



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

NATHÁLIA FARIAS SANTOS DE MORAES

**OTIMIZAÇÃO DO CICLO MÉDIO DE FILTRAÇÃO EMPREGANDO
METODOLOGIA PDCA EM PROCESSO CERVEJEIRO**

Recife-PE
2022

NATHÁLIA FARIAS SANTOS DE MORAES

**OTIMIZAÇÃO DO CICLO MÉDIO DE FILTRAÇÃO EMPREGANDO
METODOLOGIA PDCA EM PROCESSO CERVEJEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Química da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial à obtenção do grau
de bacharel em Engenharia Química

.

Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Daniella Carla
Napoleão

Recife
2022

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

Moraes, Nathália Farias Santos de.

Otimização do ciclo médio de filtração empregando metodologia PDCA em
processo cervejeiro / Nathália Farias Santos de Moraes. - Recife, 2022.
63 : il., tab.

Orientador(a): Daniella Carla Napoleão

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química -
Bacharelado, 2022.

Inclui referências, apêndices.

1. Cerveja. 2. Ciclo PDCA. 3. Ferramentas da qualidade. 4. Gestão da
qualidade. 5. Filtração. I. Napoleão, Daniella Carla. (Orientação). II. Título.

660 CDD (22.ed.)

“A academia não é um paraíso, mas o
aprendizado é um lugar onde o paraíso
pode ser criado”

AGRADECIMENTOS

"Quem tem um amigo tem tudo". A frase já se tornou tão sedimentada, que se torna difícil referenciar de fato quem primeiro falou a máxima que hoje reproduzimos. Na bíblia, em Eclesiástico 6:14-17, se encontra uma frase parecida "quem tem um amigo, descobriu um tesouro", talvez a frase documentada mais antiga que afirma o que hoje já sabemos: quem tem um amigo tem tudo. Dessa forma, não posso deixar de agradecer aos meus amigos.

Aos meus primeiros amigos, meus pais Marcelo Moraes e Edna Moraes, sem os quais eu não estaria aqui hoje. Por sempre me ensinarem que estudar é o caminho para todas as coisas. Por me darem os primeiros passos, as primeiras palavras, por acompanharem as primeiras leituras e por desde então nunca deixarem de garantir que a minha educação é prioridade. À minha melhor amiga, minha irmã Juliana Moraes. Por ser minha estrela guia, por desbravar o vestibular, a universidade pública e a engenharia antes de mim e me mostrar o caminho, por me inspirar todos os dias a ser melhor, por ser a pessoa com quem eu contei em todos os anos de graduação. Ao meu melhor amigo, João Cunha, com quem dividi noites incansáveis de escrita do TCC, quem me apoiou e incentivou em cada momento e sem o qual esse trabalho não estaria aqui.

Também aos meus amigos que a vida e o DEQ trouxeram e sem os quais a graduação seria um caminho mais cinza. Emicida coloca em uma de suas músicas "Quem tem um amigo tem tudo, é tão dez que junto todo estresse é miúdo". Dennys Santana, Bianca Nascimento, Lucas Amorim, Laura Nóbrega, Eric Hayato e todos os outros. Vocês deixaram tudo mais leve, até as lágrimas derramadas, os suplementos de ferro consumidos, as noites de sono mal dormidas, os cabelos que eu perdi no DEQ. Sem vocês o estresse seria bem menos miúdo.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos acadêmicos. À Prof.^a Daniella Napoleão, que me ensinou a escrita acadêmica, por me orientar e acompanhar. Aos demais amigos do LEAQ, Rayany Santana e Rayssa Gomes, vocês fizeram parte de umas das maiores experiências da graduação.

Por fim, a todos os amigos profissionais da empresa na qual o estágio foi realizado, em especial à Flávia Picolotto, Priscila Palmeira, Sérgio Gonzaga e toda a galera da operação (Luiz, Pedro, Leandro, Humberto e tantos outros) por me introduzirem ao mundo da cerveja e por todos os direcionamentos. Sem vocês esse trabalho não existiria e nem a profissional que está se formando.

RESUMO

A cerveja é uma das bebidas mais populares do mundo. O crescente consumo, associado ao aumento da exigência dos consumidores, têm impulsionado as indústrias produtoras na busca por excelência e melhoria contínua. Nesse contexto, a gestão da qualidade total se faz necessária, permitindo a resolução de problemas complexos e a otimização de indicadores associados a custo e produtividade. Diante do exposto, o presente trabalho descreveu as atividades desenvolvidas em uma cervejaria de grande porte localizada no estado de Pernambuco, na área de processo produtivo. Um dos principais indicadores de produtividade da área é o ciclo médio de filtração de cervejas, que indica o volume de cerveja filtrada antes da necessidade de encerrar a filtração por pressão elevada no filtro de terra infusória. Esse volume sofreu uma redução no início do ano de 2022, marcando a necessidade de investigação e resolução do problema. Sendo assim, a metodologia PDCA foi empregada, visando analisar os dados, encontrar a causa raiz do problema, desenvolver um plano de ação e avaliar os resultados posteriores à sua implementação. Na etapa de planejamento do ciclo, um diagrama de causa e efeito foi empregado, com o objetivo de avaliar as possíveis causas para o efeito observado. Associada a essa ferramenta, foi utilizado um *brainstorming* para facilitar o levantamento dessas causas. Em seguida, uma matriz de priorização GUT foi empregada para priorizar as causas fundamentais, aquelas que seriam solucionadas com maior rapidez. Nessa etapa, foi definida a causa de maior prioridade a relacionada a problemas no filtro de terra infusória empregado no processo de filtração, acarretando na redução da eficiência do processo. Assim, foi desenvolvido um plano de ação corretivo, com o auxílio da metodologia 5W2H, que lista em uma tabela a ação que será executada, o porquê de sua execução, por quem será realizada, o prazo e o local, assim como a metodologia empregada e o custo associado àquele plano. Já na etapa de execução, o plano de ação proposto foi implementado e alguns problemas encontrados foram aprofundados através da ferramenta de “5 porquês”. Nessa etapa foi possível verificar que havia a presença das velas filtrantes defeituosas no filtro de terra infusória, devido à troca da bomba de dosagem de pré-camada por uma de potência superior à suportada pelo filtro, sem avaliação prévia dos riscos associados. Essas velas foram trocadas e a eficiência do filtro foi restabelecida. Na etapa de checagem, foram levantados os dados para o ciclo médio de filtração na cervejaria em estudo após a implementação do projeto, sendo verificada uma melhoria de 75% no valor do ciclo médio de filtração, comprovando a eficiência da metodologia empregada. Por fim, foi realizada a padronização das ações eficazes e foram propostas ações para o futuro, de forma a garantir a melhoria contínua do indicador e do processo de filtração.

Palavras-chave: Cerveja. Ciclo PDCA. Filtração. Ferramentas da qualidade. Gestão da qualidade.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Classificação da cerveja segundo diferentes critérios	19
Tabela 2:	Ciclo médio de filtração de janeiro a junho de 2022	40
Tabela 3:	Critérios de priorização empregados para a construção da matriz GUT.....	47
Tabela 4:	Matriz de priorização GUT.....	48
Tabela 5:	Plano de ação para as causas fundamentais relacionadas à redução do ciclo de filtração	50
Tabela 6:	Ciclo médio de filtração de janeiro a agosto de 2022	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Caracterização de diferentes escolas cervejeiras	20
Quadro 2:	Principais causas levantadas para a redução do ciclo de filtração, conforme diagrama de causa e efeito	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Dados do setor cervejeiro no Brasil.....	12
Figura 2:	Principais componentes da cerveja.....	18
Figura 3:	Fluxograma simplificado do processo produtivo de cervejas.....	22
Figura 4:	Etapas envolvidas na fabricação do mosto cervejeiro.....	23
Figura 5:	Etapas envolvidas nos processos de fermentação e maturação das cervejas.....	25
Figura 6:	Etapas finais de produção da cerveja, com destaque para a filtração.....	27
Figura 7:	Mecanismos de filtração (a) de superfície e (b) de profundidade..	28
Figura 8:	Microscopia eletrônica (1000x) da terra diatomácea (a) fina e (b) grossa.....	29
Figura 9:	Diagrama da primeira e segunda pré-camadas numa vela filtrante.....	30
Figura 10:	Velas filtrantes (a) com visão externa e com cortes e (b) em seção.....	31
Figura 11:	Filtro de velas e seus elementos.....	32
Figura 12:	Formação da pré-camada em um filtro de velas: a) início, b) formação de pré-camada, c) circulação em circuito fechado.....	33
Figura 13:	Processo de filtração em um filtro de velas: a) início, b) filtração, c) fim da filtração.....	42
Figura 14:	Processo de limpeza em um filtro de velas: a) retirada da torta filtrante, b) lavagem do filtro e c) esterilização do filtro.....	43
Figura 15:	Fluxograma de blocos (BFD) do processo produtivo de cerveja na fábrica em estudo.....	44
Figura 16:	Fluxograma do processo de filtração de cerveja na fábrica em estudo.....	45
Figura 17:	Esquema de dosagem de terra infusória no filtro KG.....	46
Figura 18:	Diagrama de causa e efeito para a redução no ciclo de filtração..	54
Figura 19:	Análise dos “5 porquês” para a redução do ciclo de filtração.....	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. CERVEJA: ASPECTOS GERAIS.....	13
2.2. MATÉRIAS-PRIMAS	15
2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS CERVEJAS.....	17
2.4. PROCESSO PRODUTIVO.....	19
2.4.1. <i>Fabricação do mosto</i>	20
2.4.2. <i>Fermentação e maturação</i>	23
2.4.3. <i>Filtração de cervejas</i>	25
2.5. GESTÃO DE QUALIDADE.....	33
3. METODOLOGIA	36
3.1. CENÁRIO ANTERIOR.....	36
3.2. PLANEJAMENTO: ANÁLISE DE DADOS.....	36
3.3. EXECUÇÃO DO PLANO DE AÇÃO.....	37
3.4. CHECAGEM: CENÁRIO POSTERIOR	37
3.5. REAÇÃO: PADRONIZAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE AÇÕES FUTURAS	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. CENÁRIO ANTERIOR.....	39
4.2. PLANEJAMENTO: ANÁLISE DE DADOS.....	40
4.3. EXECUÇÃO DO PLANO DE AÇÃO.....	50
4.4. CHECAGEM: CENÁRIO POSTERIOR	52
4.5. REAÇÃO: PADRONIZAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE AÇÕES FUTURAS	53
5. CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICES	59

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a cerveja é definida como uma bebida obtida através da fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, oriunda do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo (BRASIL, 2019). Sua produção remonta às civilizações mais antigas, onde a disponibilidade de grãos como a cevada e o trigo tornavam propício o desenvolvimento e consumo de tais bebidas (CAMPBELL, 2017). Desde então, os processos empregados para obtenção da cerveja vêm sendo aperfeiçoados, com o uso de novas tecnologias e formas de produção. Dessa forma, a cerveja se tornou uma das bebidas mais consumidas mundialmente, sendo o setor cervejeiro um dos mais relevantes da economia brasileira, com representação de cerca de 1,6% do produto interno bruto (PIB) e 14% da indústria de transformação nacional (BRASIL, 2021).

O processo de produção de cerveja é amplo e complexo, iniciando com a fabricação do mosto cervejeiro, que então é fermentado e maturado; passando por uma etapa final de filtração. Na primeira etapa, o mosto é obtido pela combinação entre malte moído e água em condições controladas de temperatura e pH, sendo o objetivo transformar o amido presente nos grãos em açúcares fermentescíveis e não-fermentescíveis por vias enzimáticas. Na mosturação podem ser utilizados diferentes maltes, adjuntos, sais e enzimas, sendo obtido no final desta etapa do processo o mosto contendo açúcares e outros sólidos dissolvidos (KUNZE, 2006). Após a obtenção do mosto com a composição e temperatura desejadas, se inicia o processo de fermentação, na qual as leveduras dosadas nos tanques fermentadores utilizam os açúcares do próprio mosto como fonte de nutrientes. Assim, são produzidos etanol e diversos subprodutos que conferem as características organolépticas da bebida, como álcoois superiores, ácidos orgânicos e ésteres (MORADO, 2009).

Ao final do processo de fermentação, recolhimento do fermento utilizado e resfriamento da cerveja, segue-se para a etapa de maturação. Em muitos casos, a cerveja passa por um processo de centrifugação entre a fermentação e a maturação para garantir a remoção das células e outros componentes ainda em suspensão. Na maturação, é necessário que ocorra o efeito de *chill haze*, para que haja formação de complexos entre proteínas e polifenóis presentes na bebida a temperaturas baixas, que resultam no aumento da turbidez da bebida. Essas partículas devem ser removidas da bebida através da etapa de filtração (BAMFORTH, 2017).

A filtração das cervejas é uma etapa fundamental no processo cervejeiro, visando garantir, dentre outros fatores, uma cerveja brilhante, isto é, livre de partículas causadoras de turbidez, além de estabilidade coloidal e microbiológica (FREEMAN; MCKECHNIE, 2003). Para tal, são empregadas diferentes tecnologias, além de materiais considerados auxiliares de filtração. Um exemplo destes últimos é a terra infusória, ou terra diatomácea, que remove partículas tais como células em suspensão e partículas turvantes através dos fenômenos de absorção e peneiramento (TROMMER, 2011). Nos casos de filtração com terra diatomácea, o processo é regido pelo diferencial de pressão no filtro. Conforme a cerveja é filtrada, os sólidos ali presentes ficam retidos na camada filtrante, aumentando sua espessura e diminuindo sua porosidade. Como consequência tem-se uma elevação do diferencial até certo ponto, onde se faz necessário remover a camada e encerrar a filtração (REED, 1986). Ao volume de cerveja filtrada em uma mesma batelada, isto é, antes da necessidade de remover e renovar a camada filtrante, dá-se o nome de ciclo de filtração (CF). Após filtrada, a cerveja é diluída e carbonatada e está pronta para o envase e distribuição (BAMFORTH, 2017).

Por se tratar de um processo complexo, no qual fazem parte diversas etapas e variáveis, cada vez mais ferramentas de gestão da qualidade são implementadas no contexto industrial, garantindo-se assim a otimização da performance dos processos, buscando uma produção livre de defeitos, com um menor custo de produção e maior eficiência (MARTÍNEZ-COSTA; JIMÉNEZ-JIMÉNEZ; 2009). O sistema de gestão da qualidade total assume então um papel fundamental, uma vez que norteia o controle do processo em cada etapa, visando garantir a qualidade como um todo. Nesse contexto, diferentes metodologias e ferramentas são empregadas, auxiliando nas investigações de causas, proposição e execução de ações corretivas e preventivas, conduzindo assim à resolução de problemas de média a elevada complexidade e à melhoria contínua nos processos produtivos (CARPINETTI, 2012).

Diante do exposto, esse trabalho teve como objetivo investigar o ciclo médio de filtração de cerveja com terra infusória em uma cervejaria de grande porte e otimizar os resultados desse indicador, bem como os demais indicadores do processo, através do emprego da metodologia PDCA. O estudo teve ainda como objetivos específicos:

- Avaliar os resultados anteriores para o indicador;

- Construir um fluxograma do processo de filtração empregado na cervejaria em estudo para melhorar a visualização do processo;
- Elaborar um diagrama de Ishikawa para levantar as causas possíveis para a redução do ciclo médio de filtração na cervejaria;
- Priorizar a(s) causa(s) fundamental(ais) através da construção de uma matriz de priorização do tipo GUT;
- Desenvolver e implementar um plano de ação corretivo e preventivo para resolução da causa priorizada com o auxílio da metodologia 5W2H;
- Verificar os resultados obtidos e realizar o levantamento de um plano de ação para o futuro;
- Padronizar as mudanças implementadas, encerrando assim o ciclo PDCA.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CERVEJA: ASPECTOS GERAIS

A cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, este último submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo. Para produção da bebida, o malte de cevada ou extrato de malte podem ser parcialmente substituídos por adjunto cervejeiro. (BRASIL, 2019). Vale salientar que a cerveja é uma bebida não destilada, cujo teor alcoólico pode variar de 0 a 14,9%, sendo que as mais consumidas apresentam uma faixa alcoólica de 4 a 5% (DIAS JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009).

Quanto a origem da bebida, ainda não é conhecido se a mesma surgiu em um único lugar de onde se espalhou mundialmente, ou se seu surgimento aconteceu simultaneamente em várias civilizações (POELMANS; SWINNEN, 2012). Entretanto, a civilização egípcia foi a primeira a documentar a produção de cerveja juntamente à Mesopotâmia, a cerca de 9000 a. C., quando esse produto era obtido a partir da fermentação natural de grãos de cevada e trigo em água (CAMPBELL, 2017). A fermentação espontânea dos grãos resultava em cervejas de elevado amargor, espessas e com resíduos.

A produção mais antiga de cerveja na Europa data de 3600 a.C (CABRAS; HIGGINS, 2016). O seu consumo e produção na Europa pode ser associado às civilizações antigas da Grécia e Roma. Nessas civilizações, a bebida era considerada de menor valor, muitas vezes associada aos povos pagãos e de classes sociais mais baixas (DESALLE; TATTERSALL, 2019).

Enquanto o vinho era a bebida mais popular nas partes mais frias da Europa, a cerveja se desenvolveu nas regiões mais quentes, no nordeste e leste do continente, ganhando espaço entre as populações celtas e germânicas (CABRAS; HIGGINS, 2016). A partir de 500 a.C, a bebida passou a ser produzida em diversos mosteiros localizados no nordeste europeu. Nesses locais, a cerveja era uma fonte de renda para os monges que produziam a bebida a partir dos cereais obtidos em períodos de colheita. Além disso, parte da sua popularização na Idade Média se deveu ao fato de que a água era bastante poluída, o que favorecia o consumo da cerveja (HORSNEY, 2003). Assim, os monges desenvolveram novas receitas, com

diferentes cereais e ervas, eventualmente empregando o lúpulo pela primeira vez (DESALLE; TATTERSALL, 2019).

A partir daí, marca-se o início da produção da cerveja moderna (BAMFORTH, 2017). O lúpulo, além de conferir o amargor, foi também fundamental para aumentar o tempo de vida da cerveja, por apresentar componentes naturais responsáveis por preservar a bebida (DESALLE; TATTERSALL, 2019). Assim, a partir desse momento, a cerveja podia ser armazenada e transportada, não mais havia a necessidade do seu consumo imediato.

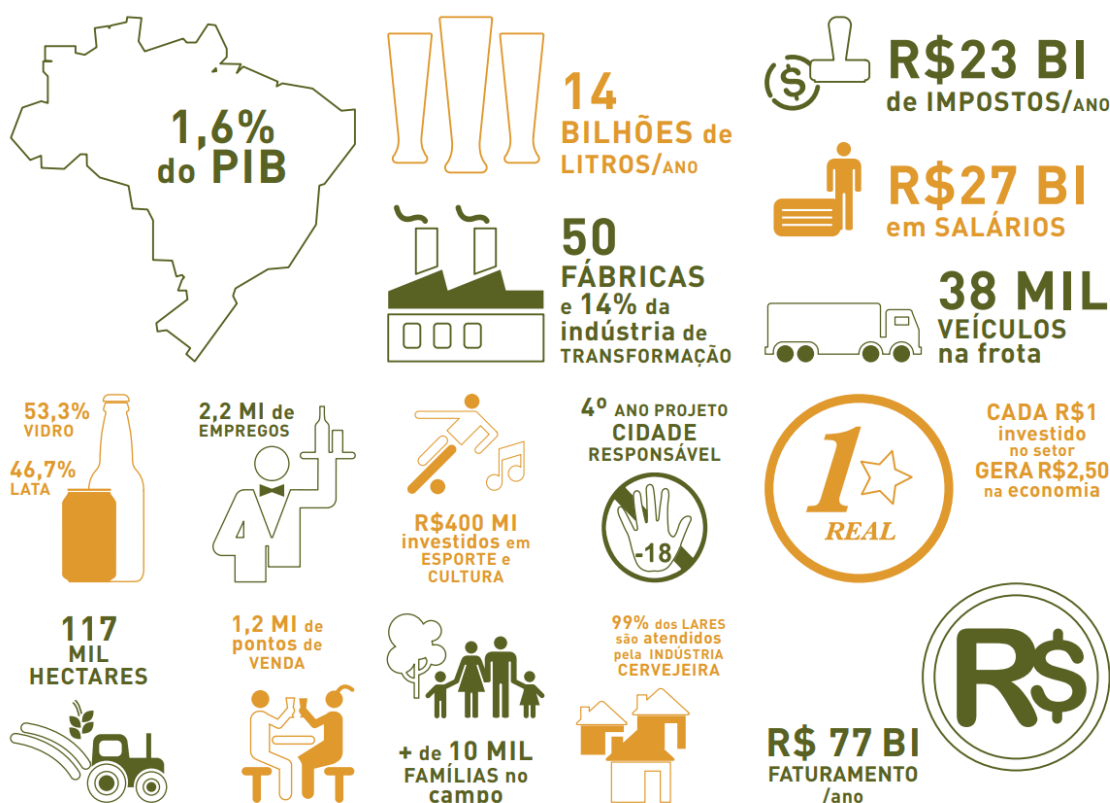
A partir do século XIX, o advento de novas tecnologias como o uso de refrigeração e o desenvolvimento de técnicas de pasteurização marcaram a produção da cerveja em larga escala (CABRAS; HIGGINS, 2016). A partir daí, as tecnologias de produção se desenvolveram, conduzindo ao controle dos tipos de fermentação, dos processos cervejeiros, ao emprego de diferentes culturas de leveduras, dentre outros fatores. A associação de princípios científicos à produção da cerveja se mostrou fundamental nesse processo, com o surgimento de instrumentos capazes de controlar as variáveis do processo, além do entendimento do processo de fermentação de forma aprofundada (MEUSSDOERFFER, 2009).

Diante de todos os avanços tecnológicos e científicos, no século XX a cerveja já era produzida e consumida largamente em todo o mundo. Atualmente, com a industrialização e o surgimento do mercado cervejeiro, a produção da bebida se expande cada vez mais (MEUSSDOERFFER, 2009).

No Brasil, a produção da cerveja remonta ao início do século XIX, com a chegada da família real portuguesa (MARTINS; PANDOLFI; COIMBRA, 2017). Essa produção se desenvolveu e ganhou relevância no mercado cervejeiro ao longo dos anos, sendo o Brasil atualmente o terceiro maior produtor de cervejas do mundo (MAPA, 2017). Alguns dados importantes quanto ao setor cervejeiro no país estão apresentados na Figura 1.

Figura 1: Dados do setor cervejeiro no Brasil.

CADEIA PRODUTIVA



Fonte: CERVBRASIL (2016).

Atualmente, como verificado na Figura 1, a produção de cervejas no país representa um importante setor econômico nacional. Essa produção se concentra em algumas cervejarias de maior porte, com destaque para a AmBev, que detém cerca de 68% de participação no mercado nacional, seguida do Grupo Petrópolis, Brasil Kirin e Grupo Heineken (MARCUSO, 2015). Sendo assim, é visível a relevância da bebida para o país, sendo importante, portanto, o maior entendimento de sua composição, classificação e processo produtivo.

2.2. MATÉRIAS-PRIMAS

A cerveja é oriunda da fermentação alcoólica do mosto cervejeiro obtido através do malte de cevada e água, por ação da levedura, com adição de lúpulo (BRASIL, 2009). Dessa forma, se identificam alguns ingredientes principais, sendo eles: a água, o malte, a levedura e o lúpulo (Figura 2). Além disso, outros componentes podem ser adicionados, como trigo, arroz, extrato de malte e caramelo (KUNZE, 2006).

Figura 2: Principais componentes da cerveja.



Fonte: Rosa; Afonso (2015).

Dessa forma, é importante o entendimento das particularidades de cada componente apresentado na Figura 2. Isto porque o uso adequado deles irá conduzir a um melhor produto.

A água é a matéria-prima de maior quantidade presente na cerveja, correspondendo a 90-95% do peso da bebida (ROSA; AFONSO, 2015). A água empregada no processo cervejeiro tem duas origens principais: rios e lagos naturais, ou aquíferos. A depender da origem, diferentes impurezas podem estar presente na água, como sólidos em suspensão ou dissolvidos, gases ou microrganismos. Sendo assim, a depender da origem, diferentes tratamentos são necessários para atingir a qualidade da água necessária para a produção da cerveja desejada (REINOLD, 1977). Vale salientar que as propriedades físico-químicas do elemento serão responsáveis por diferentes estilos de cerveja. Dentre os parâmetros controlados na água cervejeira, estão a turbidez, o pH e os padrões microbiológicos (GUIMARÃES, 2015).

Além da água, outra importante matéria-prima é o malte. Ele é o produto obtido através do processo de malteação, isto é, germinação e secagem do grão de cevada (BRASIL, 2009). Através desse processo o grão tem algumas características alteradas, como o teor proteico e o poder enzimático. Isso porque, as longas cadeias de aminoácidos contidas no interior do grão de cevada são quebradas em moléculas menores no processo de malteação. Além disso, ocorre a ativação de enzimas importantes para a produção da cerveja (ROSA; AFONSO, 2015). Dentre as enzimas

ativadas após a germinação da cevada, estão as α -amilases e β -amilases. Estas são responsáveis pela quebra do amido, gerando açúcares menores que podem ser consumidos no processo de fermentação (SILVA; POÇAS, 2016).

Em seguida, tem-se o lúpulo, que é a planta fêmea da espécie *Humulus lupulus*, cuja flor apresenta a glândulas de lupulina, que possuem em sua composição óleos essenciais e resinas que conferem à cerveja o aroma e amargor característico (ROSA; AFONSO, 2015). Além da contribuição às características organolépticas da bebida, o lúpulo também é responsável pela estabilização da bebida e da espuma (KARABÍN *et al.*, 2016).

Por fim, outra importante matéria-prima empregada são os adjuntos, que podem substituir o malte ou extrato de malte em até 45% em peso em relação ao extrato primitivo da bebida (BRASIL, 2019). Estes englobam a cevada cervejeira e demais grãos aptos ao consumo humano, malteados ou não, bem como os amidos ou açúcares de origem vegetal (BRASIL, 2009). Dentre os cereais mais empregados como adjuntos estão o arroz, o trigo e o milho (REBELLO, 2009).

Os adjuntos têm como características baixo poder enzimático, baixo teor proteico e pouca influência no sabor do produto final. Seu uso é justificado por diversos motivos, como menor custo em relação ao malte de cevada, maior disponibilidade, maior leveza no sabor da cerveja, obtenção de cervejas mais claras e a busca por sabores específicos (KROTTENTHALER *et al.*, 2009). Além disso, também permite o aumento da produção cervejeira em locais onde há cultivo insuficiente de cevada (MULLER; GUIMARÃES; GHESTI, 2021).

Apesar das diversas vantagens do emprego de adjuntos, o seu uso também requer algumas adaptações de processo. Panelas ou tanques específicos devem ser utilizados para realizar o cozimento desses adjuntos anteriormente à adição no mosto cervejeiro (MULLER; GUIMARÃES; GHESTI, 2021).

2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS CERVEJAS

Segundo o decreto nº 6871, de 4 de junho de 2009, que dispõe sobre a padronização, classificação, registro, fiscalização e produção de bebidas, a cerveja pode apresentar diferentes classificações a depender de sua composição (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação da cerveja segundo diferentes critérios.

Critério de classificação	Tipo	Descrição
Extrato primitivo (EP)	Leve	EP está entre 5% e 10,5% em peso
	Light	EP está entre 5% e 10,5% em peso; Valor energético é 25% menor que outra cerveja semelhante; Valor energético é inferior a 35 kcal para cada 100 mL.
	Comum	EP está entre 10,5% e 12% em peso
	Extra	EP está entre 12% e 14% em peso
	Forte	EP é superior a 14% em peso
Cor	Clara	Cor é inferior a 20 EBC
	Escura	Cor é superior ou igual a 20 EBC
	Colorida	Cor não está no padrão EBC
Teor alcoólico	Sem álcool	Teor alcoólico é menor ou igual a 0,5% (v/v)
	Com álcool	Teor alcoólico é superior a 0,5% (v/v)
Proporção de malte de cevada	Puro malte	Proporção de 100% de malte de cevada em peso como fonte de açúcares
	Cerveja	Proporção maior ou igual a 55% de malte de cevada em peso como fonte de açúcares
	“Cerveja de...”	Proporção entre 20% e 55% de malte de cevada em peso como fonte de açúcares
Quanto à fermentação	Baixa fermentação	Cervejas do tipo <i>Lager</i> , cujas leveduras decantam após fermentação
	Alta fermentação	Cervejas do tipo <i>Ale</i> , cujas leveduras ficam sobrenadantes após a fermentação

EP: extrato primitivo; EBC: *European Brewery Convention*.

Fonte: Adaptado de Brasil (2009).

Além das classificações expostas na Tabela 1, as cervejas também são conhecidas mundialmente segundo as escolas nas quais foram fundadas. As escolas cervejeiras são regiões que produzem cerveja há longos períodos, cujo estilo influencia a produção de cerveja em todo mundo. Essas escolas estão intimamente relacionadas com as características históricas, culturais e sociais de cada região (ROTOLO, 2022). Cada escola cervejeira vai apresentar características singulares quanto à técnica de produção, características sensoriais, cor, aroma e outros pontos (OLIVER, 2020). O Quadro 1 expõe algumas características de cada escola cervejeira.

Quadro 1: Caracterização de diferentes escolas cervejeiras.

Escola	Características sensoriais
Inglesa	Cervejas de alta fermentação (<i>A/e</i>) Coloração acentuada, do dourado ao negro profundo Uso de maltes torrados e lúpulos resinosos e terrosos Balanço entre malte e lúpulo
Alemã	Cervejas de baixa fermentação (<i>Lager</i>) Coloração do amarelo palha ao negro profundo Malte <i>pilsen</i> , malte caramelo, malte de trigo e malte torrado e lúpulos florais Presença marcante do malte e caráter limpo de levedura <i>lager</i>
Belga	Cervejas de alta fermentação (<i>A/e</i>) Envelhecidas em barris de madeira Baixa presença de lúpulo Emprego de adjuntos e especiarias Presença marcante da levedura
Americana	Cervejas de alta fermentação (<i>A/e</i>) ou híbridas Lúpulos americanos, frutados ou cítricos Presença forte de lúpulo e mediana de leveduras

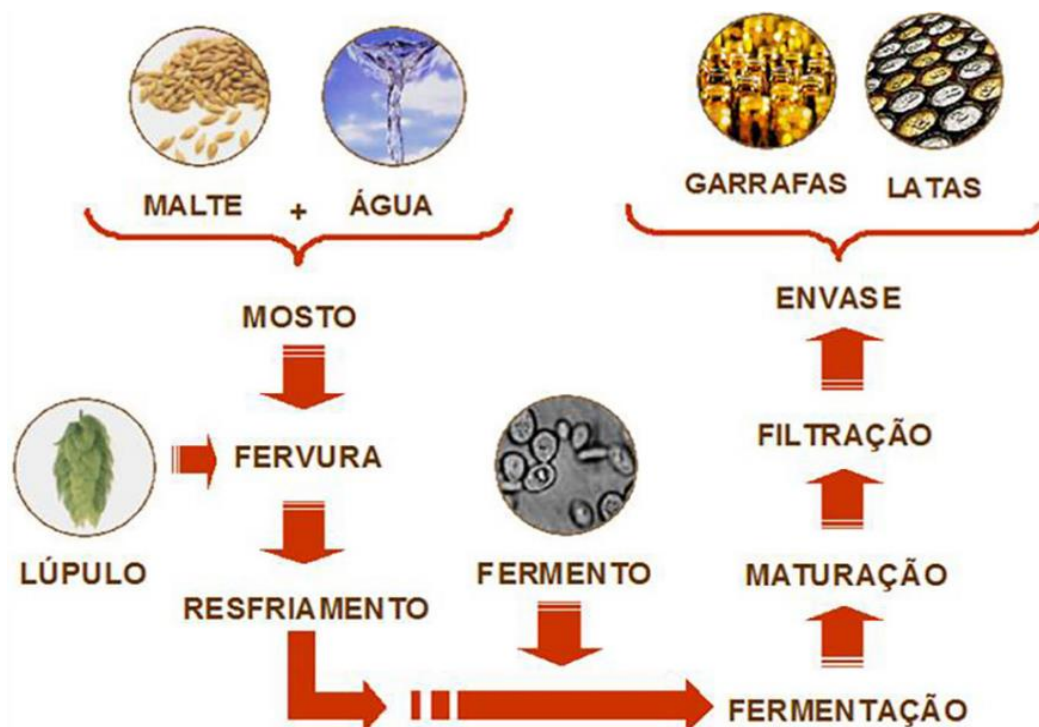
Fonte: Adaptado de Rotolo (2022).

Além das escolas clássicas apresentadas no Quadro 1, diversas outras escolas emergentes começam a se destacar na produção cervejeira. Isto confirma a crescente popularização do produto no mundo (ROTOLO, 2022).

2.4. PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo de cervejas em larga escala é realizado tendo como base quatro etapas principais: preparo do mosto, fermentação/maturação, filtração e envase. A Figura 3 apresenta o fluxograma simplificado do processo produtivo de cervejas, com destaque para as matérias-primas primárias e secundárias empregadas nesse processo.

Figura 3: Fluxograma simplificado do processo produtivo de cervejas.



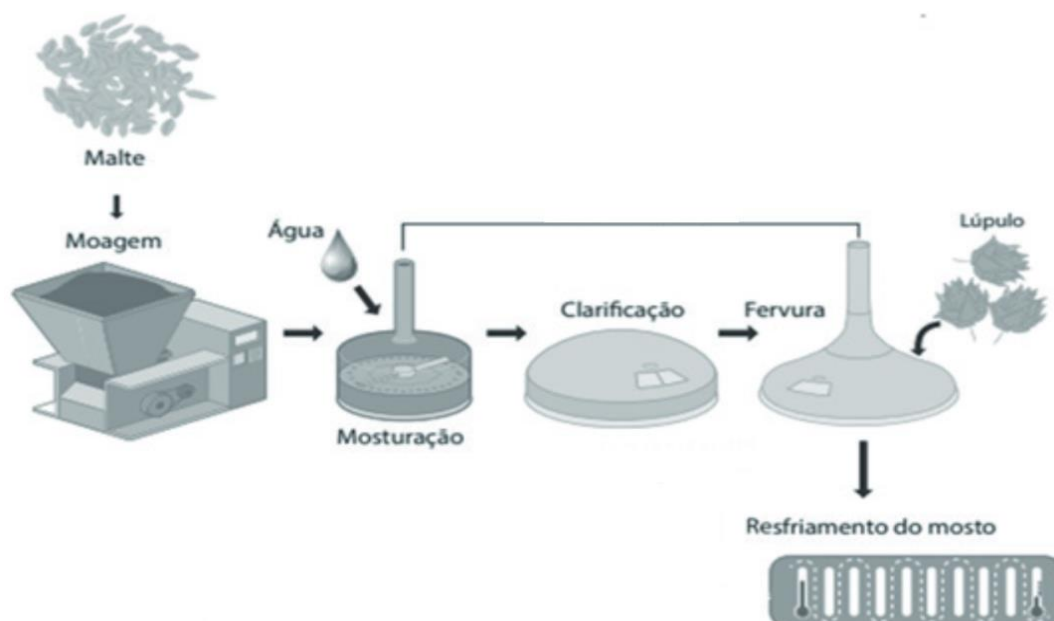
Fonte: Rosa; Afonso (2015).

Como observado através das etapas apresentadas na Figura 3, o mosto fermentescível é obtido da mistura da água e malte, que passam por processos como mosturação, fervura e resfriamento até estarem em condições ideais para fermentação. Após a fermentação, a bebida tem suas características maturadas, é filtrada para garantir a limpidez da cerveja e é envasada na embalagem desejada (KUNZE, 2006).

2.4.1. Fabricação do mosto

A primeira etapa da produção da cerveja corresponde à obtenção do mosto cervejeiro. O mosto é definido no decreto nº 6871, de 4 de junho de 2009 (BRASIL, 2009) como a solução, em água potável, de carboidratos, sais minerais, proteínas e glicídios, resultantes da degradação enzimática dos componentes da matéria-prima que o compõem. No caso da cerveja comum, esses componentes vêm majoritariamente do malte de cevada. Para sua produção, algumas etapas são necessárias, desde o recebimento do malte, até a obtenção do mosto fermentescível de fato, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4: Etapas envolvidas na fabricação do mosto cervejeiro.



Fonte: Adaptado de Ghesti *et al.* (2017).

Como verificado na Figura 4, são necessárias cinco operações para obtenção do mosto cervejeiro. São elas: moagem do malte, mosturação, clarificação ou filtração, fervura e resfriamento.

A primeira etapa diz respeito ao recebimento e tratamento do malte. Este insumo passa por um processo de moagem, usualmente através do emprego de moinhos de rolos ou moinhos martelos, com o objetivo de romper as cascas do malte e expor o amido presente em seu interior. Nessa etapa, é importante manter as cascas tão íntegras quanto possível (KUNZE, 2006). Após a moagem, o malte moído muitas vezes pré-misturado a adjuntos, é adicionado à água e segue para a etapa de mosturação.

Na mosturação, será obtido de fato o mosto, através do aquecimento de malte e água em condições específicas de pH e temperatura, que favoreçam a atividade enzimática das amilases e demais enzimas necessárias para converter os polissacarídeos do mosto em açúcares fermentescíveis, como a glicose, a maltose e a maltotriose (SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO, 2008). Dentre as principais enzimas presentes no malte que serão ativadas nessa etapa estão as amilases (α -amilases e β -amilases), as proteases e as glucanases. Por se tratar de um processo enzimático, parâmetros como temperatura, tempo, pH e concentração do mosto devem ser controlados (KUNZE, 2016).

Diferentes sistemas podem ser empregados na mosturação, dentre os quais a infusão isotérmica do mosto; o de decocção; e o de infusão em temperatura programada, cuja aplicação vem crescendo em relação aos demais tipos (BAMFORTH, 2017). Todos os sistemas partem da premissa de que o mosto deve ser mantido a determinada temperatura por tempo suficiente para garantir a ação enzimática de conversão hidrolítica do amido e outros componentes em açúcares fermentescíveis. O fim da etapa da mostura é marcado pela total conversão do amido em açúcares menores, fermentescíveis ou não (dextrinas) (SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO, 2008).

Após a obtenção do mosto cervejeiro, ele passa por um processo de filtração para remoção dos sólidos insolúveis ali presentes, denominados de bagaço. Para tal, diferentes equipamentos podem ser empregados, como a tina filtro e o filtro prensa (SHALA; HOXHA; XHABIRI, 2017). Na tina filtro, as próprias cascas do malte são empregadas como meio filtrante. Já no filtro prensa, o uso de membranas filtrantes é responsável pela filtração (KUNZE, 2006).

Após a mosturação e a remoção do bagaço, o mosto segue para a fervura a aproximadamente 100°C. Essa etapa é importante para garantir a esterilização do líquido, a coagulação proteica, a remoção de voláteis indesejáveis, a formação de componentes de cor e a concentração do extrato (KUNZE, 2006). Além disso, é na fervura que o lúpulo é adicionado, garantindo assim o amargor característico da cerveja (BAMFORTH, 2017).

As partículas sólidas formadas de complexos proteicos após a fervura do mosto são denominadas de *trub* e são removidas usualmente através de um equipamento denominado *whirlpool*, cujo princípio de funcionamento baseia-se na ação centrífuga sobre os sólidos suspensos que formam uma torta que se deposita no tanque e é separada do sobrenadante líquido. Em seguida, a fração líquida é resfriada, usualmente em trocadores de calor de placas, até temperatura adequada à fermentação (BRIGGS, *et al.* 2000). Além disso, o oxigênio atmosférico é adicionado ao mosto resfriado através de uma etapa de aeração, para garantir as condições ideais para atuação das leveduras (ROSA; AFONSO, 2015).

2.4.2. Fermentação e maturação

Após resfriado e aerado, o mosto segue para a etapa de fermentação. O mosto é adicionado das leveduras em tanques fermentadores. Após a etapa de fermentação, a bebida segue para os tanques maturadores (Figura 5).

Figura 5: Etapas envolvidas nos processos de fermentação e maturação das cervejas.



Fonte: Adaptado de Ghesti *et al.* (2017).

Na etapa de fermentação apresentada na Figura 5, a levedura é adicionada ao mosto, tendo alguns parâmetros de controle importantes: a qualidade e quantidade de levedura empregada, a composição do mosto em termo de açúcares, a aeração do mosto, a temperatura de fermentação e o formato dos tanques fermentadores (ROSA; AFONSO, 2015). Os tanques fermentadores são refrigerados pelo emprego de uma camisa externa de líquido refrigerante, que permite o controle da temperatura para ocorrência da fermentação de maneira adequada ao processo (REBELLO, 2009).

Além dos parâmetros mencionados, o oxigênio é de extrema importância nessa etapa, para garantir a multiplicação celular e correto andamento do processo fermentativo (BAMFORTH, 2017). O processo de fermentação é marcado por três fases. Na primeira, conhecida como fase *lag*, ocorre adaptação das leveduras ao meio; em seguida, inicia-se a fase de crescimento exponencial, com consumo do oxigênio presente no mosto e predominância da via aeróbica de metabolismo celular (SCHMIDELL, 2021). Após o consumo de todo o oxigênio presente no mosto, as leveduras encerram a etapa de multiplicação celular intensa, e seguem para a via de fermentação anaeróbica de carboidratos, que gera os produtos de interesse para a produção da bebida (SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO, 2008).

Os principais produtos do metabolismo anaeróbico das leveduras são etanol, CO₂ e calor. O processo de fermentação alcoólica da glicose e outros monossacarídeos é descrito pela Equação 1 (KUNZE, 2006).



Além dos produtos principais, diversos produtos secundários são obtidos, dentre os quais ésteres, ácidos orgânicos e álcoois superiores, que são responsáveis por conferir as características organolépticas da cerveja (ROSA; AFONSO, 2015). Um importante ponto quanto à etapa de fermentação é a escolha da cepa de levedura empregada, visto que estas podem promover diferentes tipos de fermentação (DIAS JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009). Variedades como a *Saccharomyces cerevisiae* promovem a cerveja de alta fermentação (*Alé*), pois as leveduras tendem a se situar no topo do tanque fermentador. Já variedades como a *Saccharomyces cabergensis* e a *Saccharomyces uvarum* produzem as cervejas de baixa fermentação (*Lager*), pois as leveduras tendem a permanecer no fundo do fermentador (ROSA; AFONSO, 2015).

Rosa; Afonso (2015) afirmam ainda que no final do processo de fermentação, onde do decaimento do extrato do mosto e do aumento do teor alcoólico, a cerveja é resfriada até temperatura de cerca de 0°C. Nesse momento, ocorre o recolhimento do fermento presente no fermentador, que em sua maior parte se dá através da decantação. Para facilitar esse processo, alguns aditivos podem ser adicionados para promover a floculação das células do fermento. Além disso, o resfriamento e a centrifugação são importantes recursos empregados utilizados para esse fim (BRIGGS *et al.*, 2000). Vale salientar que a composição do mosto também é fundamental para a correta floculação das células suspensas, especialmente em termos de cálcio (BAMFORTH, 2017).

Após a fermentação e recolhimento do fermento, a cerveja apresenta características organolépticas ainda imaturas. Dessa forma, se procede uma etapa de maturação por períodos prolongados, geralmente a temperatura de cerca de -2°C (BRIGGS *et al.*, 2000). Essa etapa é denominada por alguns autores de fermentação secundária, pois ocorre o consumo dos carboidratos residuais pelas leveduras remanescentes no tanque conduzindo a melhoria do sabor e aroma da cerveja (SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO, 2008). Além disso, a precipitação de proteínas, sólidos solúveis e leveduras permite uma melhor clarificação da bebida (DIAS

JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009). Após essas etapas, a cerveja segue para a filtração e envase.

2.4.3. Filtração de cervejas

Após a maturação, a cerveja deve ser clarificada numa etapa de filtração, que antecede a pasteurização e o envase (Figura 6).

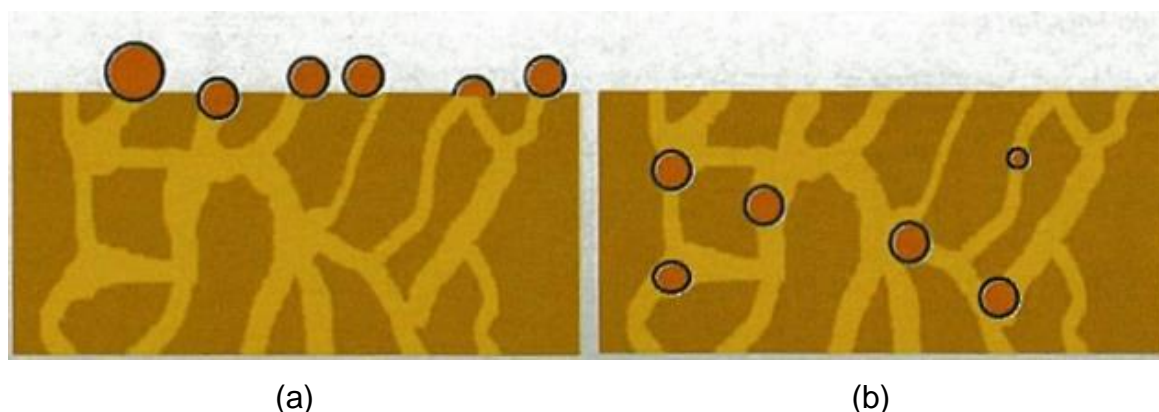
Figura 6: Etapas finais de produção da cerveja, com destaque para a filtração.



Fonte: Adaptado de Ghesti *et al.* (2017).

Na etapa de filtração, apresentada na Figura 6, ocorre a remoção de componentes como proteínas, resinas oriundas do lúpulo, leveduras e outros sólidos coloidais que se tornam insolúveis na cerveja a temperaturas mais baixas, fenômeno conhecido como *chill haze* (TEUMER; RÄDLE; METHNER, 2019). A clarificação é fundamental para garantir a estabilidade coloidal da cerveja a longo prazo (BAMFORTH, 2017). Na etapa de filtração também acontece a carbonatação da bebida, através da adição sob pressão de gás carbônico (DIAS JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009). Dentre os mecanismos empregados no processo de filtração, se destacam a filtração de superfície e de profundidade (REED, 1986) (Figura 7).

Figura 7: Mecanismos de filtração (a) de superfície e (b) de profundidade.



Fonte: Adaptado de Kunze (2006).

Como verificado na Figura 7, na filtração de superfície as partículas causadoras de turbidez não são capazes de passar pelos poros do meio filtrante, ficando retidas na sua superfície, formando uma camada que fica cada vez mais espessa. Já na filtração de profundidade, as partículas ficam retidas ao longo de caminhos tortuosos formados pelos poros presentes nos auxiliares de filtração (KUNZE, 2006).

O processo de filtração é impulsionado pelo diferencial de pressão entre a entrada e a saída do filtro, sendo a pressão de entrada sempre superior à de saída. Quanto maior o diferencial de pressão, maior a resistência exercida pelo filtro ao processo de filtração, ou seja, menor a vazão de filtração. Essa resistência aumenta até certo limite, quando se encerra o que se chama de ciclo de filtração (KUNZE, 2006).

2.4.3.1. Meios filtrantes e auxiliares de filtração

Para possibilitar o processo, diferentes meios de filtração podem ser empregados, como peneiras metálicas, telas ou velas com discos paralelos, tecidos, membranas filtrantes, leitos e outros. Vale salientar que esses meios atuam como suportes, não tendo ação filtrante devido ao tamanho de seus poros (KUNZE, 2006).

Sobre esses meios filtrantes, são utilizados auxiliares de filtração, substâncias porosas que possibilitam a filtração devido às suas características. Os auxiliares de filtração e meios filtrantes devem ser inertes, não ocasionando qualquer alteração nas características da cerveja. Dentre os mais utilizados está a terra diatomácea ou infusória (do alemão *kieselguhr*) (BRAUN *et al.*, 2011; SLABÝ; ŠTĚRBA; OLŠOVSKÁ, 2018).

A terra infusória ou diatomácea é advinda dos fósseis das diatomáceas marinhas, contendo dióxido de silício (REED, 1986). Ela pode ser utilizada ao natural, passando apenas por um processo de secagem, a 400°C, resultando em partículas bastante finas, com baixa filtrabilidade e ciclos de filtração mais curtos; ou calcinada, que além da secagem também é aquecida a temperatura de 800°C. Esse processo faz com que partículas de terra diatomácea se unam, resultando numa maior granulometria, ainda que preservando a porosidade do material, o que gera uma maior permeabilidade no meio (SLABÝ; ŠTĚRBA; OLŠOVSKÁ, 2018). Dessa forma, um dado auxiliar filtrante pode apresentar diferentes velocidades de filtração, capacidade, rendimento e eficácia na redução de turbidez. A Figura 8 mostra a diferença entre a terra diatomácea mais fina e mais grossa.

Figura 8: Microscopia eletrônica (1000x) da terra diatomácea (a) fina e (b) grossa.



Fonte: Kunze (2006).

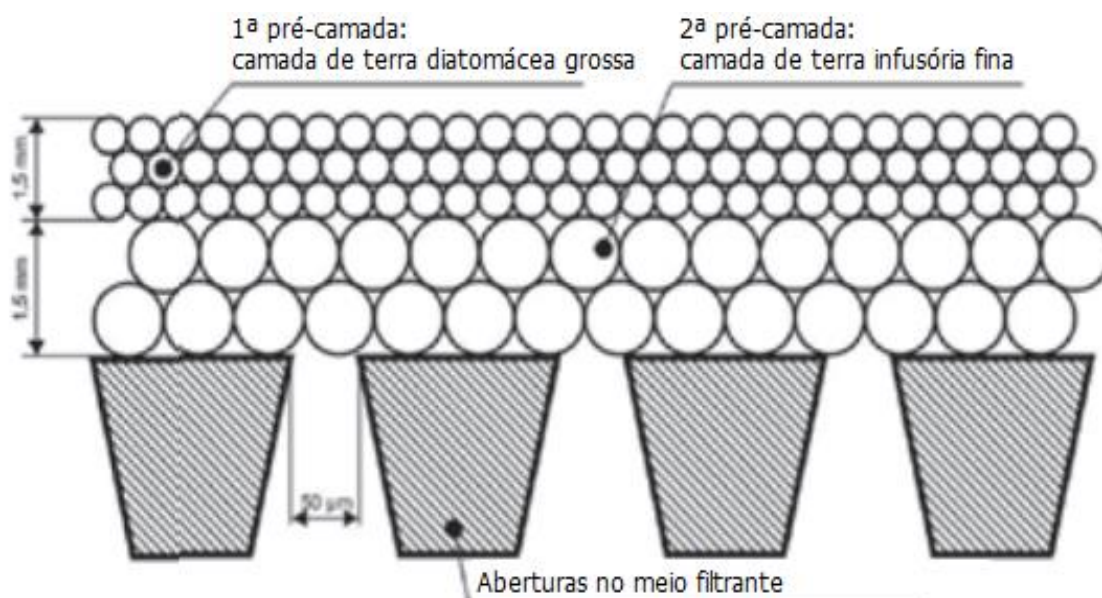
Como desvantagem, a terra diatomácea só pode ser utilizada uma vez, o que resulta em impactos financeiros e ambientais (SLABÝ; ŠTĚRBA; OLŠOVSKÁ, 2018). Diante disso, é possível entender os tipos de filtros que fazem uso de auxiliares de filtração como a terra infusória.

2.4.3.2. Tipos de filtros

A filtração de cervejas pode se dar através do emprego de diferentes tipos de filtros, dentre os quais se destacam os filtros de pré-camada. Os filtros de pré-camada são aqueles que utilizam um auxiliar de filtração, usualmente terra infusória, que se depositam sobre o meio filtrante. Neles, o processo de filtração é marcado por duas etapas principais: a formação da pré-camada e a filtração em si (SLABÝ; ŠTĚRBA; OLŠOVSKÁ, 2018).

A pré-camada é fundamental para o bom funcionamento do ciclo de filtração, pois sem ela, o auxiliar de filtração dosado de forma contínua atravessaria os poros do meio filtrante, resultando em uma cerveja com turbidez ainda maior. A pré-camada é formada por duas camadas: a pré-camada base ou primeira pré-camada, formada por terra infusória grossa, que forma uma barreira à passagem de partículas menores de terra ao líquido filtrado; e a pré-camada de segurança, ou segunda pré-camada, que utiliza uma mistura de terra infusória mais fina, com maior poder de filtração, para que sejam retidas as partículas turvantes da cerveja (REED, 1986). A Figura 9 mostra um diagrama das duas pré-camadas formadas sobre uma vela filtrante.

Figura 9: Diagrama da primeira e segunda pré-camadas numa vela filtrante.



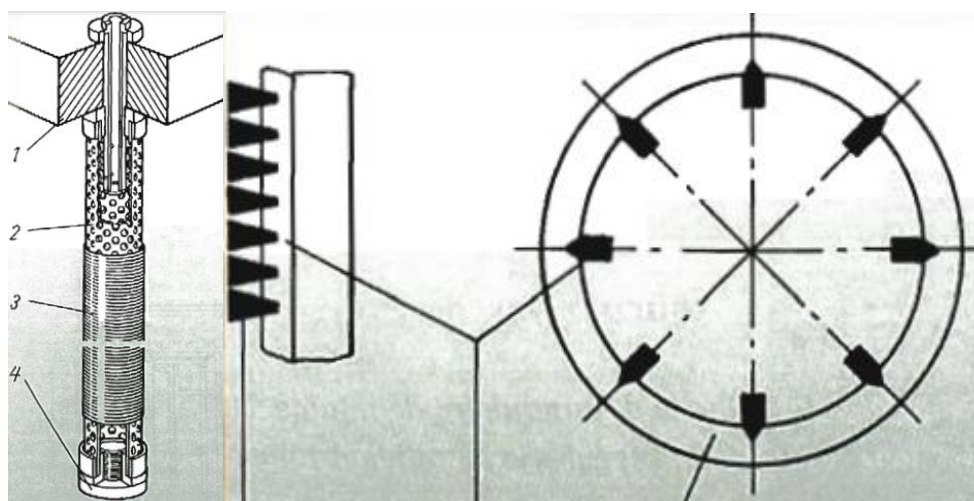
Fonte: Adaptado de Slabý; Šterba; Olšovská (2018).

Além da formação da pré-camada, como apresentado na Figura 9, o auxiliar de filtração também é adicionado ao filtro através de um processo de dosagem contínua, cuja função é manter a permeabilidade do meio ao longo da filtração (KUNZE, 2006). A depender do tipo de suporte utilizado para o auxiliar de filtração, os filtros de pré-camadas são diferenciados em três tipos principais: de velas, de placas e de discos (SLABÝ; ŠTĚRBA; OLŠOVSKÁ, 2018). Dentre esses, o filtro de velas é o mais empregado atualmente.

2.4.3.2.1. Filtro de velas

O filtro de velas é constituído por um tanque cilindro-cônico contendo os meios filtrantes. Nesse caso, as velas de aço inoxidável são compostas por discos paralelos e superpostos, com perfis trapezoidais internos que direcionam o fluxo do líquido (Figura 10). As velas são presas a uma placa perfurada localizada na parte superior do filtro, que separa a cerveja antes e após a filtração.

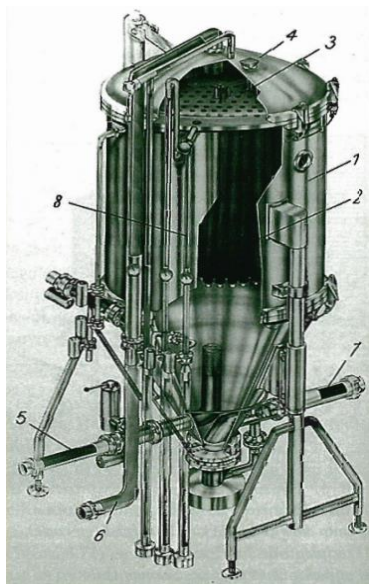
Figura 10: Velas filtrantes (a) com visão externa e com cortes e (b) em seção, onde: 1 é o espelho de velas filtrantes; 2 é o tubo perfurado; 3 é o hélice de alambre trapezoidal; 4 é a tampa de rosca.



Fonte: Kunze (2006).

Sobre as velas apresentadas na Figura 10 se deposita a terra infusória, auxiliar de filtração mais empregado nesse tipo de filtração. O fluxo da cerveja no filtro de terra infusória se dá de baixo para cima, com diferentes capacidades de cerveja a depender do dimensionamento do filtro. O ciclo de filtração pode durar de 6 a 8 horas, a depender da quantidade do diferencial de pressão apresentado. A Figura 11 apresenta um esquema com os principais elementos do filtro de velas.

Figura 11: Filtro de velas e seus elementos.

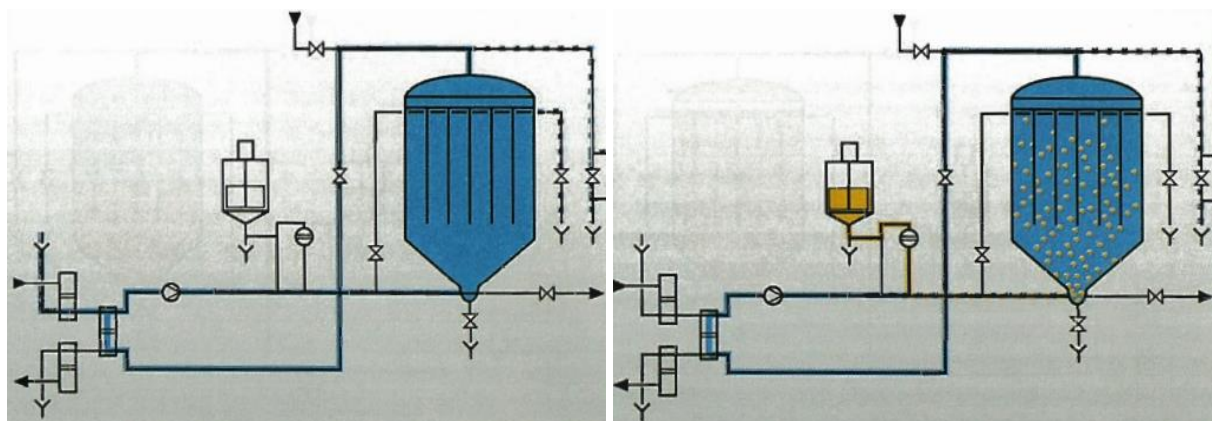


- (1) Recipiente do filtro;
- (2) Velas filtrantes;
- (3) Espelho perfurado por onde se colocam as velas filtrantes;
- (4) Tampa do filtro;
- (5) Entrada da cerveja não filtrada;
- (6) Saída da cerveja filtrada;
- (7) Descarga do lodo filtrante;
- (8) Tubulação de ar comprimido.

Fonte: Kunze (2006).

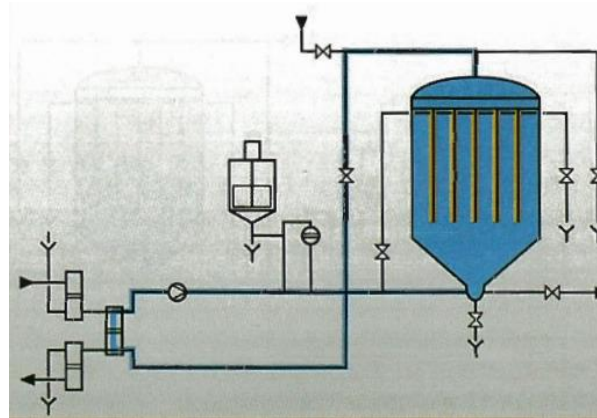
O filtro de velas tem um elevado poder de filtração, pois pode suportar até 900 velas, cuja altura pode chegar a 2 m, resultando em uma alta área superficial para filtração (KUNZE, 2006). Por esse motivo, ele é atualmente o filtro mais utilizado na filtração de cervejas (SLABÝ; ŠTĚRBA; OLŠOVSKÁ, 2018). Esse equipamento segue uma sequência de operação específica, de formação de pré-camada, filtração e limpeza, como mostra as Figuras 12-14.

Figura 12: Formação da pré-camada em um filtro de velas: a) início, b) formação de pré-camada e c) circulação em circuito fechado.



(a)

(b)

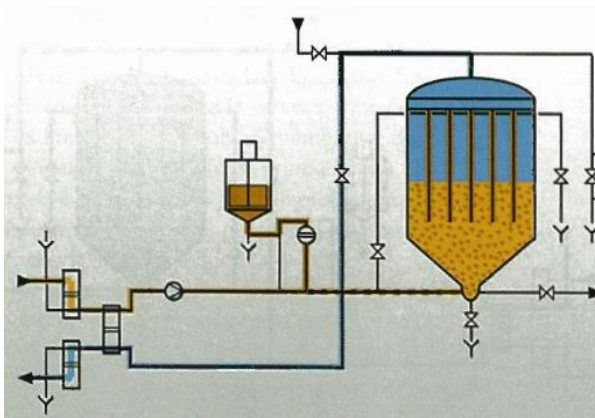


(c)

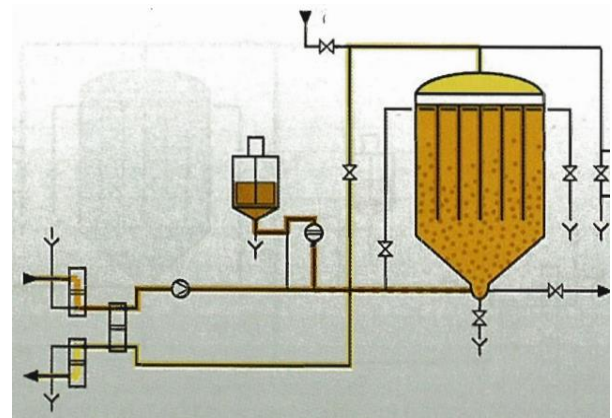
Fonte: Adaptado de Kunze (2006)

A Figura 12 apresenta o início de operação do filtro, momento no qual ocorre a formação da pré-camada. Para tal, o filtro é preenchido com água desaerada para eliminação do ar presente e opera em circulação (Figura 12 (a)). Em seguida, ocorre a aplicação da primeira e segunda pré-camada, que se dá com o auxílio da tina de dosagem de terra infusória (Figura 12 (b)). Por fim, o filtro é operado em circulação em circuito fechado, para que ocorra a fixação da pré-camada sobre as velas filtrantes (Figura 12 (c)). Após essas etapas, se inicia a filtração em si (Figura 13) (KUNZE, 2006).

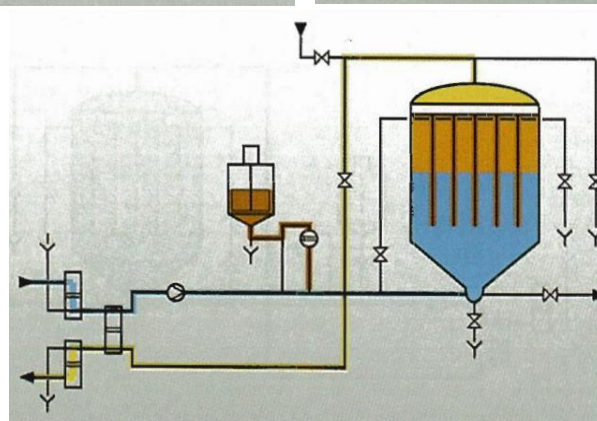
Figura 13: Processo de filtração em um filtro de velas: a) início, b) filtração e c) fim da filtração.



(a)



(b)

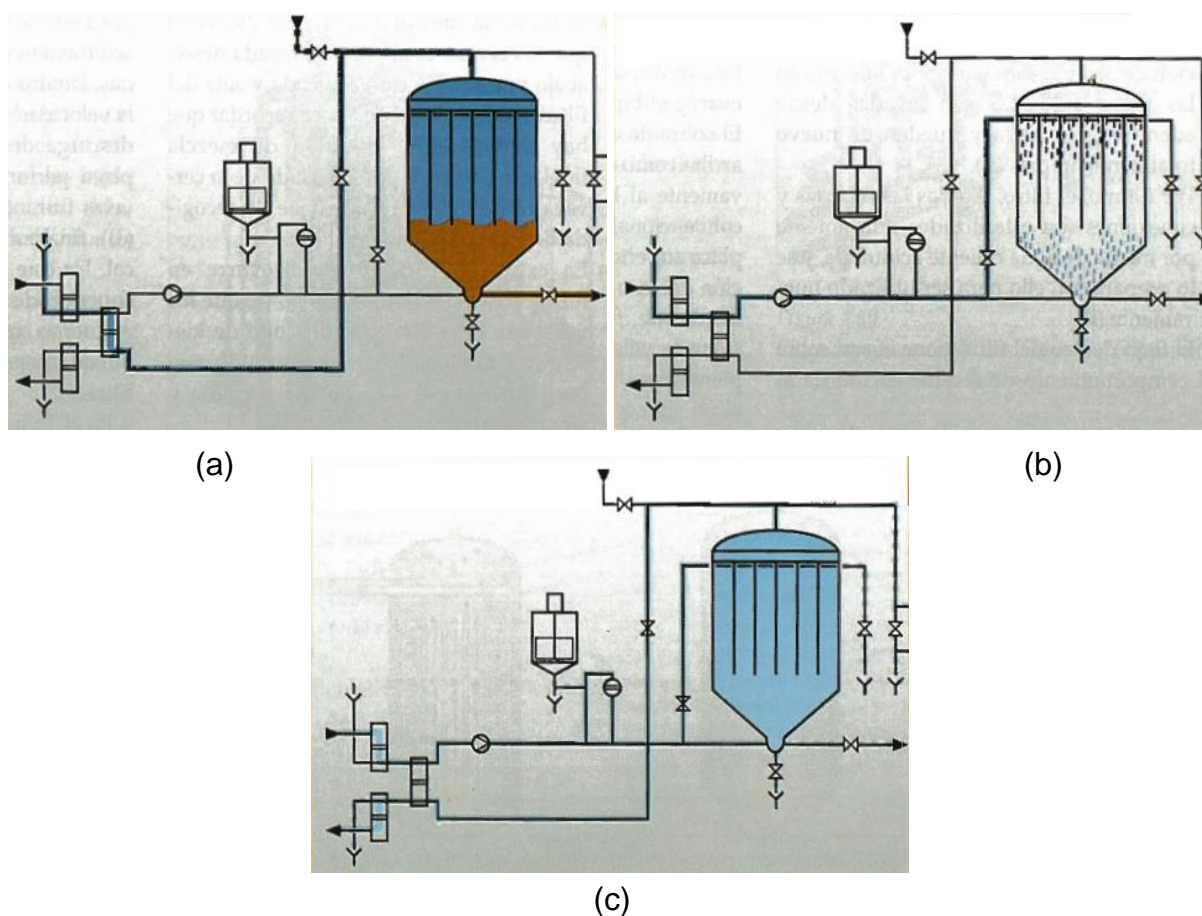


(c)

Fonte: Adaptado de Kunze (2006).

Como verificado na Figura 13, o processo de filtração se inicia com o empurre da água presente no filtro com cerveja não filtrada (Figura 13 (a)). Nessa etapa, a dosagem contínua do auxiliar de filtração é iniciada. Após o empurre, se inicia o ciclo de filtração e o diferencial de pressão do filtro sobe gradualmente (Figura 13 (b)). Após atingir o limite de pressão, de 6 a 8 bar, a cerveja é empurrada com água desaerada para o fim do ciclo de filtração (Figura 13 (c)) (KUNZE, 2006). Após a filtração, o filtro passa por um processo de limpeza, como apresentado na Figura 14.

Figura 14: Processo de limpeza em um filtro de velas: a) retirada da torta filtrante, b) lavagem do filtro e c) esterilização do filtro.



Fonte: Adaptado de Kunze (2006).

Como apresentado na Figura 14, a operação do filtro de velas se encerra com a sua limpeza. Esse processo se inicia com a remoção da torta filtrante contendo a terra infusória e as partículas de turbidez removidas da cerveja (Figura 14 (a)). Em seguida, ocorre a lavagem e esterilização do filtro (Figura 14 (b) e (c)). Após essas operações, se inicia um novo ciclo de filtração (KUNZE, 2006).

Como verificado nas Figuras 12-14, são muitos os passos de operação do filtro de velas ao longo de um ciclo de filtração. Dentre esses passos, apenas a filtração de fato da cerveja agrega valor ao processo, apesar dos demais serem necessários. As

etapas de lavagem e esterilização do filtro e formação da pré-camada duram cerca de 4 a 5 h a depender das particularidades de cada processo (KUNZE, 2006).

2.5. GESTÃO DE QUALIDADE

Diante da crescente complexidade das indústrias no cenário de industrialização atual, a gestão da qualidade total, do inglês *Total Quality Management* (TQM), assume o papel de garantir a qualidade em todas as etapas do processo, visando assim a excelência produtiva e uma maior competitividade no mercado (MARTÍNEZ-COSTA; JIMÉNEZ-JIMÉNEZ; 2009). Na gestão de qualidade total, há a contínua busca por melhorias em produtos e processos, seja no viés de qualidade, seja nos custos ou produtividade (CARPINETTI, 2012).

Na busca da melhoria contínua, algumas etapas são descritas como fundamentais: a identificação dos problemas prioritários, a análise de dados, a investigação das causas raízes, a criação de planos de ação e a implementação destes, a verificação dos resultados e a padronização dos procedimentos estabelecidos (CARPINETTI, 2012). Com base nessas etapas, algumas metodologias de qualidade foram desenvolvidas e são amplamente utilizadas, como o ciclo PDCA, cuja aplicação se estende a diversos problemas voltados para a produção de cervejas (QUINQUIOLO, 2002). Costa e Silva (2019) empregaram a metodologia PDCA para reduzir a variabilidade no tempo de fabricação de mosto em cervejaria localizada em Manaus. Já Silva, Medeiros e Vieira (2017) empregaram a mesma metodologia para reduzir o índice de perdas de latas da bebida durante o envase.

O ciclo PDCA baseia-se em quatro etapas: a) planejar (*plan*), que consiste em estabelecer os objetivos e os meios para atingir resultados específicos; b) fazer (*do*), etapa onde os processos desenhados no planejamento são executados e dados são coletados para análises futuras; c) checar (*check*), fase onde os dados coletados são analisados para verificar a eficiência do plano traçado; d) agir (*action*), nesta etapa são realizadas ações corretivas para melhoria, além da padronização das ações implementadas (GOMES FILHO; GASPAROTTO, 2019).

Diversas ferramentas da qualidade podem ser empregadas para suportar a execução do ciclo PDCA. Dentre essas, destacam-se algumas técnicas de resolução de problemas, como o diagrama de causa e efeito, ou diagrama de Ishikawa e a ferramenta dos 5 porquês (BERWICK; GODFREY; ROESSNER; 1990). O diagrama de causa e efeito, denominado também de diagrama de Ishikawa ou de espinha de

peixe, devido ao seu formato, é uma importante ferramenta da qualidade, empregada na etapa de planejamento do ciclo PDCA, que permite identificar as causas atribuídas a determinado efeito (SAVEDRA; ROYER; ROSA, 2021). Essas causas são dispostas em diferentes categorias, sendo elas materiais, métodos, mão de obra, medidas, máquinas e meio ambiente (FONSECA *et al.*, 2016).

Usualmente as causas apresentadas no diagrama de causa e efeito são levantadas através do emprego do *brainstorming*, ou chuva de ideias, uma ferramenta utilizada para motivar equipes multidisciplinares a utilizarem a criatividade para resolução de problemas, num ambiente livre de julgamentos (BHOSALE *et al.*, 2013). Já a ferramenta dos “5 porquês” se baseia no questionamento sequencial do problema analisado, até que se esgotem as possibilidades de aprofundamento do problema e a causa fundamental seja encontrada.

Além disso, é importante a visualização do processo para entendimento dos problemas, o que pode ser feito através dos fluxogramas, que exibem as etapas do processo de modo preciso, facilitando a análise dos sistemas de produção. Após a análise dos dados, um plano de ação é criado com o objetivo de corrigir os problemas identificados. Para tal, devem ser considerados pontos como recursos disponíveis e priorização das causas raízes (COSTA; SILVA, 2019).

Dentre as ferramentas que facilitam a priorização das causas fundamentais, está a matriz de priorização GUT. Ela tem como critérios de priorização a gravidade, urgência e tendência do evento analisado. Por sua simplicidade, o emprego da matriz GUT permite uma rápida identificação de quais problemas devem ser solucionados primeiro (COSTA; SILVA, 2019). Por fim, a ferramenta 5W2H pode ser empregada para consolidar o plano de ação desenvolvido para corrigir os problemas priorizados. Para tal, são respondidas as perguntas: *What?* (O quê?); *Why?* (Por quê?); *When?* (Quando?); *Who?* (Por quem?); *Where?* (Onde?); *How?* (Como?); *How much?* (Por quanto?) (MAICZUCK; ANDRADE JÚNIOR, 2013).

Um ponto importante para obter sucesso nos projetos de melhoria através do ciclo PDCA é o envolvimento da operação em cada etapa. Devido ao elevado grau de conhecimento quanto aos equipamentos que operam, a operação é capaz de prover dados essenciais para a investigação e priorização de causas (JOSTES; HELMS, 1994). A mensuração desses dados é de fundamental importância para conduzir à melhoria contínua da performance do processo. Além disso, uma ferramenta poderosa para a evolução efetiva de indicadores de performance são os

programas de reconhecimento para os colaboradores envolvidos nas investigações e projetos de melhoria, criando-se um ambiente favorável à implementação de mudanças e à padronização e consolidação dos resultados (RIELLY, 1992).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido tendo como objeto de estudo a área de filtração de cervejas numa cervejaria de grande porte localizada em Pernambuco. Diante do indicador de maior impacto para a produtividade da área, o ciclo médio de filtração, foi empregado o ciclo PDCA para otimização dos resultados para esse indicador, conforme metodologias já estabelecidas na literatura para resolução de problemas de elevada complexidade.

3.1. CENÁRIO ANTERIOR

A primeira etapa do trabalho consistiu em coletar e analisar os dados referentes ao volume de cerveja filtrada por ciclo de filtração na cervejaria utilizada como objeto de estudo, ao longo do primeiro semestre de 2022. Dessa forma, os dados foram coletados e apresentados em uma tabela, sendo possível observar a problemática do presente trabalho: a redução no valor dos ciclos de filtração no processo analisado. Diante disso, foi empregada a metodologia da qualidade PDCA, que emprega um ciclo de quatro etapas para resolução de problemas. São elas: planejamento, execução, checagem e ação.

3.2. PLANEJAMENTO: ANÁLISE DE DADOS

Na primeira etapa, foi feita a análise dos dados levantados para planejamento das ações corretivas e preventivas, garantindo a melhoria dos resultados em questão. Por se tratar de um processo bastante complexo, foi desenhado um fluxograma do processo exatamente como acontece na cervejaria em estudo, dado que em diferentes plantas fabris podem ser empregados processos com outras particularidades. Essa etapa teve como objetivo facilitar a visualização e a correlação das etapas do processo com o ciclo médio de filtração. Em seguida, foi empregado um diagrama de Ishikawa, também denominado diagrama de causa e efeito ou ainda diagrama espinha de peixe. Para construção do diagrama, foi realizado um *brainstorming* envolvendo toda a equipe de coordenadores, supervisores e a operação da filtração do processo em estudo. Além disso, foi realizado um *benchmarking* com outras unidades da cervejaria e com especialistas da empresa, com o intuito de levantar todas as possíveis causas para o efeito observado de redução do ciclo médio de filtração na unidade fabril de Pernambuco. Essas causas

foram categorizadas em seis grupos: mão de obra, meio ambiente, materiais, máquinas, medição e métodos.

De posse do diagrama de causa e efeito, foi possível então aprofundar as investigações dos pontos levantados, sendo construída uma matriz de priorização GUT, que se baseia nos conceitos de gravidade, urgência e tendência para definir uma sequência de resolução de problemas. A matriz de priorização é fundamental para direcionar o plano de ação, tendo em vista que, em se tratando de um problema complexo, diversas causas poderão impactar em maior ou menor grau para o problema observado, mas nem todas poderão ser resolvidas simultaneamente.

Seguindo a sequência de priorização estabelecida pela matriz GUT, foi criado um plano de ação, com o auxílio da metodologia 5W2H. Para cada causa priorizada, foram definidas as ações a serem executadas, a justificativa da ação, o prazo para execução, o local e o responsável pela atividade, o método para execução e os custos envolvidos.

3.3. EXECUÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

Definido o plano de ação, foi encerrada a etapa de planejamento e seguiu-se para a etapa de execução do ciclo PDCA, que consistiu na implementação das ações levantadas. Aqui toda equipe de técnicos elétricos, mecânicos, instrumentistas e operacionais foram envolvidos nas atividades, de forma a garantir a confiabilidade dos planos traçados. Ao executar as ações foi também realizada uma análise crítica dos problemas encontrados, com o auxílio da análise dos “5 porquês”.

3.4. CHECAGEM: CENÁRIO POSTERIOR

Após a implementação, foi feita uma análise das novas condições de processo e dos impactos das mudanças realizadas sobre o processo de produção e os indicadores relacionados como um todo. Para tal, foi construído um gráfico exibindo os novos resultados de ciclo médio para o mês posterior às ações priorizadas. Além disso, o impacto em outros indicadores de processo correlacionados com o ciclo médio de filtração também foi avaliado, dentre os quais consumo de água e perda de extrato. Dessa forma, uma comparação dos resultados antes e após execução do plano de ação foi realizada, com o objetivo de verificar se a melhoria planejada foi atingida.

3.5. REAÇÃO: PADRONIZAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE AÇÕES FUTURAS

Na última etapa do ciclo PDCA, após análise dos resultados observados após implementação das ações de melhoria propostas, foi avaliada a necessidade de traçar novas ações. Um novo plano de execução foi definido, criando assim um *backlog* de ações a serem executadas no futuro, mantendo assim a melhoria contínua do processo e renovando o ciclo PDCA. Além disso, foi realizada a padronização dos procedimentos alterados cujos resultados se mostraram eficientes para as finalidades propostas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O emprego da metodologia descrita anteriormente permitiu desenvolver a investigação do problema em estudo, a redução do ciclo médio de filtração de cervejas, via metodologia PDCA. Dessa forma, foi possível analisar o efeito, encontrar suas causas fundamentais e atuar sobre elas, passando assim por todas as etapas do ciclo.

4.1. CENÁRIO ANTERIOR

Os resultados referentes aos valores do ciclo médio de filtração na cervejaria em estudo foram coletados e estão apresentados na Tabela 2. Os valores plotados correspondem aos meses de janeiro a junho de 2022.

Tabela 2: Ciclo médio de filtração de janeiro a junho de 2022.

Mês	Ciclo médio de filtração (hL)
Janeiro	7248
Fevereiro	7270
Março	6638
Abril	5909
Maio	5952
Junho	6219

Fonte: a Autora (2022)

Como observado na Tabela 2, o fechamento do ciclo médio de filtração obtido ao final de cada mês sofreu uma redução progressiva de janeiro a abril, com uma melhora pouco significativa em maio e junho. Além disso, em comparação com o histórico geral da cervejaria e de outras unidades fabris espalhadas pelo Brasil, esses resultados também se mostraram inferiores, ainda que a unidade tivesse a mesma capacidade produtiva. Isso demonstra a necessidade de otimização desse indicador.

Como já mencionado neste trabalho, o ciclo médio de filtração tem relação direta com outros indicadores importantes do processo de produção de cerveja. Dentre os diferentes indicadores, foi verificada uma forte correlação entre a diminuição do ciclo médio de filtração e o aumento da indisponibilidade de produto

para as linhas de envase. Além disso, também foi verificado um maior consumo excedente de água para ciclos de filtração menores, uma vez que se faz necessária uma maior frequência de lavagens do filtro de terra infusória, procedimento que acontece a cada final de ciclo de filtração.

De posse desses resultados, partiu-se então para a otimização dos resultados do ciclo médio de filtração através da metodologia PDCA e com o auxílio de ferramentas de qualidade, tais como o diagrama de Ishikawa e matriz de priorização GUT.

4.2. PLANEJAMENTO: ANÁLISE DE DADOS

O início do ciclo PDCA partiu da construção de um fluxograma de blocos do processo de produção de cerveja utilizado na cervejaria avaliada. O fluxograma construído está apresentado na Figura 15.

Figura 15: Fluxograma de blocos (BFD) do processo produtivo de cerveja na fábrica em estudo.



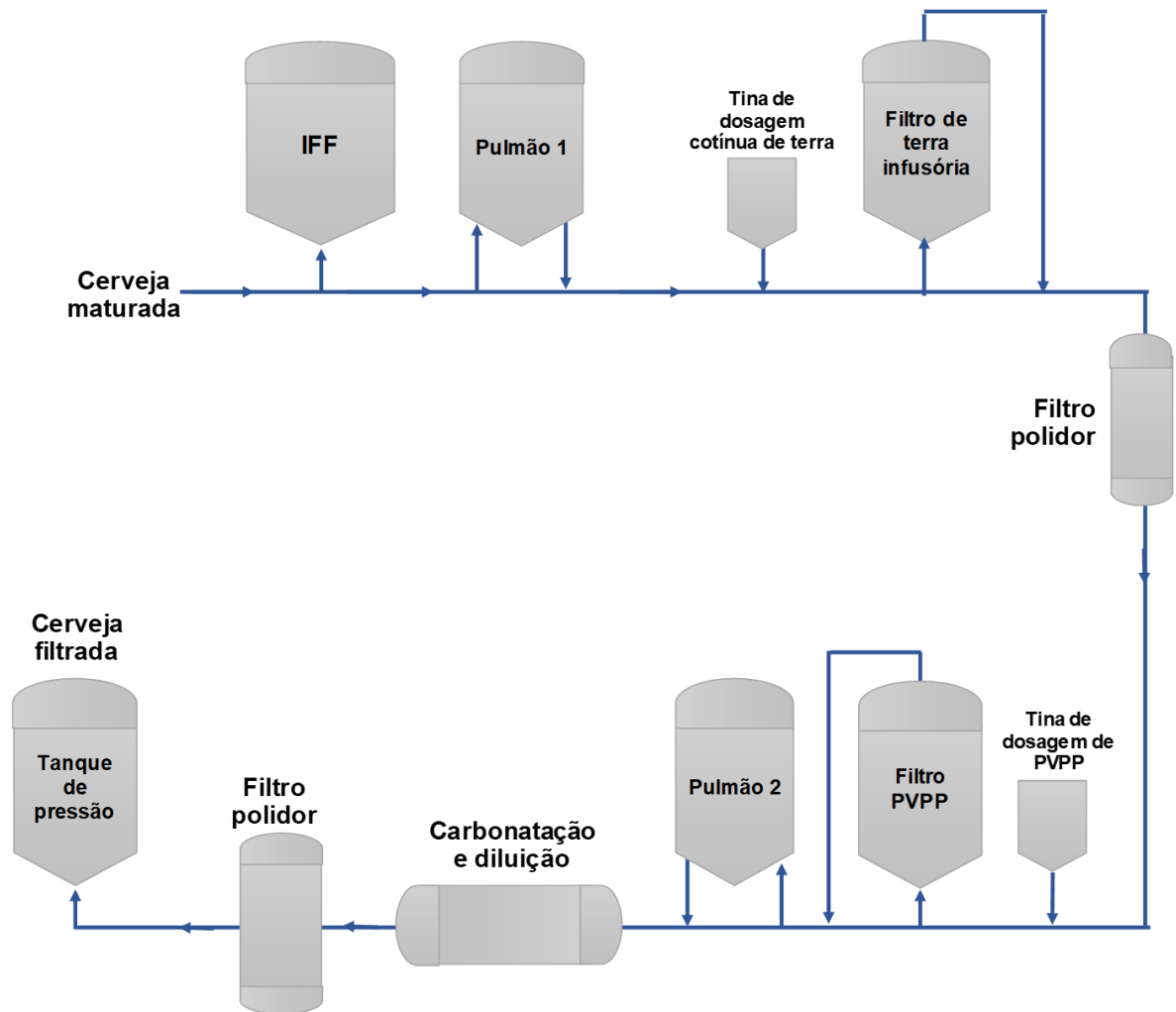
Fonte: a Autora (2022).

Como apresentado na Figura 15, o processo produtivo na cervejaria em estudo é dividido em áreas, dentre as quais se destacam a de beneficiamento e moagem de matéria-prima e a área quente. Estas juntas são responsáveis pela fabricação do mosto frio que será então fermentado; a área fria, por sua vez, é responsável pela fermentação, maturação e filtração da cerveja, obtendo-se assim a cerveja clarificada, também denominada de chopp por ainda não ter passado pelo processo de pasteurização (PEREIRA, 2021).

A elaboração do plano de ação teve, portanto, como objetivo realizar a otimização de um indicador de produtividade pertencente à etapa de filtração de

cerveja, a última etapa do processo produtivo de fato, que antecede o envase do produto. Dessa forma, um fluxograma detalhado da filtração na cervejaria em estudo foi construído e está apresentado na Figura 16.

Figura 16: Fluxograma do processo de filtração de cerveja na fábrica em estudo.



IFF: início e final de filtração; PVPP: polivinilpirrolidina.

Fonte: a Autora (2022)

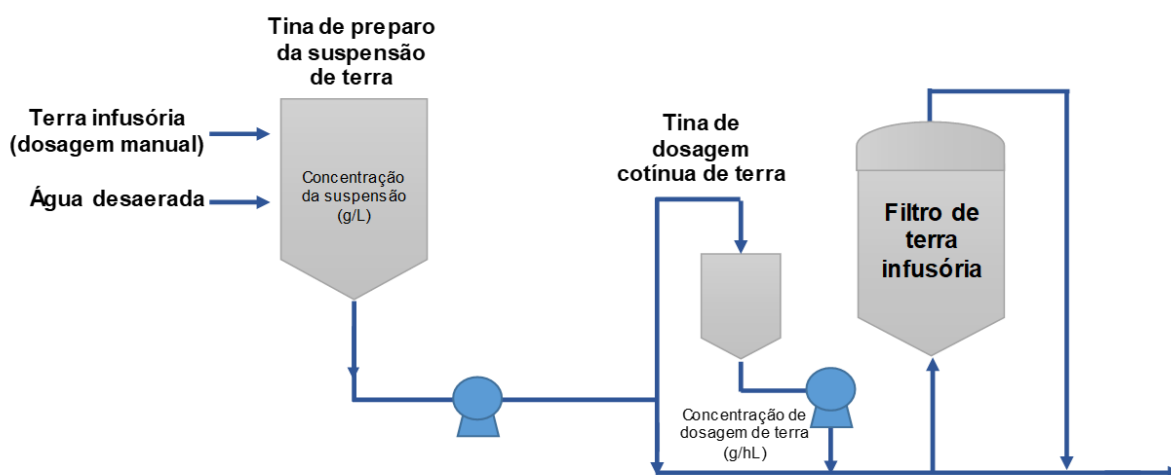
A Figura 16 mostra os equipamentos envolvidos no fluxo de filtração de cervejas da fábrica. Como verificado, o processo se inicia com o tanque de início e final de filtração (IFF), que recebe o primeiro e o último volume de cerveja do ciclo de filtração, parcelas que contêm uma concentração inferior à desejada, devido à interface com a água cervejeira presente nas tubulações. Em seguida, a cerveja passa pelo tanque pulmão 1, responsável por armazenar a cerveja e manter a pressão do sistema, uma vez que os filtros são também pressurizados. A cerveja não filtrada armazenada no tanque pulmão 1 é encaminhada para o filtro de terra infusória,

também denominado filtro KG, pois a terra infusória vem do termo alemão *kieselguhr*. Neste filtro, as partículas que causam turbidez na cerveja são removidas pela membrana filtrante de terra infusória. Na tubulação de cerveja que alimenta o filtro, uma suspensão de terra é também dosada na cerveja, para garantir a renovação da membrana filtrante ao longo da filtração.

Ainda analisando a Figura 16, após o filtro KG, a cerveja segue para o filtro de polivinilpolipirrolidona (PVPP), de funcionamento semelhante, mas que utiliza como elemento filtrante o PVPP, um polímero responsável pela estabilização coloidal da cerveja. A cerveja filtrada é então armazenada no pulmão 2, que armazena a cerveja filtrada e concentrada. Após esse tanque, a cerveja é então diluída e recebe adição de CO₂ até as especificações do produto acabado. Por fim, a cerveja passa por um filtro polidor para garantir a clarificação completa da bebida e segue para os tanques de pressão, que armazenam a cerveja para o envase.

Uma etapa importante do processo de filtração diz respeito ao preparo da pré-camada de terra infusória no filtro KG, bem como à dosagem contínua de terra ao longo da filtração. A Figura 17 mostra os equipamentos envolvidos nesse processo com maior detalhe.

Figura 17: Esquema de dosagem de terra infusória no filtro KG.



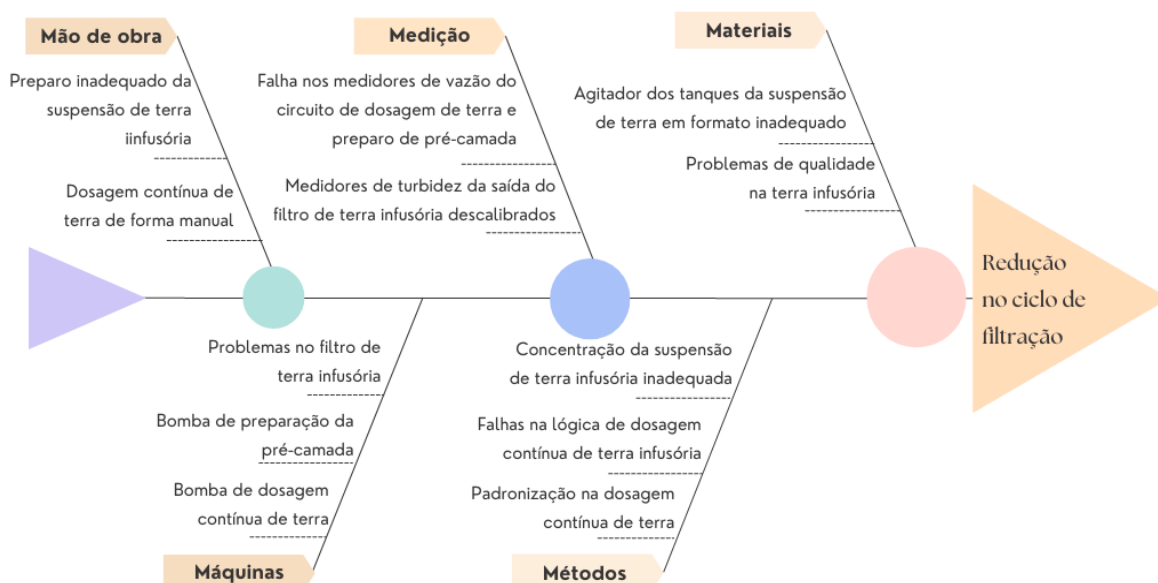
Fonte: a Autora (2022).

A Figura 17 permite observar com maior detalhe o fluxo envolvido na dosagem de terra infusória ao longo da filtração, que envolve dois processos principais: a formação da pré-camada no início do ciclo de filtração e a dosagem contínua de terra infusória na cerveja ao longo da filtração. A suspensão de terra é preparada em uma tina específica para essa finalidade. Nela, a terra é preparada a uma concentração

estabelecida, dada em gramas de terra por litros de água. Uma bomba é responsável por deslocar essa suspensão diretamente para o filtro KG. Lá haverá a formação da pré-camada ou para a tina de dosagem contínua, para utilização ao longo da filtração. Para a dosagem contínua, uma outra bomba é responsável por transferir a suspensão de terra da tina de dosagem para a tubulação de cerveja, em vazão determinada para garantir a dosagem em concentração específica, dada em gramas de terra por hectolitros de cerveja filtrada.

A partir da visualização do processo empregado na cervejaria em estudo através do emprego dos fluxogramas, foi possível então aprofundar as investigações quanto ao ciclo médio de filtração. Foi construído um diagrama de Ishikawa apresentando as principais causas associadas à redução do ciclo médio de filtração (Figura 18).

Figura 18: Diagrama de Ishikawa para a redução no ciclo de filtração.



Fonte: a Autora (2022).

O diagrama de Ishikawa apresentado na Figura 18 permite verificar as principais causas relacionadas à redução do ciclo médio de filtração, definidas após *brainstorming* com toda a equipe da cervejaria envolvida na filtração. Vale salientar que diversos outros parâmetros podem estar relacionados ao problema observado, tendo origem nas demais subáreas do processo produtivo, como fabricação do mosto e fermentação, tendo em vista que cervejas produzidas com turbidez excessiva conduzirão a uma saturação mais rápida da camada filtrante. Entretanto, o presente

trabalho se ateve apenas às variáveis relacionadas diretamente com a área de filtração.

Todas as causas levantadas no diagrama de causa e efeito (Figura 18) foram discutidas durante a reunião e o detalhamento de cada uma delas está apresentado no Quadro 2. Não foram encontradas causas relevantes para a redução do ciclo de filtração relacionadas à categoria de meio ambiente, por isso não foi apresentada no referido diagrama.

Quadro 2: Principais causas levantadas para a redução do ciclo de filtração, conforme diagrama de causa e efeito (continua).

Categoria	Causa	Detalhamento
Mão de obra	Preparo inadequado da suspensão de terra infusória.	A terra infusória é dosada em uma suspensão em água cervejeira, em concentração específica, tanto para formação da pré-camada quanto para a dosagem contínua. A dosagem dos sacos de terra se dá de forma manual. Sendo assim, se forem dosados em quantidade errada, haverá uma redução na eficiência de dosagem de terra.
	Dosagem contínua de terra infusória de forma manual.	A dosagem contínua de terra na cerveja é realizada através de uma lógica automática desenvolvida por controle regulatório do tipo proporcional, integrativo e derivativo (PID) que determina a quantidade de terra dosada por volume de cerveja de acordo com o aumento da pressão diferencial do filtro (dado que diferentes incrementos de pressão são obtidos para diferentes cervejas produzidas). Entretanto, o operador pode desativar essa lógica e determinar manualmente a quantidade dosada, o que pode resultar em redução na eficiência da renovação da camada filtrante via dosagem contínua de terra.
Medição	Falha nos medidores de vazão do circuito de dosagem de terra e preparo de pré-camada.	A quantidade de terra a ser dosada é determinada em automação com base na concentração da suspensão de terra infusória. Sendo assim, falhas nos medidores de vazão podem conduzir ao emprego de quantidades erradas na dosagem de terra, seja na pré-camada ou dosagem contínua.
	Medidores de turbidez da saída do filtro KG descalibrados.	A pré-camada é formada através da circulação da suspensão de terra no filtro KG até que toda a terra ali presente fique aderida à superfície das velas e que haja apenas água na solução de saída do filtro. Esse controle é realizado através da medição da turbidez na saída do filtro, de forma que instrumentos descalibrados podem acarretar na má-formação da pré-camada.
Materiais	Agitador dos tanques de suspensão de terra infusória em formato inadequado	As tinas de preparo de suspensão de terra apresentam uma profundidade considerável. Para garantir uma correta homogeneização da suspensão, é necessária uma agitação eficiente do meio

Quadro 2: Principais causas levantadas para a redução do ciclo de filtração, conforme diagrama de causa e efeito (continuação).

Categoria	Causa	Detalhamento
Materiais	Problemas de qualidade na terra infusória.	A terra infusória é o elemento filtrante da cerveja. Qualquer problema de qualidade neste material pode acarretar na rápida saturação da camada filtrante e, portanto, redução do ciclo de filtração.
Máquinas	Problemas no filtro de terra infusória	O aumento da pressão no filtro KG é o responsável pelo fim dos ciclos de filtração. Sendo assim, qualquer problema mecânico no filtro é uma causa potencial. Dentre os problemas comuns, está o empenamento e quebra das velas empregadas no filtro, fazendo com que ocorra má formação de pré-camada e formação de caminhos preferenciais para a cerveja.
	Bomba de preparação da pré-camada	Uma bomba centrífuga é empregada para deslocar a suspensão de terra até o filtro durante a circulação para formação da pré-camada. Esta deve operar segundo os parâmetros de potência e pressão especificados para essa operação.
	Bomba de dosagem contínua de terra	Uma bomba de deslocamento positivo com mangote é empregada para a dosagem contínua da suspensão de terra durante a filtração da cerveja. Esta deve operar para garantir que seja dosada terra na vazão necessária, conforme definido pela lógica de dosagem automática de terra.
Métodos	Concentração da suspensão de terra infusória inadequada	A suspensão de terra infusória tem concentração definida como parâmetro automático de receita, de forma que após dosagem de terra, é realizada automaticamente a definição do volume necessário de água para completar essa dosagem. Se esse valor for muito baixo, pode acarretar em uma sobrecarga da bomba de dosagem, conduzindo à ineficiência do processo.
	Falhas na lógica de dosagem contínua de terra infusória	Uma lógica automática desenvolvida por controle regulatório de PID determina a quantidade de terra dosada por volume de cerveja de acordo com o aumento da pressão diferencial do filtro. Na cervejaria em estudo, esse cálculo é feito considerando fatores percentuais para cada incremento de pressão no filtro KG, calculado a cada 10 min. Entretanto, não existe um padrão para o cálculo empregado, cada cervejaria emprega uma lógica que atenda o seu processo, o que a torna suscetível a falhas.
	Padronização na dosagem contínua de terra	Como supracitado, não existe uma padronização na lógica que determina a concentração de terra infusória dosada ao longo da filtração.

Fonte: a Autora (2022).

Como pode ser observado no Quadro 2, as principais causas encontradas são relacionadas à formação da pré-camada no filtro de velas KG e à dosagem contínua de terra na filtração, tendo em vista que esta é uma etapa fundamental para a

eficiência do processo. Isto porque uma pré-camada má formada resulta na formação de caminhos preferenciais para a passagem da cerveja dentro do filtro de velas, o que leva a uma rápida saturação dos poros formados na membrana filtrante. Dessa forma, o diferencial do filtro sobe rapidamente, até o limite de pressão de entrada estabelecido para o equipamento. Nesse momento, há a necessidade de encerrar o ciclo de filtração. Além disso, a terra infusória é dosada continuamente na cerveja, na tubulação de entrada do filtro KG, em concentração específica.

O procedimento de dosagem contínua é realizado com o intuito de renovar constantemente a membrana filtrante, ao longo de todo o ciclo, criando novos poros para a passagem e filtração da cerveja. Falhas nessa etapa do processo são responsáveis pela rápida saturação da camada filtrante, encerrando o ciclo de filtração por aumento na pressão do filtro.

Como verificado, muitas causas possíveis foram associadas ao problema de redução do ciclo médio de filtração. Tendo em vista que nem todas poderiam ser tratadas ao mesmo tempo, foi então empregada uma matriz de priorização do tipo GUT para determinar as causas de maior prioridade de tratamento segundo suas gravidades, urgências e tendências. Para tal, foi empregada uma escala de 1 a 5, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios de priorização empregados para a construção da matriz GUT.

NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não mudar nada
2	Pouco grave	Pouco urgente	Piorar em longo prazo
3	Grave	O mais rápido possível	Piorar em médio prazo
4	Muito grave	É urgente	Piorar em curto prazo
5	Extremamente grave	Precisa ser resolvido já	Piorar rapidamente

Fonte: a Autora (2022).

Com base nos critérios estabelecidos na Tabela 3, pôde-se determinar os valores de GUT encontrados para cada uma das causas selecionadas. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de priorização GUT.

Categoria	Causa	G	U	T	GUT
Mão de obra	Preparo inadequado da suspensão de terra infusória	4	3	1	12
	Dosagem contínua de terra infusória de forma manual.	4	5	3	60
Medição	Falha nos medidores de vazão do circuito de dosagem de terra e preparo de pré-camada.	5	5	3	75
	Medidores de turbidez da saída do filtro KG descalibrados.	5	5	2	50
Materiais	Agitador dos tanques da suspensão de terra infusória em formato inadequado	3	4	1	12
	Problemas de qualidade na terra infusória.	5	3	1	15
Máquina	Problemas no filtro de terra infusória	5	5	3	75
	Bomba de preparação da pré-camada	5	5	4	100
	Bomba de dosagem contínua de terra	5	5	5	125
Método	Concentração da suspensão de terra infusória inadequada	3	5	3	45
	Falhas na lógica de dosagem contínua de terra infusória	4	4	1	16
	Padronização na dosagem contínua de terra	4	4	1	16

G: gravidade; U: urgência; T: tendência.

Fonte: a Autora (2022).

As causas levantadas referentes a problemas de máquina tiveram o maior número de priorização, como revela a matriz de priorização GUT apresentada na Tabela 4. De fato, defeitos em equipamentos críticos no processo de filtração tornam-se prioritários, devido não somente à gravidade e urgência de resolução, mas tendo em vista que equipamentos em operação contínua com falhas crônicas estão sujeitos a problemas que se agravam rapidamente. Sendo assim, as três causas levantadas na categoria de máquina foram priorizadas.

De posse das causas fundamentais para o problema da redução do ciclo de filtração, foi possível então desenvolver um plano de ação com o objetivo de solucioná-las efetivamente. Para tal, foi empregada a metodologia 5W2H. Os planos

de ação levantados estão apresentados na Tabela 5. Além disso, foi desenvolvido também um plano de ação para todas as causas levantadas, cuja execução seguiu a ordem de priorização estabelecida pela matriz GUT (Apêndice A). Algumas ações foram executadas antes daquelas determinadas como prioritárias, tendo em vista a facilidade e rapidez de execução.

Dessa forma, foi concluída então a etapa de planejamento do ciclo PDCA. A próxima etapa envolveu a execução de cada ação levantada, conforme Tabela 5 e Apêndice A.

Como verificado na Tabela 5, um plano de ação simples e de baixo custo inicial foi desenvolvido, tendo em vista as causas fundamentais levantadas através do estudo. As ações levantadas envolveram principalmente a equipe de manutenção da fábrica, tendo em vista que as causas priorizadas são referentes à categoria de máquinas.

Tabela 5: Plano de ação para as causas fundamentais relacionadas à redução do ciclo de filtração.

5W					2H	
<i>What?</i> O quê?	<i>Why?</i> Por quê?	<i>Where?</i> Onde?	<i>Who?</i> Por quem?	<i>When?</i> Quando?	<i>How?</i> Como?	<i>How much?</i> Por quanto?
Manutenção geral do filtro de terra infusória	Verificar se todos os elementos do filtro estão em bom funcionamento	Filtro KG	Equipe de manutenção	15/07/2022	Em dia de parada programada, a equipe da manutenção deverá abrir o filtro KG, realizar a inspeção das velas do mesmo, verificando a existência de fissuras ou o empenamento das velas. Deve-se também realizar a completa limpeza das velas através do jateamento interno com água e deve ser feito o teste de estanqueidade no filtro para verificar se há passagem de terra infusória pelas velas.	R\$1000,00
Inspeção geral da bomba de pré-camada	Verificar se a mesma está em perfeito funcionamento	Bomba de preparação da pré-camada	Técnico de manutenção elétrico e mecânico	21/07/2022	Verificar o manual da bomba e do filtro KG, para garantir que a bomba está operando nas especificações corretas. Verificar os elementos mecânicos da bomba, como voluta, espelho e rotor, se necessário realizar os devidos reparos.	R\$500,00
Inspeção geral da bomba de dosagem contínua	Verificar se a mesma está em perfeito funcionamento	Bomba de dosagem contínua de terra	Técnico de manutenção elétrico e mecânico	21/07/2022	Verificar o manual da bomba e do filtro KG, para garantir que a bomba está operando nas especificações corretas. Verificar os elementos mecânicos da bomba de dosagem, como o mangote e demais peças.	R\$650,00

Fonte: a Autora (2022).

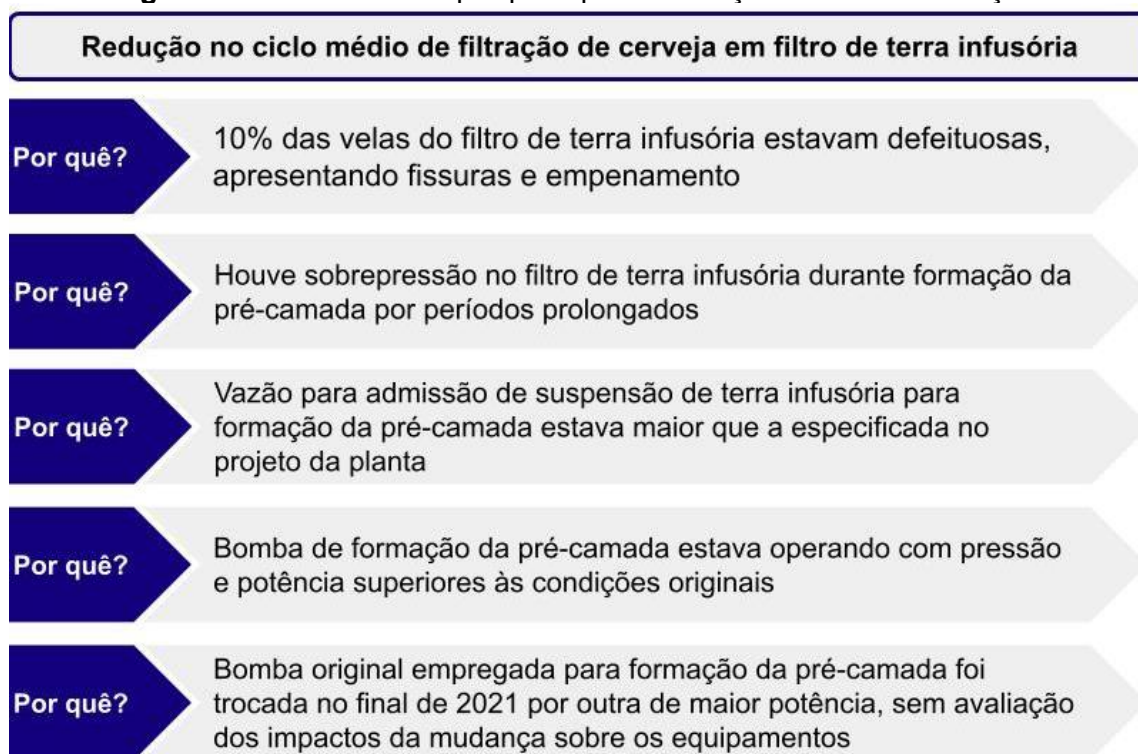
4.3. EXECUÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

O plano de ação levantado foi executado tendo em vista dois critérios: a priorização estabelecida através da matriz de priorização GUT e a facilidade de execução. Todas as ações de inspeção e verificação, seja de equipamentos, acessórios, lógicas de automação e avaliação de laudos de qualidade foram executadas tão logo quanto possível.

A causa que apresentou maior número de priorização foi relacionada a problemas no filtro de terra infusória. Dessa forma, foi executada a manutenção geral do equipamento, que foi esvaziado, despressurizado, aberto e inspecionado. Foi realizado o teste de estanqueidade do filtro, para verificação de possíveis fissuras nas velas que o compõem. Em consequência dessa inspeção, obteve-se a informação de que cerca de 10% das velas do filtro KG se encontravam defeituosas. Estas foram retiradas de operação para troca.

Com base nos pontos levantados, foi comprovado que a eficiência do equipamento estava reduzida. Isto porque o uso de velas defeituosas resulta em má-formação da pré-camada, o que por sua vez faz com que o diferencial de pressão no equipamento ao longo de um ciclo de filtração aumente mais rapidamente, reduzindo assim o ciclo médio de filtração. Ao verificar as velas defeituosas no filtro foi necessária a execução de uma análise de “5 porquês”, para investigar a causa raiz dos danos apresentados nas velas (Figura 19).

Figura 19: Análise dos “5 porquês” para a redução do ciclo de filtração.



Fonte: a Autora (2022).

Como verificado na Figura 19, a causa para a presença de velas defeituosas no filtro foi a troca realizada na bomba centrífuga que transfere a suspensão de terra infusória para o filtro durante a formação da pré-camada. Essa mudança foi realizada no final do ano anterior, momento no qual foi verificado o início gradativo da redução do ciclo médio de filtração. Nesse momento, por defeito na bomba original, realizou-se a troca por outra de maior potência. Entretanto, essa mudança acarretou uma sobre pressão no filtro em toda renovação da pré-camada, o que levou a danificação das velas.

Dessa forma, foi instalado um inversor de potência na bomba em questão e restabelecidos os parâmetros originais conforme projeto desenhado para a planta. Também foi realizada a compra de novas velas e feita a substituição, garantindo que o filtro voltasse a operar nas condições originais e com eficiência completa. Sendo assim, foi possível verificar a importância da avaliação aprofundada sobre mudanças em parâmetros de funcionamento de equipamentos, dado que estas podem conduzir a diversos impactos desconhecidos sobre o processo em operação. Como estabelecido no plano de ação, também foi realizada uma inspeção geral em todos os elementos da bomba, garantindo seu correto funcionamento.

Da mesma forma, foi inspecionada a bomba de dosagem contínua de terra infusória na tubulação de cerveja ao longo do processo de filtração, conforme plano de ação desenvolvido. Essa bomba garante a constante renovação da camada filtrante ao longo do processo de filtração, sendo fundamental para manter o diferencial de pressão do filtro e, portanto, conduzir a um bom ciclo de filtração. Na inspeção, foram verificados alguns elementos defeituosos, como o mangote que realiza a dosagem, sendo realizada sua troca. De posse dos resultados obtidos até aqui, pôde-se então dar continuidade ao ciclo PDCA com a etapa de checagem.

4.4. CHECAGEM: CENÁRIO POSTERIOR

Após a implementação das ações levantadas conforme priorização, foi então verificado o ciclo médio de filtração referente a agosto, mês sequencial às intervenções de manutenção no filtro de terra infusória. Os resultados do ciclo médio de filtração antes e após mudanças estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Ciclo médio de filtração de janeiro a agosto de 2022.

Mês	Ciclo médio de filtração
Janeiro	7248
Fevereiro	7270
Março	6638
Abril	5909
Maio	5952
Junho	6219
Julho	7256
Agosto	10890

Fonte: a Autora (2022)

Como verificado na Tabela 6, o ciclo médio de filtração subiu significativamente de junho para agosto, com um aumento percentual de 75%. Além disso, o recorde de maior ciclo de filtração do ano também foi atingido em agosto, com valor superior a 20 mil hectolitros de cerveja filtrada. Dentre os principais indicadores da cervejaria

impactados por essa melhoria, está o valor de horas desprogramadas nas linhas de envase por falta de cerveja, que teve uma redução de 37% entre os meses de julho e agosto. Além disso, o índice de água da filtração, que representa o volume de água consumido para cada litro de cerveja produzida, apresentou uma redução percentual de 25% nesses mesmos meses, tendo em vista o menor número de lavagens e esterilizações do filtro de velas após a melhoria no ciclo médio de filtração. Sendo assim, é possível verificar que as ações implementadas de fato foram assertivas, atuando sobre as causas fundamentais do problema e conduzindo à melhoria dos indicadores da área.

4.5. REAÇÃO: PADRONIZAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE AÇÕES FUTURAS

Após a execução do plano de ação, foi possível então padronizar as mudanças que se mostraram importantes para a resolução do problema. Dessa forma, foi inserido no plano de manutenção do filtro de terra infusória o procedimento de verificação da integridade das velas através dos testes de estanqueidade e de integridade das velas. Quanto à concentração da suspensão de terra infusória, foram testados alguns valores e padronizado o limite que se mostrou mais eficiente na dosagem. Essa padronização foi realizada através de ajustes de automação no controlador lógico programável (CLP) do processo de filtração.

Além disso, foi também padronizado que para todas as mudanças de equipamentos e condições operacionais no processo, seja realizada uma avaliação completa dos impactos das modificações sobre o processo como um todo, seja em termos de integridade dos equipamentos, produtividade ou segurança. Essa avaliação passou a ser registrada através do emprego de um documento denominado MOC, do inglês *management of change*, que significa gestão de mudanças.

Como etapas para o futuro, tendo em vista a busca pela melhoria contínua do processo de filtração de cervejas da fábrica em estudo, algumas ações foram propostas:

- Desenvolver junto à equipe de automação e o suporte da área de tecnologia da empresa uma lógica mais robusta para calcular a quantidade de terra infusória dosada ao longo da filtração. Para isso, serão utilizados conceitos de inteligência artificial e aprendizado de máquina (*machine learning*). O objetivo é garantir que a dosagem contínua de terra promova uma renovação da camada filtrante de forma inteligente, com base na turbidez da cerveja filtrada

e condições de vazão e pressão do filtro de velas e apresentando respostas cada vez mais rápidas para alterações destes parâmetros ao longo do ciclo de filtração.

- Realizar a troca da bomba de deslocamento positivo empregada na dosagem contínua de terra por uma de maior potência. Isso porque, ao entrar em contato com especialistas e outras unidades fabris, percebeu-se que a bomba empregada era de fato de menor potência, o que limita a concentração da suspensão de terra infusória a valores inferiores ao necessário para garantir uma boa renovação da camada filtrante.
- Realizar ajustes nas demais subáreas do processo produtivo, como fabricação do mosto, fermentação e maturação, tendo em vista que a qualidade da cerveja recebida na filtração impacta diretamente no ciclo médio de filtração. Parâmetros como turbidez, concentração de células em suspensão e viscosidade podem ser melhorados para garantir um maior ciclo médio de filtração.

5. CONCLUSÃO

Os estudos realizados no presente trabalho e o emprego da metodologia PDCA conduziram à otimização do ciclo médio de filtração de cervejas em cervejaria de grande porte. Através do diagrama de causa e efeito, foi possível levantar todas as causas possíveis para a redução do ciclo de filtração observada na cervejaria em estudo. A causa fundamental foi priorizada através de uma matriz de priorização GUT, que permitiu verificar que o problema nos ciclos de filtração se relacionava com problemas no filtro de velas utilizado no processo. Ao executar o plano de ação, traçado com o auxílio da metodologia 5W2H, foi observado que 10% das velas do filtro se encontravam danificadas, resultando na queda da eficiência do equipamento e na elevação mais rápida do diferencial de pressão do filtro. Com o auxílio da ferramenta dos “5 porquês” a causa raiz do problema verificado nas velas foi determinada como sendo a troca da bomba de dosagem de pré-camada por uma de potência superior à projetada para o filtro empregado.

Dessa forma, a partir de uma investigação mais detalhada do problema, foi possível tomar as ações corretivas e realizar as padronizações necessárias para que o efeito não volte a acontecer. Assim, ao fim da execução do projeto, foi verificado um aumento de 75% no volume médio de cerveja filtrada por ciclo de filtração, confirmando a assertividade das ações propostas e implementadas através do ciclo PDCA.

A partir disso, foi possível verificar que o emprego da metodologia PDCA e ferramentas da qualidade consolidadas na literatura promoveram os resultados do indicador em estudo a uma melhora rápida e significativa, com ações iniciais simples e de baixo custo, a maioria realizada pelos próprios colaboradores da empresa. Dessa forma, além de otimizar o ciclo médio de filtração em si, também foi possível diminuir o consumo com insumos de produção, como água e terra diatomácea, melhorar a produtividade do processo, tendo em vista as menores paradas para lavagem e esterilização do filtro, e conduzir a uma melhor rotina de trabalho para os operadores. O fechamento do ciclo PDCA permitiu também estabelecer um plano de ação para o futuro, garantindo que todas as variáveis do processo sejam avaliadas e melhoradas, conduzindo a filtração de cervejas na cervejaria em estudo à melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

- BAMFORTH, C. W. Progress in Brewing Science and Beer Production. **Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering**, vol. 8, n. 1, p. 161–176, 2017.
- BERWICK; GODFREY; ROESSNER. **Curing Health Care**, Jossey-Bass, San Francisco, CA, 1990.
- BHOSALE, S.D.; SHILWANT, S.C.; PATIL, S.R. Quality improvement in manufacturing processes using SQC tools. **International Journal of Engeneering, Research and Applications**, v. 3, p. 832–837, 2013.
- BRASIL. Decreto nº 6871, de 14 de junho de 2009. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e fiscalização de bebidas. Legislação de bebidas [S.l.], p.10, jun. 2009.
- BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº. 65 de 10 de dezembro de 2019. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. Brasília, DF, 2019.
- BRASIL. CERVBRASIL - Associação Brasileira da Indústria de Cerveja. Dados do setor. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/>. Acesso em: 29 jul. 2022.
- BRASIL. CERVBRASIL - Associação Brasileira da Indústria de Cerveja. Anuário 2016. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuario/>. Acesso em: 12 out. 2022.
- BRIGGS, D. E.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. B. C. A.; BOULTON, C. A.. Brewing: science and practice, **Woodhead Publishing**, vol. 108, 2004.
- CABRAS, I.; HIGGINS, D. M. Beer, brewing, and business history. **Business History**, v. 58, n. 5, p. 609-624, 2016.
- CAMPBELL, S. L. The continuous brewing of beer. **VI-Food-A-Beer**:1-8, 2017.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. Atlas SA, 2012.
- CASTRO, Dayane Faviero de. **ESTUDO DAS CAUSAS DE CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**. 2014. 37 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Bioquímica, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.
- COSTA, A. R.; SILVA, J. G. Variability reduction in Manaus beer process production. **International Journal for Innovation, Education and Science**, v. 7, p. 1418-1434, 2019.
- DESALLE, R.; TATTERSALL, I. A natural history of beer. **Yale University Press**, 2019.
- EUROMONITOR. Euromonitor International. Beer in Brazil. Disponível em: <<https://www.euromonitor.com/beer-in-brazil/report>>. Acesso em: 04 ago. 2022.

FONSECA, C. M.; LEITE, J.C.; FREITAS, C. A. O.; VIEIRA, A. S.; FUJIYAMA, R. T.; Proposal for improvement the welding process of the micro-USB connector on the mother board on tablets. **ITEGAM-JETIA**, v. 2, n.6, p. 39-47, 2016.

FREEMAN, G. J.; MCKECHNIE, M. T. Filtration and stabilization of beers. In: Fermented beverage production. **Springer**, Boston, MA. p. 365-392, 2003.

GHESTI, G. F.; MULLER, C. V.; PARACHIN, N. S.; BARROS, C. R.; PINHEIRO, L. G. S. **Análise Sensorial para Cervejas**. 1. ed., Universidade de Brasília: Brasília, 2017.

GOMES FILHO, V.; GASPAROTTO, A. M. S.. A importância do ciclo PDCA aplicado à produtividade da indústria no Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 383-392, 2019.

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

JOSTES, R. S.; HELMS, M. M. Total Productive Maintenance and Its Link to Total Quality Management. **Work Study**, vol. 43, n. 7, p. 18–20, 1994.

JUNIOR, A. A. D.; VIEIRA, A. G.; FERREIRA, T. P. Processo de produção de cerveja. **Revista Processos Químicos**, v. 3, n. 6, p. 61-71, 2009.

KARABÍN, M.; HUDCOVÁ, T.; JELÍNEK, L.; DOSTÁLEK, P. Biologically active compounds from hops and prospects for their use. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. v.15, n. 3, p. 542-567, 2016.

KROTTENTHALER, M.; BACK, W.; ZARNKOW, M.; EBLINGER, H. M. Wort Production. In: EBLINGER, H. M. **Handbook of brewing: Processes, technology, markets**. 2009.

KUNZE, W. **Tecnología para cerveceros y malteros**. Berlin: VLB Berlin, 2006.

MAICZUK, J.; ANDRADE JÚNIOR, P.P. Application of quality and productivity improvement tools in productive processes: a case study. **Qualitas Web magazine**, v. 14, p. 1–14, 2013.

MARTÍNEZ-COSTA, M.; JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, D. The effectiveness of TQM: the key role of organizational learning in small businesses. **International Small Business Journal**, v. 27, n. 1, p. 98-125, 2009.

MARTINS, L. F.; PANDOLFI, M. A.; COIMBRA, C. C. **Análise dos indicadores do mercado cervejeiro brasileiro**. 2017.

MEUSSDOERFFER, F. G. A comprehensive history of beer brewing. **Handbook of brewing: Processes, technology, markets**, p. 1-42, 2009.

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

PEREIRA, C. M. **Cerveja: história e cultura**. Editora Senac: São Paulo, 2021.

POELMANS, E.; SWINNEN, J. F. A brief economic history of beer. **The economics of beer**, v. 1. 2011.

REBELLO, F. D. F. P. Produção de cerveja. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, n. 1, 2009.

REED, R. J. R. Centenary review article beer filtration. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 92, n. 5, p. 413-419, 1986.

REINOLD, M. R. **Manual prático de cervejaria**. São Paulo: ADEN, p. 213, 1997.

RIELLY, M., Integrating TPM with Team-based Systems. Third Annual TPM Conference and Exposition, Productivity Inc., Norwalk, CT, 1992.

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

ROTOLO, T. Notas sobre cultura e cerveja. **Revista Mangút: Conexões Gastronômicas**. v. 2, n. 1, p. 98-112, 2022.

SAVEDRA, L. A.; ROYER, R.; ROSA, A. F. P. Aplicação de ferramentas da qualidade e planejamento para o controle de produção de cerveja artesanal. **Revista Prociências**, v. 4, n. 1, p. 69-89, 2021.

SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial: Engenharia Bioquímica**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2021.

SHALA, N.; HOXHA, I.; XHABIRI, G. Influence of Filtration in the Final Product Stability and Quality Clarity Beer. **International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology**, Ongole, v.3, n.1, p.20-23, 2017.

SILVA, A. S.; MEDEIROS, C. F.; VIEIRA, R. K. Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. **Journal of cleaner production**, v. 150, p. 324-338, 2017.

SIQUEIRA, P. B.; BOLINI, H. M. A.; MACEDO, G. A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 19, n. 4, p. 491-498, 2009.

SLABÝ, M.; ŠTĚRBA, K.; OLŠOVSKÁ, J.. Filtration of Beer—A Review. **Kvasny Prumysl**, v. 64, n. 4, p. 173–184, 2018.

TEUMER, T.; RÄDLE, M.; METHNER, F. J. Possibility of monitoring beer haze with static light scattering, a theoretical background. **Brewing Science**, Woodland Park, v.72, p.132–140, 2019.

WONG, Kam Cheong; WOO, Kai Zhi; WOO, Kai Hui. Ishikawa diagram. In: **Quality Improvement in Behavioral Health**. Springer, Cham, 2016. p. 119-132.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Plano de ação desenvolvido para as causas relacionadas à redução do ciclo médio de filtração (continua).

CAUSA	GUT	Plano de ação						Status
		<i>What?</i>	<i>Why?</i>	<i>Where?</i>	<i>Who?</i>	<i>When?</i>	<i>How?</i>	
		O quê?	Por quê?	Onde?	Por quem?	Quando?	Como?	
Preparo inadequado da suspensão de terra infusória	12	Acompanhar dosagem de terra em campo nos três turnos	Garantir que foi dosada a quantidade correta de terra infusória	Filtração - Processo Cerveja	Supervisor da filtração	02/07/2022	Acompanhar procedimento de dosagem, contagem de sacos de terra dosados e volume de água adicionado na tina de dosagem para formação da suspensão	Completa
		Realizar a contagem diária do estoque de terra infusória		Filtração - Processo Cerveja	Supervisor da filtração	02/07/2022	Marcar os insumos presentes na sala de armazenamento da área, realizando a contagem diária	Completa
		Analisar a concentração da suspensão de terra diariamente		Filtração - Processo Cerveja	Operação da filtração	11/07/2022	Coletar amostra de 100 mL da suspensão de terra, deixar decantar em proveta por 24 h. Em seguida, calcular a concentração de terra (g/L) com base no volume de terra decantado na proveta e a sua densidade úmida	Completa
Dosagem contínua de terra infusória de forma manual.	60	Treinamento da operação para dosagem automática	Garantir que a dosagem contínua de terra será padronizada segundo a lógica desenvolvida em automação, evitando variações entre turnos e erros de dosagem	Filtração - Processo Cerveja	Supervisor da filtração	13/07/2022	Treinamento da operação, comunicação nas reuniões diárias e nas reuniões de troca de turno. Monitoramento diário da execução	Completa
		Criação de dashboard de atualização automática para monitoramento da dosagem contínua de terra		Filtração - Processo Cerveja	Técnico de automação	15/07/2022	Através da ferramenta Grafana, que realiza coletas automáticas de dados através do controlador lógico programável (CLP)	Completa
Falha nos medidores de vazão do circuito de dosagem de terra e preparo de pré-camada.	75	Calibração dos medidores de vazão	Garantir a confiabilidade dos instrumentos de medição <i>in line</i> envolvidos no processo de dosagem de terra infusória	Filtração - Processo Cerveja	Técnico de instrumentação	03/07/2022	Calibrar medidores de vazão conforme procedimento padrão da área	Completa

APÊNDICE A: Plano de ação desenvolvido para as causas relacionadas à redução do ciclo médio de filtração (continuação e continua).

CAUSA	GUT	Plano de ação						Status
		<i>What?</i>	<i>Why?</i>	<i>Where?</i>	<i>Who?</i>	<i>When?</i>	<i>How?</i>	
		O quê?	Por quê?	Onde?	Por quem?	Quando?	Como?	
Medidores de turbidez da saída do filtro KG descalibrados.	50	Calibração dos medidores de turbidez	Garantir a confiabilidade dos instrumentos de medição <i>in line</i> envolvidos no processo de dosagem de terra infusória	Filtração - Processo Cerveja	Técnico de instrumentação	05/07/2022	Calibrar medidores de turbidez conforme procedimento padrão da área	Completa
Agitador dos tanques da suspensão de terra infusória em formato inadequado	12	Adaptar o mexedor para aumentar a abrangência das pás de agitação	Garantir a correta homogeneização da suspensão de terra	Tina de suspensão de terra infusória	Técnico mecânico Supervisor de manutenção	27/10/2022	Comprar e instalar um mexedor de formato mais adequado para a agitação da tina de suspensão de terra	Não iniciada
Problemas de qualidade na terra infusória.	15	Verificar laudo de recebimento de terra infusória	Verificar se a terra infusória está adequada ao uso	Laboratório de qualidade	Supervisor da qualidade Supervisor da filtração	02/07/2022	Avaliar todos os itens que constam no laudo de qualidade da terra infusória e confrontar com os dados apresentados na literatura	Completa
Problemas no filtro de terra infusória	75	Manutenção geral do filtro de terra infusória	Necessidade de manutenção é anual	Filtro KG	Equipe de manutenção	15/07/2022	Em dia de parada programada, equipe da manutenção deverá abrir o filtro KG, realizar a inspeção das velas do mesmo, verificando a existência de fissuras ou o empenamento das velas. Deve-se também realizar a completa limpeza das velas atarvés do jateamento interno com água e deve ser feito o teste de estanqueidade no filtro para verificar se há passagem de terra infusória pelas velas.	Completa

APÊNDICE A: Plano de ação desenvolvido para as causas relacionadas à redução do ciclo médio de filtração (continuação).

CAUSA	GUT	Plano de ação						Status
		<i>What?</i>	<i>Why?</i>	<i>Where?</i>	<i>Who?</i>	<i>When?</i>	<i>How?</i>	
		O quê?	Por quê?	Onde?	Por quem?	Quando?	Como?	
Bomba de preparação da pré-camada	100	Inspeção geral da bomba	Verificar se a mesma está em perfeito funcionamento	Bomba de preparação da pré-camada	Técnicos de manutenção	21/07/2022	Verificar o manual da bomba e do filtro KG, para garantir que a bomba está operando nas especificações corretas. Verificar os elementos mecânicos da bomba, como voluta, espelho e rotor, se necessário realizar os devidos reparos.	Completa
Bomba de dosagem contínua de terra	125	Inspeção geral da bomba	Verificar se a mesma está em perfeito funcionamento	Bomba de dosagem contínua de terra	Técnicos de manutenção	21/07/2022	Verificar o manual da bomba e do filtro KG, para garantir que a bomba está operando nas especificações corretas. Verificar os elementos mecânicos da bomba de dosagem, como o mangote e demais peças.	Completa
Concentração da suspensão de terra infusória inadequada	45	Teste com concentração maior de terra infusória	Verificar se a dosagem contínua de terra é otimizada ao aumentar-se a concentração	Filtração - Processo Cerveja	Técnico de automação Supervisor da filtração	16/07/2022	Alterar valor de concentração da suspensão de terra infusória pelo ajuste da relação entre a quantidade de água e de terra infusória dosadas na tina de suspensão	Em andamento
Falhas na lógica de dosagem contínua de terra infusória	16	Ajustes na lógica de dosagem contínua de terra infusória	Verificar se a dosagem contínua de terra é otimizada ao alterar-se o princípio de cálculo da quantidade de terra dosada conforme aumento do diferencial de pressão do filtro.	Filtração - Processo Cerveja	Técnico de automação Supervisor da filtração Especialista de filtração	03/10/2022	Testar novas formas de cálculo com base em dados e inteligência de máquinas	Em andamento
Padronizar dosagem contínua de terra	16	Ajustes na lógica de dosagem contínua de terra infusória	Verificar se existe padrão para cálculo da quantidade de terra infusória dosada continuamente na filtração.	Filtração - Processo Cerveja	Técnico de automação Supervisor da filtração Especialista de filtração	03/10/2022	Realizar <i>benchmarking</i> com outras cervejarias	Em andamento

