



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ENGENHARIAS 2020

ESTUDO DE CASO SOBRE O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CERVEJARIA BACKER

Mariane Vieira da Silva¹
Poliana Matos Ferreira¹
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe²
Universidade São Francisco
mary.vieira1006@gmail.com

¹Alunas do Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

²Professora Doutora Orientadora, Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. O propósito deste trabalho foi realizar um estudo de caso sobre o processo de fabricação da cervejaria Backer que, no início do ano de 2020, provocou a intoxicação de mais de trinta pessoas, das quais dez vieram a óbito até outubro de 2020 devido à ingestão da cerveja Belorizontina, além de outros rótulos, contaminados pelo anticongelante usado pela marca, o monoetilenoglicol. A cerveja é uma das bebidas mais consumidas pelo brasileiro devido ao preço mais acessível quando comparada a outras bebidas alcoólicas. Desta forma, realizar o controle de qualidade na indústria cervejeira é de extrema importância, a fim de assegurar a saúde e integridade do consumidor. Objetivou-se, assim, estudar as possíveis causas desta tragédia a partir de uma análise do processo produtivo, onde foram levantadas as etapas críticas do processo e observou-se que a sequência de processos difere do padrão das cervejarias artesanais. Além disso, foi realizado um estudo sobre o valor do pH da cerveja ao longo das etapas produtivas e concluiu-se que esta apresenta um pH ácido, condição que propicia a transformação de monoetilenoglicol em dietilenoglicol, caso houvesse vazamentos. Também se realizou um levantamento dos anticongelantes disponíveis no mercado e uma comparação de suas vantagens e desvantagens, tais como preço, toxicidade e eficácia, onde o etanol foi o anticongelante que apresentou as melhores características para esta finalidade. Por fim, utilizou-se a ferramenta de qualidade 5W2H que se mostrou eficaz na investigação da causa da contaminação: uma falha na solda do tanque de resfriamento por onde ocorreu o vazamento do monoetilenoglicol, comprometendo a qualidade e segurança da cerveja.

Palavras-chave: Backer, processo, anticongelantes, monoetilenoglicol, qualidade.

Abstract. The purpose of this work was to carry out a case study on the manufacturing process of the Backer brewery, which, in the beginning of 2020, won the spotlight for the intoxication of more than thirty people, ten of whom died and ten deaths by October 2020 caused by the ingestion of Belorizontina beer, in addition to other labels, contaminated by the antifreeze used by the brand, monoethylene glycol. Beer is one of the most consumed drinks by Brazilians due to the more affordable price when compared to other alcoholic drinks. Thus, carrying out quality control in the brewing industry is extremely important, in order to ensure the health and integrity of the consumer. The objective was, therefore, to study the possible causes of this tragedy from an analysis of the production process, where the critical stages of the process were raised, and it was observed that the sequence of processes differs from the pattern of craft breweries. In addition, a study was carried out on the pH value of beer throughout the production stages and it was concluded that it has an acid pH, a condition that allows the transformation of monoethylene glycol into diethylene glycol, if any. Also drains. There was also a survey of antifreeze available on the market and a comparison of its advantages and disadvantages, such as price, toxicity and effectiveness, where ethanol was the antifreeze that showed the best characteristics for this purpose. Finally, the 5W2H quality tool was used, which proved effective in investigating the cause of contamination: a failure in the welding of the cooling tank through which the monoethylene glycol leak occurred, compromising the quality and safety of the beer.

Keywords: Backer, process, antifreeze, monoethylene glycol, quality.

Introdução

O controle de qualidade é de extrema importância na indústria, principalmente na indústria alimentícia, uma vez que os processos resultam em produtos que serão consumidos pelas pessoas. Desse modo, realizar o controle de qualidade na indústria alimentícia está diretamente relacionado à saúde dos consumidores, sendo este o principal

objetivo, além de manter a qualidade do produto, isto é, estabelecer um padrão de acordo com as especificações prometidas na embalagem e respeitando às exigências legislativas.

A falta da realização de um controle de qualidade eficaz pode resultar em consequências fatais. No início de 2020, uma tragédia foi anunciada nos noticiários do Brasil, envolvendo a cervejaria artesanal Backer, de Belo Horizonte – MG. Até outubro de 2020 foram dez mortes confirmadas e outras 20 pessoas sobreviventes. Ao todo, 30 casos confirmados até o décimo mês de 2020, onde as pessoas buscaram socorro médico por apresentarem sintomas em comum, tais como dor abdominal, vômito e náuseas. Em alguns destes pacientes, houve uma evolução rápida para o quadro de insuficiência renal e alterações neurológicas, como paralisia facial e borramento visual (EXAME, 2020). Além disso, essas pessoas apresentaram outro ponto em comum: todas consumiram cervejas da marca Backer (Folha de São Paulo, 2020). Segundo a Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (SES-MG), as vítimas sofreram intoxicação por dietilenoglicol, substância que, de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), foi encontrada em 41 lotes de 10 rótulos da Cervejaria Backer.

O dietilenoglicol (DEG ou ainda éter de glicol) é um álcool tóxico da família orgânica dos glicóis, cuja fórmula química é $C_4H_{10}O_3$. É classificado por Reilly e Perazella (2015) como “um solvente claro e inodoro que está associado a várias intoxicações epidêmicas”. Por ser um glicol, o DEG possui utilidade como anticongelante, visto que apresenta baixo ponto de congelamento e alto ponto de ebulição, além de alta solubilidade aquosa (THOMPSON, DAVIDOW, 2016).

A Backer, por sua vez, negou o uso da substância em seu processo de produção e colaborou com as investigações, mas assumiu que usava o monoetilenoglicol como anticongelante, outra substância raramente usada em cervejarias para este fim. Contudo, a Backer alegou que o monoetilenoglicol não tinha contato com seus produtos, era mantido em serpentinhas que circulavam os tanques de cerveja.

Ademais, algumas questões podem surgir, como: Por que a Backer optou pelo monoetilenoglicol como anticongelante? Existem outras substâncias menos tóxicas e/ou mais baratas para este fim? Houve algum vazamento no tanque? Houve algum problema no processo? Qual era o controle de qualidade usado pela cervejaria para garantir que seus clientes estavam consumindo um produto de confiança, que não afetasse sua saúde e muito menos os levasse à morte? A Backer teria sido vítima de uma fraude?

A partir desse questionamento surgiu este trabalho, cujo objetivo foi analisar e comparar o processo de fabricação da Cervejaria Backer a outras cervejarias, analisando os reagentes usados, o controle de qualidade aplicado etc., a fim de encontrar possíveis falhas e levantar hipóteses que justifiquem o que pode ter causado a intoxicação dessas pessoas citadas e tentar responder se a Backer teve culpa ou não.

Cerveja - Definição

A cerveja é uma bebida não destilada, obtida a partir da fermentação alcoólica do mosto de cereal maltado, geralmente malte de cevada. Costuma-se adicionar lúpulo, sendo esta adição facultativa. O teor alcoólico de uma cerveja varia entre 0,05%, para as cervejas consideradas sem álcool, até 14,9% de álcool por volume (ABV – *alcohol by volume*), na cerveja suíça Samichlaus. Entretanto, a maior parte das cervejas consumida mundialmente possui teor alcoólico por volta de 5% (JUNIOR & VIEIRA, 2009).

História da cerveja

Não se sabe ao certo quais são as origens da cerveja, mas acredita-se que estejam perdidas nas raízes da pré-história. Possivelmente tenha sido descoberta acidentalmente pelos nômades, há cerca de 10000 anos, ao passo que a cevada selvagem, quando embebida em água, transformava-se em algo parecido com o mosto. No período em que as cidades da Mesopotâmia estavam sendo edificadas, a fabricação da cerveja já era uma atividade bem estabelecida (SLEMER, 1996). Em 1516, na Bavária, estado localizado no sudeste da Alemanha, foi publicada a “Lei da Pureza da Cerveja” – *Reinheitsgebot* – que estabelecia que a cerveja deveria ser produzida exclusivamente com malte, lúpulo e água, sem qualquer outro ingrediente.

Com a Revolução Industrial e o surgimento de fábricas cada vez maiores, foram formadas as bases de uma tecnologia cervejeira, ou seja, mediante análises dos processos biológicos e químicos da fabricação de cerveja, as matérias primas começaram a ser usadas racionalmente, evitando desperdícios e aumentando a produção (BRIGIDO & NETTO, 2006).

No Brasil, a cerveja chegou apenas em 1808, com a vinda da família real portuguesa. Consta que o rei, antigo apreciador da cerveja, não podia ficar sem a bebida. Então, com a abertura dos portos às nações amigas de Portugal, a Inglaterra foi a primeira a introduzir a cerveja na antiga colônia (COUTINHO, 2020).

Segundo pesquisa realizada pela Kantar Worldpanel o consumo de cerveja é crescente no Brasil. Entre 2016 e 2018, o percentual de domicílios brasileiros com pessoas que bebiam aumentou de 62,3% para 63,4%. Além disso, o volume de cerveja levado para casa também subiu de 4,2 para 4,5 litros, em média (MADEIRO, 2020). Na Figura 1 observa-se a evolução no consumo de cerveja per capita entre 2010 e 2018.

Além disso, a Associação Brasileira da Indústria de Cerveja divulgou, em 2017, que o país tem um consumo anual de 14,1 bilhões de litros de cerveja, com um faturamento de R\$107 bilhões (MADEIRO, 2020).

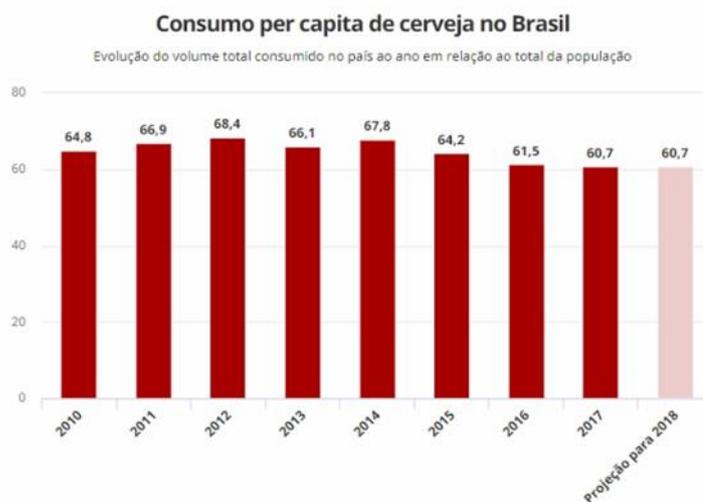


Figura 1 - Evolução do consumo de cerveja no Brasil (Fonte: <https://www.portaldozacarias.com.br/site/noticia/consumo-de-cerveja-deve-recuar-pelo-3a-ano-seguido-em-2017--mas-faturamento-do-setor-cresce/>).

Processo de fabricação de cerveja

Tanto as cervejarias industriais quanto as artesanais possuem alguns parâmetros de produção que são iguais. A principal diferença está na produção de larga escala, na receita, nos ingredientes selecionados, cujos principais são malte, lúpulo e levedura, além do aroma e coloração.

Cervejarias Industriais

O processo de fabricação das cervejarias industriais, representado pelo fluxograma na Figura 2, é detalhadamente apresentado por Kunze (2007) e está descrito a seguir.

A produção se inicia com o recebimento e estocagem de matéria prima em local adequado, seguido por limpeza, moagem e pesagem do malte. A **moagem** consiste basicamente em separar a casca do grão de malte, para evitar adstringência no sabor do mosto. Em seguida, inicia-se a etapa de **mosturação** (mostura/cozimento), onde ocorre a extração dos açúcares dos grãos e algumas enzimas são ativadas. Nesta etapa, é importante controlar a temperatura de acordo com a receita da cerveja.

Após a mosturação, o mosto é **filtrado** usando o próprio malte, que é lavado para aumentar o rendimento do processo, extraindo o mosto restante preso nos grãos. Estes grãos podem ser reaproveitados para a fabricação de ração animal, por exemplo. O mosto, então, é submetido à **fervura**, etapa destinada à purificação do mosto, que ocorre sob temperatura elevada, em torno dos 90 °C, onde microrganismos indesejados são evaporados juntamente com uma porção d'água. É nesta etapa, também, que a densidade do mosto é determinada. Neste momento, é adicionado o lúpulo. Então, o mosto passa por um **decantador**, cujo objetivo principal é retirar proteínas coaguladas e bagaço do lúpulo.

A próxima etapa consiste no resfriamento, onde o mosto é resfriado por um trocador de calor de placas até a inoculação da levedura, onde deve atingir os 25 °C o mais rápido possível. Em seguida, o mosto é transferido para o fermentador, onde primeiro ocorre a aeração, que consiste na ingestão de oxigênio para permitir o equilíbrio biológico para o fermento não morrer.

Em seguida, inicia-se a fermentação, etapa mais longa e duradoura, também muito delicada, pois depende do fator biológico do fermento. O fermento necessita de nutrientes para gerar o álcool, temperatura controlada para extrair os sabores necessários e tempo para realizar o ciclo completo. Após a fermentação, a temperatura do mosto é diminuída e a levedura decanta no fundo do fermentador, sendo transferida para outro tanque. Como ainda existem células mortas na cerveja, ela passa pelo processo de centrifugação, e é transferida para um tanque maturador, onde ocorre a maturação, etapa onde o mosto atinge os valores desejados.

Em seguida, a cerveja é filtrada e, caso sua densidade esteja diferente daquela esperada, a cerveja passa, ainda, pela etapa de blendagem, através de um equipamento chamado High Density Blend, onde a densidade é ajustada, poupando tempo e volume nos tanques.

Então, a cerveja passa pela etapa de carbonatação, onde CO₂ é adicionado até que o gás seja incorporado na bebida. Posteriormente, a cerveja segue para o envase, que normalmente é feito em garrafas de 600 mL, 1 L, long neck ou ainda em latas. Após, a cerveja passa pela etapa de pasteurização, que consiste na aspensão de água aquecendo o líquido a aproximadamente 65 °C. As garrafas ou latas são embaladas, paletizadas e estocadas até a distribuição.

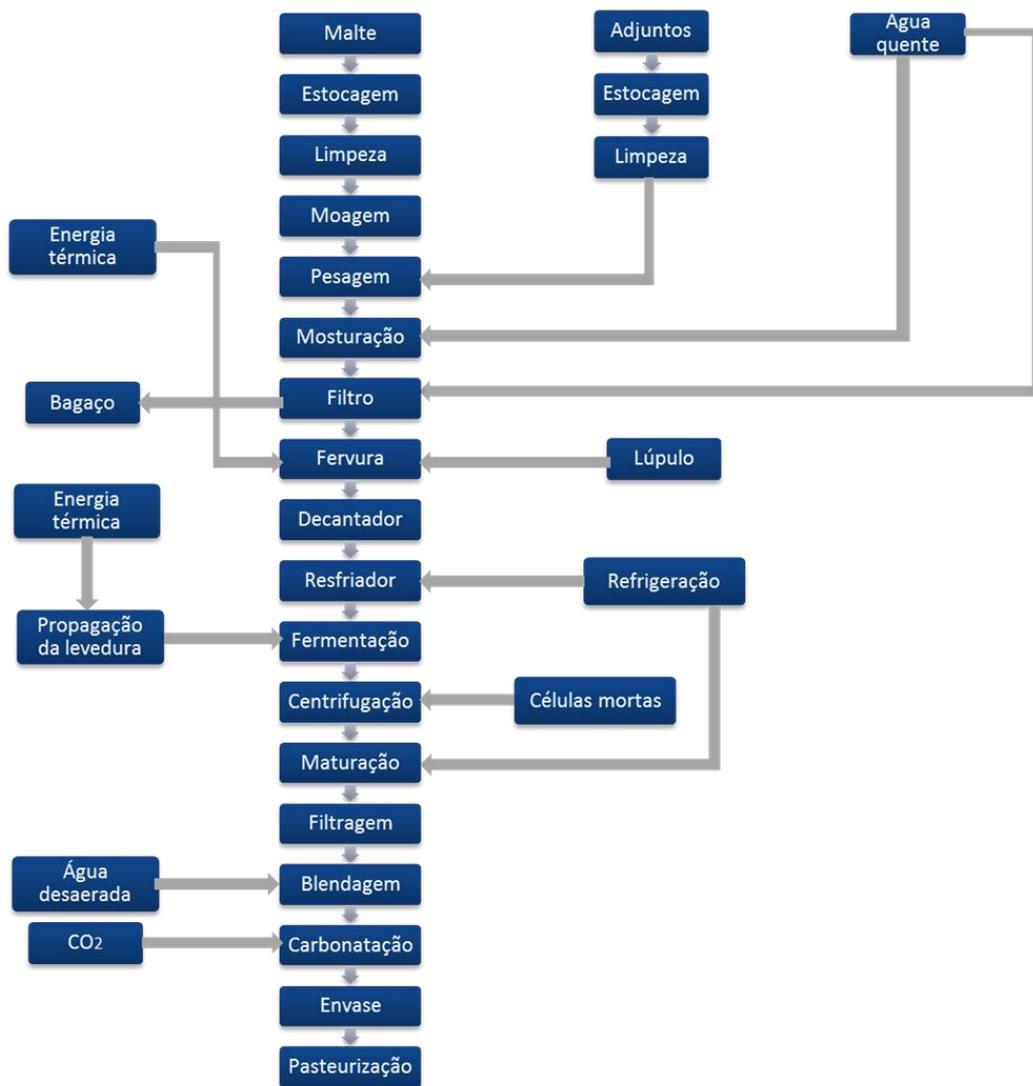


Figura 2 - Fluxograma do processo de fabricação de cervejarias industriais (Adaptado de Kunze, 2007).

Cervejarias Artesanais

O processo de fabricação das cervejarias artesanais é representado pelo fluxograma de processo apresentado na Figura 3. Diferentemente das cervejarias industriais, as cervejarias artesanais possuem maior cuidado na fabricação das cervejas, visto que o público a quem se dirigem é mais exigente, assim a produção deixa de ser massificada. Os ingredientes escolhidos também são mais nobres e selecionados e até mesmo a garrafa, rótulo e outros detalhes da embalagem ganham uma atenção mais diferenciada (COUTINHO, 2020). Desta forma, o processo torna-se mais enxuto que o de uma cervejaria industrial, porém os detalhes fazem toda a diferença.

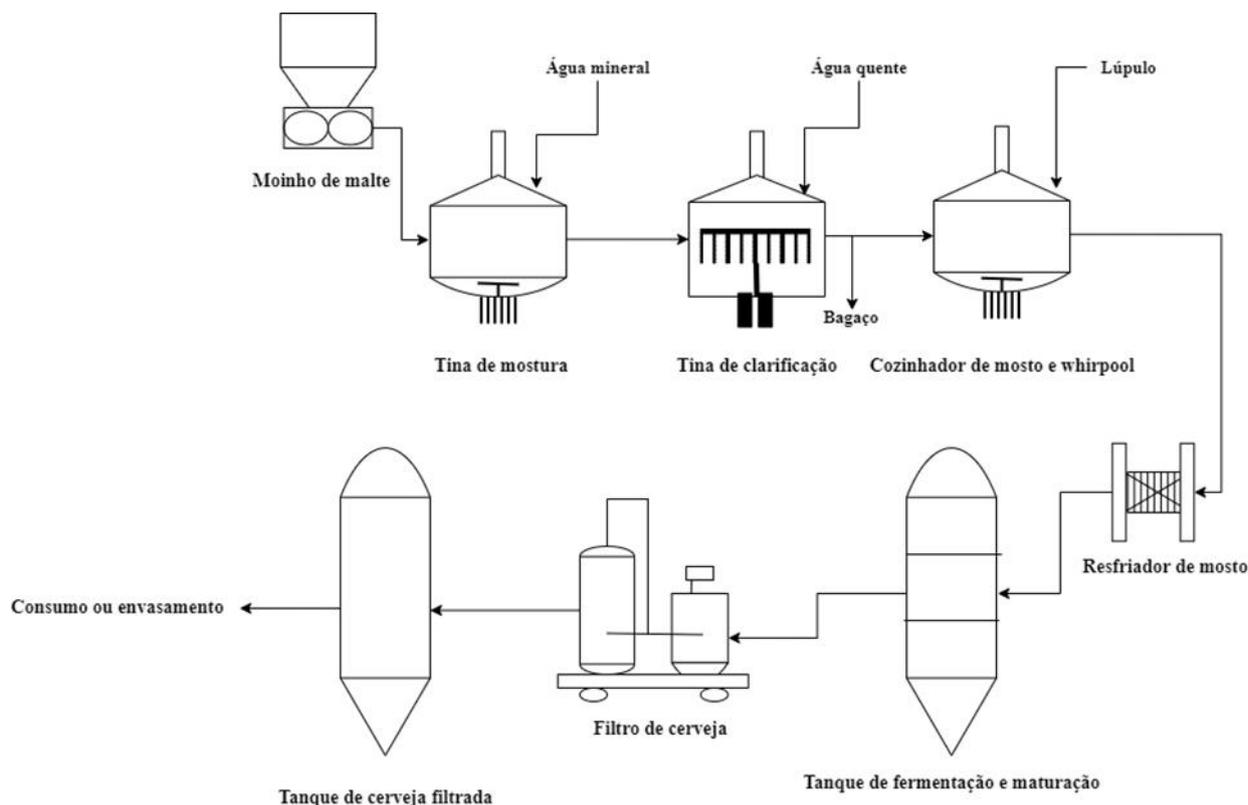


Figura 3 - Fluxograma do processo de fabricação de cervejarias artesanais (Adaptado de BERNARDES & FRANÇA, 2017).

As etapas do processo de fabricação das cervejarias artesanais possuem as mesmas finalidades descritas no tópico *Cervejarias Industriais*.

Métodos de Resfriamento

Durante o processo de fabricação da cerveja, a etapa de resfriamento ocorre em dois momentos (BOAN; COLLINI; PEREZ, 2014):

- Resfriamento do mosto: o mosto é resfriado de aproximadamente 95 °C para uma temperatura entre 8 e 25 °C de maneira rápida, aproximadamente 60 minutos (não devendo ultrapassar 100 minutos);
- Resfriamento da levedura: a levedura deve ser mantida resfriada a uma temperatura entre 3 e 4 °C, para que a atividade metabólica seja mantida no mínimo. Se a temperatura for menor que 2 °C existe o risco de congelamento da levedura, causando danos irreparáveis às células e, conseqüentemente, levando-as à morte. Se a temperatura for superior a 4 °C, a atividade metabólica será maior, podendo causar o efeito de toxicidade do álcool, esgotamento dos nutrientes disponíveis e das reservas de glicogênio e resultando na perda de viabilidade e vitalidade.

Dessa forma, existem métodos de resfriamento que podem ser utilizados em uma cervejaria, como a crioscopia ou criometria, trocadores de calor e a refrigeração por amônia, que são descritos a seguir.

Crioscopia ou Criometria: o uso de anticongelantes

A Crioscopia é uma propriedade coligativa, isto é, uma propriedade de soluções diluídas que são afetadas pela concentração do soluto, mas não por sua natureza química (DAMODARAN & PARKIN, 2018), que consiste na adição de um soluto não volátil a um solvente, com o objetivo de promover mudanças no comportamento do sistema, no caso, a diminuição do ponto de congelamento do solvente, também chamado de efeito crioscópico (FIOROTTO, 2014).

Segundo Nilton R. Fiorotto (2014), “A temperatura de congelamento de uma solução decresce durante a solidificação porque, inicialmente, congela o solvente puro. À medida que o solvente vai se solidificando, a solução, ainda líquida, vai ficando mais concentrada e a temperatura de congelamento vai diminuindo”.

A temperatura de congelamento da água pura é 0 °C (1 atm). Para conseguir o efeito crioscópico e diminuir essa temperatura, pode-se adicionar diferentes substâncias à água, os anticongelantes.

- **Soluções de água e sal (NaCl) ou água e cloreto de cálcio (CaCl₂):** são também chamadas de salmouras e podem alcançar temperaturas de -2 °C ou até menos, dependendo da proporção em que são adicionados à água. Por exemplo, ao se resfriar uma solução aquosa de 10% de NaCl, o congelamento ocorrerá a -2,12 °C. Entretanto, estas soluções são corrosivas.

- **Soluções de água e monoetilenoglicol a 50%:** são capazes de alcançar temperaturas de -35 °C;
- **Soluções de água e etanol a 38%:** são capazes de alcançar temperaturas de -20 °C.

O monoetilenoglicol realiza pontes de hidrogênio com a água e, além do abaixamento da temperatura de congelamento (efeito crioscópico), ocorre a diminuição da pressão de vapor da água (solvente – efeito tonoscópico) e promove uma temperatura de ebulição intermediária – maior que a da água e menor que a do monoetilenoglicol (efeito ebulioscópico) (FIOROTTO, 2014). Seu uso é comum em radiadores de carros em países muito frios, com o objetivo de não congelar a água que resfria os motores (GARCIA, 2020).

Entretanto, não é habitual usá-lo nos processos de resfriamento das cervejarias, devido ao seu potencial de intoxicação.

Em entrevista ao site Revista da Cerveja, Gustavo de Miranda, mestre-cervejeiro diplomado pela VLB Berlim e engenheiro químico com atuação de mais de 30 anos no mercado cervejeiro afirmou que, no caso de uma cervejaria, existe a possibilidade do monoetilenoglicol ou dietilenoglicol ser utilizado nas camisas de resfriamento de tanques de fermentação ou de maturação, para o controle da temperatura, mas ressaltou que: este uso não é comum, visto que existem outros produtos que podem ser utilizados para este mesmo fim, com um custo por vezes menor.

Trocadores de Calor

Os trocadores de calor são dispositivos que permitem a troca de calor entre dois fluidos, cujas temperaturas são diferentes, evitando que haja contato entre eles (ÇENGEL & GHAJAR, 2009). São amplamente utilizados na indústria, seja para o aquecimento ou resfriamento de um fluido, o que permite sua aplicação nas etapas de resfriamento presentes no processo de fabricação de cerveja.

A transferência de calor nos trocadores de calor ocorre por convecção em cada fluido e condução através da parede que os separa. Existem diferentes tipos de trocadores de calor, para diferentes aplicações de transferência de calor (ÇENGEL & GHAJAR, 2009):

- **Trocador de calor tubo duplo:** constituído por dois tubos concêntricos de diferentes diâmetros, um fluido escoava através do tubo menor, enquanto o outro escoava através do espaço anelar entre os dois tubos;
- **Trocador de calor compacto:** é especialmente projetado para permitir uma grande superfície de transferência de calor por unidade de volume (p. e. radiadores de carro);
- **Trocador de calor casco e tubo:** é o tipo mais comum em aplicações industriais e consiste em um grande número de tubos acondicionado em um casco. A transferência de calor ocorre com um fluido escoando no interior dos tubos e o outro do lado de fora, através do casco;
- **Trocador de calor em serpentina:** consiste em uma ou mais serpentinas (tubos circulares) ordenadas em uma carcaça e a transferência de calor ocorre como no trocador de calor casco e tubos;
- **Trocador de calor de placas:** consiste em uma série de placas planas corrugadas com passagens para o escoamento. Fluidos quentes e frios escoam em passagens alternadas, ou seja, cada escoamento de fluido frio é cercado por dois escoamentos de fluido quente, o que resulta em uma troca de calor muito eficiente;
- **Trocador de calor regenerativo:** pode ser estático ou dinâmico. No trocador de calor regenerativo estático existe um meio poroso por onde os fluidos quente e frio escoam alternadamente. O calor é transferido a partir do líquido quente para a matriz do regenerador durante o escoamento do fluido quente e a partir da matriz para o fluido frio durante o escoamento do fluido frio. Já o trocador de calor regenerativo dinâmico envolve um tambor rotativo e um escoamento contínuo dos fluidos quente e frio através de diferentes partes do tambor.

Na cervejaria o trocador de calor mais utilizado para o resfriamento do mosto durante a fabricação de cerveja é o trocador de calor de placas, onde o fluido utilizado é a água gelada, com temperatura média de 2,5 °C. O mosto, com temperatura inicial de 95 °C, deve ser resfriado até 6 °C, aproximadamente, e a água quente resultante da troca de calor finaliza o processo a aproximadamente 60 °C, podendo ser reutilizada (LIMA, 2016). Na Figura 4 está esquematizado como o trocador de calor de placas funciona e, na Figura 5, há um exemplo de trocador de calor de placas utilizado na indústria cervejeira para o resfriamento do mosto.



Figura 4 - Esquema do funcionamento do trocador de calor de placas (Fonte: http://www.ufjf.br/washington_irrazabal/files/2014/05/Aula-23_Trocadores-de-Calor.pdf).

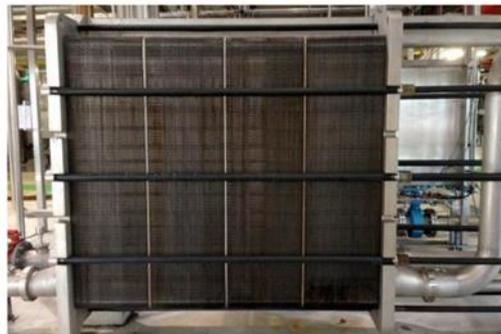


Figura 5 - Trocador de calor de placas para resfriamento de mosto (Fonte: LIMA, 2016).

Sistemas de refrigeração industrial com amônia

Estima-se que 25% dos alimentos perecíveis produzidos são refrigerados, de modo que suas qualidades sejam conservadas (VENÂNCIO, 2018). Assim, outra opção bastante utilizada para a refrigeração industrial são os sistemas de refrigeração com amônia. O processo de refrigeração consiste na retirada de calor de um corpo ou ambiente determinado através da variação de pressão. Variando a pressão é possível variar também a temperatura, o que pode ser constatado através da lei dos gases ideais, na Equação 1:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

Onde:

P= pressão, V= volume, n= quantidade de substância, R= constante universal dos gases e T= temperatura absoluta.

A lei dos gases ideais é um exemplo de equação de estado, pois mostra como a pressão de uma substância gasosa se relaciona com a temperatura, o volume e a quantidade de substância na amostra (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

Em geral, os sistemas de refrigeração industrial baseiam-se no Ciclo de Carnot, por ser um ciclo ideal reversível que opera com dois níveis de temperatura e apresenta maior eficiência.

Neste ciclo, representado na Fig. (6), a refrigeração ocorre por compressão de vapor, onde há quatro etapas que compõem o processo. Inicialmente, o líquido é evaporado a pressão constante, fornecendo um meio para a absorção de calor a uma temperatura constante baixa. Em seguida, o vapor gerado é comprimido para uma pressão mais alta e então é resfriado e condensado com a rejeição de calor em um nível de temperatura superior. Posteriormente, o líquido que sai do condensador retorna à sua pressão original através da expansão, processo que pode ser realizado a partir de um expansor, onde há obtenção de trabalho, ou através de um estrangulamento por uma válvula parcialmente aberta, o que é mais comum na prática. Este processo é irreversível e ocasiona uma queda de pressão pelo atrito do fluido na válvula (SMITH; VAN NESS; ABBOTT, 2007).

Em um sistema de refrigeração o equipamento responsável pela troca de calor do fluido refrigerante com o ar presente dentro das câmaras frias é o evaporador. Isso ocorre para que, em seguida, o ar entre em contato com o produto e realize a retirada de calor do mesmo. Os ciclos ideais de refrigeração possuem basicamente uma saída de calor, uma entrada de calor e uma de trabalho, conforme representado na Figura 6 (MARIN; MARTINEZ; COELHO, 2019).

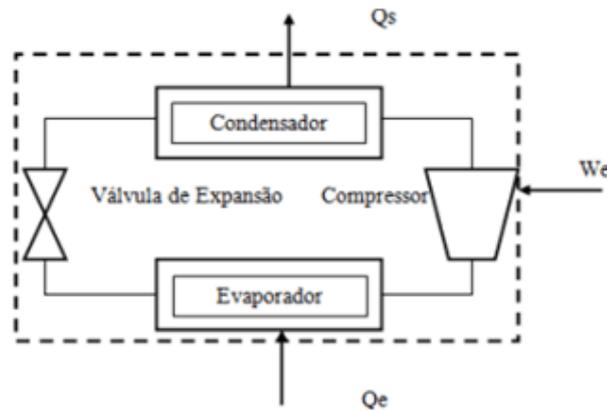


Figura 6 - Esquema de ciclo de refrigeração por compressão de vapor
(Fonte: MARIN; MARTINEZ; COELHO, 2019).

Um dos fluidos refrigerantes mais utilizados é a amônia, também chamado de fluido refrigerante R-717. A amônia é conhecida por suas propriedades termodinâmicas favoráveis. Além disso, possui alta eficiência, superando até mesmo refrigerantes sintéticos e, por ser um refrigerante natural, possui capacidade nula de destruição da camada de ozônio e não contribui para o aquecimento global. Porém a amônia possui alto índice de toxicidade e inflamabilidade, o que exige que as instalações que a utilizam sejam orientadas pelas regulamentações nacionais (VENÂNCIO, 2018).

Apesar de sua toxicidade, inflamabilidade e incompatibilidade com alguns materiais, do ponto de vista termodinâmico, ecológico e econômico, a amônia possui vantagens que nenhum refrigerante pode atender.

Por apresentar um calor latente de vaporização superior, a vazão de amônia necessária para um sistema de refrigeração é de 10 a 15% menor se comparada aos fluidos refrigerantes halogenados (CFC's, por exemplo), característica essa de vital importância para sistemas onde há recirculação, visto que demanda menor potência de bombeamento.

Economicamente, a utilização da amônia também é a melhor escolha, pois inicialmente os custos de instalação são altos, contudo considerando a quantidade e o preço por kg, uma instalação de amônia tende a se pagar, pois seu custo é cerca de 7 a 10 vezes inferior ao de fluidos halogenados.

Para ser utilizada como fluido refrigerante, a amônia precisa ser anidra, isto é, possuir pureza de 99,95%, cujas propriedades físicas são descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características da amônia R-717.

Fórmula molecular	NH ₃
Massa molecular (kg/kmol)	17,03
Ponto de ebulição a 1 atm (°C)	-33,4
Calor latente de vaporização a -33 °C (kJ/kg)	1370
Ponto de congelamento a 1 atm (°C)	-77,9
Pressão crítica (bar)	113,5
Temperatura crítica (°C)	132,4
Volume específico a 1 atm e 0 °C (m ³ /kg)	1,2954
Densidade do líquido saturado a 20 °C (g/cm ³)	0,58
Ponto de ignição (°C)	651
Potencial de destruição da camada de ozônio (ODP)	0
Potencial de aquecimento global (HGWP)	0

(Fonte: Adaptado de SENAI, 2008).

Controle de Qualidade em indústrias alimentícias

De acordo com a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), empresas alimentícias devem atender certos padrões de qualidade e segurança para produção e comercialização de alimentos. Esses padrões são delimitados pelas Boas Práticas de Fabricação e Procedimentos Operacionais Padrão, além do controle pela Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle.

Controlar a qualidade de um produto produzido na indústria alimentícia tem como principal objetivo assegurar a saúde do consumidor, mantendo as especificações padronizadas do produto como a cor, gosto, aroma, valores

calóricos e substâncias presentes. A indústria alimentícia possui leis que regularizam a qualidade dos produtos sendo assim imprescindível um bom controle de qualidade que segue as normas e as necessidades do consumidor. Com a implementação do controle de qualidade é possível garantir que todos os processos e métodos realizados nas etapas da produção possuam segurança, confirmadas assim por meio de análises laboratoriais (GRANATO & NUNES, 2017).

Como qualquer produto alimentício, a cerveja artesanal em sua produção apresenta perigos de contaminações de corpos estranhos químicos em vários estágios do processo, o que pode promover perdas e desperdícios com importâncias consideráveis e até comprometer lotes inteiros. Para eliminar, minimizar e até mesmo evitar as contaminações é necessário realizar análises de Pontos Críticos de Controle (PCC) durante a produção da cerveja, realizando assim a inspeção de todo material utilizado até o produto final, através de testes laboratoriais em etapas diferentes da produção, o que garante que o processo produtivo seja capaz de gerar um produto que além de atender o consumidor, esteja conforme as disposições legais, certificando que o alimento não provoque danos quando ingerido (GRANATO & NUNES, 2017).

Análises de Pontos Críticos de Controle

Manter a padronização é um dos pontos críticos de qualquer negócio e, na indústria alimentícia, é imprescindível a compatibilidade dos produtos, desde o uso da matéria-prima, pois é o que garante um bom produto final. Para tal necessidade é indispensável definir os pontos críticos de controle, visando que os produtos não sofram contaminações durante sua geração ou armazenamento (ASSIS, 2019).

Na indústria, produtos finais que apresentam danos, não estão de acordo com as especificações estabelecidas ou que apresentam riscos à saúde do consumidor, podem ter sucedido a partir de falhas em determinadas etapas, como por exemplo na aplicação de critérios de segurança em etapas de tratamentos térmicos. É possível determinar as fases do processo que podem afetar o produto final e garantir a qualidade da produção através da ferramenta de análises de Pontos Críticos de Processo (ASSIS, 2019).

A utilização deste sistema certifica que os produtos industrializados sejam preparados sem riscos à saúde pública, apresentem padrão uniforme de identidade e que atendam às legislações sobre os aspectos sanitários de qualidade, identificando e listando os perigos, analisando a probabilidade de ocorrência e sua severidade e identificando os agentes químicos que compõe o processo (ASSIS, 2019).

Classificação dos Perigos e Pontos Críticos

Após identificação das etapas críticas é possível classificar a fase do processo, qual o risco, os problemas que podem ser gerados e as possíveis ações preventivas e/ou corretivas, como mostra a Tabela 2, com o resumo do processo produtivo e os perigos potenciais.

Tabela 2 - Identificação dos Pontos Críticos de Controle.

ETAPA	FASE DO PROCESSO	PERIGOS POTENCIAIS
Estocagem	Após recebimento das matérias-primas e o produto acabado	Falta de organização e limpeza
Limpeza	Início de um novo lote	Resíduo de detergentes e limpeza mal feita
Mosturação/Maturação/Filtração	Entrada de água para a realização do processo	Utilização de água fora das condições aceitas
Fervura	Após filtração	Falha no controle da temperatura no sistema (termômetro e controle manual)
Resfriamento	Passagem pelo trocador de calor	Vazamento da solução do anticongelante usado no resfriamento
Envase	Fim do processo	Garrafas e máquinas se não limpas da forma correta podem gerar contaminação secundária

Análises laboratoriais

Os exames laboratoriais de produtos alimentícios fornecem dados importantes para que sejam feitas as melhores decisões dentro da indústria, além de assegurar que determinado alimento possua segurança para consumo. Essas análises podem ser realizadas na própria indústria ou em laboratórios externos que seguem normas e procedimentos padronizados para garantir resultados confiáveis. Através das análises feitas em laboratório é possível realizar as correções necessárias no processo buscando melhoria contínua (TÓFOLI, 2014).

Dentre as principais análises estão as físico-químicas, microbiológicas, incluindo as de matéria prima, malte, lúpulo e água.

Análises microbiológicas

As análises microbiológicas, que são importantes por estarem diretamente ligadas à estabilidade sensorial da cerveja, podem ser realizadas em qualquer etapa do processo de fabricação, realizando a detecção de bactérias aeróbias, anaeróbias e leveduras contaminantes na cerveja tanto em tanques como já engarrafadas. A presença desses microrganismos pode produzir alguns efeitos deteriorantes à cerveja, tais como turbidez, acidificação, alterando o sabor e odor, decantação e decréscimo de pH. Para a detecção é realizada análise quantitativa de bactérias, viabilidade celular, que estima a porcentagem de células vivas de leveduras e coliformes totais, que indica a qualidade da água utilizada, pois os coliformes são grupos de bactérias que decompõem a matéria orgânica (TÓFOLI, 2014).

Análise de Lúpulo

No que diz respeito à composição da cerveja, o lúpulo é uma das matérias primas adicionadas durante o processo do mosto na produção, possui aroma e amargor característico, juntamente com outras propriedades que qualificam a cerveja. Conhecer essa matéria prima é importante para calcular o rendimento esperado, evitar que sejam desperdiçados ao longo da produção, como também garantir que a qualidade do lúpulo não varie conforme safra e também fornecedor, interferindo assim no produto final. Em laboratório é possível realizar análise de Alfa e Beta, que são os ácidos componentes do lúpulo e seus derivados, responsáveis por trazer o amargor à cerveja. A análise é feita por extração e espectrofotometria podendo quantificar a porcentagem presente no lúpulo. Também é possível através de análises conhecer o “envelhecimento” do lúpulo, ou seja, reconhecer se a matéria prima em questão está fresca ou envelhecida.

Análise do Malte

O malte é resultante do processo artificial e controlado de germinação (malteação) da cevada, cereal da família das gramíneas (gênero *Hordeum*). Em laboratório é possível realizar análise de teor de umidade, pois a umidade do malte e cevada afetam a fase de moagem, análise de coloração, uma vez que com a ebulição do mosto ocorre a caramelização dos açúcares presentes e indica qual a cor final que a cerveja terá; a análise de pH pois é importante nas diversas fases da elaboração do mosto, pois a partir dela determinam-se as atividades das enzimas e a ação que o fermento terá no produto. O teste de tempo de sacarificação é dado pelo teste de iodo qualitativo que, através da coloração, reage e demonstra se houve transformação de amido em açúcares.

Outra análise importante é a de viscosidade, pois a partir dos resultados obtidos é possível avaliar o grau de dissolução citolítica do malte, que influencia na degradação das celuloses, hemiceluloses e demais substâncias presentes nas paredes do grão. A partir da viscosidade também há possibilidade de mensurar o tempo de clarificação e as possíveis dificuldades que podem ocorrer na filtração da cerveja podendo interferir na estabilidade da espuma da cerveja, ou seja, com baixa viscosidade a cerveja possui problemas na dissolução de CO₂.

Análise da Água

A água é um dos principais componentes de diversas operações em indústrias de alimentos. É utilizada como veículo para aquecimento e resfriamento assim como para limpeza e sanitização de equipamentos. A água faz parte de cerca de 90% da cerveja, por isso conhecer as características principais dela é de extrema importância, visto que suas características interferem diretamente na padronização do produto acabado. Para tal conhecimento, é necessário realizar análises que agregam qualidade na água cervejeira. Entre as análises estão as de Sulfatos, que é um íon (SO₄⁻²) que para a água cervejeira associa-se com o amargor, onde quanto mais lúpulo/amargor a concentração de sulfato na água resulta em um paladar mais agradável. O pH influencia sua composição química, que é importante nos processos de mosturação (atuação enzimática) e fervura (qualidade de amargor). A dureza total é a análise de concentração total de sais de Ca e Mg solúveis na água e cada cerveja possui um valor específico, por isso a precisão nos resultados é importante para garantir a padronização do produto.

Outra análise de extrema importância é a de cálcio, que é um íon (Ca⁺²) que contribui na atividade enzimática, estimulando do metabolismo da levedura e favorecendo a coagulação proteica na fervura. Já o magnésio é um íon (Mg⁺²) que contribui como o cálcio na atividade enzimática e normalmente o próprio malte já possui quantidade suficiente de magnésio para a água cervejeira. Também é analisado a alcalinidade, que é uma medida para expressar a capacidade e resistência de mudanças de pH da água, causada por íons Hidróxido (OH⁻), Carbonato (CO₃⁻²) e Bicarbonato (HCO₃⁻²), o cloreto, que é um íon (Cl⁻) que contribui para as características sensoriais do malte. Caso a água analisada apresente concentrações altas podem causar problemas sensoriais, na levedura e tubulações durante o processo. A condutividade possui importância visto que é uma medida da concentração de sais dissolvidos presentes na água, pois é uma maneira de medir a quantidade de sais presentes. Por último, a cor e a turbidez, pois a cor da água é uma característica que comprova substâncias dissolvidas na água e a turbidez é uma característica que comprova partículas em suspensão na água.

Ferramentas da qualidade

O uso de ferramentas de controle de qualidade permite gerar confiança ao cliente demonstrando que a empresa entrega produtos de qualidade, pois auxiliam no desenvolvimento de informações que são necessárias para a identificação e resolução de problemas, apresentando suas causas com o intuito de buscar melhor solução. Através da utilização das ferramentas é possível identificar os equipamentos que possuem maior histórico de problemas que podem impactar a eficiência da produção.

Uma das ferramentas da qualidade que possui uma metodologia simples que estabelece planos de ação e que poderia ter evitado problemas no processo produtivo é o 5W2H.

A ferramenta possui grande eficiência pois são escolhidos responsáveis para efetuar a resolução dos problemas e é feito o treinamento devido de cada funcionário que exerce alguma função, tendo acompanhamento e documentando as correções realizadas, a fim de gerar eficiência em qualquer tipo de ação proposta após identificação dos pontos críticos. Aplicando essa ferramenta na elaboração de um plano de ação, a chance de sucesso na fase de execução aumenta consideravelmente, pois a ação fica mais detalhada para o executante (MASSARONI, 2015).

Contaminação na Cervejaria Backer

Até o momento nenhuma hipótese está sendo descartada pelas entidades que investigam o caso. Entre as hipóteses investigadas estão sabotagem, vazamento, utilização incorreta da substância e contaminação da água usada na produção da cerveja.

O presente trabalho objetivou realizar uma comparação do processo produtivo da Backer ao padrão das cervejarias artesanais, onde serão identificados os possíveis gargalos do processo, que consistem em pontos críticos de controle.

Metodologia

A metodologia foi dividida em duas partes: análise dos pontos críticos do processo e identificação de possíveis motivos para a contaminação.

Análise dos pontos críticos do processo

Na análise dos pontos críticos de controle foi feito um estudo teórico, relacionando as etapas no processo de fabricação de cerveja que requerem uma atenção devido a possíveis riscos de contaminação ao produto como aconteceu na cervejaria Backer. Para tal, foram realizadas análises do fluxograma da cervejaria Backer, uso das substâncias anticongelantes disponíveis no mercado e um levantamento das etapas que apresentam perigos potenciais de contaminação ao processo.

Análise do fluxograma da cervejaria Backer

O primeiro passo foi verificar se o processo de fabricação da cervejaria Backer atende ao processo de cervejarias artesanais. Para tal, o processo de fabricação desta cervejaria foi desenhado utilizando o editor gráfico *online Draw.io*® a fim de comparar o fluxograma de processo da Backer com o processo padrão de cervejarias artesanais.

Foram levantadas as etapas críticas do processo identificando quais seriam os riscos e os problemas que podem ser gerados a partir dos mesmos.

Ferramentas da qualidade

Foi realizado um estudo sobre ferramentas de qualidade que poderiam ter sido utilizadas no processo com a finalidade de controlar os parâmetros de operação e checagem com o sistema de monitoramento. A ferramenta escolhida para a análise e controle do processo foi o 5W2H, que funciona como um *checklist* composto por sete perguntas específicas e que tem as iniciais de suas palavras chave, em inglês. As perguntas que compõem esta ferramenta são: *what* (o que será feito?), *why* (por quê será feito?), *where* (onde será feito?), *when* (quando será feito?), *who* (quem é responsável por fazer), *how* (como será feito?) e *how much* (quanto irá custar?).

A ferramenta foi aplicada nos pontos de críticos de controle.

Identificação dos possíveis motivos para contaminação

A partir do fluxograma desenhado para o processo de produção da cervejaria Backer foram identificados possíveis problemas no processo que puderam causar a contaminação.

Reação do monoetilenoglicol

Foi realizado um estudo teórico sobre o comportamento do monoetilenoglicol verificando a possibilidade do mesmo se transformar em dietilenoglicol. Para tanto, foi realizado um estudo sobre o pH da cerveja nas diferentes etapas do processo produtivo.

Melhorias no processo

Foram elaboradas sugestões de melhoria do processo para evitar que outra tragédia como esta ocorra novamente, bem como as possíveis ações preventivas/corretivas que devem ser tomadas.

Resultados e Discussão

Análise do fluxograma da Cervejaria Backer

A fim de analisar o processo de fabricação, comparou-se o fluxograma de processo da Cervejaria Backer, representado na Figura 7, com o padrão para cervejarias artesanais (Figura 3).

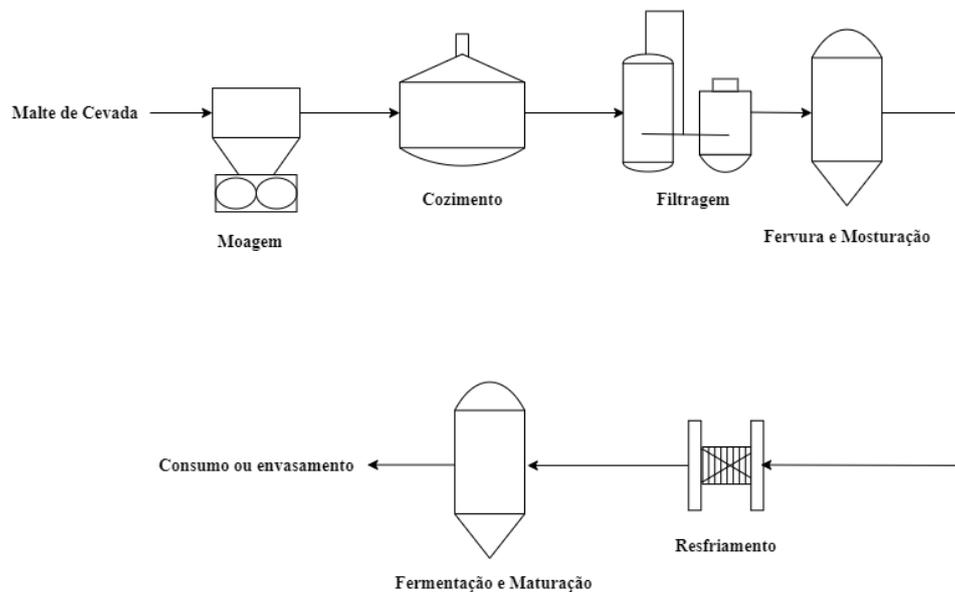


Figura 7 – Fluxograma de Processo da Cervejaria Backer.

Comparando o processo produtivo da Cervejaria Backer ao padrão de cervejarias artesanais foram observadas algumas diferenças nas etapas do processo, por exemplo, no caso da cervejaria Backer o cozimento era realizado logo após a moagem do malte de cevada, sem passar pela etapa de clarificação, presente no fluxograma padrão das cervejarias artesanais. Logo em seguida, a cerveja era filtrada e passava pelas etapas de fervura e mosturação, para só então ser resfriada e, em seguida, consumida/engasada. No padrão das cervejarias artesanais, a sequência é diferente: após o cozimento, a cerveja deve ser resfriada, passar pelas etapas de fermentação e maturação e só então pela filtragem, sendo a próxima etapa o consumo/envase. Entretanto, não foi encontrado na literatura nenhuma evidência de que alterar a sequência das etapas do processo de fabricação da cerveja possa interferir na qualidade do produto final.

Segundo o Ministério da Agricultura, o primeiro lote de cervejas que teve a contaminação identificada foi fermentado em um dos tanques de fermentação e maturação, penúltima etapa do processo da cervejaria Backer. Esta etapa é uma das etapas críticas do processo, onde deve ser realizado o controle de temperatura e controle microbiológico. Porém existem outras etapas críticas do processo e, como a contaminação foi identificada nesta etapa, não significa necessariamente que o problema ocorreu nesta etapa, poderia ter ocorrido anteriormente, até ser identificado no tanque de fermentação. Assim, outra etapa crítica do processo é o resfriamento, onde a temperatura deve ser controlada, pois diminui de 96°C para 15°C (G1, 2020). No caso da cervejaria Backer, o resfriamento era realizado por um trocador de calor, e o anticongelante monoetilenoglicol era adicionado na água para evitar que ela viesse a congelar (G1, 2020), pois para que a troca de calor seja eficiente, a água deve estar numa temperatura muito baixa, entre 0°C e 2°C (TROMMER, 2015), porém a 0°C a água congela, assim o anticongelante serve para diminuir seu ponto de congelamento mantendo a temperatura mais baixa (FIOROTTO, 2014). Assim, era imprescindível realizar vistorias nas camisas dos tanques de resfriamento, a fim de identificar vazamentos.

Também seriam etapas críticas as etapas de filtragem, maturação e mosturação, onde há a entrada de água no processo. A água corresponde à maior parte da cerveja (cerca de 90%), portanto, seu controle de qualidade é de extrema importância, pois se a água estiver contaminada, a qualidade do produto final estará comprometida.

Reação do monoetilenoglicol

Como a Backer alega que não usava dietilenoglicol, mas sim monoetilenoglicol em seu processo e as duas substâncias foram encontradas durante as investigações, uma das hipóteses a ser considerada é a transformação do

monoetilenoglicol em dietilenoglicol. Esta reação só é possível se ocorrer em meio ácido, condição encontrada durante a produção da cerveja (ROMANO, 2020).

A água apresenta um valor médio de pH igual a 7. Quando o malte é adicionado à água, o pH tende a diminuir, e se estabilizar em torno de 5,2 a 5,5. Isto ocorre devido à presença de fosfatos no malte, que ao reagirem com os minerais presentes na água, liberam íons H^+ , assim ocorre a acidificação do meio (KASVI, 2019). A faixa de pH ideal para a fermentação é de 4 a 5, porém valores de pH de 3,7 também podem ser encontrados na literatura. No fim da fermentação, o pH pode chegar a 3,5. O pH da cerveja é ácido, por volta de 4,0 (COSTA, 2017).

Desta forma, no caso de um possível vazamento de monoetilenoglicol, uma parte do anticongelante, nestas condições, pode se transformar em dietilenoglicol, segundo a Reação Química 1:



Além disso, o monoetilenoglicol comprado pela Backer não costuma ser puro, pode apresentar cerca de 10% de impurezas, onde pode haver um pouco de dietilenoglicol, resultante das reações químicas presentes no processo (ROMANO, 2020).

Escolha do anticongelante

Como visto no tópico “*Crioscopia ou Criometria: o uso de anticongelantes*”, o uso do monoetilenoglicol nas cervejarias não é comum, devido a fatores determinantes, como as doenças causadas por sua ingestão além do preço, que costuma ser superior, se comparado, por exemplo, ao etanol.

A ingestão de monoetilenoglicol resulta em três estágios de uma superdosagem. Nas primeiras horas após a ingestão, ocorre excitação transitória, seguida de depressão do sistema nervoso central. Há alterações metabólicas e distúrbios gastrointestinais. Depois de um período de 4 a 12 horas, verifica-se acidose metabólica grave, ou seja, excesso de acidez no sangue, associada a sintomas cardiopulmonares, devido ao acúmulo de metabólitos ácidos e lactato. Por fim, passadas 24 a 72 horas da ingestão, ocorre o depósito de cristais de oxalato nos túbulos renais, seguido de insuficiência renal tardia. A pessoa sente dor no tórax, há a diminuição na produção de urina (oligúria) e apresenta anúria (ausência de secreção de urina), sintomas decorrentes de necrose tubular renal (KATZUNG & TREVOR, 2017).

No caso das vítimas que consumiram as cervejas da marca Backer contaminadas por dietilenoglicol, o diagnóstico dado pelos médicos foi de síndrome nefroneural. A síndrome nefroneural também ocorre em três fases. Inicialmente, os pacientes apresentam sintomas gastrointestinais, como náuseas, vômito, dores abdominais e diarreia. Também podem estar inebriados (“embriagados”) e apresentar pressão arterial baixa. A segunda fase deve ocorrer cerca de 48 horas após a ingestão da substância, com manifestações de insuficiência renal aguda, como inchaço, dificuldade de urinar, fadiga e náuseas. Entre 5 a 10 dias ocorre a terceira fase, a fase neurológica da síndrome, que é caracterizada pela perda da visão, paralisia facial a atrofia das fibras musculares do rosto, podendo causar tetraparesia, isto é, perda das funções motoras dos braços e pernas. A quantidade ingerida de dietilenoglicol vai determinar as consequências no organismo, porém, caso não ocorra o tratamento adequado na segunda fase, o indivíduo pode morrer em poucos dias (PRÓ-RIM, 2020).

No caso de intoxicação por **etanol**, os sintomas causados dependem da tolerância do organismo e da quantidade ingerida, porém o principal efeito da intoxicação por etanol é a depressão do sistema nervoso central (SNC). A intoxicação pode ser branda ou moderada, onde os pacientes apresentam euforia, descoordenação branda, ataxia (movimentos desregulares), nistagmo (movimentos involuntários e rápidos do globo ocular), comprometimento dos reflexos e julgamento do indivíduo. As inibições sociais são perdidas e é comum comportamento agressivo ou tempestuoso. Além disso, pode ocorrer hipoglicemia, que consiste na diminuição da taxa de glicose no sangue. Em casos mais graves, de intoxicação profunda por etanol, podem ocorrer coma, depressão respiratória e aspiração pulmonar. Nesses pacientes, as pupilas diminuem de tamanho, e a temperatura, pressão sanguínea e o pulso geralmente estão reduzidos (OLSON, 2014).

Assim, entende-se que a intoxicação por monoetilenoglicol/dietilenoglicol traz sequelas maiores e até mesmo fatais ao indivíduo intoxicado, enquanto que a intoxicação por etanol apresenta sintomas mais brandos e, de acordo com a quantidade ingerida e o organismo da pessoa, o indivíduo se recupera com maior facilidade.

Além disso, outro ponto que torna o monoetilenoglicol inviável é o preço, que é superior ao do etanol. Na loja Didática SP um litro de etanol pode ser encontrado por R\$25,00, enquanto a mesma quantidade de monoetilenoglicol é vendida por R\$30,00 até R\$75,00.

Entretanto, como exposto no tópico “*Crioscopia ou Criometria: o uso de anticongelantes*”, o monoetilenoglicol é capaz de atingir temperaturas $15^{\circ}C$ mais baixas que o etanol, quando em solução aquosa: o monoetilenoglicol pode chegar a $-35^{\circ}C$ sem congelar e o etanol, pode atingir até $-20^{\circ}C$ e manter a solução em estado líquido. Contudo, a etapa de resfriamento da cerveja não necessita de uma temperatura tão baixa, se a água for mantida a $0^{\circ}C$ sem congelar já é suficiente para a troca térmica ser eficaz, o que poderia ter sido alcançado utilizando o etanol.

Portanto, o uso do monoetilenoglicol no resfriamento da cerveja não é justificado, tão pouco viável, visto que os perigos e desvantagens de seu uso sobressaem seus benefícios.

Análises de controle de qualidade

Em algumas partes do processo de fabricação da cerveja é importante realizar análises para melhor garantia de que os processos estão sendo eficientes e seguros para o consumo. Na cervejaria Backer, a partir de uma análise feita na

água e/ou na própria cerveja através do equipamento de cromatografia gasosa acoplada a um espectrômetro de massas teria sido capaz identificar e confirmar os compostos monoetilenoglicol (MEG) e dietilenoglicol (DEG). Esta técnica analítica é a utilizada em método de referência da agência norte-americana *Food and Drug Administration* (FDA) para a determinação desses compostos, pois é uma ferramenta analítica para o controle de qualidade de ativos e formas farmacêuticas, pois apresenta elevada exatidão nos resultados, realizando a identificação e a quantificação dos compostos presentes com confiabilidade. A técnica de CG-EM representa uma ferramenta analítica versátil e confiável quando se busca a identificação de compostos contaminantes, no entanto a limitação para a ampla utilização da técnica é o alto custo dos instrumentos.

A partir do surgimento do problema, foi identificado os compostos responsáveis pela tragédia a partir da análise, pois a Cromatografia Gasosa realizou a separação dos componentes da substância no estado gasoso e a espectrometria de massas realizou a identificação dos componentes químicos gasosos separados pelo CG, gerando um cromatograma como o que está representado na Figura 8.

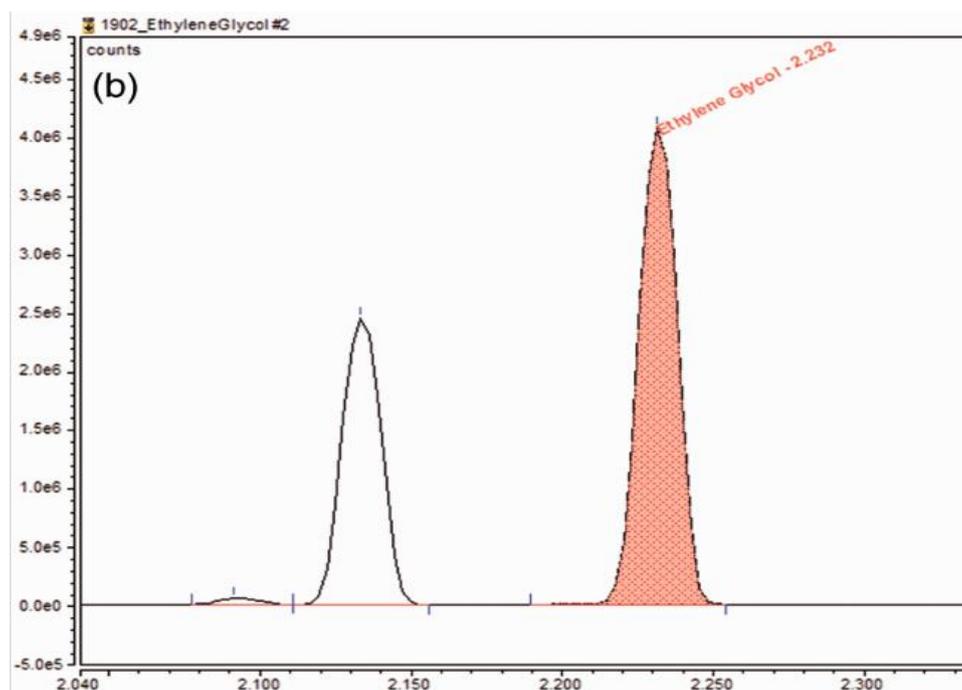


Figura 8 - Cromatógrafo representativo para monoetilenoglicol (Fonte: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0004563216667752>).

Através do cromatograma é possível identificar a intensidade total dos íons detectados (eixo y) em função do tempo de retenção em minutos da eluição de cada analito (eixo x). Os espectros de massas apresentam as análises dos compostos químicos presentes na eluição a cada segundo, podendo ser comparados com um banco de dados que possui as características de elementos químicos conhecidos para uma possível detecção do analito.

As principais análises que são feitas para liberação dos lotes fabricados, como pH, densidade, teor alcoólico, acidez total, não seria possível identificar o componente indesejado monoetilenoglicol, pois a identificação seria por análise complexa e que não faz parte do cotidiano de um laboratório de controle de qualidade de indústrias de cerveja artesanal, devido a necessidade de equipamentos caros. Caso houvesse contaminação por etanol, em uma análise simples de teor alcoólico seria possível identificá-lo, visto que o valor esperado seria modificado e assim possivelmente abriria uma investigação e correção antes de realizar a comercialização do produto.

Ferramentas da qualidade

Analisando as etapas do processo industrial, através da ferramenta 5W2H, foi possível criar um plano com o intuito de buscar melhorias no processo já existente, tornando o sistema de refrigeração mais eficiente em relação a escolha do anticongelante usado no processo, utilizando as sete perguntas dessa ferramenta proporcionando uma forma simples e estruturada para analisar como demonstra a Tabela 3.

Tabela 3 – Ferramenta 5W2H aplicada no sistema de refrigeração.

Pergunta	Ação
WHAT	Melhoria no sistema de refrigeração, na escolha de um anticongelante;
WHO	Analista de processo;
WHERE	No sistema de resfriamento;
WHEN	Prazo de 5 dias;
WHY	Eliminar qualquer tipo de transtorno no processo de fabricação da cerveja causado no sistema de refrigeração;
HOW	Análise de todos os anticongelantes disponíveis no mercado que atenda aos requisitos de segurança e que seja eficiente;
HOW MUCH	Custos envolvidos dependendo da escolha do anticongelante.

No planejamento das atividades realizadas pelo setor da manutenção, a equipe possui projetos, pedidos, alterações, e é necessário planejar a execução de cada tarefa, utilizando a ferramenta como um mapa de atividades, podendo possuir um campo de status para acompanhamento e monitoramento das tarefas como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Ferramenta 5W2H aplicada em pedido de manutenção.

Pergunta	Ação
WHAT	Manutenção no tanque de fermentação;
WHO	Técnico de manutenção;
WHERE	No tanque que é resfriado a cerveja;
WHEN	Imediatamente;
WHY	Eliminar pontos de vazamento;
HOW	Realizando solda nos pontos de vazamento e posteriormente qualificar o equipamento para assegurar que a correção foi concluída com êxito;
HOW MUCH	R\$500,00 (custo material);
STATUS	Em andamento.

Com esta ferramenta, a inspeção no tanque teria sido realizada e a falha na solda teria sido encontrada, na etapa de qualificação do equipamento. Assim, a manutenção deste ponto teria sido realizada eliminando o problema de vazamento ou até mesmo interditando o tanque, evitando a contaminação dos lotes. Deste modo, a ferramenta 5W2H teria sido uma opção simples para a cervejaria Backer realizar o controle e manutenção dos equipamentos utilizados em seu processo, visto que se mostrou objetiva e eficaz. No caso da cervejaria Backer, através das investigações, foi concluído que ocorreu crimes culposos (quando o autor não tem intenção de matar) na ocorrência da contaminação, pois através de análises físicas foi comprovado que houve vazamentos no tanque da cerveja, devido à uma falha na solda do tanque, o que demonstra a importância de realizar um planejamento utilizando as ferramentas da qualidade quando solicitado algum serviço, pois através do mapeamento seria possível realizar a checagem das etapas e assim concluir que o trabalho solicitado foi efetuado da maneira correta.

Desta forma, pode-se concluir que a empresa poderia ter optado por utilizar outro anticongelante, o etanol, que apresentou as melhores características em detrimento do monoetilenoglicol, além da utilização de uma ferramenta para o controle de qualidade, que poderia ter auxiliado na localização de falhas de processo, no caso, uma falha de solda do tanque de resfriamento.

Conclusões

O presente trabalho teve por finalidade realizar um estudo de caso sobre o processo de fabricação da Cervejaria Backer, com o objetivo de encontrar possíveis falhas e apresentar algumas soluções para os problemas levantados.

Foi realizado um estudo sobre as etapas que envolvem a produção de cerveja, determinando quais seriam as etapas críticas, onde o controle de qualidade poderia ter sido mais rigoroso. Observou-se que a sequência de etapas da Cervejaria Backer diferia do padrão das cervejarias artesanais, entretanto não foi encontrado nenhum ponto na literatura que justificasse a contaminação do produto final.

Além disso, foi realizado um estudo sobre o valor do pH nas diferentes etapas do processo produtivo, visto que a Backer alegou que utilizava o monoetilenoglicol como anticongelante, porém o dietilenoglicol também foi encontrado nos produtos contaminados. Em pH ácido, o monoetilenoglicol pode sofrer uma reação química e se transformar em dietilenoglicol, e no caso da produção de cerveja o pH apresenta valores de aproximadamente 4, o que confere a condição ideal para esta reação. Contudo, não é possível afirmar que esta tenha sido a causa da contaminação dos lotes, pois a empresa pode ter recebido o anticongelante já contaminado.

Outro ponto a ser destacado é que havia outros anticongelantes que realizariam a mesma função que o monoetilenoglicol, sendo mais baratos e, no caso de vazamentos, menos tóxicos para o ser humano, como é o caso do etanol. Outro benefício encontrado na utilização do etanol como anticongelante é a possível identificação, no caso de contaminação da cerveja, por meio de análises laboratoriais mais simples e com menor custo, como o teor alcoólico.

O uso de ferramentas de qualidade também teria sido uma alternativa simples e de baixo custo que a Cervejaria Backer poderia ter aplicado em seu processo para o planejamento e definição dos planos de ação utilizados no controle

de qualidade de seus produtos assim como na manutenção de seus equipamentos. Uma das ferramentas mais adequadas é o 5W2H que de forma simples e interativa poderia ter mostrado o vazamento de anticongelante do tanque de resfriamento e também a falha na solda deste equipamento, evitando que os lotes contaminados fossem liberados para o mercado.

Por fim, pode-se concluir que realizar o controle de qualidade na indústria alimentícia é de extrema importância, pois além de garantir a qualidade do produto final, deve assegurar a saúde e integridade do consumidor. Foi possível estudar e analisar o processo de fabricação da Cervejaria Backer como um todo, elencando os pontos críticos de controle e as variáveis que poderiam interferir no produto final. Também foi possível concluir que a utilização de ferramentas simples para o controle de qualidade pode auxiliar na verificação das condições do processo e indicar falhas.

Referências Bibliográficas

ATKINS, Peter, JONES, Loretta, LAVERMAN, Leroy. **Princípios de Química**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2018. 1094p.

BERNARDES, Gustavo C., FRANÇA, Monique F. B. **Controle de temperatura na produção de cerveja artesanal**. Uberaba, 2017, 25p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Computação). Uniube, Uberaba, 2017. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/564>. Acesso em 10 mar. 2020.

BOAN, Martín, COLLINI, Diego, PEREZ, Carolina. **Tecnologia Cervejeira**. SENAI, Rio de Janeiro, 2014, 283p. Disponível em: https://www.acervapetropolis.com.br/download/Tecnologia_Cervejeira.pdf. Acesso em 14 mar. 2020.

BRIGIDO, R. V., NETTO, M. S. **Produção de cerveja**. Florianópolis, 2006. 28p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Bioquímica). Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, UFSC, Florianópolis, 2006. Disponível em: http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_grad/trabalhos_grad_2006-1/cerveja.doc. Acesso em 11 abr. 2020.

CHOUCAIR, Geórgea. **Veja o que se sabe até agora sobre a contaminação na cervejaria em MG**. Folha de São Paulo, São Paulo, jan. 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/01/veja-o-que-se-sabe-ate-agora-sobre-a-contaminacao-na-cervejaria-em-mg.shtml>. Acesso em 14 mar. 2020.

Contaminação da cerveja: Fantástico entra na Backer, responsável pela fabricação da bebida. Disponível em: <https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2020/01/19/contaminacao-da-cerveja-fantastico-entra-na-backer-responsavel-pela-fabricacao-da-bebida.ghtml>. Acesso em 29 ago. 2020.

COSTA, Letícia M. R. **Produção de cerveja artesanal pela fermentação de uma levedura da jaboticaba: análise da cinética local de metabólitos voláteis e dos efeitos das variáveis no processo**. Disponível em: <http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2017/500--75/file>. Acesso em 29 ago. 2020.

COUTINHO, Carlos A. T. **A história da cerveja no Brasil**. Disponível em: <https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/cerveja/historia-da-cerveja/2-a-historia-da-cerveja-no-brasil.html>. Acesso em 11 abr. 2020.

ÇENGEL, Yunus A., GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2009.

DAMODARAN, Srinivasan, PARKIN, Kirk L. **Química de Alimentos de Fennema**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2018, 1120p.

Etilenoglicol. Disponível em: <https://www.jetfrio.com.br/etilenoglicol/>. Acesso em 13 abr. 2020.

FIOROTTO, Nilton Roberto. **Físico-Química: Propriedades da Matéria, Composições e Transformações**. 1 ed. São Paulo: Erica, 2014, 192p.

FOGAÇA, Jenifer. **Crioscopia ou Criometria**. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/crioscopia-ou-criometria.htm>. Acesso em 13 abr. 2020.

GARCIA, Letícia. **Dietilenoglicol é pouco utilizado em microcervejarias e não entra em contato com a bebida**. Revista da Cerveja, Porto Alegre, jan. 2020. Disponível em: <https://revistadacerveja.com.br/dietilenoglicol-e-pouco-utilizado-em-microcervejarias-e-nao-entra-em-contato-com-a-bebida/>. Acesso em 14 mar. 2020.

GRANATO D., NUNES, D. **Análises Químicas, Propriedades Funcionais e Controle de Qualidade de Alimentos e Bebidas: Uma Abordagem Teórico-Prática**. Elsevier Brasil, 2017.

JUNIOR, Amaro A. D., VIEIRA, Antonia G., FERREIRA, Taciano P. **Processo de Produção de Cerveja**. Disponível em: http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/35. Acesso em 11 abr. 2020.

KATZUNG, Bertram G., TREVOR, Anthony J. **Farmacologia Básica e Clínica**. 13 ed., Porto Alegre: AMGH, 2017, 1216p.

KUNZE, W. **Technology of Malting and Brewing**. 9 ed. Berlim, 2007.

LIMA, Jéssica P. O. **Estudo de caso: Eficiência Energética no Sistema de Refrigeração de uma cervejaria**. Porto Alegre, 2016, 52p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/147776/000999965.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 14 abr. 2020.

MADEIRO, Carlos. **Consumo de cerveja foi ‘banalizado’ no Brasil, mas é álcool e traz riscos**. Disponível em: <https://www.uol.com.br/vivabem/noticias/redacao/2020/02/20/consumo-de-cerveja-foi-banalizado-no-brasil-mas-e-alcool-e-traz-riscos.htm>. Acesso em 11 abr. 2020.

MARIN, Letícia. MARTINEZ, Jéssica O. COELHO, Filipe A. **Retrofit do sistema de refrigeração em uma fábrica de polpa de frutas**. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/polpa-de-frutas>. Acesso em 07 mai. 2020.

MASSARONI, Iracema Fernandes; SCAVARDA, Annibal José Roris Rodriguez. **Gestão de Serviços em Bibliotecas Públicas: aplicação do 5W2H na política de aquisição de acervo**. Revista de Ciência da Informação e Documentação, Ribeirão Preto, v. 6, n. 1, p.4-16. 2015.

Mortes por suspeita de consumo de cerveja da Backer chegam a seis. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/brasil/mortes-por-suspeita-de-consumo-de-cerveja-da-backer-chegam-a-seis/>. Acesso em 16 mar. 2020.

O que é a síndrome nefroneural? Disponível em: <http://www.prorim.org.br/blog-artigos/o-que-e-a-sindrome-nefroneural/>. Acesso em 13 abr. 2020.

OLSON, Kent R. **Manual de Toxicologia Clínica**. 6 ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. 830p.

ORTIZ, Paulo R. B. **Análise do consumo energético do processo de produção de cerveja artesanal por bateladas**. Porto Alegre, 2014. 13p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/109697>. Acesso em 10 mar. 2020.

PASCUET S. N, TIGLEA, P., ZENEBON O. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Instituto Adolfo Lutz. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf?attach=true. Acesso em 11 abr. 2020.

PH na Produção da Cerveja Artesanal: Contribuições para o Processo Produtivo. Disponível em: <https://kasvi.com.br/ph-cerveja-artesanal/>. Acesso em 29 ago. 2020.

REILLY, Robert F. Jr.; PERAZELLA, Mark. A. **Nefrologia em 30 dias**. 2 ed. Porto Alegre: AMGH, 2015. 456p.

ROMANO, Giovanna. **Químicos explicam como monoetilenoglicol pode virar dietilenoglicol**. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/quimicos-explicam-como-monoetilenoglicol-pode- virar-dietilenoglicol/#:~:text=Qu%C3%ADmicos%20ouvidos%20por%20VEJA%20explicam,mal%20em%20caso%20de%20Ovazamento>. Acesso em 29 ago. 2020.

SILVA, Marcos Gregório da. **Aplicação de amônia em sistemas de refrigeração industrial**. 1 ed. São Paulo: SENAI-SP editora, 2013, 236p.

SLEMER, Octavio A. **Os prazeres da cerveja**. São Paulo: Makron, 1996. 196p.

SMITH, J. M., VAN NESS, H. C., ABBOTT, M. M. **Introdução à termodinâmica da engenharia química**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007, 626p.

THOMPSON, Judith E.; DAVIDOW, Lawrence W. **A Prática Farmacêutica na Manipulação de Medicamentos**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 752p.

TÓFOLI, Rodolfo José. **Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química de cervejas comerciais e artesanais**. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1211360511.pdf>. Acesso em 11 abr. 2020.

TROMMER, Michael. **Para que resfriar o mosto?** Disponível em: <https://engarradormoderno.com.br/processos/para-que-resfriar-o-mosto#:~:text=O%20resfriamento%20a%2095oC%20do,chiller%20ou%20banco%20de%20gelo..> Acesso em 18 set. 2020.

VENÂNCIO, Filipe Brito. **Análise da eficiência e performance das características do sistema de refrigeração de uma indústria de bebidas: estudo de caso**. Uberlândia, 2018, 34p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecatrônica). Departamento de Engenharia Mecânica, UFU, Uberlândia, 2018. Disponível em: <http://200.19.146.153/bitstream/123456789/24612/1/An%c3%a1liseEfici%c3%aanciaPerfomance.pdf>. Acesso em 16 abr. 2020.