEDIÇÃO)        | Componentes críticos da linha    | 3 meses após início  | Manutenção + Qualidade       | Plano anual de calibração com registros e certificados             | R\$ 1.200/ano                         |

Fonte: Autoria Própria, 2025.

## 6.CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo avaliar o comportamento das falhas operacionais nos processos de envase e tampagem de uma cervejaria, utilizando uma base de dados simulada e aplicando a Metodologia MASP como eixo estruturante da investigação. A partir do tratamento estatístico dos dados, associado ao uso de ferramentas da qualidade como, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, histogramas, gráficos de tendência e 5W2H, foi possível identificar padrões críticos, priorizar causas raízes e propor ações efetivas de melhoria.

Os resultados demonstraram que a operação apresenta um comportamento instável ao longo dos meses, com variações significativas na frequência total de falhas. As análises revelaram ainda que poucas falhas respondem pela maior parte dos impactos financeiros e dos tempos de parada, confirmando o comportamento clássico preconizado pelo princípio de Pareto. Entre essas falhas, destacam-se desgaste do bico de envase, desalinhamento da tampa, falhas no alimentador de tampas e variações na pressão de ar, todas fortemente associadas à categoria Máquina, tanto em termos de custo quanto de indisponibilidade operacional.

A análise de custos reforçou que o processo opera sob elevado nível de perdas econômicas, com valores mensais superiores a R\$ 25 mil — concentrados, sobretudo, em falhas de natureza mecânica. Já a avaliação dos tempos de parada revelou que a linha permanece sistematicamente exposta a níveis críticos de indisponibilidade, ultrapassando 40 horas de parada em alguns meses. Esses achados sugerem a existência de falhas crônicas e estruturais, decorrentes de lacunas em manutenção preventiva, padronização operacional e controle de variáveis críticas, corroborando interpretações teóricas de autores como Montgomery, Shingo e Campos.

As diferenças observadas entre os turnos A, B e C reforçam a influência de fatores humanos e organizacionais na estabilidade do processo. Tal variabilidade evidencia a necessidade de maior padronização de procedimentos, capacitação contínua e alinhamento entre as equipes, aspectos amplamente reconhecidos na literatura de qualidade como fundamentais para a melhoria do desempenho operacional.

Com base nesse diagnóstico, o MASP se mostrou uma ferramenta essencial para estruturar a investigação e orientar a construção do plano de ação. O uso integrado do Diagrama de Pareto e do Diagrama de Ishikawa possibilitou a identificação objetiva das causas raízes, enquanto o 5W2H traduziu essas informações em ações concretas, específicas e viáveis para mitigação dos problemas. Assim, o estudo demonstra que a aplicação sistemática do MASP — mesmo em um cenário simulado — é capaz de gerar análises profundas e fundamentar intervenções com elevado potencial de impacto no contexto industrial cervejeiro.

Os resultados obtidos reforçam que a metodologia é capaz de promover maior confiabilidade, redução de variabilidade e ganhos significativos de eficiência operacional, consolidando seu papel como ferramenta estratégica para a melhoria contínua. Nos capítulos seguintes, são apresentados o referencial teórico, a metodologia de pesquisa adotada, as análises realizadas e os resultados obtidos, incluindo o plano de ação proposto e suas implicações práticas.

## **LIMITAÇÕES E DIFICULDADES ENCONTRADAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

Apesar dos resultados consistentes obtidos com a aplicação do MASP, o estudo enfrentou limitações típicas de análises operacionais. A principal refere-se à qualidade e padronização dos dados, uma vez que, em cenários reais, registros de falhas tendem a apresentar lacunas ou inconsistências quanto ao tipo de falha, causa percebida e tempo de parada. Como destaca Campos (1999), “dados mal coletados conduzem a análises incorretas e, por consequência, a soluções ineficazes”, reforçando a necessidade de sistemas de registro bem estruturados e de capacitação contínua dos operadores. Além disso, a própria dinâmica industrial pode gerar resistência à adoção de novos procedimentos, POPs e rotinas de preenchimento, o que impactaria a coleta e a implementação de melhorias.

Outra limitação refere-se à delimitação do escopo. O estudo concentrou-se nas etapas de envase e tampagem, embora processos anteriores — como fermentação, filtração ou carbonatação — possam influenciar o desempenho final da linha. Essa escolha metodológica, embora pertinente ao objetivo do trabalho, reduz a abrangência das conclusões para todo o processo cervejeiro e evidencia a necessidade de estudos futuros que contemplem uma visão mais ampla da cadeia produtiva.

## REFERÊNCIAS

- BAMFORTH, Charles W. Beer: **Tap into the Art and Science of Brewing**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2017.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da Qualidade Total no Estilo japonês**. 8. ed. Belo Horizonte: INDG, 1999.
- CERVBRASIL – Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Relatório Anual da Indústria Cervejeira**. Brasília, 2023.
- DEMING, W. Edwards. **Out of the Crisis**. Cambridge: MIT Press, 1986.
- GARVIN, David A. Managing Quality: **The Strategic and Competitive Edge**. New York: Free Press, 1992.
- HARRINGTON, H. James. **Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness**. New York: McGraw-Hill, 1991.
- ISHIKAWA, Kaoru. **Introduction to Quality Control**. Tokyo: 3A Corporation, 1985.
- JURAN, Joseph. M. Juran's Quality **Handbook**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1998.
- MOBLEY, Keith. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 2. ed. Houston: Elsevier, 2002.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.
- OHNO, Taiichi. O Sistema Toyota de Produção: **Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- SHINGO, Shigeo. **A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint**. Portland: Productivity Press, 1986.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- WERKEMA, Cristina. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte: Falconi, 2020.
- WIREMAN, Terry. **Developing Performance Indicators for Managing Maintenance**. New York: Industrial Press, 2005.