



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA QUÍMICA**

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA ELABORAÇÃO DE UM  
PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA UMA MICROCERVEJARIA NO  
PARANÁ**

**BRENDA SANTANA DE ALMEIDA**

Foz do Iguaçu  
2023

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA ELABORAÇÃO DE UM PLANO  
DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA UMA MICROCERVEJARIA NO PARANÁ**

**BRENDA SANTANA DE ALMEIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador(a): Andréia Cristina Furtado  
Co-orientador(a): Renata Braga Soares

Foz do Iguaçu  
2023

BRENDA SANTANA DE ALMEIDA

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA UMA MICROCERVEJARIA NO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

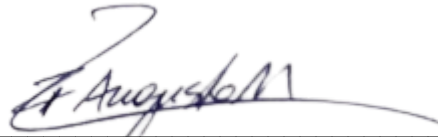
**BANCA EXAMINADORA**



Orientadora: Profa. Dra. Andréia Cristina Furtado  
UNILA



Coorientadora: Profa. Dra. Renata Braga Soares  
UNILA



Me. Ícaro Augusto Maccari Zelioli



Eng. Guilherme Francisco Silvestre

Foz do Iguaçu, 05 de outubro de 2023.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar minha mãe, Judite, meus avós Jaime e Elizia e meu irmão João por sempre estarem presentes e por fazerem tudo por mim.

Aos meus tios e tias maternos, por sempre serem divertidos e acolhedores.

A professora Renata, ao Ícaro e ao Guilherme que desempenham papel fundamental para a finalização desse trabalho eu agradeço principalmente pela paciência, sei que não fui muito constantes e agradeço por não desistirem de mim. Um agradecimento especial também a professora Andréia, que aceitou ser minha coordenadora nesses últimos meses.

Tive muitos professores incríveis durante a graduação e sou muito grata a todos, mas deixo um abraço especial para os professores que estiveram comigo durante os projetos de extensão que participei. Professoras Carol, Liliane, Marciana e Grazielle e Professor Ricardo, obrigada por me permitirem fazer parte de algo tão especial.

A Manu e Fran, valeu pelo estágio, eu amei cada segundo.

Obrigada Perry e Lep, meus gatinhos fofos.

Aos meus queridos “paçocas” obrigada pela segurança de ter sempre alguém com que eu pudesse contar e desculpa se em algum momento os negligenciei, amo vocês.

Agradeço os amigos que conheci na UNILA, em especial Stephanie, Jeziel, Mateus, Giovanna, Otávio, Karen, Letícia, Chaves, Lucas, Vini e Or (mesmo que nossa história não tenha começado na UNILA) e tantos outros que em algum momento resolveram uma lista de exercício, fizeram algum trabalho, ou até mesmo falaram mau de alguém junto comigo, esses vínculos são essenciais para passar pela graduação de forma mais leve.

Para minhas web amigas, Gisele, Camila e Manu obrigada pelos momentos de descontração, pelas conversas, pelas fofocas, vocês são incríveis.

Pra galera do discord “ihi” que, principalmente durante a pandemia, me proporcionaram momentos de descontração, vocês são uns queridos.

Agradeço também a todos aqueles que não conheço, mas que lutam e lutaram contra a privatização do conhecimento, como Alexandra Elbakyan (nem sei o que faria sem o Sci-Hub durante a graduação), Aaron swartz, e tantos outros que participam do movimento *open access*. Muito obrigada.

Por fim agradeço a UNILA, pelas oportunidades que me deu, por como moldou meus ideais e pelas pessoas que me permitiu conhecer.

## RESUMO

Este estudo concentra-se na aplicação de ferramentas de qualidade para desenvolver um plano de manutenção preventiva personalizado para uma microcervejaria situada no estado do Paraná. Inicialmente, foi realizado um mapeamento das etapas produtivas da microcervejaria. Para identificar possíveis modos de falha em cada uma dessas etapas, uma análise FMEA foi conduzida. Essa análise foi enriquecida com as avaliações de um cervejeiro que atribuiu notas de gravidade, ocorrência e detecção a cada modo de falha, auxiliando na priorização das áreas críticas para manutenção. A pesquisa foi expandida por meio de um questionário enviado a 66 microcervejarias no Paraná, permitindo a identificação de tendências e necessidades gerais de manutenção no setor cervejeiro da região. Os resultados indicaram que as áreas de mostura, CIP, clarificação, resfriamento e aeração apresentavam maior demanda de manutenção, conforme evidenciado pelo diagrama de Pareto. A seguir, foram selecionados os modos de falha nessas fases do processo e foi realizada uma análise de Ishikawa, utilizando o método dos "5 Porquês", com foco específico no processo da cervejaria visitada. Essa análise revelou pontos críticos de manutenção preventiva, como termostatos, pHmetros, válvulas, trocadores de calor, vedações e bombas centrífugas. Finalmente, um plano de manutenção preventiva foi elaborado, estabelecendo a periodicidade das atividades de manutenção para componentes e equipamentos dentro da microcervejaria. Este estudo demonstra a aplicação eficaz de ferramentas de qualidade na otimização da manutenção preventiva em microcervejarias do Paraná a fim de minimizar tempos de inatividade não planejados e preservar a qualidade do produto final.

**Palavras chave:** manutenção preventiva; microcervejaria; ferramentas de qualidade; plano de manutenção.

## RESUMEN

Este estudio se enfoca en la aplicación de herramientas de calidad para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo personalizado para una microcervecería ubicada en el estado de Paraná. Inicialmente, se llevó a cabo un mapeo de las etapas productivas de la microcervecería. Para identificar posibles modos de falla en cada una de estas etapas, se realizó un análisis FMEA. Este análisis se enriqueció con las evaluaciones de un cervecero que asignó calificaciones de gravedad, ocurrencia y detección a cada modo de falla, lo que ayudó en la priorización de las áreas críticas para el mantenimiento. La investigación se amplió a través de un cuestionario enviado a 66 microcervecerías en Paraná, lo que permitió identificar tendencias y necesidades generales de mantenimiento en el sector cervecero de la región. Los resultados indicaron que las áreas de maceración, CIP, clarificación, enfriamiento y aireación tenían una mayor demanda de mantenimiento, como se evidenció en el diagrama de Pareto. A continuación, se seleccionaron los modos de falla en estas fases del proceso y se realizó un análisis de Ishikawa, utilizando el método de los "5 Porqués", con un enfoque específico en el proceso de la cervecería visitada. Este análisis reveló puntos críticos para el mantenimiento preventivo, como termostatos, medidores de pH, válvulas, intercambiadores de calor, sellos y bombas centrífugas. Finalmente, se elaboró un plan de mantenimiento preventivo que establece la periodicidad de las actividades de mantenimiento para los componentes y equipos dentro de la microcervecería. Este estudio demuestra la aplicación efectiva de herramientas de calidad en la optimización del mantenimiento preventivo en las microcervecerías de Paraná con el fin de minimizar los tiempos de inactividad no planificados y preservar la calidad del producto final.

**Palabras clave:** mantenimiento preventivo; microcervecería; herramientas de calidad; plan de mantenimiento.

## ABSTRACT

This study focuses on the application of quality tools to develop a customized preventive maintenance plan for a microbrewery located in the state of Paraná. Initially, a mapping of the production stages of the microbrewery was carried out. To identify potential failure modes in each of these stages, an FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) was conducted. This analysis was enriched with assessments from a brewer who assigned severity, occurrence, and detection ratings to each failure mode, aiding in the prioritization of critical maintenance areas. The research was expanded through a questionnaire sent to 66 microbreweries in Paraná, allowing for the identification of trends and general maintenance needs in the regional brewing sector. The results indicated that the areas of mashing, CIP (Clean-in-Place), clarification, cooling, and aeration had a higher demand for maintenance, as evidenced by the Pareto diagram. Next, failure modes in these process phases were selected, and an Ishikawa analysis, using the "5 Whys" method, was performed with a specific focus on the visited brewery's process. This analysis revealed critical points for preventive maintenance, such as thermostats, pH meters, valves, heat exchangers, seals, and centrifugal pumps. Finally, a preventive maintenance plan was developed, establishing the periodicity of maintenance activities for components and equipment within the microbrewery. This study demonstrates the effective application of quality tools in optimizing preventive maintenance in microbreweries in Paraná, aiming to minimize unplanned downtime and preserve the quality of the final product.

**Keywords:** preventive maintenance; microbrewery; quality tools; maintenance plan.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Total de estabelecimentos registrados .....	17
<b>Figura 2</b> - Desenho esquemático do diagrama de Ishikawa.....	26
<b>Figura 3</b> - Processo de produção da microcervejaria .....	28
<b>Figura 4</b> - Cozinha Cervejeira Tribloco.....	29
<b>Figura 5</b> - Porcentagem de cervejarias respondentes que possuem plano de manutenção.....	35
<b>Figura 6</b> - Consequência considerada mais prejudiciais.....	36
<b>Figura 7</b> - Etapa do processo ou componente chave que mais apresentaram necessidade de manutenção .....	36
<b>Figura 8</b> - Tipo de manutenção mais utilizada pelas cervejarias.....	37
<b>Figura 9</b> - Diagrama de Pareto.....	38
<b>Figura 10</b> - Ishikawa para a extração de taninos .....	41
<b>Figura 11</b> - Ishikawa para a ativação enzimática incompleta.....	43
<b>Figura 12</b> - Diagrama de Ishikawa para conversão incompleta do amido.....	44
<b>Figura 13</b> - Diagrama de Ishikawa para temperatura abaixo do desejado.....	46
<b>Figura 14</b> - Diagrama de Ishikawa para turbidez no produto.....	47
<b>Figura 15</b> - Diagrama de Ishikawa para o resfriamento lento.....	49
<b>Figura 16</b> - Diagrama de Ishikawa para contaminação microbiológica.....	51
<b>Figura 17</b> - Diagrama de Ishikawa para oxigenação excessiva.....	52
<b>Figura 18</b> - Diagrama de Ishikawa para ineficiência na remoção de resíduos.....	53
<b>Figura 19</b> - Diagrama de Ishikawa para Remanescentes de soda cáustica após o enxágue.....	59



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Diretrizes para a classificação do índice de gravidade.....	32
<b>Quadro 2</b> - Diretrizes para a classificação do índice de ocorrência.....	32
<b>Quadro 3</b> - Diretrizes para a classificação do índice de detecção.....	33
<b>Quadro 4</b> - Escala de variação da classificação de risco.....	33
<b>Quadro 5</b> - Grau de importância de planos de manutenção preventiva .....	35
<b>Quadro 6</b> - Modos de falha selecionados. ....	39
<b>Quadro 7</b> - 5 Porquês para a extração de taninos em excesso.....	41
<b>Quadro 8</b> - 5 Porquês para ativação enzimática incompleta.....	42
<b>Quadro 9</b> - 5 porquês para conversão incompleta do amido.....	44
<b>Quadro 10</b> - 5 porquês para temperatura abaixo do desejado.....	45
<b>Quadro 11</b> - 5 porquês para turbidez no produto .....	47
<b>Quadro 12</b> - 5 Porques para o resfriamento lento.....	49
<b>Quadro 13</b> - 5 porquês para contaminação microbiológica.....	50
<b>Quadro 14</b> - 5 porquês para a oxigenação excessiva.....	52
<b>Quadro 15</b> - 5 porquês para ineficiência na remoção de resíduos.....	53
<b>Quadro 16</b> - Modelo de plano de manutenção.....	56

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CIP	Clean In Place
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NBR	Norma Brasileira
NPR	Número/Nível de Prioridade de Risco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
3.1 CERVEJA.....	14
3.1.1 A cerveja.....	14
3.1.2 A cerveja no Brasil.....	16
3.1.3 Setor cervejeiro no Brasil.....	17
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO CERVEJEIRO.....	18
3.2.1 Pesagem e Moagem do Malte.....	18
3.2.2 Mostura.....	19
3.2.3 Clarificação.....	19
3.2.4 Fervura.....	20
3.2.5 Whirlpool.....	20
3.2.6 Resfriamento.....	20
3.2.7 Aeração.....	20
3.2.8 Fermentação.....	21
3.2.9 Maturação.....	21
3.2.10 Filtração.....	21
3.2.11 Pasteurização.....	22
3.2.12 Envase.....	22
3.3 MANUTENÇÃO.....	22
3.3.1 Manutenção corretiva.....	23
3.3.1.1 <i>Manutenção corretiva não planejada</i> .....	23
3.3.1.2 <i>Manutenção corretiva planejada</i> .....	23
3.3.2 Manutenção preventiva.....	23
3.3.3 Manutenção preditiva.....	24
3.4 QUALIDADE.....	24
3.4.1 FMEA.....	25
3.3.2 Os 5 porquês.....	25
3.3.3 Diagrama de Ishikawa.....	26
3.3.4 Diagrama de Pareto.....	27
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO ADOTADO PELA CERVEJARIA.....	27
5.2 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE.....	30
5.2.1 FMEA.....	30
5.2.1.1 <i>NPR</i> .....	31
5.2.2 Diagrama De Pareto.....	33

5.2.2.1 Levantamento de dados.....	34
5.2.3 Os 5 Porquês E Diagrama De Ishikawa.....	34
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>34</b>
6.1 DADOS OBTIDOS.....	35
6.2 ANÁLISE DO DIAGRAMA DE PARETO.....	37
6.3 APLICAÇÃO DO FMEA.....	38
6.3 DIAGRAMA DE ISHIKAWA E O MÉTODO DOS 5 PORQUÊS.....	40
6.3.1 Extração de taninos.....	40
6.3.2 Ativação enzimática incompleta.....	42
6.3.3 Conversão incompleta do amido.....	43
6.3.4 Temperatura abaixo do desejado.....	45
6.3.5 Turbidez no produto.....	46
6.3.6 Partículas sólidas enviadas para a fervura.....	48
6.3.7 Resfriamento lento.....	48
6.3.8 Resfriamento ineficiente.....	50
6.3.9 Contaminação microbiológica.....	50
6.3.10 Oxigenação excessiva.....	51
6.3.11 Ineficiência na remoção de resíduos.....	52
6.3.12 Remanescentes de soda cáustica após o enxágue.....	53
6.3.13 Diminuição da pressão da bomba.....	54
6.4 MODELO DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	55
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO ENVIADO PARA MICROCERVEJARIAS DO PARANÁ.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE B - TABULAÇÃO DAS RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE C - FMEA.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE D - DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em qualquer processo industrial existe sempre a busca em minimizar os impactos negativos à produção e otimizar os recursos disponíveis para se ter o melhor aproveitamento possível de matéria prima, mão de obra e maquinário. Aproveitar o tempo disponível para o desenvolvimento das atividades nas linhas de produção é essencial, visto que até mesmo pequenas interrupções podem gerar prejuízos para as empresas. Segundo Xenos (2014) a busca por eficiência na produção coloca a manutenção em evidência, pois essa seria indispensável à produção, aumentando a disponibilidade dos equipamentos e contribuindo para melhora na qualidade e produtividade, e por isso poderia ser considerada a base de toda atividade industrial.

Sabendo da importância da manutenção para a infraestrutura produtiva de empresas, faz-se necessário a elaboração de planos de manutenção visando proporcionar a disponibilidade dos processos e evitar possíveis falhas ou desgaste prematuro de equipamentos através da manutenção preventiva. Para o desenvolvimento de um plano de manutenção preventiva eficiente é interessante definir os modos de falha de cada etapa produtiva, bem como a gravidade e ocorrência dessas falhas visando estabelecer as prioridades na manutenção e assim definir os meios de manutenção e os intervalos das intervenções. Para tal objetivo, é possível fazer uso das ferramentas de qualidade.

Para Seleme e Stadler (2010) a importância das ferramentas de qualidade está em sua utilização no desenvolvimento das metodologias utilizadas para a identificação e eliminação das falhas de processo. Ferramentas como diagrama de Ishikawa e Pareto, e a Análise de Modo e Efeitos da Falha (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*) entre outras se mostram eficazes na identificação de falhas e análise de suas causas e efeitos, possibilitando definir um nível de priorização, necessário a elaboração de um plano de trabalho (BASSAN, 2018; BASSAN 2020).

Dentro de uma microcervejaria quando um equipamento quebra ou apresenta falhas o impacto pode ser grande, podendo gerar produtos fora dos padrões almejados, que poderão ser descartados ou precisar serem retrabalhados, o que afeta a produtividade da empresa. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo propor um plano de manutenção, por meio do uso de ferramentas de qualidade em uma microcervejaria localizada no estado do Paraná.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

O objetivo geral deste trabalho foi propor um plano de manutenção preventiva para uma microcervejaria no Paraná. E fazer isso utilizando ferramentas de qualidade para elencar as prioridades na manutenção

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar um mapeamento do processo produtivo da microcervejaria;
- Aplicar um questionário a diversas cervejarias do Paraná para um levantamento de dados sobre manutenção;
- Aplicar o FMEA para encontrar modos de falha;
- Aplicar o Diagrama de Pareto para selecionar as etapas com maiores necessidades de manutenção;
- Aplicar o Diagrama de Ishikawa juntamente com o métodos dos 5 porquês para aprofundar as causas potenciais
- Definir os itens passíveis de manutenção preventiva.
- Elaborar uma proposta de plano de manutenção.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 CERVEJA**

#### **3.1.1 A cerveja**

Cerveja é a bebida alcoólica fermentada resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em

que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro (Decreto nº 6.871/2009, art. 36, alterado pelo Decreto nº 9.902/19).

A cerveja é provavelmente a bebida alcoólica mais antiga do mundo, sua origem exata é um enigma, já que remonta de um tempo anterior aos humanos escreverem sobre suas experiências ou técnicas, mas as propostas mais aceitas são: que a bebida foi descoberta por acidente após vasos com grãos de cereais separados da planta viva serem encharcados pela chuva, brotarem, serem secos pelo sol, encharcados novamente e fermentarem, e o produto disso ser consumido por homens pré-históricos que buscaram reproduzir o resultado das ações naturais, ou que o processo de maltagem foi desenvolvido no início da agricultura com a intenção de tornar os grãos mais saborosos, nutritivos e mais fáceis de serem preservados para produzir pão ou mingau, mas se mostrou útil para a produção de bebidas também (NELSON, 2005; KUNZE, 2019).

Embora não se saiba sua origem exata sabe-se que a fabricação de cerveja é uma atividade humana desenvolvida desde o início da urbanização e civilização no período Neolítico, e certamente tanto os povos da Mesopotâmia, na região fértil entre os rios Tigre e Eufrates, e os povos do Egito já produziam vinho e cerveja por volta de 4000 a.C, porém, embora os primeiros registros históricos sejam provenientes do antigo oriente é provável que outros povos também tenham descoberto a fermentação de cereais silvestres de forma independente (MEUSSDOERFFER, 2009; NELSON, 2005).

Ao longo de sua história a cerveja já foi servida como alimento graças ao seu valor nutritivo foi até chamada de “pão líquido”, e devido ao seu efeito inebriante chegou a ser considerada sagrada em algumas culturas. Os sumérios (4000 a.C) tinham Nin-Harra, a deusa da cerveja, como uma de suas divindades e a bebida era usada como oferenda à deusa. Já os chineses (2000 a.C) ofereciam a bebida fermentada aos seus ancestrais (MORADO, 2017) (OLIVER, 2020).

Em 500 a.C. e no período subsequente, gregos e romanos deram preferência ao vinho, divina bebida entregue aos homens por Baco. A cerveja passou então a ser a bebida das classes menos favorecidas, muito apreciada em regiões sob domínio romano, principalmente pelos germanos e gauleses (COELHO-COSTA, 2015).

Nos dias atuais a cerveja não possui mais o *status* de sagrada, mas ainda possui destaque na sociedade, ela ocupa o posto de terceira bebida mais popular do mundo, atrás apenas da água e do chá, e entre as bebidas alcoólicas configura como a mais consumida (MORADO, 2017; OLIVER, 2020).

### 3.1.2 A cerveja no Brasil

No período colonial a cachaça era a bebida alcoólica mais popular do Brasil, mais acessível ao público geral que os licores e vinhos importados da França e Portugal, respectivamente, que as elites preferiam. A cerveja só chegou ao Brasil pela primeira vez no início do século XVII trazida pelos holandeses, porém, meio século depois os colonizadores holandeses foram expulsos do Brasil e com a expulsão deles a cerveja sumiu do país por aproximadamente 150 anos, durante esse período as cervejas que aportavam no Brasil eram provenientes de contrabando. A bebida viria reaparecer significativamente novamente na colônia apenas em 1808 com a vinda da família real (SANTOS 2004).

Com a chegada da família real diversos comerciantes estrangeiros instalaram-se no Brasil, grande parte deles eram ingleses e traziam da Europa, entre outros produtos, a cerveja. A forte influência comercial e cultural que a Inglaterra exercia sobre Portugal facilitava aos comerciantes ingleses dominassem o mercado nacional cervejeiro, esse domínio durou até 1870 sendo enfraquecido pelo surgimento de cervejarias nacionais que ofereciam um produto mais barato (MORADO, 2017).

A produção nacional de cerveja enfrentou muitos desafios, como por exemplo a dificuldade de importar lúpulo e cevada da Europa, o que obrigava o uso de outros cereais como arroz milho e trigo para produzir a bebida Outra grande dificuldade era a refrigeração, por ser um país tropical a temperatura era mais alta do que adequada para a fermentação, e máquinas a vapor para o resfriamento de bebidas eram caras demais, inacessíveis para a maioria dos cervejeiros (MORADO, 2017).

No começo do século XX a chegada de imigrantes europeus em peso ao Brasil, o início da industrialização e uma sociedade burguesa crescente tornaram o cenário cervejeiro atrativo e muitas microcervejarias surgiram. Porém, as duas grandes guerras causaram escassez de matéria prima, em especial o lúpulo, impactando a produção de cerveja e diminuindo assim sua produção. Na década de 1980, com a modernização de cervejarias brasileiras e uma valorização mundial da cultura cervejeira, esse mercado é novamente impulsionado e renova a cultura de bar brasileira. O setor cervejeiro se consolida de forma concreta em 1999 com a fusão das gigantes, a Companhia Cervejeira Brahma e a Companhia Antártica Paulista que faz surgir a AMBEV, pertencente ao grupo Anheuser-Busch InBev. É a maior fabricante de cervejas do mundo e controla 69% do mercado brasileiro de cerveja (MORADO, 2017; COELHO-COSTA, 2018).



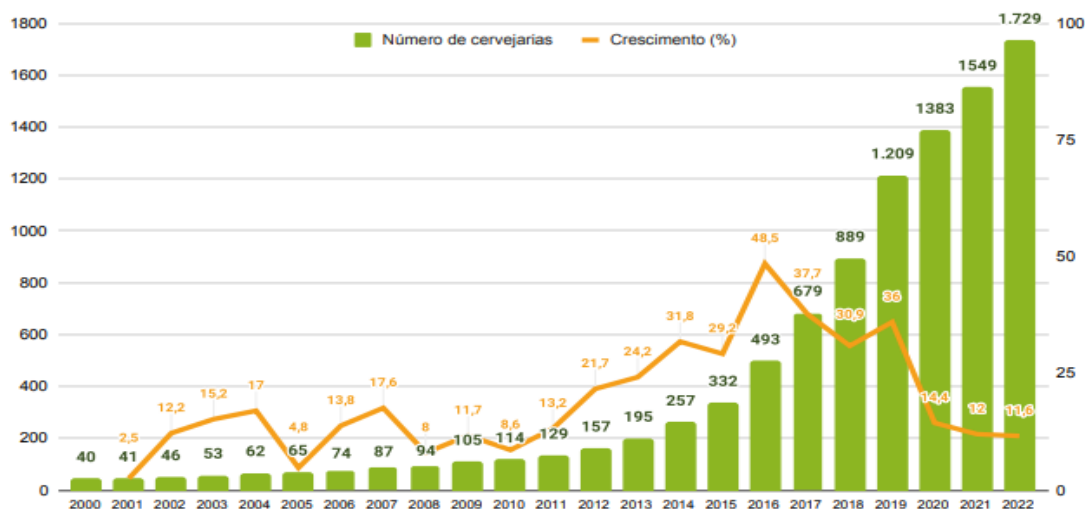
Atualmente, a cerveja é reconhecida como um dos elementos de destaque na economia e cultura brasileiras. A legislação brasileira, pelo decreto nº 6.871, de 2009 que dispõe sobre a padronização, classificação, o registro, a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de bebidas define a cerveja como “Uma bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro”.

### 3.1.3 Setor cervejeiro no Brasil

O Brasil configura como o 3º maior produtor de cerveja do mundo, com o mercado interno concentrado em poucas corporações, que juntas são responsáveis por mais de 90% de toda cerveja produzida. Porém, nos últimos anos vem crescendo o número de cervejarias registradas no país.

Segundo o anuário da cerveja de 2022, disponibilizado pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), no Brasil, em 2022, haviam 1729 cervejarias registradas, um aumento de 11,6% se comparado às 1549 cervejarias em funcionamento em 2021, mesmo em um cenário pandêmico. Na Figura 1 é possível observar o crescimento do setor cervejeiro nos últimos 22 anos, entre o ano 2000 e o ano 2022 ocorreu um crescimento de 4222,5 % no número de cervejarias.

**Figura 1** - Total de estabelecimentos registrados



Fonte: MAPA, 2023.

Apesar de ser um ambiente altamente competitivo e dominado por grandes empresas, nos últimos anos, as pequenas empresas surgiram como potenciais *players* no mercado, principalmente as chamadas cervejarias artesanais. Embora as cervejarias artesanais, algumas classificadas como microcervejarias, representem apenas cerca de 1% do volume total do setor cervejeiro no Brasil e cerca de 2,5% da receita de vendas no país, elas apresentaram crescimento superior a 91% entre 2018 e 2021. Essas cervejarias e microcervejarias vem mudando a cultura cervejeira local e sendo reconhecidas internacionalmente em diferentes concursos de cerveja (STOCKER, 2021).

### 3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO CERVEJEIRO

A produção de cerveja tem como seus principais ingredientes, o malte de cevada, a água, o lúpulo e o fermento. O processo produtivo cervejeiro consiste na extração e quebra (hidrólise) do amido presente nos grãos de malte em açúcares menores em sua maior parte fermentescíveis, para a produção de uma solução rica em açúcar e outros nutrientes essenciais para o crescimento da levedura, esta solução é chamada de mosto. Durante a fermentação os açúcares fermentescíveis do mosto são consumidos liberando energia, CO<sub>2</sub>, produzindo etanol e outros subprodutos metabólicos flavorizantes e aromatizantes (WILLAERT, 2007).

Os processos bioquímicos na produção de cerveja são catalisados naturalmente por enzimas presentes no malte e pelas enzimas produzidas pelas leveduras nas etapas de mosturação e fermentação respectivamente. Os demais processos da produção de cerveja envolvem troca de calor, separação e clarificação, pouco modificando a composição química do produto (WILLAERT, 2007).

As tecnologias e os processos envolvidos na fabricação de cerveja mudaram desde sua descoberta e a variedade de estilos e de sabores cresceu. Embora para cada sabor de cerveja haja uma receita e seu método de produção possa ser alterado, a maioria segue o mesmo padrão de produção apresentado nos tópicos 3.2.1 a 3.2.12.

#### 3.2.1 Pesagem e Moagem do Malte

A moagem dos grãos de malte tem como objetivo a redução do tamanho de partículas e controle de tamanho de partículas. A moagem promove a exposição do endosperma do amido favorecendo a atividade das enzimas do malte, melhorando a extração da etapa de mostura (HARRISON,2000). Usualmente são utilizados moinhos de rolos, pois estes

promovem uma moagem onde as cascas ficam mais intactas, que além de auxiliar no processo de clarificação do mosto, podem reduzir a extração de polifenóis e outros compostos indesejáveis presentes na casca do grão (LEWIS & YOUNG, 2012).

O tamanho de partículas a ser obtido após esta operação unitária depende das preferências do cervejeiro. Grãos de malte moídos em partículas pequenas promovem maior eficiência de extração de açúcares, porém prejudicam a clarificação e os processos de transferência de mosto. Partículas grandes de malte moído, promovem uma clarificação e transferência de mosto mais eficiente, porém a extração de açúcares é prejudicada (LEWIS & YOUNG, 2012).

### 3.2.2 Mostura

A etapa de mosturação é realizada ao se misturar o malte moído com água quente/morna para a formação do mosto cervejeiro. O objetivo nessa fase é solubilizar os compostos diretamente solúveis em água e com a atividade enzimática solubilizar compostos insolúveis, promovendo a hidrólise do amido a açúcares. Nesta etapa a temperatura e o pH controlam a hidrólise do amido, uma vez que diferentes enzimas presentes no malte como,  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase e Protease, tem faixas ótimas de pH e temperatura para sua ação (ABOUMRAD & BARCELLOS, 2015).

### 3.2.3 Clarificação

Nesta etapa ocorre a separação da parte líquida do mosto e os resíduos sólidos do processo de mostura (casca de malte e partículas de grãos insolúveis), a operação é realizada usualmente em um tanque termicamente isolado de fundo falso, com um sistema de recirculação e de alimentação de água cervejeira. A separação ocorre por forças gravitacionais, assim que o mosto é transferido da tina de mostura a parte sólida da mistura começa a se depositar no fundo da tina de clarificação e as cascas de malte formam uma “cama de malte”, que serve como material filtrante junto com o acionamento do sistema de recirculação (BLEIER et al., 2013).

### 3.2.4 Fervura

Após a clarificação, o mosto é transferido para tina de fervura. A fervura é um processo complexo e energeticamente intenso, onde variadas reações físicas, químicas e bioquímicas acontecem. Os objetivos da fervura são extração e isomerização dos  $\alpha$ -ácidos presentes nos lúpulos, coagulação das proteínas presentes no mosto, esterilização e inativação enzimática do mosto, remoção de compostos aromatizantes indesejados, acidificação do mosto e evaporação da água (WILLAERT, 2007).

### 3.2.5 Whirlpool

Seguido da fervura do mosto e adição de lúpulos, o processo denominado “whirlpool” ou “whirlpooling” consiste na formação de um redemoinho dentro da tina de fervura para aglomerar resíduos insolúveis de lúpulo, proteínas, polifenóis e outras substâncias que contribuem para uma turbidez indesejada no produto final (ABOUMRAD & BARCELLOS, 2015).

### 3.2.6 Resfriamento

Etapa muito importante e delicada da produção de cerveja, resfriar rapidamente o mosto após o whirlpool é necessário para que a levedura não seja estressada quando for adicionada ao mosto, uma vez que altas temperaturas podem até inviabilizar células de fermento. É desejado resfriar o mosto para uma temperatura o mais próximo possível da temperatura ótima da ação de leveduras (SCHEFFER, 2013). De acordo com Lewis e Young (1995), a temperatura a que o mosto é resfriado também pode influenciar significativamente o sabor e o aroma da cerveja final, pois diferentes estirpes de levedura têm diferentes temperaturas ideais de fermentação.

### 3.2.7 Aeração

Ocorre simultaneamente ao processo de resfriamento do mosto onde o oxigênio é adicionado ao mosto. A presença de oxigênio é necessária para que as células de leveduras se reproduzam e a fermentação seja conduzida de forma efetiva (SCHEFFER, 2013).

### 3.2.8 Fermentação

Após a aeração e resfriamento o mosto é transferido para um tanque de fermentação onde as leveduras são adicionadas, dando início a etapa de fermentação. Na etapa de fermentação as leveduras consomem os açúcares fermentescíveis para produzir etanol e CO<sub>2</sub> em uma reação exotérmica. Além da formação destes compostos principais, a fermentação ainda gera ésteres (acetato de etila, acetato de isoamila, acetato de n-propila), ácidos (acético, propiônico) e álcoois superiores (1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol) como produtos secundários que transmitem propriedades organolépticas para a cerveja. Desta forma o controle de temperatura e da densidade específica do mosto durante a fermentação deve ser cuidadoso para a obtenção de características de aroma, sabor e teor alcoólico desejadas (ARAÚJO et al., 2003).

### 3.2.9 Maturação

Após a fermentação, o tanque é resfriado para 0°C e se inicia o processo de maturação, nessa etapa a maior parte das leveduras inviáveis (incapazes de fermentar açúcares) é sedimentada na parte inferior do tanque (essas devem ser retiradas para evitar a autólise), o restante de leveduras viáveis consomem os açúcares residuais e metabolizam substâncias indesejáveis oriundas da fermentação (acetaldeído em ácido acético, dicetonas vicinais, como a 2,3-pentanodiona em 2,3-butanodiol, e compostos sulfurados como o sulfeto de dietila ((C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>S), em sulfatos inorgânicos e etanol. No final desta etapa a cerveja estará praticamente pronta, com aroma e sabor bem definidos (ROSA e AFONSO, 2015).

### 3.2.10 Filtração

O objetivo da etapa de filtração é a remoção de partículas em suspensão, principalmente leveduras, e substâncias de cor desagradável para a cerveja (como pectina e proteínas da resina dura do lúpulo). A filtração não altera a composição e o sabor da cerveja (ROSA e AFONSO, 2015).

### 3.2.11 Pasteurização

A etapa de pasteurização tem como objetivo esterilizar a cerveja, eliminando microorganismos prejudiciais à qualidade da cerveja, através de processos térmicos. Com a ausência destes microorganismos é possível que as cervejarias assegurem uma data de validade ao produto de seis meses a 1 ano após sua fabricação (ROSA & AFONSO, 2015).

### 3.2.12 Envase

Etapa onde a cerveja já pasteurizada é engarrafada para posterior rotulagem e comercialização.

## 3.3 MANUTENÇÃO

Todos os tipos de sistemas, instalações, equipamentos ou ferramentas, estão sujeitos à contínua degradação, em consequência do uso ou até por causas acidentais. Seja em qualquer uma das áreas, mecânica, elétrica, eletrônica, hidráulica ou pneumática, existe sempre presente algum tipo de deterioração que leva mais cedo ou mais tarde à necessidade de reparação ou substituição (OLIVEIRA, 2013).

Neste cenário, faz-se necessário que as atividades de manutenção se integrem ao processo produtivo de maneira eficiente, a ligação entre manutenção e produção influenciam diretamente na qualidade e produtividade, desempenhando um papel estratégico fundamental na melhoria dos resultados operacionais e financeiros dos negócios (XENOS, 2018)

Assim, considerando que a gestão da qualidade abrange toda infraestrutura organizacional, a manutenção tem adquirido mais espaço já que equipamentos e maquinários em perfeito estado de funcionamento, garantem continuidade e qualidade no processo produtivo e melhoram a eficiência da manutenção, evitando desperdício de investimentos e tempo morto (SOARES, 2020).

Para Kardec e Nascif (2009), o conceito moderno da manutenção pode ser definido como: “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado”. A NBR 5462 define manutenção como “a combinação de todas as ações técnicas destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual

possa desempenhar a função requerida”. A mesma NBR prevê essencialmente três tipos de manutenção: a corretiva, a preventiva e a preditiva.

### 3.3.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é aquela que tem como objetivo restaurar, corrigir ou recuperar o equipamento ou instalação que tenha parado de funcionar da forma que foi idealmente planejado. Nesse tipo de manutenção o atendimento é imediato, sendo indicada quando existem equipamentos de baixo índice crítico e que os custos de conserto seriam inferiores aos custos de uma manutenção preventiva (MONTEIRO, SOUZA, ROSSI, 2010). Podem ser separados essencialmente em dois tipos, a manutenção corretiva não planejada e a corretiva planejada.

#### 3.3.1.1 *Manutenção corretiva não planejada*

É a correção de falha de maneira inesperada, se caracteriza pelo fato da falha ou desempenho fora do esperado já terem ocorrido, esse tipo de manutenção acarreta em altos custos, pois as falhas e/ou quebras inesperadas podem gerar perdas na produção e afetar a qualidade do produto (KARDEC & NASCIF, 2009).

#### 3.3.1.2 *Manutenção corretiva planejada*

É a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, ou pela decisão dos responsáveis pelo setor de continuar a ação até ocorrer a falha, geralmente utilizada em etapas e equipamentos menos essenciais ao processo ou de fácil substituição (MORAES, 2016)

### 3.3.2 Manutenção preventiva

É a manutenção voltada para evitar que a falha ocorra, através de manutenções em intervalos de tempo pré-definidos. De acordo com a NBR 5462, a Manutenção Preventiva é executada em períodos preestabelecidos com o intuito de corrigir ou substituir algum item em degradação ou que apresenta probabilidade de falha em um equipamento.

Embora esse método de manutenção seja preferível, a manutenção corretiva nem sempre é viável, e para alguns pontos de falha não vale a pena realizar pausas programadas ou trocar de equipamento antes do fim de sua vida para a manutenção preventiva, além de que a imprevisibilidade de certas avarias vão exigir sempre uma complementaridade entre corretiva e preventiva (KARDEC & NASCIF, 2009).

Segundo Xenos (2018), a manutenção preventiva é parte essencial das atividades de manutenção, podendo colaborar com o aumento da vida e disponibilidade do equipamento, além de aumentar a segurança do processo, logo, sempre que possível é coerente aplicar essa forma de manutenção.

### 3.3.3 Manutenção preditiva

É a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo (OTANI & MACHADO, 2008).

A maior vantagem da manutenção preditiva é a capacidade de programar o reparo, o método diminui a ocorrência de falhas, assim, aumentando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo paradas inesperadas (XENOS, 2018; REIS, 2018).

## 3.4 QUALIDADE

A qualidade é uma característica fundamental dos produtos e processos em qualquer indústria de manufatura. Anteriormente a qualidade era entendida como controle da produção e a qualidade individual de bens e serviços, porém hoje a qualidade deixou de ser um aspecto do produto é responsabilidade apenas de departamentos específicos e passou a ser um compromisso de todas as áreas das organizações tornando-se um modelo de gerenciamento que busca a eficiência e a eficácia (CHIARINI, 2020).

Um bom gerenciamento consiste em saber localizar problemas e então conceber a melhor forma de resolvê-los. Os maiores benefícios da qualidade na manutenção, se concentram em aumento da produtividade e permanência do nível funcional dos equipamentos e maquinários. Nesse contexto, as ferramentas e metodologias da qualidade estão cada vez mais presentes nos processos de gestão da manutenção (SOARES, 2020).

Para ajudar a identificar os modos de falha em um processo e assim estabelecer as prioridades na manutenção, existem ferramentas e metodologias que podem ser adotadas,



facilitando assim a tomada de decisões. As ferramentas de qualidade auxiliam na identificação, definição, aferição, análise e resolução de problemas encontrados durante o processo que penalizam o desempenho de um sistema, equipamento ou componente (SOARES, 2020).

Algumas ferramentas de qualidade que podem ajudar na construção de um plano de manutenção são: Análise de Modo e Efeitos da Falha (FMEA), diagrama de Ishikawa e Pareto.

### 3.4.1 FMEA – Análise de Modo e Efeitos da Falha (*Failure Mode and Effect Analysis*)

O FMEA é um método amplamente utilizado e reconhecido na indústria para determinar preventivamente as condições de defeitos de componentes, peças ou bens de investimento maiores. O FMEA é frequentemente usado durante as fases de projeto e desenvolvimento de produtos e visa prevenir erros e falhas. Isso pode aumentar a confiabilidade de componentes individuais ou até mesmo de um sistema inteiro (MOHANTY, 2014)

Desenvolvida nos Estados Unidos, em meados do século XX, a metodologia FMEA permite a identificação de modos de falha que venham prejudicar o funcionamento normal de um produto, processo ou equipamento para então propor ações preventivas, ou até mesmo corretivas, visando a redução de ocorrência do modo de falha identificado anteriormente (RODRIGUES et al., 2010)

Primeiramente, é realizada uma análise estrutural do sistema para determinar o escopo do FMEA. Esses resultados contêm a estrutura sistema. Com base nisso, é realizada uma análise definindo vários modos de falha possíveis, e então para cada modo de falha o risco é quantificado avaliando a probabilidade de ocorrência (O), a probabilidade de detecção (D) e a gravidade (S) da sequência de falha em uma escala de 1 a 10. Um número de prioridade de risco (RPN) é calculado para cada modo de falha (FILZ, 2021).

$$\text{RPN} = \text{Ocorrência} \times \text{Gravidade} \times \text{Detecção} = O \times S \times D$$

Com o valor do RPN é possível então definir as prioridades na manutenção.

### 3.3.2 Os 5 porquês

A ferramenta de qualidade "5 Porquês" é uma metodologia amplamente utilizada na gestão da qualidade para análise de causa raiz. Originária do sistema de produção lean da

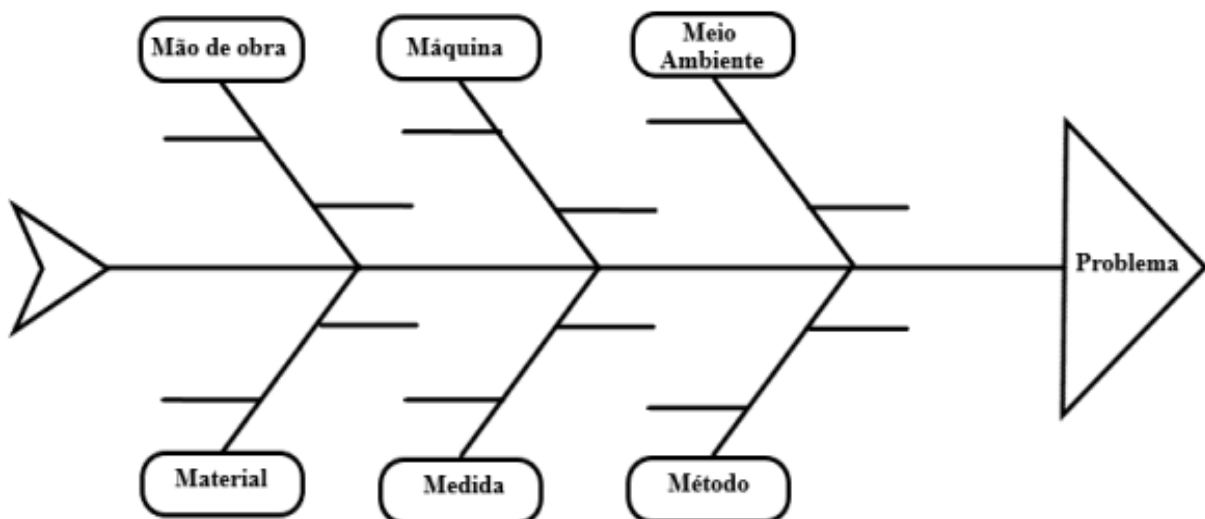
Toyota, conhecido como Toyota Production System (TPS), essa ferramenta é adotada em diversos setores e contextos (TOYOTA, 1992).

A abordagem dos "5 Porquês" consiste em realizar questionamentos sucessivos com o objetivo de identificar a causa raiz de um problema. A metodologia envolve questionar repetidamente "Por quê?" até encontrar a causa, não necessitando serem exatamente 5 os porquês, buscando compreender as relações de causa e efeito até que a verdadeira causa subjacente seja revelada (JEFFERY, 2004).

### 3.3.3 Diagrama de Ishikawa

Conhecido também como diagrama de causa e efeito ou diagrama espinha de peixe, o diagrama de Ishikawa é uma ferramenta usada para identificar possíveis causas de um problema, é bastante utilizada para identificar melhorias no processo. Essa ferramenta separa os possíveis problemas em 6 categorias de causa: o método, a matéria prima, a mão de obra, o maquinário, a medição e o meio ambiente. Assim vai se montando o esqueleto do peixe, enquanto busca-se causas secundárias em cada categoria que poderia gerar o efeito ou problema analisado, como mostrado na Figura 2 (COLETTI;BONDUELLE; IWAKIRI, 2010).

**Figura 2** - Desenho esquemático do diagrama de Ishikawa



Fonte: A autora, 2023.

### 3.3.4 Diagrama de Pareto

Vilfredo Pareto realizou uma pesquisa acerca da distribuição de renda em seu país. Através dessa pesquisa, ele observou que a riqueza não era distribuída de forma igualitária, mas sim de maneira oposta, onde 80% de toda a riqueza do país estava concentrada nas mãos de apenas 20% da população. Essa desigualdade na distribuição foi representada em um gráfico que recebeu o nome de Pareto, e posteriormente se tornou uma das ferramentas de qualidade mais conhecidas (FEIGENBAUM, 1994).

O diagrama de Pareto é representado na forma de um gráfico que representa de forma crescente em termos de importância, ou magnitude a frequência das ocorrências, relacionando-as com as causas de problemas. Ao proporcionar uma visualização gráfica das áreas com problemas mais significativos, o diagrama evita desperdício de tempo e recursos em situações menos críticas para a empresa. Assim, direciona de forma eficaz os esforços para resolver os problemas que têm um impacto maior na organização (GONZÁLEZ, 2017).

Ao resolver o primeiro problema, surge uma segunda questão que se torna mais crucial, permitindo que se concentrem esforços maiores na resolução dos desafios cada vez mais significativos. Isso possibilita que a organização utilize seus recursos de maneira adequada para melhorar a qualidade do processo e do produto.

## 5 METODOLOGIA

O estudo abrange abordagens qualitativas e quantitativas, inicialmente foi realizado um levantamento de dados em uma microcervejaria e depois foi feita uma pesquisa, via questionário, para comparar os resultados obtidos com a realidade de outras microcervejarias do estado do Paraná. Além disso, foram utilizadas ferramentas de qualidade para a priorização dos pontos a serem abordados no manual de manutenção preventiva.

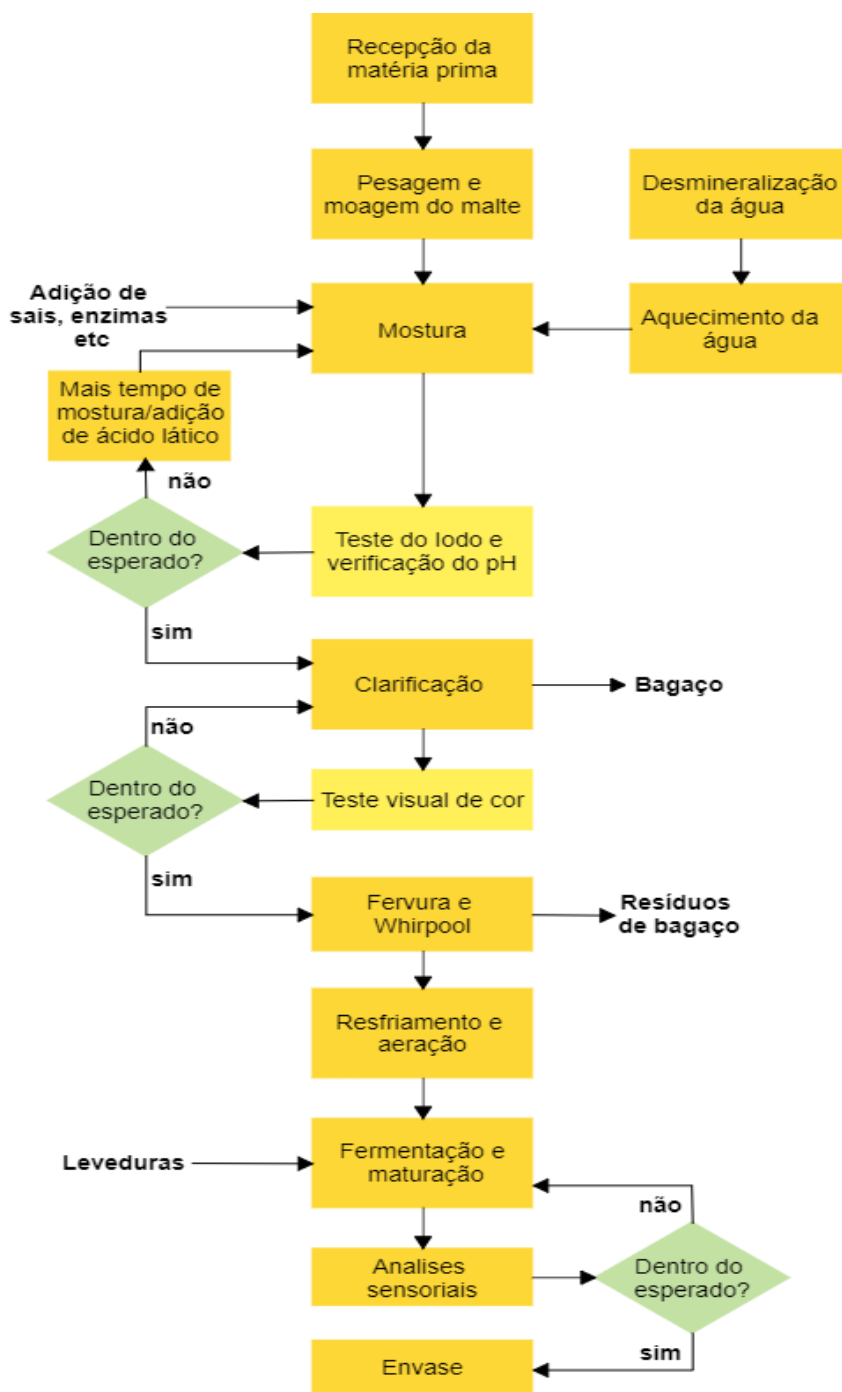
### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO ADOTADO PELA CERVEJARIA

O funcionamento da microcervejaria foi descrito e o fluxograma de produção foi apresentado de maneira esquemática a fim de definir as etapas de produção. Para entender o processo de produção do estabelecimento foram realizadas visitas guiadas pelo mestre cervejeiro e funcionários do local, onde foi possível acompanhar todo o processo de fabricação da cerveja artesanal.

A microcervejaria analisada está em operação no estado do Paraná, para respeitar a confidencialidade pedida pela empresa sua localização exata no estado não será dita, assim como detalhes a respeito da distribuição espacial dos equipamentos ou sobre a equipe, o que não compromete os objetivos deste trabalho.

O fluxograma de processo na Figura 3 a seguir esquematiza como é a produção na microcervejaria visitada.

**Figura 3** - Processo de produção da microcervejaria



Fonte: A autora, 2023.

O primeiro passo para a produção da cerveja artesanal é a desmineralização da água cervejeira. Toda a água utilizada no processo passa pelos filtros do desmineralizador de água para remover quaisquer vestígios de cloro ou outros elementos que possam descaracterizar o produto final. A água desmineralizada é aquecida e, em seguida, enviada ao tanque de mostura da cozinha cervejeira tribloco (semelhante a mostrada na figura 4) pertencente à microcervejaria. Enquanto a água necessária para a produção é enviada para o tanque de mostura, os maltes são pesados em balança industrial, e moídos na sala de moagem por um moedor de malte. Após a moagem, o malte é inserido no tanque de mostura, e, se necessário, sais e enzimas também são adicionados.

**Figura 4** - Cozinha Cervejeira Tribloco



Fonte: SERINOX.

O tempo de mostura depende do estilo de cerveja desejado e pode variar. Para determinar o término dessa etapa, é realizado o teste do iodo para verificar se o amido presente no malte foi totalmente convertido em maltose. Após a conclusão da mostura, o produto é transferido para o tanque de clarificação e filtragem, que também faz parte da cozinha cervejeira tribloco, onde o líquido circula e o bagaço do malte é retido no fundo. O mosto circula até que esteja adequadamente clarificado, o que é verificado visualmente através de uma escotilha acoplada ao tanque de clarificação.

O mosto clarificado passa para o último tanque da cozinha cervejeira tribloco, o tanque de fervura. Neste tanque os lúpulos são adicionados durante a fervura do mosto, e, após o fim da fervura, ocorre o whirlpool, um redemoinho produzido por um furo no fundo do tanque com o objetivo de agrupar qualquer tipo de resíduo de malte no centro do tanque, para que não seja transferido para os tanques de fermentação após o resfriamento.

O resfriamento ocorre com o auxílio de um trocador de placas paralelas. Imediatamente após ser resfriado, o mosto é aerado com oxigênio e enviado por meio de mangueiras atóxicas para um tanque de fermentação e maturação. Nele, são adicionado inicialmente leveduras, que proporcionarão a fermentação. Na maioria das vezes, a microcervejaria utiliza o mesmo tanque para a fermentação e a maturação da cerveja, apenas controlando a temperatura. Após o período de fermentação, o fermento é removido e a temperatura do tanque é reduzida. Dependendo do estilo de cerveja, pode-se adicionar frutas, especiarias ou outros ingredientes no tanque.

Após a conclusão da maturação, a cerveja está pronta para ser gaseificada e, em seguida, armazenada ou engarrafada para consumo. As cervejas artesanais da microcervejaria não passam pelo processo de pasteurização. Portanto, é necessário que a bebida seja sempre armazenada em local frio.

Vale ressaltar que na cervejaria existe uma caldeira que fornece vapor para a cozinha cervejeira tribloco, enquanto os demais equipamentos funcionam com energia elétrica e também que a limpeza é feita no local método CIP (*Clean in place*) utilizando uma bomba CIP.

Atualmente a manutenção na cervejaria ocorre majoritariamente de forma corretiva, ou seja, após a falha. Para problemas simples e baratos de serem resolvidos a empresa opta por ter peças sobressalentes que possam ser imediatamente trocadas pela própria equipe após falha. Outras manutenções a intervenção ocorre de acordo com as necessidades identificadas pelos funcionários de maneira visual ou por meio de monitoramento subjetivo, como a detecção de itens desgastados, folgas, ruídos nas máquinas e similares.

## 5.2 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE

### 5.2.1 FMEA

O FMEA foi montado após pesquisa, com o auxílio do cervejeiro, para identificar possíveis modos de falha. Para a aplicação dessa ferramenta de qualidade as seguintes etapas foram necessárias:

- Identificar o processo analisado;
- Identificar os modos de falha e quais são os seus efeitos no processo produtivo;
- Atribuir valores de 1 a 10 para os índices de de severidade, ocorrência e detecção de cada modo de falha (Quadros 1, 2 e 3)
- Calcular o NPR para cada módulo de falha;

- Após a determinação do NPR para cada modo de falha, os modos de falha são priorizados. Esta classificação permite que seja estabelecida uma hierarquia de necessidades de manutenção. Dada a natureza do NPR, que leva em consideração a severidade do modo de falha, a frequência de ocorrência e a eficácia do sistema de detecção de falhas, este número orientará a decisão sobre a necessidade de manutenção (em casos de severidade acima de 8 deve-se priorizar tal já que representa risco à segurança de colaboradores).

Após o levantamento dos modos de falha. Em colaboração com o cervejeiro, com base na sua experiência, conhecimento do processo produtivo e levando em consideração as quadros 1, 2 e 3 sobre as escalas dos parâmetros analisados, foram levadas em consideração e pontuadas a gravidade dos efeitos do modo de falha na produção da cerveja (severidade), a frequência com que o modo de falha pode ocorrer (ocorrência) e a capacidade de detecção do modo de falha pelos controles de qualidade da cervejaria (detecção). Tais avaliações definiram a criticidade dos modos de falha, permitindo assim desenvolver um plano de manutenção focado nos pontos mais críticos.

#### *5.2.1.1 NPR*

Cada modo de falha deve ser avaliado em termos de severidade do efeito, frequência de ocorrência e eficácia do sistema de detecção existente. Para cada um desses aspectos, uma pontuação deve ser atribuída utilizando uma escala previamente estabelecida. O produto dessas três pontuações resulta no NPR (PALADY, 2004).

Os quadros 1, 2 e 3, adaptados da obra de Palady (2004) mostram como devem ser os critérios para se definir o NPR.

**Quadro 1-** Diretrizes para a classificação do índice de gravidade.

<b>Escala de severidade</b>	<b>Grau</b>
Efeito não percebido pelo cervejeiro ou no produto final.	1
Efeito bastante insignificante, percebido, porém, não faz com que sejam necessárias intervenções.	2
Efeito insignificante, que incomoda mas não faz com que sejam necessárias intervenções na produção.	3
Efeito bastante insignificante, mas perturba o cervejeiro e faz com que haja intervenções na produção.	4
Efeito menor, é inconveniente, mas não faz com que haja intervenções na produção.	5
Efeito menor, é inconveniente e se faz necessário intervenções na produção.	6
Efeito moderado, que prejudica o produto ou etapa de produção levando a uma falha que pode impedir a continuação da produção.	7
Efeito significativo, que resulta em falha grave, entretanto não coloca a segurança de ninguém em risco e não provoca custo significativo	8
Efeito crítico, capaz de causar a insatisfação do cliente final, interrompe a produção, gera custos significativos e impõe leve risco à segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente).	9
Perigoso, ameaça a vida, pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo que coloca em risco a continuidade operacional da empresa.	10

Fonte: Adaptado de Palady, 2004.

**Quadro 2 -** Diretrizes para a classificação do índice de ocorrência

<b>Escala de Ocorrência</b>	<b>Percentual</b>	<b>Grau</b>
Extremamente remoto, altamente improvável	Menos de 0,01%	1
Remoto, improvável	0,011 - 0,20	2
Pequena chance de ocorrência	0,21 - 0,60	3
Pequeno número ocorrência	0,61 - 2,00	4
Espera-se um número ocasional de falhas	2,001 - 5,00	5
Ocorrência moderada	5,001 - 10,00	6
Ocorrência frequente	10,001 - 15,00	7
Ocorrência elevada	15,001 - 20,00	8
Ocorrência muito elevada	20,001 - 25,00	9
Ocorrência certa	Mais de 25%	10

Fonte: Adaptado de Palady, 2004.



**Quadro 3** - Diretrizes para a classificação do índice de detecção.

<b>Escala de detecção</b>	<b>Grau</b>
É certo que será detectado	1
Probabilidade muito alta de detecção	2
Alta probabilidade de detecção	3
Chance moderada de detecção	4
Chance média de detecção	5
Alguma probabilidade de detecção	6
Baixa probabilidade de detecção	7
Probabilidade muito baixa de detecção	8
Probabilidade remota de detecção	9
Detecção quase impossível	10

Fonte: Adaptado de Palady, 2004.

Após a classificação de cada índice para cada modo de falha foi calculado o NPR através da multiplicação dos índices.

$$RPN = \text{Ocorrência} \times \text{Gravidade} \times \text{Detecção} = O \times S \times D$$

Com o valor do RPN foi então possível classificar a prioridade de cada modo de falha e então escolher aqueles mais preocupantes para focar no plano de manutenção.

Quadro 4 -Escala de variação da classificação de risco.

<b>NPR</b>	<b>Classificação de risco</b>
0-8	Improvável
9-64	Baixo
65-216	Médio
217-512	Alto
512-1000	Muito Alto

Fonte: Dimitrakopoulos, 2022. Tradução livre.

### 5.2.2 Diagrama De Pareto

O diagrama de Pareto foi realizado para analisar quais são os modos de falha dentro de uma microcervejaria que mais causam paradas de produção, defeitos no produto, descarte do mesmo ou acidentes. Como a microcervejaria analisada não tinha registro de manutenção suficientes para a construção do Pareto, não foi possível colher tais informações com a mesma. Então, foi feita uma lista com mais de 50 microcervejarias do Paraná e enviados, via

e-mail, a esses estabelecimentos um questionário contendo perguntas sobre a cervejaria, sua estrutura, suas práticas e histórico de manutenção

#### *5.2.2.1 Levantamento de dados*

Nesta etapa realizou-se o levantamento e análise dos dados, referentes às microcervejarias que responderam o questionário. Os dados coletados foram:

- A existência ou não de um plano de manutenção na microcervejaria;
- O que o empreendimento reconhece como mais prejudicial;
- Qual relevância a empresa atribui a planos de manutenção;
- Seu principal tipo de manutenção;
- Se a cerveja passa pelo processo de pasteurização;
- Qual etapa da produção apresentou maior necessidade de manutenção até o momento;
- Se possui sistema a vapor;
- E se estariam dispostos a fornecerem informações adicionais.

O questionário completo enviado está disponível no Apêndice A

#### 5.2.3 Os 5 Porquês E Diagrama De Ishikawa

Após a determinação das prioridades pelo FMEA e pelo Pareto foram priorizados e escolhidos os modos de falha com possibilidade de manutenção preventiva para serem analisados. Para cada um desses modos de falha foi construído um diagrama de causa e efeito, o diagrama de Ishikawa. Para investigar causas em cada categoria do diagrama foi utilizado o método dos 5 porquês. Para o ramo “máquina” do Diagrama de Ishikawa, foi perguntado "por que?" repetidamente para explorar as causas potenciais, por vezes aprofundando as causas encontradas no FMEA.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

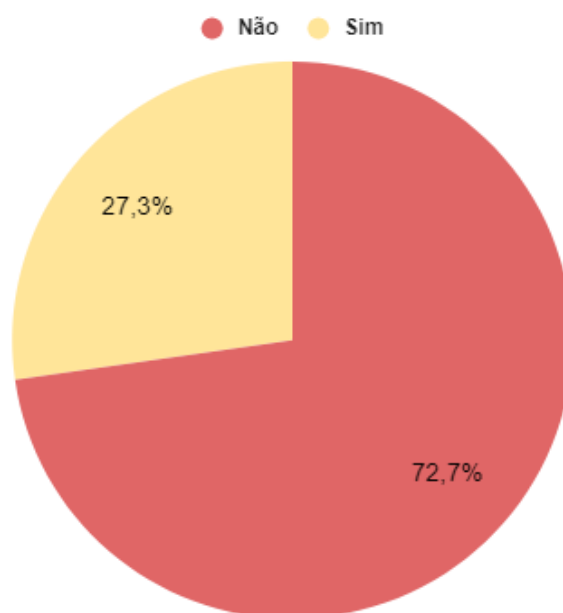
Os resultados alcançados resultam da análise dos dados fornecidos pela microcervejaria visitada bem como os dados coletados através do questionário, além da aplicação das ferramentas de qualidade.

## 6.1 DADOS OBTIDOS

Ao todo 66 microcervejarias receberam o questionário via e-mail, ou redes sociais. Destas apenas 12 responderam e uma das respostas precisou ser excluída pois o respondente respondeu apenas 3 perguntas, totalizando 11 respostas válidas para análise.

Considerando os dados do MAPA de que em 2022 haviam 161 cervejarias no Paraná, as 11 respostas obtidas representam 6,83% das cervejarias do estado. Destas 72,7% disseram não possuir um plano de manutenção preventiva, como pode ser visto na Figura 5.

**Figura 5** - Porcentagem de cervejarias respondentes que possuem plano de manutenção.



Fonte: A autora, 2023.

Perguntados também sobre a utilidade que veem em um plano de manutenção preventiva, a maioria, dez respondentes, consideram ter um plano de manutenção preventiva algo muito importante, e um respondente considerou importante, como mostra o Quadro 5.

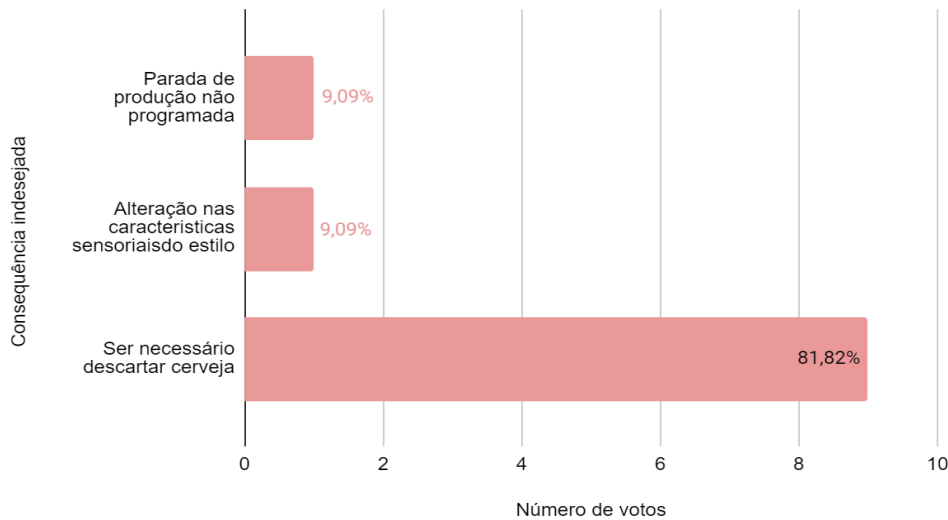
**Quadro 5** - Grau de importância de planos de manutenção preventiva.

PERGUNTA	RESPOSTAS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
De 1 a 5 um plano de manutenção preventivo é útil para uma microcervejaria? Considere (1) nada importante e (5) muito importante.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5

Fonte: A autora, 2023.

A Figura 6 mostra qual efeito negativo a cervejaria enxerga como mais prejudicial ao empreendimento, tendo como resposta majoritária a necessidade de descartar a cerveja.

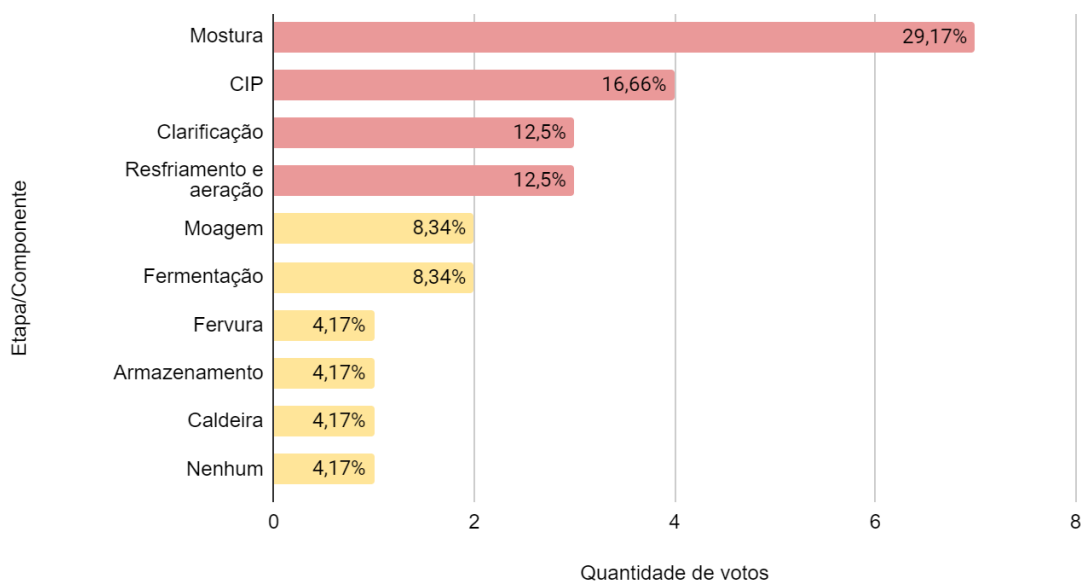
**Figura 6** - Consequências consideradas mais prejudiciais.



Fonte: A autora, 2023

Sobre as etapas do processo que apresentaram mais necessidade de manutenção para estes estabelecimentos, a que configurou a maioria dos votos foi a etapa de mostura, provavelmente pelo fino controle de temperatura necessária nessa etapa como pode-se observar na Figura 7.

**Figura 7** - Etapa do processo ou componente chave que mais apresentaram necessidade de manutenção.

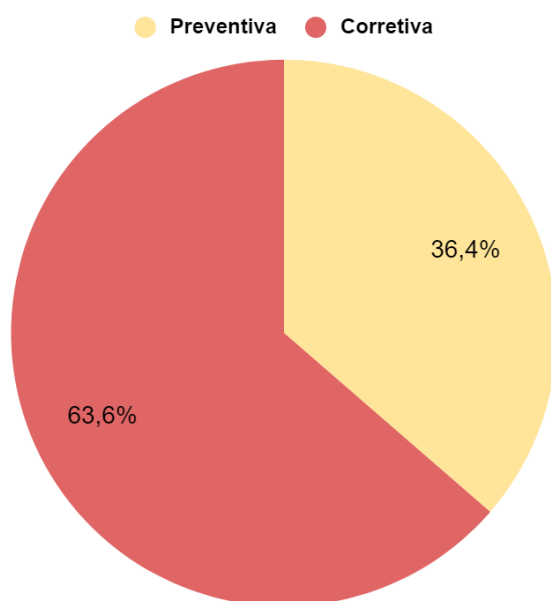


Fonte: A autora, 2023.

Na Figura 7 também nota-se que a mostura, o CIP, a clarificação e o resfriamento do mosto representam cerca de  $\frac{2}{3}$  (dois terços) das manutenções para as empresas contatadas.

Dos respondentes, 63,6% disseram que a maior parte das manutenções realizadas em seus empreendimentos são de caráter corretivo, ou seja, esperam o equipamento apresentar falha para então corrigir, o que pode resultar na parada de produção, ou dependendo da fase da produção, em mudanças sensoriais na cerveja ou descarte do produto, o que seria o pior cenário possível.

**Figura 8** - Tipo de manutenção mais utilizado pelas cervejarias.



Fonte: A autora, 2023.

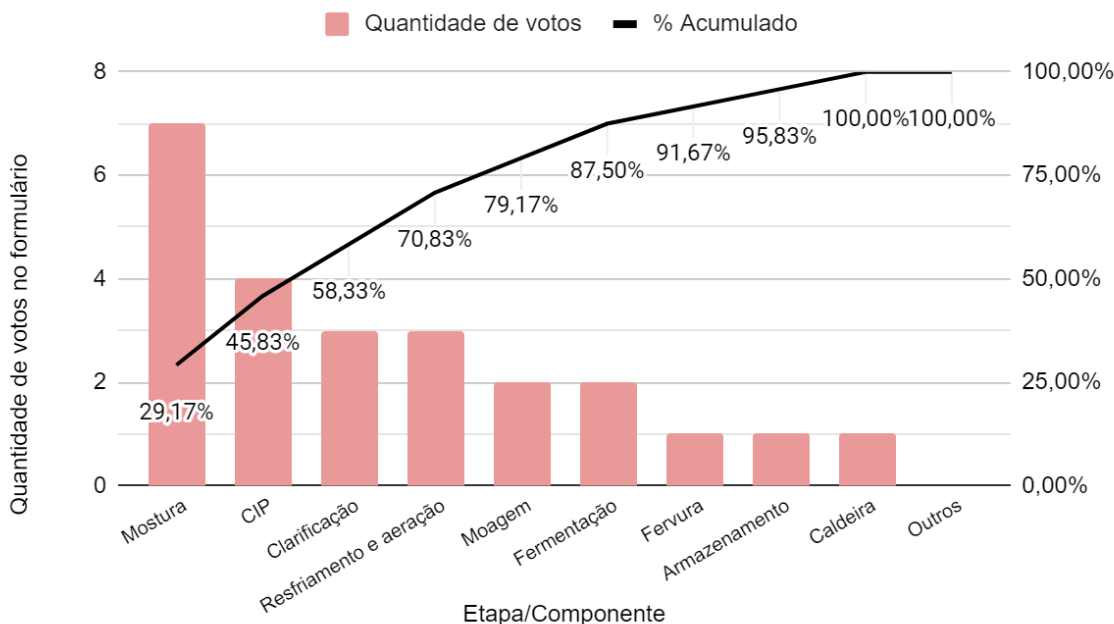
A pesquisa demonstrou que as microcervejarias do Paraná em sua maioria não possuem um plano de manutenção preventiva próprio e que geralmente utilizam a manutenção corretiva de forma mais frequente. Embora majoritariamente não tenham um plano de manutenção preventiva, as microcervejarias enxergam a utilidade dessa ferramenta.

## 6.2 ANÁLISE DO DIAGRAMA DE PARETO

A partir da pesquisa realizada com as microcervejarias foi possível montar o diagrama de Pareto com as etapas da produção que mais demonstram necessidade de manutenção nas cervejarias paranaenses. A Figura 9 mostra que é na etapa de mostura onde as microcervejarias concentram maiores esforços de manutenção, seguido pelo CIP.

Através do diagrama de Pareto, na Figura 9, observa-se que das 9 opções de etapas que foram votadas 4 delas concentram mais de 70% dos votos, e são nessas etapas que o atual trabalho irá focar.

**Figura 9** - Diagrama de Pareto.



Fonte: A autora, 2023

### 6.3 APLICAÇÃO DO FMEA

Durante o levantamento dos modos de falha, por meio de pesquisa e com base no conhecimento prático do cervejeiro, foram identificados 75 possíveis modos de falha com diferentes causas potenciais para a instalação estudada. Foram consideradas todas as etapas da produção, desde a moagem até o armazenamento. Porém priorizadas as que compreendiam as encontradas pelo Pareto, bem como os componentes-chave presentes em várias fases do processo produtivo.

Feito o levantamento, a lista foi enviada ao cervejeiro, para que ele pudesse pontuar a severidade, a ocorrência e a detecção de cada modo de falha de acordo com os critérios apresentados nos Quadros 1, 2 e 3. Com os critérios pontuados foi possível calcular o NPR. O quadro geral do FMEA está no Apêndice C.

Com o NPR foram detectados 1 modo de falha com a classificação de risco baixa, 68 com modos de médio risco e 6 de alto risco. Embora o maior valor obtido pelo FMEA ser na etapa de fermentação, isso não invalida o diagrama de Pareto na sessão 6.2, pois o FMEA foi pontuado por um único cervejeiro que se baseia em sua experiência profissional, e que não necessariamente será igual a de outros cervejeiros que responderam o questionário. Além

disso, principalmente no caso das etapas de mostura e CIP o FMEA apresenta valores altos de NPR em geral. O Quadro 6 mostra os modos de falha encontrados pelo FMEA associados as etapas do processo mais votadas apresentadas pelo Diagrama de Pareto.

**Quadro 6** - Modos de falha selecionados.

n°	Etapa	Modo de falha	Causa potencial	NPR
1	Mostura	Extração de taninos	Temperaturas acima do desejado	210
2	Mostura	Ativação enzimática incompleta	temperatura/pH fora do ideal	210
3	Mostura	Conversão não completa do amido	Tempo insuficiente de mostura	128
4	Mostura	Temperatura abaixo do desejado	Produção de vapor insuficiente	210
5	Clarificação	Turbidez no produto final	Baixo tempo de circulação do mosto	175
6	Clarificação	Partículas sólidas enviadas para a fervura	Baixo tempo de circulação, vazão inadequada	168
7	Resfriamento e oxigenação	Resfriamento lento	Baixa vazão do líquido de resfriamento	100
			Líquido de resfriamento acima da temperatura desejada	150
8	Resfriamento e oxigenação	Resfriamento ineficiente	Água de resfriamento acima da temperatura desejada	175
			Baixa vazão da água de resfriamento	112
9	Resfriamento e oxigenação	Contaminação microbiológica	Vazamento do líquido de resfriamento	125
			Introdução de agentes contaminantes durante o resfriamento	192
	Resfriamento e oxigenação		Introdução de agentes contaminantes durante a oxigenação	192
	Resfriamento e oxigenação		Utilização de equipamentos ou tubulações contaminadas	192
10	Resfriamento e oxigenação	Oxigenação excessiva	Falta de controle no processo de oxigenação	175
11	CIP	Ineficiência na remoção de resíduos	Dosagem incorreta dos produtos químicos de limpeza	270
			Tempo de circulação insuficiente	240
12	CIP	Remanescentes de soda cáustica após o enxágue	Enxágue insuficiente dos equipamentos	112
13	CIP	Diminuição da pressão da bomba	Limpeza ineficiente	168

Fonte: A autora, 2023

Ao analisar o quadro pode-se observar que alguns modos de falha se repetem, isso ocorre porque um modo de falha pode, por vezes possuir mais de uma causa potencial. Também foi possível observar que pode acontecer da causa potencial ser erro humano, o que não é passível de manutenção preventiva, apenas de treinamento de equipe.

Foram então selecionadas as etapas de mostura, CIP, clarificação e resfriamento e aeração, somando 13 modos de falha e 19 causas potenciais primárias, para serem expandidas pelo Diagrama de Ishikawa, juntamente com os 5 porquês, na intenção de encontrar pontos passíveis de manutenção preventiva para a elaboração do plano.

### 6.3 DIAGRAMA DE ISHIKAWA E O MÉTODO DOS 5 PORQUÊS

A partir dos modos de falha selecionados através do Pareto então foi dado início ao preenchimento do Diagrama de Ishikawa.

Para as categorias Método, Medida, Meio ambiente, Material e Mão de obra do Ishikawa foi utilizado principalmente o conhecimento sobre o processo produtivo e referências bibliográficas para seu preenchimento. Para não estender desnecessariamente, e como o foco do trabalho é a manutenção preventiva, foi utilizado o método dos 5 porquês apenas para a categoria “máquinas” do Ishikawa.

#### 6.3.1 Extração de taninos

Os taninos são compostos polifenólicos amplamente encontrados em plantas, incluindo grãos de malte e lúpulo, que são ingredientes fundamentais na produção de cerveja. A extração de taninos durante o processo de brassagem é inevitável, mas seu excesso pode levar a problemas significativos, como a adstringência e a instabilidade do produto final (PRIEST & STEWART, 2011). A presença de taninos em excesso também pode complicar a clarificação da cerveja, já que a formação de flocos de taninos pode entupir os filtros e dificultar a separação dos sólidos em suspensão (HILL, 2015).

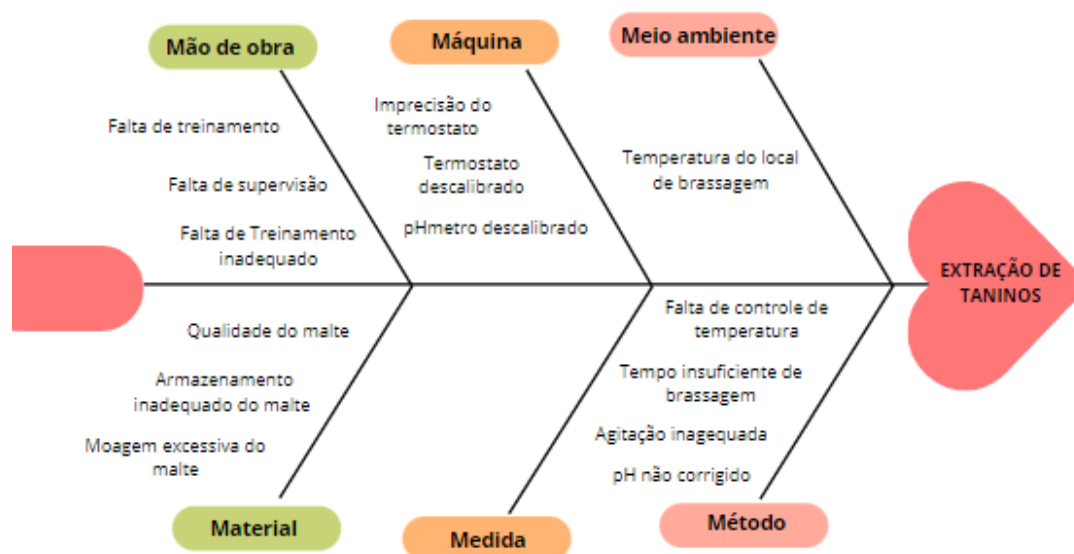
O pH e a temperatura são itens que desempenham papéis cruciais na extração de taninos na produção de cerveja, variações no pH podem afetar a solubilidade dos taninos, enquanto temperaturas altas podem acelerar sua extração dos grãos de malte (BRIGGS ET AL., 2004).

Desta forma foram construídos os 5 porquês e os diagramas de causa e efeito para esse modo de falha, apresentados no Quadro 7 e na Figura 10, respectivamente.



**Quadro 7 - 5** Porquês para a extração de taninos em excesso.

	Pergunta	Resposta
1	Por que há extração excessiva de taninos?	Porque a temperatura de brassagem está muito alta e/ou o pH do mosto não está sendo monitorado corretamente.
2	Por que a temperatura de brassagem está muito alta e o pH do mosto não está sendo monitorado corretamente?	Porque o termostato não está calibrado corretamente e o pHmetro não está calibrado corretamente.
3	Por que o termostato não está calibrado corretamente e o pHmetro não está calibrado corretamente?	Porque não há um programa de calibração regular para o termostato e o pHmetro.
4	Por que não há um programa de calibração regular para o termostato e o pHmetro?	Porque a microcervejaria não possui um procedimento de manutenção estabelecido para a calibração do termostato e do pHmetro.
5	Por que não há um procedimento de manutenção estabelecido para a calibração do termostato e do pHmetro?	Porque não foi estabelecida uma política de manutenção preventiva para a calibração de equipamentos.

**Figura 10 - Ishikawa** para a extração de taninos

Fonte: A autora, 2023

São várias as causas que podem levar a este modo de falha, foram encontradas causas em 5 categorias. Focando na categoria “maquinas” nota-se que a precisão da medição de pH e a precisão do termostato são os principais fatores, o termostato deve ser capaz de medir e regular as variações de temperatura de forma confiável, bem como também é importante que

o pHmetro mostre valores compatíveis com a realidade. Logo, para este modo de falha os equipamentos passíveis de manutenção preventiva são: termostato e pHmetro.

### 6.3.2 Ativação enzimática incompleta

A ativação enzimática incompleta na produção de cerveja é um problema que pode levar à conversão não completa de amido. Isso ocorre devido a fatores como temperatura inadequada, pH desfavorável e má qualidade dos grãos de malte. Esse problema compromete a qualidade da cerveja, levando a teor alcoólico abaixo do desejado, sabores indesejados e estabilidade prejudicada (STEWART, 2006; LEWIS, 2012).

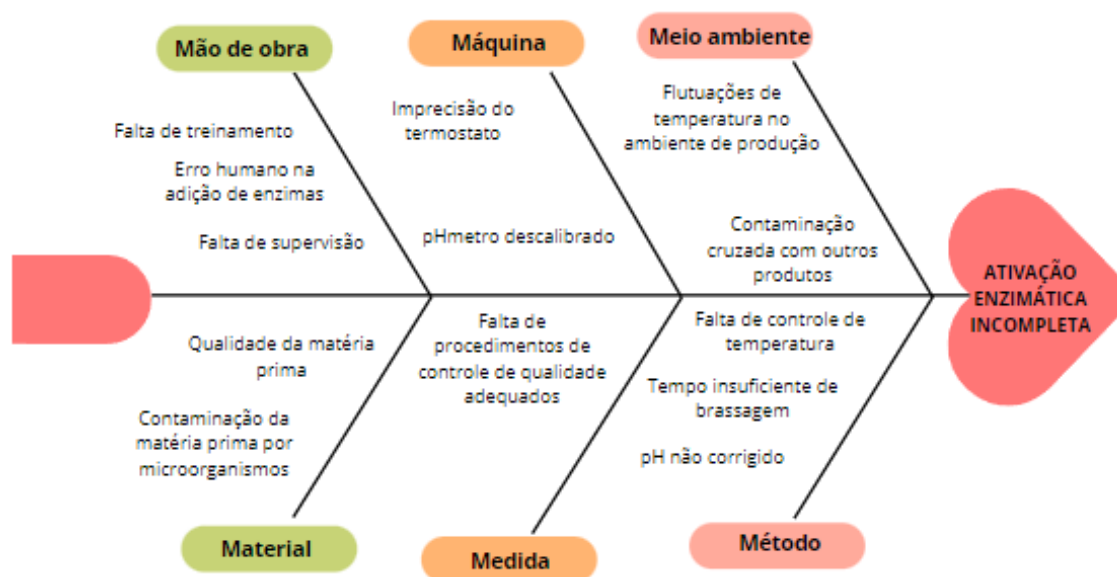
Foram construídos os 5 porquês e os diagrama de causa e efeito para esse modo de falha apresentados no Quadro 8 e na Figura 11, respectivamente. Os 5 porquês embora sejam comumente associado a esse número, é possível se adaptar a quantidade de perguntas feitas. Pode-se optar por fazer menos de cinco perguntas ou até mesmo mais perguntas, dependendo da necessidade, a fim de identificar a causa raiz (WEISS, 2011). Nesse caso foram necessárias apenas 4.

**Quadro 8 - 5 Porquês para ativação enzimática incompleta.**

	Pergunta	Resposta
1	Por que a ativação enzimática está incompleta?	Porque o pH e a temperatura durante o processo de brassagem estão fora do intervalo ideal.
2	Por que o pH e a temperatura durante o processo de mostura estão fora do intervalo ideal?	*Porque os sensores de temperatura não estão fornecendo leituras precisas e/ou não funcionam direito como controladores. *Porque o pH não está sendo regulado corretamente
3	Por que os sensores de temperatura não estão fornecendo leituras precisas? Ou o pH não está sendo ajustado?	*Porque esses sensores não foram calibrados corretamente. *Porque o pHmetro não apresentou os valores reais por falta de calibragem
4	Por que esses equipamentos não foram calibrados corretamente?	Porque não há um programa regular de calibração para os sensores de pH e temperatura.

Fonte: A autora, 2023

**Figura 11-** Ishikawa para a ativação enzimática incompleta.



Fonte: A autora, 2023

Assim, como no modo de malha anterior nota-se que o termostato e o pHmetro são os elementos que podem ser causas do problema na categoria máquinas.

### 6.3.3 Conversão incompleta do amido.

A conversão incompleta do amido na produção de cerveja ocorre quando o amido nos grãos de malte não é convertido adequadamente em açúcares fermentáveis durante a brassagem. Isso pode acontecer devido a problemas como temperatura inadequada, tempo de brassagem insuficiente, má qualidade do malte e pH inadequado no mosto (AQUARONE, 2001). Embora parecido com o modo de falha anterior a ativação enzimática incompleta é um problema que pode levar à conversão não completa de amido, mas não são exatamente a mesma coisa. A conversão não completa de amido é um resultado possível da ativação enzimática incompleta mas não necessariamente esse é o único fator.

Com isso em mente foram construídos os 5 porquês e o diagrama de causa e efeito para esse modo de falha apresentados no Quadro 9 e na Figura 12, respectivamente.

**Quadro 9-** 5 porquês para conversão incompleta do amido.

	Pergunta	Resposta
1	Por que o amido não está se convertendo completamente?	*Porque o tempo de reação não é suficiente. *Porque o controle de temperatura é inadequado.
2	*Por que o tempo de reação não é suficiente? *Porque o controle de temperatura não é adequado?	*Porque o processo não está sendo executado de acordo com os parâmetros recomendados. *Porque os sensores de temperatura não foram calibrados corretamente.
3	*Por que o processo não está sendo executado de acordo com os parâmetros recomendados? * Por que os sensores não estão calibrados?	*Porque os operadores não estão devidamente treinados ou informados sobre os procedimentos corretos. *Porque não há um programa regular de calibração para os sensores

Fonte: A autora, 2023

**Figura 12 -** Diagrama de Ishikawa para conversão incompleta do amido

Fonte: A autora, 2023

Um padrão semelhante ao dos modos de falha anteriores foi observado para a conversão incompleta do amido. Embora o tempo de mostura seja uma das causas mais relevantes para a conversão incompleta do amido, na microcervejaria analisada, o tempo depende totalmente do julgamento humano dependendo do estilo da cerveja, logo não passível de manutenção preventiva, apenas treinamento de equipe. Esse modo de falha acompanha os antecessores e tem o termostato e o pHmetro como elementos passíveis de manutenção.

### 6.3.4 Temperatura abaixo do desejado

A manutenção da temperatura adequada durante a fase de mostura é crucial para o processo de produção de cerveja, quando a temperatura de mostura fica abaixo do valor mínimo da faixa recomendada, que geralmente é entre 63-72°C, dependendo do estilo de cerveja, ocorrem impactos significativos na qualidade do produto final, uma vez que afeta diretamente a conversão do amido em açúcares fermentáveis, levando a uma menor concentração de açúcares na solução de mostura, afetando diretamente o teor alcoólico da cerveja, tornando-a mais leve do que o pretendido (PALMER, 2006).

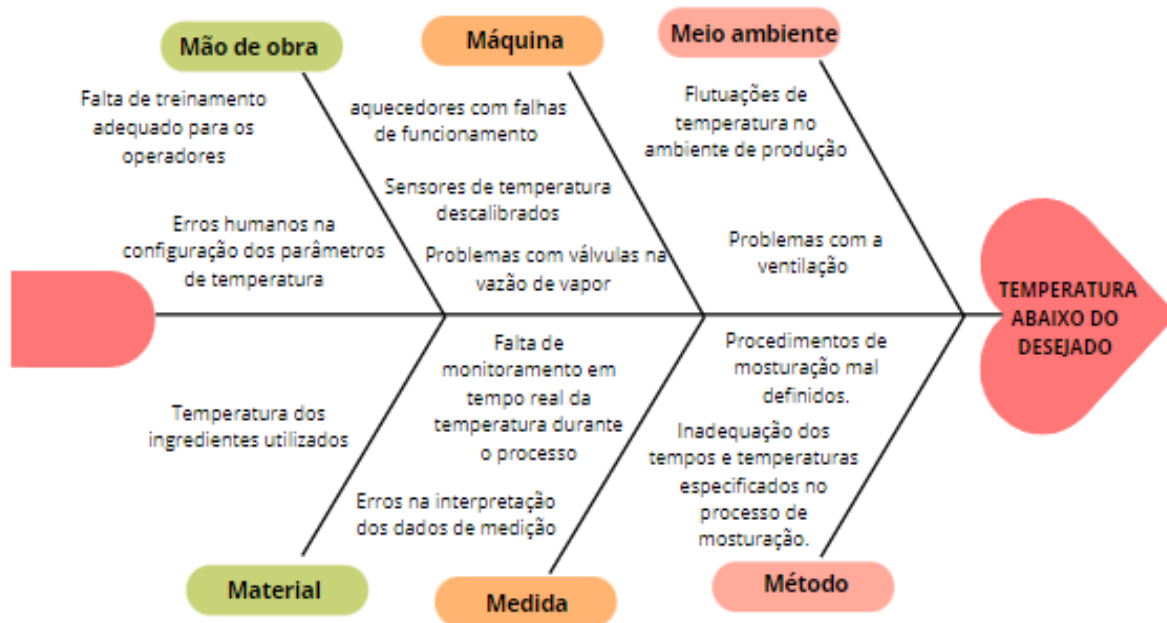
O diagrama dos 5 porquês no Quadro 10 mostra que a causa chave desse problema é o mau funcionamento no sistema de aquecimento e a Figura 13 mostra as demais causas potenciais.

**Quadro 10** - 5 porquês para temperatura abaixo do desejado

	<b>Pergunta</b>	<b>Resposta</b>
1	Por que a temperatura na mostura está abaixo do desejado?	Porque o equipamento de mostura não está mantendo a temperatura conforme configurado.
2	Por que o equipamento de mostura não está mantendo a temperatura conforme configurado?	Pode haver um mau funcionamento interno ou desgaste do equipamento.
3	Por que o equipamento está sofrendo um mau funcionamento interno ou desgaste?	Pode ser devido ao envelhecimento do equipamento ao longo do tempo, a danos mecânicos, ou falta de calibração
4	Por que o equipamento está envelhecendo, sofrendo danos mecânicos ou não sendo calibrado?	Isso pode ocorrer devido à falta de manutenção preventiva adequada ou ao uso constante em condições desfavoráveis.

Fonte: A autora, 2023

**Figura 13** - Diagrama de Ishikawa para temperatura abaixo do desejado



Fonte: A autora, 2023

Para esse modo de falha nota-se que problemas nos componentes ligados ao controle de aquecimento são as principais causas do problema, bem como válvulas que afetem a pressão de vapor no tanque de mostura.

### 6.3.5 Turbidez no produto

A turbidez na cerveja pode ter várias causas, incluindo a presença de proteínas, leveduras em suspensão, amidos não convertidos e resíduos de lúpulo (GREEN, 2008). A recirculação do mosto ajuda a clarificar a cerveja deixando as partículas maiores no fundo do tanque de clarificação.

O Quadro 11 apresenta a execução dos 5 porquês nesse tópico.

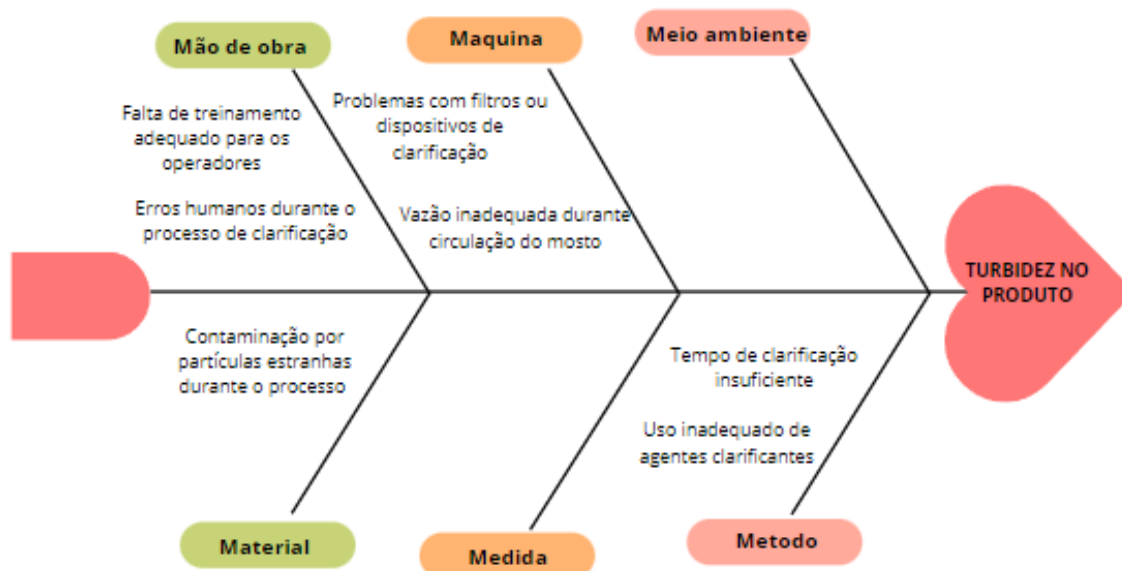
### Quadro 11- 5 porquês para turbidez no produto

	Pergunta	Resposta
1	Por que a cerveja clarificada está turva?	Porque partículas em suspensão estão presentes na cerveja.
2	Por que há partículas em suspensão na cerveja?	Porque o processo de clarificação não está removendo efetivamente essas partículas.
3	Por que o processo de clarificação não está funcionando adequadamente?	Devido a um problema no processo de filtração, no uso de agentes clarificantes, ou por pouca circulação
4	Por que há problemas no processo de filtração ou no uso de agentes clarificantes?	Devido a uma seleção inadequada de filtros ou agentes clarificantes, ou talvez uma má configuração do equipamento de filtração.
5	Por que houve seleção inadequada de filtros ou agentes clarificantes ou configuração incorreta do equipamento de filtração?	Isso ocorreu devido a uma falta de procedimentos claros e diretrizes bem estabelecidas para o processo de clarificação

Fonte: A autora, 2023

Preenchendo o Ishikawa com informações conhecidas obtemos as causas potenciais apresentadas na figura 14.

**Figura 14** - Diagrama de Ishikawa para turbidez no produto.



Fonte: A autora, 2023

Nesse modo de falha o tempo de circulação tem grande influência, embora o 5 porquês indique problemas com os filtros ou dispositivos de clarificação, conhecendo a realidade da

cervejaria, essa causa não foi considerada como passível de manutenção, pois a cervejaria utiliza o próprio bagaço do malte como filtro, assim sendo, apenas a bomba foi considerada como elemento passível de manutenção

#### 6.3.6 Partículas sólidas enviadas para a fervura

A presença de partículas indesejadas na fervura pode afetar negativamente a qualidade do produto final e complicar o processo de produção. Partículas sólidas podem atuar como núcleos de ebulição, causando uma ebulição mais violenta e irregular. Isso pode levar a problemas de evaporação, controle de amargor e eficiência geral da fervura (OTALVARO, 2021).

Embora tenham um efeito diferente na cerveja quando comparado com o item 6.3.5 as causas se repetem, logo o Quadro 11 e a Figura 14 do item anterior são válidas para este modo de falha.

#### 6.3.7 Resfriamento lento

Segundo Rebello (2009), o resfriamento do mosto cervejeiro tem conexão direta com a qualidade final da cerveja. Isso ocorre porque na ausência de um controle preciso e da manutenção da temperatura adequada durante esse processo, o líquido resultante não atenderá aos padrões de qualidade e higiene estabelecidos para a produção da cerveja. Ademais, um prolongamento excessivo do período de resfriamento pode ocasionar a presença de odores e sabores indesejáveis no produto final, além do aumento no tempo de produção e consumo energético.

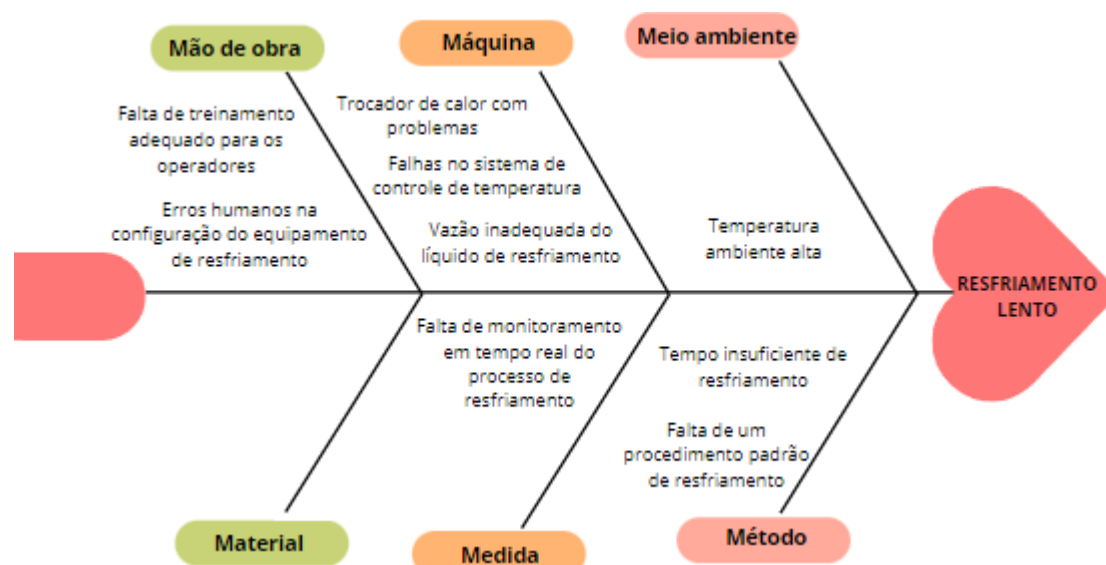
O Quadro 12 expõe o método dos 5 porquês para o resfriamento lento.



**Quadro 12 - 5 Porquês para o resfriamento lento**

	Pergunta	Resposta
1	Por que o resfriamento do mosto está acontecendo lentamente?	Porque a eficiência de transferência de calor na máquina de resfriamento não está adequada.
2	Por que a eficiência de transferência de calor na máquina de resfriamento não está adequada?	Porque a máquina de resfriamento não está recebendo água fria em quantidade suficiente ou fria o suficiente
3	Por que a máquina de resfriamento não está recebendo água fria em quantidade suficiente?	Porque o sistema de fornecimento de água não está mantendo um fluxo constante e adequado, ou problemas no trocador de calor
4	Por que o sistema de fornecimento de água não está mantendo um fluxo constante e adequado e qual problema pode ter o trocador de calor?	Porque as válvulas de controle do sistema não estão funcionando corretamente, e o trocador de calor pode estar entupido
5	Por que as válvulas de controle do sistema não estão funcionando corretamente e porque o trocador está entupido?	Porque as válvulas não estão sendo calibradas regularmente e o trocador de calor não passou por nenhuma manutenção

Fonte: A autora, 2023

**Figura 15 - Diagrama de Ishikawa para o resfriamento lento**

Fonte: A autora, 2023

Na categoria de máquinas o que é passível de manutenção para o problema do resfriamento lento seria o trocador de calor e também os bombas e válvulas que afetem a vazão do líquido de resfriamento.

### 6.3.8 Resfriamento ineficiente

Embora parecido com o item anterior a diferença é que em 6.3.7 o resfriamento é lento porém é capaz de levar o mosto a temperatura desejada, já o resfriamento ineficiente não consegue baixar a temperatura o suficiente para conseguir iniciar a fase de fermentação a uma temperatura segura para as leveduras, que a depender do estilo fica de 7°C a 26°C (PALMER, 2006). No geral as consequências são as mesmas, e analisando as causas elas ficam iguais aos do item anterior, ou seja possui os mesmos pontos passíveis de manutenção preventiva.

### 6.3.9 Contaminação microbiológica

A exposição do mosto a temperaturas mornas após a fervura cria um ambiente propício para a proliferação de microorganismos indesejados, como leveduras selvagens e bactérias contaminantes. Esses microorganismos podem introduzir sabores e aromas indesejados na cerveja, resultando em produtos finais de qualidade inferior (PALMER, 2006). A contaminação microbiológica durante o resfriamento do mosto ocorre devido à falta de controle das condições de resfriamento e à má higiene dos equipamentos. Para evitar esse problema, é essencial adotar medidas rigorosas de limpeza, sanitização e utilizar sistemas de resfriamento eficazes

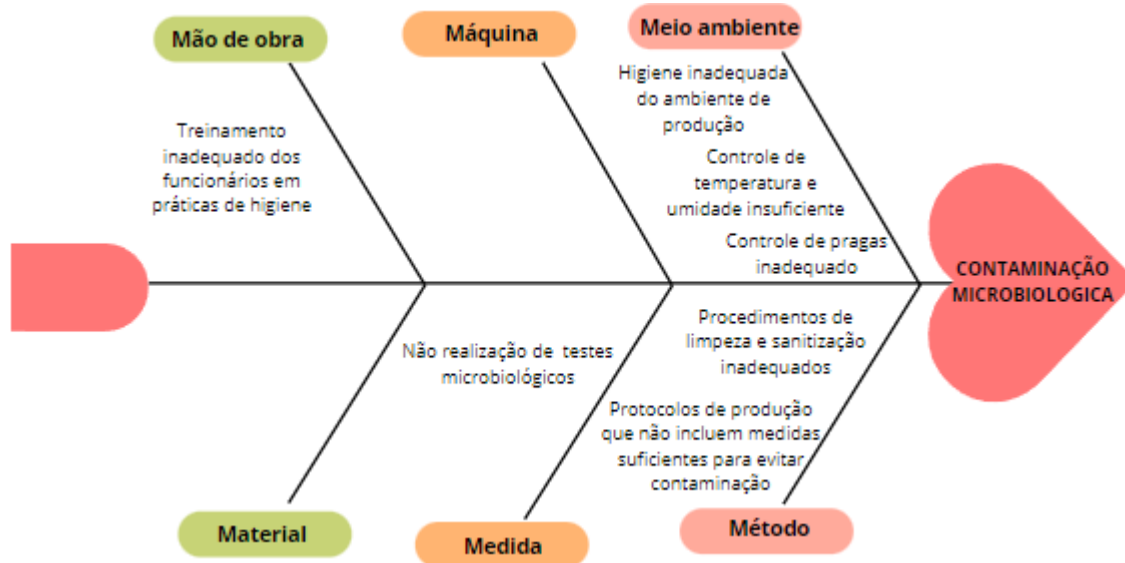
No Quadro 13 o método dos 5 porquês encontra a limpeza inadequada como principal causa. E a Figura 16 expande as causas pelo Ishikawa.

**Quadro 13** - 5 porquês para contaminação microbiológica.

	Pergunta	Resposta
1	Por que ocorre a contaminação microbiológica no resfriamento?	Porque há a presença de micro-organismos indesejados no mosto.
2	Por que há micro-organismos indesejados no mosto?	Porque os equipamentos de resfriamento não estão devidamente limpos e desinfetados.
3	Por que os equipamentos de resfriamento não estão devidamente limpos e desinfetados?	Porque os procedimentos de limpeza e desinfecção não são realizados corretamente.

Fonte: A autora, 2023

**Figura 16** - Diagrama de Ishikawa para contaminação microbiológica.



Fonte: A autora, 2023

A contaminação microbiológica durante o resfriamento do mosto ocorre principalmente devido à má higiene dos equipamentos. Para evitar esse problema, é essencial adotar medidas rigorosas de limpeza, sanitização e utilizar sistemas de resfriamento eficazes. Embora tenham mediadas de evitar a contaminação microbiológica elas não se encaixam no foco do trabalho que é a manutenção preventiva, já que são atividades que devem ser realizadas a cada batelada.

### 6.3.10 Oxigenação excessiva

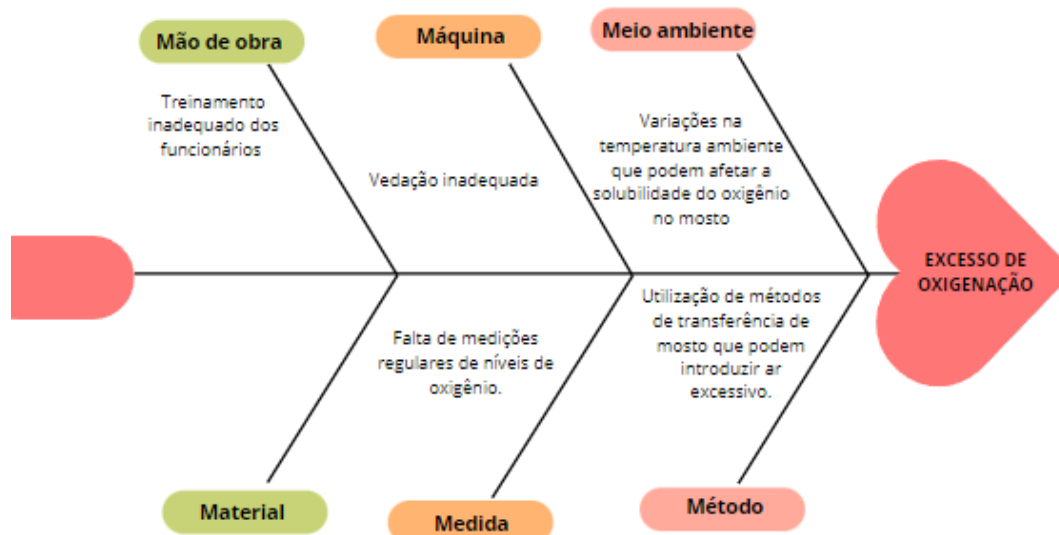
A oxigenação excessiva do mosto na produção de cerveja pode afetar profundamente a qualidade do produto final. As consequências dessa oxigenação incluem a formação de sabores indesejados, como notas de papelão e mofo, bem como a perda de aroma e sabor característicos do lúpulo, e além disso, a oxigenação excessiva pode levar à instabilidade do produto, resultando na redução da vida útil da cerveja (VERBELEN, 2009).

O Quadro 14 explora a possibilidade de problemas com a vedação do das tubulações e tanques, o que pode expor o mosto a mais oxigênio que o desejado. A Figura 17 mostra causas gerais para esse problema.

**Quadro 14** - 5 porquês para a oxigenação excessiva

	Pergunta	Resposta
1	Por que há oxigenação excessiva?	Porque o mosto está entrando em contato com o oxigênio
2	Por que o mosto está entrando em contato com o oxigênio	Porque o equipamento de transferência do mosto não está vedando completamente o sistema.
3	Por que o equipamento de transferência não está vedando completamente o sistema?	Porque há um vazamento na junta do equipamento.
4	Por que há um vazamento na junta do equipamento?	Porque a junta de vedação está desgastada e danificada.
5	Por que a junta de vedação está desgastada e danificada?	Porque não houve um programa de manutenção preventiva regular para inspecionar e substituir as juntas de vedação quando necessário.

Fonte: A autora, 2023

**Figura 17**- Diagrama de Ishikawa para oxigenação excessiva

Fonte: A autora, 2023

Levando em consideração o maquinário, a vedação de torna o item passível de manutenção mais provável de ser a causa desse problema.

### 6.3.11 Ineficiência na remoção de resíduos

A presença de resíduos, como proteínas, leveduras e sedimentos, nas tubulações e tanques de uma cervejaria podem comprometer a qualidade do produto final, levando a problemas de sabor, odor e até mesmo contaminação microbológica (BUGLASS, 2010).

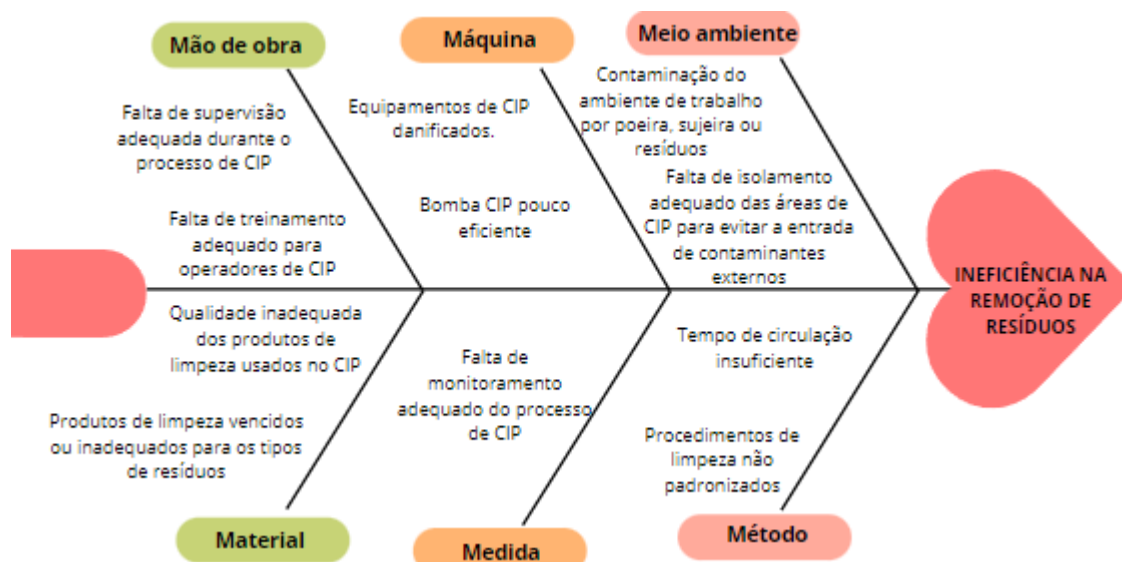
O 5 porquês foi aplicado (Quadro 15), assim como o Ishikawa ( Figura 17).

**Quadro 15** -5 porquês para ineficiência na remoção de resíduos

	Pergunta	Resposta
1	Por que a remoção de resíduos no CIP é ineficiente?	Porque a bomba CIP não está funcionando corretamente
2	Por que a bomba CIP não está funcionando corretamente?	Porque a bomba está perdendo pressão durante a operação
3	Por que a bomba CIP está perdendo pressão?	Por problemas elétricos ou por conta de vazamentos nas tubulações da bomba.

Fonte: A autora, 2023

**Figura 18** - Diagrama de Ishikawa para ineficiência na remoção de resíduos



Fonte: A autora, 2023

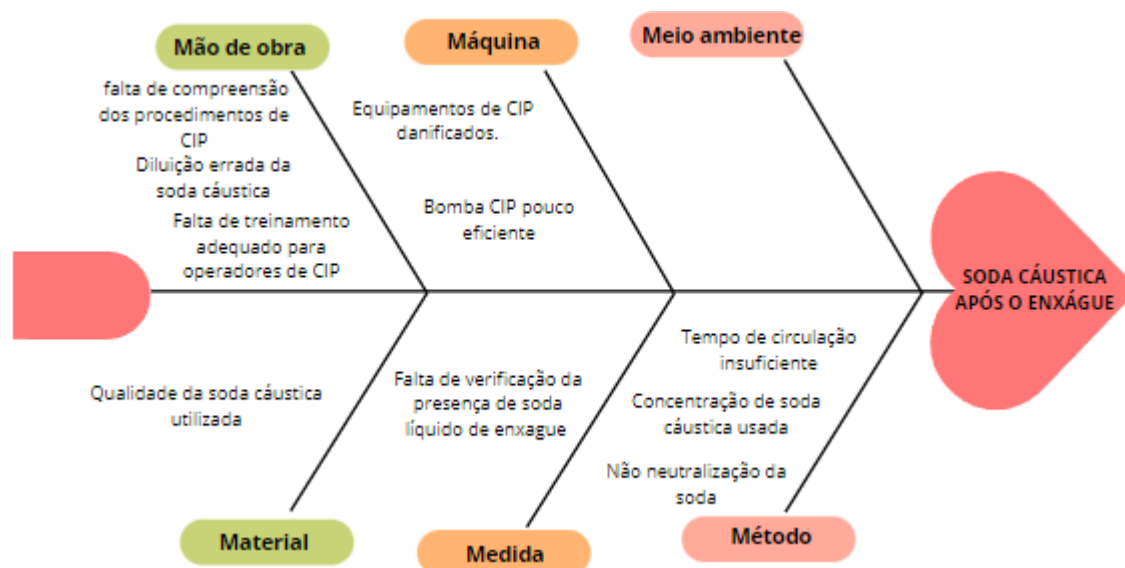
Como a cervejaria usa uma bomba móvel CIP, para realização da limpeza de seus equipamentos este é o único componente passível de manutenção preventiva nessa etapa, a pressão da bomba possui grande efeito na remoção de resíduos, assim como o tempo de circulação dos produtos detergentes e sanitizantes no equipamento.

### 6.3.12 Remanescentes de soda cáustica após o enxágue

A soda cáustica é usada na limpeza, mas se não for removida adequadamente os resíduos de soda cáustica após o enxágue em cervejarias podem afetar a qualidade da cerveja e representar riscos à saúde.

Nesse caso em específico a remoção total da soda cáustica é através de enxágue, logo assim como no item anterior a bomba de CIP é o equipamento passível de manutenção, aqui não será realizado o 5 porquês, já que iria se repetir o o Ishikawa da Figura 19 mostra as causas gerais do problema.

**Figura 19** - Diagrama de Ishikawa para Remanescentes de soda cáustica após o enxágue.



Fonte: A autora, 2023.

### 6.3.13 Diminuição da pressão da bomba

O processo CIP desempenha um papel essencial na limpeza e higienização dos equipamentos utilizados na produção de cerveja, garantindo a remoção eficaz de resíduos e microrganismos indesejados. Quando a pressão da bomba diminui, o sistema pode não conseguir fornecer a força necessária para conduzir a solução de limpeza pelos tubos e componentes, resultando em uma limpeza inadequada e com potencial de contaminação, isso pode levar a problemas de qualidade da cerveja e, em casos mais graves, a questões de segurança alimentar (BUGLASS, 2010).

Em itens anteriores problemas com a pressão da bomba acabaram sendo encontrados como causa de um modo de falha, o que não exclui a diminuição da pressão da bomba de ser um modo de falha, porém, torna a necessidade da construção do diagrama de ishikawa e do método dos 5 porquês redundante, já que o ponto de manutenção preventiva seria o mesmo, a bomba CIP.

## 6.4 MODELO DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Com base nas ferramentas de qualidade utilizadas anteriormente os itens passíveis de manutenção preventiva, encontrados nas etapas do processo analisadas foram:

- Termostatos;
- pHmetro;
- Válvulas;
- Trocador de calor;
- Vedações;
- Bomba centrífuga;
- Bomba CIP.

Um plano de manutenção considera as especificidades de cada equipamento, o que possibilita o agendamento prévio das manutenções requeridas para otimizar seu desempenho e reduzir os impactos em possíveis paradas não planejadas.

Na microcervejaria, vários equipamentos associados a cozinha cervejeira como o termostato do tanque de mostura, as válvulas de controle de vazão, o trocador de calor acoplado a cozinha cervejeira, e a bombas foram adquiridos do mesmo fornecedor, INOX RODRIGUES. A princípio foi realizada uma tentativa de contato com o fornecedor, porém não houve resposta. Foi então constatado que a empresa não está mais atuando, estando atualmente com o CNPJ inativo. Assim, o plano de manutenção preventiva foi montado conforme especificações encontradas em portais de fornecedores de equipamentos semelhantes aos equipamentos da cervejaria. O Apêndice D traz uma breve descrição desses equipamentos.

A manutenção preventiva pode ser programada com base em um cronograma de tempo ou utilização, e deve ser realizada pelos profissionais competentes antes que ocorram quaisquer problemas ou disfunções.

Inspecções regulares, lubrificação, limpeza, troca de peças desgastadas, balanceamento, alinhamento e calibração são todas formas de manutenção preventiva. A calibração é uma forma especial de manutenção preventiva cujo objetivo é manter os instrumentos de medição e controle dentro de limites especificados, nesse caso um "padrão" deve ser usado para calibrar o equipamento (KEITH, 2004). O Quadro 16 apresenta o plano de manutenção para os componentes determinados pelas ferramentas de qualidade utilizadas.

**Quadro 16 - Modelo de plano de manutenção.**

Atividade	Descrição	Frequência				
		Semana l	Mens al	Trime stral	Semes tral	Anual
<b>Termostato ntc</b>						
Limpeza	Limpeza da poeira depositada em seus mecanismos com pincéis				x	
Calibração	Verificar a precisão da medição de temperatura comparando a leitura do termostato com "padrão" e reajuste, se necessário, de acordo com as instruções do fabricante					x
Verificação da Conexão Elétrica	Certificar que não haja corrosão ou danos					x
<b>pHmetro (tipo caneta)</b>						
Verificação Geral	Verificar a funcionalidade dos botões, tela e bateria		x			
Calibração	Usar soluções de calibração de pH 4,01 e 7,00	x				
<b>Válvulas (Borboleta)</b>						
Desmontagem e Inspeção	Desmontar a válvula para inspecionar as partes internas, como o disco, sede e vedação e substituir as partes desgastadas ou danificadas					x
Lubrificação	Aplicar lubrificante apropriado às partes móveis da válvula, como o eixo e o disco			x		
Verificação de Vazamentos	Teste de vazamento para garantir que não haja vazamentos através da vedação da válvula quando ela estiver fechada				x	
<b>Trocador de calor (placas)</b>						
Verificação de possíveis vazamentos em juntas		x				
Chapa fixa	Conferir deformações e empenamentos				x	
Chapa móvel	Conferir deformações e empenamentos				x	
Pé de apoio	Conferir deformações e empenamentos				x	
Conjunto barramento superior/inferior	Conferir deformações e empenamentos				x	



Placas para trocadores de calor	Verificar trincas, deformações e vazamentos				x	
Juntas para trocadores de calor	trocar					x
Porcas tirantes de fixação	Conferir deformações e empenamentos				x	
Bucha suporte de fuzo	Verificar desgaste e deformação				x	
Tirante de fixação	Conferir deformações e empenamentos				x	
Limpeza Interna	Abir o trocador de calor para uma limpeza mais profunda				x	
<b>Vedações</b>						
Inspeção Visual	Verificar vazamentos, desgaste ou danos		x			
Limpeza	Limpeza da área ao redor das vedação para remover sujeira, poeira e resíduos			x		
Verificação da Superfície de Contato	Verificar se há desgaste excessivo, corrosão ou danos, se sim trocar					x
<b>Bombas</b>						
Verificar nível de óleo	Verificar o nível de óleo no cárter ou caixa de mancais da bomba e ajustar conforme necessário		x			
Verificar se há vazamento das gaxetas	Inspecionar as gaxetas ou selos mecânicos da bomba para garantir que não haja vazamentos	x				
Verificação da temperatura dos mancais	Monitorar a temperatura dos mancais para verificar se estão dentro dos limites de operação				x	
Troca de óleo	Trocar o óleo do cárter ou caixa de mancais				x	
Inspeção e limpeza interna	Desmontar a bomba para inspecionar as partes internas, como o impulsor e as gaxetas, e limpar quaisquer detritos ou incrustações que possam afetar o desempenho					x
Lubrificação do acoplamento	Lubrificar o acoplamento conforme as recomendações do fabricante				x	

Fonte: A autora, 2023.

A bomba CIP não está presente no Quadro 17 pois é composta também de uma bomba centrífuga e durante pesquisas não foi encontrado nada que sugerisse uma periodicidade diferente de manutenção para uma bomba usada para CIP, portanto foi considerado que seu plano de manutenção seria similar a bomba já presente.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim pode-se concluir que o presente trabalho alcançou seu propósito ao identificar pontos passíveis de manutenção preventiva na indústria cervejeira, particularmente em microcervejarias, utilizando ferramentas de qualidade para elaborar um plano de manutenção.

O presente trabalho se concentrou na elaboração de um plano de manutenção preventiva voltado para elementos sensíveis do processo produtivo em uma microcervejaria do Paraná, utilizando ferramentas de qualidade para identificar modos de falha, priorizar áreas críticas e buscar encontrar causas raízes de problemas mecânicos. Embora a implementação prática do plano não tenha acontecido dentro do escopo deste trabalho, algumas conclusões podem ser destacadas.

Primeiramente, a busca pela qualidade na indústria cervejeira. Ao menos no Paraná é fato que as microcervejarias buscam excelência na qualidade de seus produtos, o que é um fator fundamental para o sucesso e competitividade do setor. É reconhecido o papel da manutenção preventiva, e que através dela é possível diminuir custos, aumentar a eficiência operacional, prolongar a vida útil dos equipamentos, aumentar a segurança e qualidade do produto.

Além disso, foi possível enxergar as ferramentas de qualidade como aliadas na construção de planos de manutenção, essas ferramentas proporcionam uma abordagem sistemática para soluções de problemas e aprimoramento contínuo. Vale destacar que o plano de manutenção não é algo estático, mas sim dinâmico e pode se adaptar de acordo com a realidade de uso. Isso torna essas ferramentas ainda mais úteis na busca pela excelência em diversos aspectos operacionais de uma empresa, incluindo a microcervejaria no contexto deste estudo. Logo, a compreensão e aplicação adequada dessas ferramentas podem ser um diferencial significativo para as organizações em um mercado cada vez mais competitivo.

Para trabalhos futuros um estudo prático que envolve a implementação do plano de manutenção preventiva desenvolvido no presente trabalho poderia ser interessante, isso permitiria uma melhor avaliação da eficácia das estratégias propostas para validar a abordagem teórica. Um estudo sobre impactos econômicos da implementação também poderia ser explorado, isso envolveria uma análise mais detalhada dos custos envolvidos em comparação aos benefícios trazidos, como a redução de paradas não programadas e o aumento da vida útil dos equipamentos. Também seria interessante a produção de um plano de manutenção com todos os equipamentos envolvidos no processo o que ampliaria possibilidades de aprimoramento.

## REFERÊNCIAS

ABOUMRAD, J. P. C.; BARCELLOS, Y. C. M. **Análise e simulação das operações de mosturação e fermentação no processo de produção de cervejas**, 2015.

ALMEIDA E SILVA, J.B. **Tecnologia de bebidas: matéria prima, processamento, BPF / APPCC, legislação e mercado**. São Paulo: Edgard Blucher, p.347-380, 2005.

AQUARONE, E; et al. **Biotecnologia industrial : biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Blucher, 2001.

ARAÚJO, F.B.; SILVA, P.H.A.; MINIM, V.P.R. Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 23, p. 121-128, 2003.

BAHAMONDE, A. I. G. **Estudio para la implantación del TPM (Mantenimiento Productivo Total) en un hotel de Salou**. [s.l.] Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.

BAMFORTH, C. **Beer: Tap Into the Art and Science of Brewing**. Oxford: Oxford University Press, 2009.

BLEIER, B. et al. **Craft Beer Production**. University of Pennsylvania. Filadélfia, p. 565. 2013.

BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing Yeast and Fermentation**. Oxford: Blackwell Science, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da Cerveja 2022 / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : **MAPA/SDA**, 2023.

BUGLASS, A. **Handbook of Alcoholic Beverages**. [s.l.] Wiley, 2010.

CHIARINI, A. Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. **The TQM journal**, v. 32, n. 4, p. 603–616, 2020.

COELHO-COSTA, E. R. A bebida de Ninkasi em terras tupiniquins: O mercado da cerveja e o Turismo Cervejeiro no Brasil. **RITUR-Revista Iberoamericana de Turismo**, v. 5, n. 1, p. 22-41, 2015.

COELHO-COSTA, E. R. Turismo cervejeiro no Brasil: uma realidade? **Revista Turismo & Sociedade**. Curitiba, 11(2), p. 336-357, 2018

COLETTI, J., BONDUELLE, G. M., & IWAKIRI, S. . Avaliação de defeitos no processo de fabricação de lamelas para pisos de madeira engenheirados com uso de ferramentas de controle de qualidade. **Acta Amazonica**, 40(1), 135-140. 2010.

DIMITRAKOPOULOS, G.; POLITI, E.; KARATHANASOPOULOU, K.; PANAGIOTOPOULOS, E.; ZOGRAPHOS, T. **Cognitive Risk-Assessment and**

**Decision-Making Framework for Increasing in-Vehicle Intelligence.** *J. Sens. Actuator Netw.* **2022**.

DONATO, L. (2021). Diagrama de Ishikawa: como fazer e exemplos práticos. AEVO. Recuperado de <<https://blog.aevo.com.br/diagrama-de-ishikawa/>>.

FEIGENBAUM, A.V. **Controle da qualidade total**. São Paulo: Makron Books, 1994.

FILZ, M.-A. et al. Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning. **Computers in industry**, v. 129, n. 103451, p. 103451, 2021.

GARRETT, J. **Beer school: A crash course in craft beer**. [s.l.] Mango, 2016.

GONZÁLEZ, F. D. J. G. Herramientas de calidad y el trabajo en equipo para disminuir la reprobación escolar. **Conciencia tecnológica**, (48), 17-24. 2017

GREEN, D. **The Science of Step Mashing**. The How-To Homebrew Beer Magazine, 2008.

HARRISON, M. A.; NUMMER, B. **Beer/brewing**. **Encyclopedia of Microbiology**, v.4, 2000.

HILL, A. **Brewing Microbiology Design and Technology Applications for Spoilage Management, Sensory Quality and Waste Valorisation**. [s.l.] Cambridge Elsevier Science & Technology Ann Arbor, Michigan Proquest, 2015.

HORNSEY, I. S. **A history of beer and brewing**. Cambridge, England: Royal Society of Chemistry, 2003.

JEFFERY, Wayne. **The Toyota Way**. McGraw-Hill Education, 2004.

KARCHESY, J. J.; HEMINGWAY, R. W. Condensed tannins: procyanidins in *Arachis hypogea*. **L. Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 34, n. 6, 1986.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás. 2009.

KEITH MOBLEY. **Maintenance fundamentals**. Amsterdam ; Boston: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2004.

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 6. ed. Berlim, Germany: Versuchs- u. Lehranstalt f. Brauerei, 2019.

LEWIS, M. J.; YOUNG, T. W. **Brewing**. Springer Science & Business Media, 2012.

LEWIS, M. J.; YOUNG, T. W. **Brewing**. New York: Springer, 1995.

MEUSSDOERFFER, F. G. A Comprehensive History of Beer Brewing. In: ESSLINGER, H. M. (Ed.). **Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. p. 1–42.

MOHANTY, A. R. **Machinery condition monitoring: Principles and practices**. [s.l.] CRC Press, 2014.

MOLL, M. **New Brewing Lager Beer: The Most Comprehensive Book for Home and Microbrewers**. Boulder: Brewers Publications, 2010.

MONTEIRO, C.I.; SOUZA, L.R.; ROSSI, P.H.L. **Manutenção Corretiva**. Bauru – SP, 2010.

MORADO, R. **Larousse da cerveja: A história e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo**. São Paulo: Alaúde, 2017.

MORAES, G. **Sistema de Gestão de Riscos: Estudo de Análise de Riscos**. 6.ed. São Paulo: GVC Editora, 2016.

NBR 5462

NELSON, M. **The barbarian's beverage : a history of beer in ancient Europe**. London: Routledge, 2005.

NORMA INTERNA DIPOV N° 01/2019

OLIVEIRA, D. P. **Implementação de um plano de manutenção preventiva numa empresa de fundição**. [s.l.] Universidade do Minho Escola de Engenharia, 2013.

OLIVER, G. **O Guia Oxford da Cerveja**. São Paulo: Blucher, 2020.

OTALVARO, V, D. **Desarrollo e implementación de un sistema de buenas prácticas de manufactura en planta productora de cerveza artesanal**. Trabajo de grado profesional, Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Colombi, 2021.

PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: teoria e prática**. [S.l.]: Atlas, 2004.

PALADY, P. **FMEA: Análises dos Modos de Falhas e Efeitos**; São Paulo, IMAM, 2004.

PALMER, J. **How to Brew: Everything You Need To Know To Brew Beer Right The First Time**. 1ª. ed. [S.l.]: Natl Book Network, v. I, 2006.

REBELLO, Flávia de Floriani Pozza. Produção de cerveja. **Revista Agrogeoambiental**, Inconfidentes/MG, v. 1, p. 145-155, 2009

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. **Revista Química Nova**. São Paulo, v. 37, p. 98- 105, 2015

SANTOS, S. P. **Os primórdios da cerveja no Brasil**. Cotia: Ateliê Editorial, 2004.

SCHEFFER, R. et al. Processo produtivo da cerveja tipo Pilsen. **VII Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial**, v. 12, 2013.

SOARES PENEDO, L. et al. Utilização das ferramentas da qualidade nos processos de manutenção, visando o desperdício de tempo e a produtividade. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 13, n. 1, p. 16–24, 2020.

STEWART, Graham G.; PRIEST, Fergus G. (ed.). **Handbook of Brewing**. [S. l.]: CRC Press, 2006.

STOCKER, F. et al. Brazilian craft breweries and internationalization in the born global perspective. **Revista de Gestão**, v. 28, n. 2, p. 163–178, 2021.

TOYOTA. **Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time**. Institute of Industrial Engineers, 1992.

VERBELEN, P. J. et al. The influence of yeast oxygenation prior to brewery fermentation on yeast metabolism and the oxidative stress response. **FEMS Yeast Research**, v. 9, n. 2, p. 226–239, mar. 2009.

WEISS, A.E. **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know**. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

WILLAERT, R. The beer brewing process: Wort production and beer. In: HUI, Y. H. **Handbook of food products manufacturing**, v. 2, p. 443, 2007.

XENOS, H. G. P. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte, Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

## **APÊNCIDE A - QUESTIONÁRIO ENVIADO PARA MICROCERVEJARIAS DO PARANÁ.**

**O questionário contém 18 perguntas com tempo de resposta de 5 minutos.**

Olá, meu nome é Brenda Santana, sou estudante de Engenharia Química na UNILA, localizada em foz do Iguaçu e estou escrevendo o meu TCC com o tema " APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA UMA MICROCERVEJARIA NO PARANÁ". Estou utilizando algumas ferramentas de qualidade, como a Análise de Modo e Efeitos da Falha (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*), o método 5 porquês e o diagrama de Ishikawa para buscar causas que gerem paradas de produção, defeitos no produto, acidentes ou descarte de cerveja. Essas três ferramentas eu consigo utilizar apenas com a ajuda de um cervejeiro que está me auxiliando, porém, gostaria de incluir o Diagrama de Pareto, uma ferramenta de qualidade que, na forma de um gráfico, representa de forma crescente em termos de importância, ou magnitude a frequência das ocorrências, relacionando-as com as causas de problema.

Como o cervejeiro que me auxilia não possui tais dados estou escrevendo para microcervejarias do paraná a fim de colher dados que possam de ajudar a finalizar o meu TCC. Se puderem me ajudar eu ficaria muito grata. Qualquer dúvida podem entrar em contato em [bsabrenda6@gmail.com](mailto:bsabrenda6@gmail.com)

### PERGUNTAS

1. Qual o nome da cervejaria?
2. Qual o ano de inicio das atividades da cervejaria ?
3. A cervejaria possui plano de manutenção preventiva ?
  - Sim
  - Não
  - Prefiro não responder
4. Qual dessas opções a empresa considera mais prejudicial ao empreendimento.
  - Parada de produção não programada

- Alteração nas características sensoriais do estilo
  - Ser necessário descartar cerveja
5. Na sua visão de 1 a 5 um plano de manutenção preventivo é útil para uma microcervejaria? Considere (1) nada importante e (5) muito importante.
6. A maior parte da manutenção realizada na cervejaria é preventiva ou corretiva ?
- Preventiva
  - Corretiva
  - Prefiro não responder
7. A cerveja passa pelo processo de pasteurização ?
- Sim
  - Não
  - Prefiro não responder
8. Quais etapas da produção (ou componentes chaves) apresentaram maior necessidade de manutenção na cervejaria até o momento ? Até 3 respostas.
- Desmineralização da água
  - Moagem
  - Mostura
  - Clarificação
  - Fervura e Whirlpool
  - Resfriamento e aeração
  - Fermentação
  - Maturação
  - Armazenamento
  - CIP
  - Bombas
  - Valvulas
  - Motores
  - Caldeira
  - Mangueiras
9. A cervejaria possui sistema de aquecimento a vapor?
- Sim
  - Não
10. Estaria disponível para fornecer informações adicionais ?



11. Gostaria de fazer algum comentário ou dar alguma sugestão?

## APENDICE B - TABULAÇÃO DAS RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO

RESP OSTAS	PERGUNTAS		
	Início das atividades	Possui plano de manutenção preventiva ?	Opção que a empresa considera mais prejudicial ao empreendimento
1	2016	Não	Parada de produção não programada
2	2022	Não	Ser necessário descartar a cerveja
3	2019	Não	Ser necessário descartar a cerveja
4	2018	Não	Ser necessário descartar a cerveja
5	2015	Sim	Ser necessário descartar a cerveja
6	2018	Não	Ser necessário descartar a cerveja
7	2021	Sim	Alteração nas características sensoriais do estilo
8	2019	Não	Ser necessário descartar a cerveja
9	2018	Sim	Ser necessário descartar a cerveja
10	sem resposta	Não	Ser necessário descartar a cerveja
11	2018	Não	Ser necessário descartar a cerveja

PERGUNTA	RESPOSTAS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Utilidade de um manutenção preventara o pramicrocervejaria? Considere (1) nada importante e (5) muito importante.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5

RES POSTAS	PERGUNTAS		
	A maior parte da manutenção realizada na cervejaria é preventiva ou corretiva ?	A cerveja passa pelo processo de pasteurização ?	Quais etapas da produção (ou componentes chaves) apresentaram maior necessidade de manutenção na cervejaria até o momento ?

1	Preventiva	Não	Nenhum
2	Corretiva	Não	Clarificação
3	Corretiva	Não	Mostura, CIP
4	Preventiva	Não	Mostura, Armazenamento, Fermentação
5	Preventiva	Não	CIP
6	Corretiva	Não	Mostura, CIP
7	Preventiva	Sim	Moagem, Mostura, Clarificação
8	Corretiva	Não	Mostura, Armazenamento e CIP
9	Corretiva	Não	Mostura, Clarificação, Resfriamento e aeração
10	Corretiva	Não	Moagem, Resfriamento, Fervura
11	Corretiva	Não	Mostura, Fermentação, Caldeira

RESPOSTAS	PERGUNTAS	
	A cervejaria possui sistema de aquecimento a vapor?	Estaria disponível para fornecer informações adicionais ?
1	Sim	Sim
2	Não	Não
3	Sim	Não
4	Sim	Sim
5	Sim	Sim
6	Sim	Sim
7	Sim	Sim
8	Sim	Sim
9	Sim	Sim
10	Sim	Sim
11	Sim	Sim



### APÊNDICE C - FMEA

nº	Etapa /Equipamento	Modo de Falha	Causa Potencial	Efeito Causado pela Falha	Severidade (S)	Ocorrência (P)	Detecção (D)	NPR (S x O x D)	Ações	Posição
1	Pesagem e moagem	Desvio na pesagem dos grãos	Falha na calibração da balança	Inconsistência na quantidade de grãos utilizado que pode levar a variação na composição da cerveja	6	4	6	144	Calibrar a balança regularmente conforme as especificações do fabricante	41
2	Pesagem e moagem	Desvio na pesagem dos grãos	Erro humano na pesagem	Inconsistência na quantidade de grãos utilizado que pode levar a variação na composição da cerveja	7	4	6	168	Implementar procedimentos de verificação cruzada na pesagem dos grãos	28
3	Pesagem e moagem	Contaminação dos grãos	Armazenamento inadequado dos grãos	Risco de desenvolvimento de sabores indesejados e contaminação microbiológica	7	4	6	168	Melhorar as condições de armazenamento dos grãos, como controle de umidade e temperatura	28
4	Pesagem e moagem	Contaminação dos grãos	Contaminação por insetos/pragas	Risco de desenvolvimento de sabores indesejados e contaminação microbiológica	6	5	5	150	Implementar medidas de controle de pragas e inspeções regulares na área de armazenamento	34

5	Pesagem e moagem	Moagem inadequada dos grãos	Desgaste excessivo dos rolos do moinho	Variação na granulometria dos grãos, afetando a eficiência da brassagem e a qualidade do mosto	5	3	6	90	Realizar manutenção preventiva regularmente e substituir os rolos desgastados	62
6	Pesagem e moagem	Moagem fina demais	Muito tempo no moinho e/ou moinho mal regulado	Produção de cascas muito fragmentadas e consequentemente da extração de substâncias polifenólicas que dificultarão a clarificação futura e poderá gerar um produto final adstringente	7	5	6	210	Estabelecer procedimentos de ajuste padronizados e fornecer treinamento adequado à equipe	7
7	Pesagem e moagem	Moagem grossa demais	Pouco tempo no moinho ou moinho mal regulado	Dificulta a hidrólise do amido, o que impacta no rendimento podendo gerar perda de produtividade	7	6	5	210	Estabelecer procedimentos de ajuste padronizados e fornecer treinamento adequado à equipe	7
8	Desmineralização da água	Níveis indesejados de minerais (Cl, Mg, Na...)	Filtros saturados	Influência no perfil sensorial da cerveja, podendo conferir em um gosto amargo, adstringente e até mesmo salgado ao produto final	9	7	4	252	Medições periódicas da condutividade da água desmineralizada resultante do processo de filtragem.	3

9	Mostura	Extração de taninos em excesso	Temperaturas acima do desejado	Adstringência/ instabilidade do produto final	7	5	6	210	Calibrar e monitorar regularmente os sensores de temperatura e sistema de aquecimento	7
10	Mostura	Ativação enzimática incompleta	temperatura /pH fora do ideal	Perdas sensoriais na bebida	7	5	6	210	Calibrar e monitorar regularmente os sensores de temperatura e sistema de aquecimento	7
11	Mostura	Conversão não completa do amido	Tempo insuficiente de mostura	Baixa eficiência na conversão de amidos em açúcares e redução na qualidade e perfil de sabor	8	4	4	128	Implementar cronômetros e alarmes para garantir o tempo correto de mosturação	44
12	Mostura	Temperatura abaixo do desejado	Produção de vapor insuficiente	Extrato do mosto abaixo do esperado	6	5	7	210	Garantir o controle fino da temperatura e garantir o bom funcionamento da caldeira	7
13	Clarificação	Turbidez no produto final	Baixo tempo de circulação do mosto	Produto final com aparência turva e qualidade sensorial comprometida	7	5	5	175	Realizar manutenção regular dos filtros e substituir os elementos filtrantes conforme recomendado	24

14	Clarificação	Partículas sólidas enviadas para a fervura	Baixo tempo de circulação do mosto	Aparência "suja" e comprometimento dos parâmetros sensoriais da cerveja	6	7	4	168	Verificar periodicamente a integridade dos sistemas de filtragem e realizar manutenção quando necessário.	28
15	Fervura	Fervura branda	Falha no sistema de aquecimento	Alterações no perfil de sabor e aroma da cerveja devido à temperatura alta e presença de DMS (dimetilsulfato)	8	6	4	192	Calibrar e monitorar regularmente os sensores de temperatura e sistema de aquecimento	17
16	Fervura	Evaporação excessiva	Falta de controle do fluxo de vapor	Redução do volume final da cerveja e alterações no perfil de sabor	4	4	5	80	Realizar a manutenção de dispositivos de controle de fluxo de vapor e monitorar regularmente	63
17	Fervura	Exvaporação excessiva	Tempo inadequado de fervura	Baixa eficiência na isomerização do lúpulo e redução do amargor desejado	7	4	4	112	Estabelecer procedimentos padronizados para a duração da fervura e treinar a equipe corretamente	50
18	Resfriamento e oxigenação	Resfriamento lento	Baixa vazão do líquido de resfriamento	Aumento no tempo de produção e consumo energético	5	4	5	100	Realizar manutenção regular dos equipamentos de resfriamento e verificar o desempenho do sistema	55

19	Resfriamento e oxigenação	Resfriamento lento	Líquido de resfriamento acima da temperatura desejada	Aumento no tempo de produção e consumo energético	6	5	5	150	Manutenção do chiller	34
20	Resfriamento e oxigenação	Resfriamento ineficiente	Líquido de resfriamento acima da temperatura desejada	Baixa absorção de oxigênio pelo mosto	7	5	5	175	Realizar manutenção regular dos equipamentos de resfriamento e verificar o desempenho do sistema	24
21	Resfriamento e oxigenação	Resfriamento ineficiente	Baixa vazão da água de resfriamento	Inviabilizar células do fermento na etapa de fermentação	7	4	4	112	Realizar manutenção regular dos equipamentos de resfriamento e verificar o desempenho do sistema	50
22	Resfriamento e oxigenação	Contaminação microbiológica	Vazamento do líquido de resfriamento	Risco de contaminação e alterações indesejadas no sabor da cerveja	5	5	5	125	Monitorar a qualidade da água utilizada no resfriamento e tratar se necessário	45
23	Resfriamento e oxigenação	Contaminação microbiológica	Introdução de agentes contaminantes durante o resfriamento	Risco de crescimento microbiano e deterioração do produto final	8	4	6	192	Implementar procedimentos de higiene rigorosos e monitorar a contaminação microbiológica	17



24	Resfriamento e oxigenação	Oxigenação excessiva	Falta de controle no processo de oxigenação	Oxidação prematura da cerveja, sabor indesejado e redução da vida útil	7	5	5	175	Estabelecer procedimentos claros para a oxigenação e treinar a equipe adequadamente	24
25	Resfriamento e oxigenação	Contaminação microbiológica	Introdução de agentes contaminantes durante a oxigenação	Risco de crescimento microbiano e deterioração do produto final	8	4	6	192	Implementar procedimentos de higiene rigorosos e monitorar a contaminação microbiológica	17
26	Resfriamento e oxigenação	Contaminação microbiológica	Utilização de equipamentos ou tubulações contaminadas	Risco de contaminação e deterioração da qualidade da cerveja	8	4	6	192	Realizar limpeza e desinfecção adequadas dos equipamentos e tubulações	17
27	Fermentação	Controle inadequado da temperatura	Levedurar fora de sua faixa ótima de temperatura	Sabor alcoólico acentuado	8	6	6	288	Calibrar e monitorar regularmente os controladores de temperatura	1
28	Fermentação	Produção de ésteres indesejados	Dosagem e/ou qualidade inadequada do fermento	Produção de sabores e aromas indesejados na cerveja	6	5	5	150	Melhor controle no cálculo da quantidade de fermento e análise da fermento antes da reutilização	34

29	Fermentação	Produção de diacetil	Controle inadequado da temperatura durante a fermentação	Produção de sabores de manteiga ou caramelo na cerveja	8	5	5	200	Calibrar e monitorar regularmente os controladores de temperatura	13
30	Fermentação	Contaminação microbiológica	Utilização de leveduras contaminadas	Fermentação inadequada, alterações nas características sensoriais	8	5	6	240	Implementar práticas de propagação e armazenamento de leveduras adequadas	4
31	Fermentação	Alteração sensorial na cerveja e excesso de CO <sub>2</sub> no produto final	Fermentação interrompida	Maturação prematura pode levar a cerveja a continuar gerando CO <sub>2</sub> dentro da garrafa	6	4	4	96	Realizar testes sensoriais e análises de amostras para avaliar a prontidão da cerveja para envase	58
32	Fermentação	Problema nas borrachas do tanque de fermentação	Desgaste ou danos nas borrachas do tanque	Possibilidade de vazamento de ar ou contaminação durante a fermentação	6	4	4	96	Realizar inspeções regulares das borrachas do tanque e substituir aquelas danificadas ou desgastadas	58
33	Maturação	Controle inadequado da temperatura de maturação	Falha no sistema de controle de temperatura	Variações na atividade de maturação, produção de sabores indesejados	8	5	5	200	Calibrar e monitorar regularmente os controladores de temperatura	13

34	Maturação	Contaminação microbiológica durante a maturação	Introdução de agentes contaminantes durante a maturação	Crescimento microbiano indesejado, alterações na qualidade da cerveja	5	5	5	125	Implementar procedimentos de higiene rigorosos e monitorar a contaminação microbiológica	45
35	Maturação	Formação de off-flavors durante a maturação	Contaminação cruzada de sabores durante a maturação	Alterações nos sabores da cerveja, perda de qualidade	5	5	5	125	Implementar procedimentos de limpeza rigorosos e evitar a mistura de diferentes estilos de cerveja durante a maturação	45
36	Maturação	Turbidez durante a maturação	Tempo de maturação inadequado	Presença de sedimentos indesejados na cerveja	6	5	5	150	Monitorar e controlar o tempo de maturação de acordo com as especificações do estilo de cerveja	34
37	Maturação	Turbidez durante a maturação	Utilização de agentes clarificantes inadequados	Formação excessiva de sedimentos, perda de clareza	7	5	5	175	Selecionar agentes clarificantes apropriados para cada estilo de cerveja e seguir as dosagens recomendadas	24
38	Maturação	Tempo de maturação inadequado modificando o produto final esperado	Tempo de maturação muito curto	Falta de desenvolvimento adequado de sabores e aromas	7	4	4	112	Definir tempos de maturação específicos para cada estilo de cerveja e monitorar o processo	50

39	Maturação	Tempo de maturação inadequado modificando o produto final esperado	Tempo de maturação muito longo	Possível oxidação da cerveja, deterioração de sabores frescos	7	4	4	112	Definir tempos de maturação específicos para cada estilo de cerveja e monitorar o processo	50
40	Armazenamento	Contaminação microbiológica durante o armazenamento	Falha na limpeza e sanitização dos tanques (ou barris) de armazenamento	Crescimento microbiano, deterioração da qualidade da cerveja	8	4	6	192	Implementar procedimentos de limpeza e sanitização rigorosos e regulares	17
41	Armazenamento	Contaminação microbiológica durante o armazenamento	Contaminação devido à falta de vedação adequada dos recipientes	Introdução de oxigênio ou contaminação microbiológica	7	4	5	140	Verificar a vedação dos recipientes e substituir aqueles com problemas	42
42	Armazenamento	Oxidação da cerveja durante o armazenamento	Exposição excessiva ao oxigênio	Deterioração de sabores e aromas, perda de qualidade	6	5	6	180	Implementar medidas para minimizar a exposição ao oxigênio, como uso de equipamentos de transferência herméticos e análise de conteúdo de oxigênio	23

43	Armazenamento	Oxidação da cerveja durante o armazenamento	Armazenamento inadequado em condições de temperatura e luz	Deterioração de sabores e aromas, perda de qualidade	8	5	5	200	Implementar um sistema de controle de temperatura e armazenar a cerveja em local escuro	13
44	CIP	Ineficiência na remoção de resíduos	Dosagem incorreta dos produtos químicos de limpeza	Resíduos não removidos adequadamente, contaminação microbiológica	9	5	6	270	Calibrar as dosagens dos produtos químicos de limpeza e seguir as instruções do fabricante	2
45	CIP	Ineficiência na remoção de resíduos	Tempo de circulação insuficiente	Resíduos não removidos adequadamente, contaminação microbiológica	8	5	6	240	Estabelecer tempos de circulação adequados para cada parte do equipamento e monitorar a execução	4
46	CIP	Remanescentes de soda cáustica após o enxágue	Enxágue insuficiente dos equipamentos	Resíduos de soda cáustica nos equipamentos, risco de contaminação	7	4	4	112	Realizar enxágues completos e eficientes após a limpeza com soda cáustica, realizar testes.	50
47	CIP	Diminuição da pressão da bomba	Limpeza ineficiente	Resíduos não removidos adequadamente, contaminação microbiológica	7	4	6	168		28

48	Bombas	Vazamento na vedação da bomba	Desgaste da vedação devido ao uso contínuo	Vazamento de fluidos, risco de contaminação e perda de produto	6	4	4	96	Implementar rotinas de inspeção e manutenção preventiva das vedações da bomba. Substituir vedação quando necessário	58
49	Bombas	Quebra do eixo da bomba	Desgaste do material do eixo devido a altas cargas	Parada do processo	5	4	4	80	Realizar inspeção regular dos eixos e substituir quando necessário. Monitorar as cargas e evitar sobrecarregar a bomba	63
50	Bombas	Quebra do eixo da bomba	Mau alinhamento da bomba	Desgaste prematuro do eixo e rolamentos, aumento do atrito	5	4	4	80	Realizar o correto alinhamento da bomba conforme as especificações do fabricante	63
51	Bombas	Bloqueio ou obstrução na entrada/saída da bomba	Acúmulo de detritos ou sujeira no sistema	Redução do fluxo, aumento da pressão, falha no bombeamento	5	4	4	80	Implementar filtros adequados para evitar a entrada de partículas indesejadas. Realizar limpeza e manutenção regular dos filtros	63

52	Valvulas	Vazamento na vedação da válvula	Desgaste da vedação devido ao uso contínuo	Vazamento de fluidos, risco de contaminação e perda de produto	5	5	4	100	Implementar rotinas de inspeção e manutenção preventiva das vedações das válvulas. Substituir vedação quando necessário	55
53	Valvulas	Mau funcionamento do atuador	Falha mecânica ou elétrica do atuador	Falha no controle do fluxo, mau funcionamento do sistema	6	5	5	150	Realizar inspeção e teste regular do atuador. Substituir ou reparar quando necessário	34
54	Valvulas	Bloqueio ou obstrução na passagem da válvula	Acúmulo de sujeira no sistema	Restrição do fluxo, aumento da pressão, contaminação	5	4	4	80	Implementar filtros adequados para evitar a entrada de partículas indesejadas. Realizar limpeza e manutenção regular.	63
55	Valvulas	Válvula presa ou com movimento "duro"	Acúmulo de sedimentos ou corrosão interna	Mau controle do fluxo, atraso no processo	5	4	4	80	Implementar rotinas de limpeza e manutenção preventiva das válvulas. Lubrificar quando necessário	63

56	Motores	Sobreaquecimento do motor	Operação acima da capacidade do motor	Parada do motor, risco de danos permanentes	6	5	5	150	Verificar regularmente o sistema de refrigeração e realizar manutenção preventiva. Limpar radiadores e trocar fluidos de refrigeração quando necessário	34
57	Motores	Desgaste dos rolamentos	Lubrificação inadequada ou uso contínuo	Ruídos anormais, falha no motor	7	5	4	140	Implementar rotinas de lubrificação adequada e inspeção regular dos rolamentos. Substituir rolamentos desgastados	42
58	Motores	Queima do motor devido a sobrecarga	Operação acima da capacidade do motor	Parada do motor, atraso ou perda de produção	4	5	4	80	Verificar a capacidade do motor em relação à carga. Evitar operações acima da capacidade especificada	63
59	Motores	Falha elétrica no motor	Problemas no fornecimento de energia elétrica	Parada do motor, atraso ou perda de produção	5	5	4	100	Implementar proteção contra sobretensão e sobrecorrente. Verificar conexões elétricas regularmente	55



60	Mangueiras	Vazamento na conexão da mangueira	Desgaste da vedação ou conexão solta	Vazamento de fluidos, risco de contaminação e perda de produto	5	4	4	80	Verificar regularmente as conexões das mangueiras. Substituir a vedação desgastada ou conexões danificadas	63
61	Mangueiras	Danos na superfície externa da mangueira	Impactos físicos, abrasão	Redução da resistência, possibilidade de vazamento risco de ruptura	4	5	4	80	Evitar arrastar mangueiras no chão ou contra superfícies ásperas. Utilizar protetores de mangueira em áreas de maior risco. Substituir mangueiras danificadas	63
62	Mangueiras	Obstrução ou bloqueio interno da mangueira	Acúmulo de resíduos, sujeira ou detritos	Restrição do fluxo, falha no transporte, contaminação do produto	4	4	4	64	Implementar rotinas de limpeza e inspeção regular das mangueiras. Utilizar filtros adequados no sistema. Substituir mangueiras obstruídas	75

63	Mangueiras	Falha no revestimento interno da mangueira	Desgaste químico, corrosão	Contaminação do produto, falha na transferência, vazamento	8	5	6	240	Utilizar mangueiras resistentes aos produtos químicos utilizados. Inspeção regular para identificar desgaste ou danos. Substituir mangueiras danificadas	4
64	Mangueiras	Falha na resistência à pressão da mangueira	Excesso de pressão, desgaste estrutural	Risco vazamento, falha no transporte	6	5	4	120	Verificar a classificação de pressão adequada para as mangueiras utilizadas. Substituir mangueiras danificadas ou inadequadas	49
65	Mangueiras	Degradação devido à exposição prolongada ao sol	Radiação solar	Ressecamento, rachaduras, redução da resistência	5	4	4	80	Armazenar as mangueiras em local protegido da exposição direta ao sol quando não estiverem em uso. Utilizar mangueiras com proteção UV ou aplicar revestimento protetor. Substituir mangueiras danificadas ou desgastadas pela exposição ao sol	63

66	Unidade de refrigeração	Falha no compressor	Desgaste mecânico, sobrecarga elétrica	Parada da refrigeração, perda de temperatura controlada, impacto na qualidade do produto	6	4	4	96	Realizar manutenção preventiva periódica no compressor. Monitorar corretamente a carga elétrica e evitar sobrecargas. Ter um compressor reserva disponível.	58
67	Unidade de refrigeração	Vazamento de refrigerante	Desgaste das conexões, danos nas tubulações	Perda de eficiência na refrigeração, impacto na qualidade do produto, risco de contaminação	4	5	4	80	Realizar inspeções regulares para identificar vazamentos. Realizar manutenção corretiva imediata em caso de vazamentos. Utilizar materiais de vedação de qualidade.	63
68	Unidade de refrigeração	Falha do sistema de controle de temperatura	Defeito no termostato, mau funcionamento do sensor	Variação da temperatura, perda de controle, impacto na qualidade do produto	7	5	6	210	Verificar e calibrar regularmente os sensores e termostatos.	7
69	Unidade de refrigeração	Bloqueio ou obstrução do fluxo de ar	Acúmulo de sujeira, filtro de ar obstruído	Redução da eficiência de resfriamento, aumento do consumo de energia, perda de temperatura controlada	5	4	4	80	Realizar limpeza e substituição regular dos filtros de ar. Manter a área ao redor da unidade de refrigeração limpa.	63

70	Unidade de refrigeração	Falha do ventilador de refrigeração	Desgaste dos rolamentos, falha do motor	Superaquecimento do sistema, interrupção da refrigeração, falha no controle de temperatura	5	5	5	125	Realizar manutenção preventiva periódica nos ventiladores. Verificar regularmente os rolamentos e o motor. Ter um ventilador reserva disponível	45
71	Caldeiras	Superaquecimento da caldeira	Falha no controle de pressão, mau funcionamento do manômetro	Risco de explosão, danos à caldeira, perigo para a equipe	8	4	6	192	Realizar manutenção preventiva regular nos controles de temperatura. Verificar e calibrar os termostatos com frequência. Monitorar constantemente a temperatura da caldeira. Ter um sistema de segurança adequado para evitar o superaquecimento	17
72	Caldeiras	Vazamento de água	Desgaste de juntas, conexões soltas	Risco de danos à estrutura da caldeira, perda de eficiência, perigo para a equipe	8	4	5	160	Realizar inspeções regulares nas juntas e conexões. Apertar ou substituir as conexões soltas.	32

73	Caldeiras	Acúmulo de sedimentos e incrustações	Falta de limpeza, qualidade da água inadequada	Redução da eficiência térmica, aumento do consumo de combustível, danos à caldeira	6	5	5	150	Realizar limpeza regular e manutenção da caldeira de acordo com as recomendações do fabricante. Monitorar a qualidade da água de alimentação. Utilizar tratamentos químicos adequados.	34
74	Caldeiras	Pressão inadequada da água de alimentação	Problemas de alimentação, desgaste das bombas	Baixa eficiência da caldeira, baixa produção de vapor, interrupção do processo	8	5	5	200	Verificar regularmente a pressão da água de alimentação. Realizar manutenção preventiva nas bombas de alimentação. Monitorar o desempenho das bombas.	13
75	Caldeiras	Falha no queimador	Problemas de ignição, combustível inadequado	Baixa eficiência de combustão, baixa produção de vapor, interrupção do processo	8	4	5	160	Realizar manutenção regular no queimador. Verificar e calibrar o sistema de ignição.	32

Fonte: A autora e o cervejeiro, 2023

## APÊNDICE D - DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Equipamento	
<p>Termostatos NTC geralmente se referem a termostatos que usam um termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) como sensor de temperatura. Os termistores NTC têm uma resistência que diminui à medida que a temperatura aumenta. Eles são frequentemente usados em aplicações de controle de temperatura.</p>	
<p>Um pHmetro tipo caneta, ou de bolso, é um dispositivo portátil usado para medir o pH de uma solução líquida. Ele é chamado de "tipo caneta" devido ao seu tamanho e formato que se assemelham a uma caneta, tornando-o fácil de transportar e manusear. Esses dispositivos são projetados para medição rápida e precisa do pH em uma variedade de aplicações, como laboratórios, indústria alimentícia, aquários, piscinas, agricultura etc.</p>	
<p>Uma válvula borboleta é um tipo de válvula utilizada para controlar o fluxo de fluidos em uma tubulação. Ela recebe esse nome devido à sua semelhança com uma borboleta com asas abertas quando vista de perfil. A válvula borboleta consiste em um disco plano ou cônico montado em um eixo no centro da tubulação. Quando o disco está alinhado com o fluxo, a válvula está completamente aberta, permitindo um fluxo máximo. Quando o disco é girado em um ângulo de 90 graus, ele bloqueia completamente o fluxo, fechando a válvula. A principal vantagem das válvulas borboletas é sua capacidade de controlar o fluxo com rapidez e eficiência. Elas são frequentemente usadas em aplicações industriais e comerciais onde é necessário controlar o fluxo de líquidos ou gases.</p>	

Um trocador de calor de placas paralelas é um dispositivo utilizado para transferir calor entre dois fluidos, geralmente líquidos, de forma eficiente. Ele é composto por uma série de placas metálicas paralelas empilhadas, com canais entre as placas por onde os fluidos circulam. A transferência de calor ocorre através das placas, permitindo que os fluidos troquem energia térmica sem se misturarem.



As vedações são componentes essenciais em uma variedade de aplicações industriais. Elas desempenham um papel crucial na prevenção de vazamentos, no isolamento de ambientes e na contenção de fluidos.



Uma bomba centrífuga é um dispositivo mecânico amplamente utilizado na engenharia para transferir líquidos ou fluidos de um local para outro. As bombas centrífugas operam com base no princípio fundamental da força centrífuga, que é habilmente aplicado em seu funcionamento. Um impulsor rotativo, constituído por pás, gira em alta velocidade, induzindo a ação da força centrífuga no fluido. Essa força desloca o fluido para fora do centro do impulsor, gerando uma pressão de saída, impulsionando assim o fluido através do sistema.

