

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
ENGENHARIA QUÍMICA**

ISABELLE ÁVILA DA SILVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS FMEA E HAZOP APLICADOS
NO PROCESSO DE UMA MICROCERVEJARIA**

**Bagé
2022**

ISABELLE ÁVILA DA SILVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS FMEA E HAZOP APLICADOS
NO PROCESSO DE UMA MICROCERVEJARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Dr. Alexandre Denes Arruda

**Bagé
2022**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S587e Silveira, Isabelle Ávila da
Estudo comparativo entre os métodos FMEA e HAZOP aplicados no processo de uma microcervejaria / Isabelle Ávila da Silveira.
97 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA,
2022.
"Orientação: Alexandre Denes Arruda".

1. Microcervejaria. 2. Análise de riscos. 3. FMEA. 4. HAZOP. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

ISABELLE ÁVILA DA SILVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS FMEA E HAZOP APLICADOS NO
PROCESSO DE UMA MICROCERVEJARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 19 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Denes Arruda
Orientador
(UNIPAMPA)

Profa. Dra. Maria Alejandra Liendo
(UNIPAMPA)

Profa. Dra. Tânia Regina de Souza
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **TANIA REGINA DE SOUZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/08/2022, às 19:33, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALEXANDRE DENES ARRUDA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/08/2022, às 19:34, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARIA ALEJANDRA LIENDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/08/2022, às 19:34, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0888356** e o código CRC **3F27A3CD**.

Referência: Processo nº 23100.016182/2022-21 SEI nº 0888356

Dedico este trabalho aos meus pais, Luiz Fernando Rodrigues da Silveira e Marcia Ávila Silveira, que escolheram me ter como filha e merecem todo o esforço e dedicação durante esses anos da graduação e dos meus estágios.

AGRADECIMENTOS

Primeiro quero agradecer a Deus por ter me dado forças e me guiado durante todo meu trajeto da graduação longe de casa e quando decidi que queria viver as oportunidades de estágio. Aos meus pais e minha irmã que mesmo com todas as dificuldades ficaram do meu lado, me apoiaram de todas formas que puderam, muitas vezes passando uma semana comigo em Bagé durante 4 anos para eu conseguir dar conta dos fins de semestre. À UNIPAMPA, universidade pública, gratuita e de qualidade que possibilitou a realização desse sonho, as políticas públicas (sim hoje temos uma preta, baixa renda, vinda de escola pública sendo engenheira química e a primeira da família com ensino superior e, também, foi a primeira a concluir o ensino médio, obrigada aos governos anteriores que pensaram nas cotas) e bolsas de incentivo que me possibilitaram eu viver longe de casa. Ao professor Dr. Alexandre Denes Arruda que teve toda paciência para esperar o momento que decidi apresentar o TCC 2, que teve a maestria de me guiar nesse processo de construção do meu trabalho. Aos professores da Engenharia Química e de outros cursos que realizei cadeiras que compartilharam seus conhecimentos e trajetórias, até os que ensinaram a termos paciência e educação em momentos complicados. A cervejaria que me abriu as portas não apenas para o estágio obrigatório, mas também para realização do meu TCC. As outras empresas que estagiei nesse período e que, também, trabalhei em outra função, foram diversos aprendizados! Ao João Paulo, que me apoiou no final da faculdade incansavelmente e no TCC deu uma enorme contribuição com o desenho do AutoCad, te amo. Aos meus amigos que fiz na graduação e me acompanharam do início ao fim Luiza Gonçalves, Luiza Portinho, Lucas Capello e a Hanna Miranda, Amanda Barbosa e Isac Gonçalves que mesmo não sendo companheira (o) de estudos foram amigas (o) que levarei para vida toda, aos diversos outros que me acompanharam em diversos estudos, choros, reclamações, vocês fazem parte da minha história.

"Ser negro no Brasil é, pois, com frequência, ser objeto de um olhar enviesado. A chamada boa sociedade parece considerar que há um lugar predeterminado, lá embaixo, para os negros e assim tranquilamente se comporta."

- Milton Santos

RESUMO

O consumo de cerveja está presente na sociedade há milênios e com o passar dos anos o consumidor tem procurado por cervejas especiais e com isso tem crescido o número de microcervejarias. O processo de produção de cervejas apresenta riscos de processo e à segurança do trabalhador e do consumidor. Acidentes ocorridos nos últimos anos confirmam esses riscos, por isso se faz necessário um controle efetivo de variáveis de operação como pressão, vazão, nível e temperatura. Diante do exposto, torna-se necessário diminuir ou eliminar a ocorrência de possíveis eventos acidentais. O presente trabalho tem como objetivo realizar as análises de risco HAZOP e FMEA numa microcervejaria localizada na cidade de São Gabriel-RS, comparar as técnicas de análise de risco e propor soluções cabíveis aos processos de produção da microcervejaria. A comparação dos métodos FMEA e HAZOP mostrou que no número de pontos analisados e no número de recomendações, o HAZOP apresentou mais pontos e mais recomendações. Na identificação do tipo de falha e avaliação do risco identificado é possível ver a diferença das metodologias utilizadas visto que diferem muito os resultados, sendo que a FMEA analisa a etapa do processo em um todo enquanto o HAZOP analisa por equipamentos. Na avaliação de frequência e severidade os dois métodos apresentaram resultados semelhantes não havendo diferenças significativas.

Palavras-chave: Microcervejaria; Análise de riscos; FMEA; HAZOP.

ABSTRACT

The consumption of beer has been present in society for millennia and in the passing years consumers have started looking for special beers, and with that, the number of microbreweries has grown. The beer production process presents process risks and worker and consumer safety risks. Accidents that have occurred in the last few years confirm these risks, and thus, it is necessary to have effective control of operation variables like pressure, flow rate, level, and temperature. Therefore, it is necessary to diminish or eliminate the occurrence of possible eventual accidents. This present work uses HAZOP and FMEA risk analysis methodology in a microbrewery located in the city of São Gabriel-RS, comparing the risk analysis techniques and proposing usable solutions for the microbrewery production process. The comparison of the FMEA and HAZOP methods showed that in the number of analyzed points and the numbers of recommendations, the HAZOP analysis showed more points and recommendations. In the identification of the types of failures and the evaluation of the identified risks it's possible to see the difference between the risk analysis methodologies utilized in this study as the results obtained differ significantly. The FMEA methodology analyzes every step of the process as a whole while HAZOP is an analysis by equipment. In the analysis of the frequency and severity of accidents, the two methodologies used obtained similar results.

Palavras-chave: Microbrewery; Risk analysis; FMEA; HAZOP

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Acidente causado por explosão na fábrica da Heineken	19
Figura 2- Acidente causado por explosão na fábrica da Ambev	20
Figura 3 - Processo exemplificado da produção de cerveja	23
Figura 4- Etapas da metodologia FMEA	34
Figura 5- Estrutura básica do HAZOP	38
Figura 6 - Esquema da metodologia utilizada no TCC	41
Figura 7- Etapas da técnica de análise FMEA	43
Figura 8 - Etapa da mosturação	49
Figura 9 - Tina 2 de filtração e clarificação do mosto	52
Figura 10 - Tina 3 fervura do mosto	54
Figura 11 - Sistema de resfriamento do mosto.....	56
Figura 12 - Sistema de fermentação e maturação	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Severidade do efeito para análise FMEA	35
Quadro 2- Probabilidade de ocorrência para análise FMEA	35
Quadro 3- Probabilidade de detecção para análise FMEA	36
Quadro 4- Palavra-guia com seus desvios considerados	39
Quadro 5 - Lista de desvios para o processo cervejeiro	40
Quadro 6 - Etapas da técnica de análise FMEA.....	44
Quadro 7- Análise HAZOP	45
Quadro 8 - Matriz de tolerabilidade de riscos.....	46
Quadro 9 - Categoria de Riscos	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarquical Process*

APAEST – Associação Paulista de Engenheiros de Segurança do Trabalho

AQR - Avaliações Quantitativas de Riscos

Cerv Brasil – Associação Brasileira da Indústria de Cerveja

DEG – Dietilenoglicol

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*

HAZOP – *Hazard and Operability Studies*

ICI – *Imperial Chemical Industries*

ISO - *International Organization for Standardization*

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

MEG – Monoetilenoglicol

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NBR - Norma brasileira

P&ID – Diagrama de tubulação e instrumentação dos equipamentos

RPN – *Risk Priority Number*

SINDICERV – Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Histórico de Acidentes em Cervejarias	18
3.2 Microcervejaria	21
3.2.1 Processo de produção de cervejas	22
3.3 Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos	29
3.4 Importância das Metodologias de Análise de Riscos	31
3.4.1 FMEA	32
3.4.2 HAZOP	36
4 MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1 Materiais	41
4.2 Métodos	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 Mosturação	49
5.2 Filtração	51
5.3 Fervura	53
5.4 Resfriamento	55
5.5 Fermentação e Maturação	57
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICES	71

1 INTRODUÇÃO

A produção e consumo de cerveja estão presentes nos modos de vida das populações há milênios (MEGA *et al.*, 2011). De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja SINDICERV (2012), a produção de cervejas tidas como ‘especiais’ vem ganhando proporções elevadas, oportunizando a criação de um mercado relativamente novo, as microcervejarias, que ainda não possuem legislações específicas e direcionadas.

De acordo com Odorczyk (2015), o processo de produção da cerveja exige um investimento de custo elevado, apresentando alta complexidade e diversos riscos à integridade física do trabalhador. E devido a fatores como redução de gastos ou falta de conhecimento sobre o assunto podem causar graves acidentes em microcervejarias

Os distúrbios ou falhas presentes em um sistema de fabricação têm como resultado uma série de incidentes indesejados. A primeira providência para prevenção aos incidentes indesejados são as chamadas “medidas de prevenção de falhas” (BELLINI, 2008). A análise de falhas para processos de produção depende inicialmente da identificação de perigos ou riscos na instalação produtiva, considerando que nenhuma ação pode ser tomada para evitar ou reduzir os efeitos de riscos não identificados. Seguida pela prevenção da falha que busca considerar possíveis cenários que levem a consequências indesejáveis (GOULD, 2000).

Entre os métodos disponíveis para tais análises, destaca-se a ferramenta FMEA (Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial, do inglês *Failure Modes and Effects Analysis*) e o HAZOP (Estudo de Perigos e Operabilidade, do inglês *Hazard and Operability Studies*).

A FMEA, constitui uma técnica de análise de riscos que permite identificar e explorar os modos de falha individuais de equipamentos ou componentes de um sistema ou processo (MATOS, 2009).

O HAZOP consiste em uma técnica de análise de riscos que verifica desvios operacionais, e é baseada no desvio da ação tomada (SHINZATO *et al.*, 2010).

Ambas as técnicas de análise, apresentam como resultados o planejamento de ações a fim de atenuar ou eliminar riscos iminentes ao processo. Porém, cada método possui seu nível de particularidades tais como detalhamento, estruturação e sistemática.

Esta proposta de Trabalho de Conclusão de Curso surge da realização das atividades de estágio em uma microcervejaria. Durante a rotina de estágio foi possível analisar o processo de forma crítica e com base nos conhecimentos adquiridos durante a graduação em Engenharia Química. Este trabalho busca propor e desenvolver possíveis melhorias para colaborar com a gestão e qualidade da microcervejaria em estudo. Para isto, será construído o diagrama de tubulação e instrumentação dos equipamentos, do inglês (*Piping and Instrumentation Diagram-P&ID*), também será identificado os riscos das instalações aplicando as técnicas de análises de riscos FMEA e HAZOP, avaliando qual será a mais adequada para as instalações da empresa, sendo que ao seu final, pretende-se apresentar os resultados para a administração da microcervejaria.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os riscos identificados no processo de uma microcervejaria localizada na cidade de São Gabriel RS, utilizando as técnicas FMEA e HAZOP.

2.2 Objetivos Específicos

- Conhecer as instalações e o funcionamento da microcervejaria;
- Conhecer a rotina dos processos de produção do chopp e cerveja, com o intuito de obter dados técnicos sobre as atividades executadas nas instalações da empresa;
- Construir o diagrama de tubulação e instrumentação dos equipamentos (P&ID) da microcervejaria;
- Empregar as ferramentas FMEA e HAZOP para análise de risco do processo produtivo da microcervejaria em estudo;
- Avaliar as metodologias empregadas;
- Comparar as técnicas de análise de risco, e propor soluções cabíveis aos processos de produção da microcervejaria;
- Apresentar as análises de risco para a administração da microcervejaria, no intuito de colaborar com os setores de operação, segurança e qualidade em engenharia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os temas considerados fundamentais para o embasamento teórico necessário para a compreensão e execução deste Trabalho de Conclusão de Curso.

3.1 Histórico de Acidentes em Cervejarias

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Cerveja Cerv Brasil (2017), o país é um grande consumidor de cerveja, e atualmente apresenta um consumo anual de 14,1 bilhões de litros da bebida, com um faturamento de R\$ 107 bilhões. Medeiros (2020) salienta que ocorreu um crescimento de 800% na produção da cerveja, enquanto a população aumentou em 25% nas últimas duas décadas.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento MAPA (2019), ocorreu um aumento de 36% no registro de novas fábricas de cerveja em relação ao ano de 2018, chegando ao total de 1209 fábricas no Brasil.

Cerca de 80% das indústrias cervejeiras estão localizadas nas regiões sul e sudeste do país. Atualmente 241 estabelecimentos estão localizados no estado de São Paulo, seguido pelo Rio Grande do Sul com 236 estabelecimentos (ANUÁRIO DA CERVEJA 2019, 2020).

Nos últimos anos foram registrados três casos de acidentes graves neste ramo industrial. No ano de 2016 ocorreu um acidente nas instalações da fábrica da Heineken, na cidade de Jacareí/SP, onde a explosão de uma caldeira deixou três colaboradores feridos, causando duas mortes (MORENO, 2016).

Na Figura 1 é possível visualizar o acidente causado pela explosão da caldeira na fábrica na Heineken.

Figura 1- Acidente causado por explosão na fábrica da Heineken



Fonte: SANTOS, 2020.

De acordo com o diretor adjunto da Associação Paulista de Engenheiros de Segurança do Trabalho (APAEST),

Houve um vazamento na caldeira; três caldeiras antigas, que estavam fora de funcionamento há quase 10 anos, estavam sendo reativadas, em substituição de outras três caldeiras mais recentes, com objetivo de economia; a caldeira que explodiu passava por manutenção, e estava sendo transformada para mudança do tipo de combustível usado para o aquecimento, e seria alterada de óleo para gás; o acidente aconteceu na realização dos testes de funcionamento; a Heineken utiliza serviços de terceirizadas para realizar a manutenção das caldeiras; e um dos entrevistados informou que a manutenção da caldeira estava sendo realizada com o equipamento em funcionamento. Todavia, dados importantes não foram divulgados sobre a caldeira acidentada: classificação, modelo, capacidade, dimensões, combustível, tempo de uso, pressões. Quando ocorre a explosão de uma caldeira significa que o ambiente do equipamento deixou de ser controlado e as técnicas da engenharia de segurança do trabalho foram desprezadas. (SANTOS, 2020, p. 1).

O segundo acidente registrado ocorreu no ano de 2020 na fábrica da Ambev localizada em Minas Gerais, ele foi ocasionado pela explosão em um tanque de cerveja. Na Figura 2 é possível visualizar as instalações da empresa após a explosão.

Figura 2- Acidente causado por explosão na fábrica da Ambev



Fonte: PIMENTA; DANTAS, 2020.

Segundo Pimenta e Dantas (2020), o tanque de cerveja em que ocorreu a explosão, foi submetido ao processo de injeção de dióxido de carbono CO_2 , e a falha de uma válvula de segurança de pressão ocasionou o acidente, proporcionado pelo excesso de pressão no interior da estrutura, nenhum dos colaboradores foi ferido e o acidente não afetou a produção da fábrica.

O terceiro acidente registrado no país ocorreu nas instalações da cervejaria mineira Backer, de acordo com Silva (2020), foi também o mais comentado, a empresa que é considerada umas das principais protagonistas em ascensão das cervejas especiais, se tornou centro de uma investigação policial pois constatou-se contaminação e morte de consumidores, os casos ocorreram após diversas pessoas apresentarem mal estar, e alguns outros sintomas após consumirem o produto.

Conforme Muratori (2020) após meses de investigação concluiu-se que o incidente foi causado pela contaminação da cerveja Belorizontina, por monoetilenoglicol (MEG) ou dietilenoglicol (DEG) na cerveja.

Conforme relatório divulgado pelo Ministério da Agricultura (2020):

As substâncias MEG e DEG não são produzidas pela levedura cervejeira em condições normais de produção da bebida. Tampouco foram identificadas contaminações desta natureza em análises realizadas em cervejas nacionais e importadas. Conforme revisão da literatura científica, tal contaminação é inédita em alimentos no Brasil. (MAPA, 2020, p. 75).

O MAPA (2020) ressalta ainda que a indústria apresentou falhas e lacunas na gestão, com relatórios incompletos e controles ineficientes.

Muratori (2020), explica que a contaminação nas cervejas ocorreu pelo vazamento em um tanque, por meio do MEG e DEG, substâncias tóxicas usadas no resfriamento do produto, contrariando as instruções do próprio fabricante do equipamento. Rodrigues (2020), complementa que a polícia civil afirmou que a substância tóxica era usada indevidamente como anticongelante.

O delegado Flávio Grossi explicou em detalhes onde ocorreu a falha que causou o vazamento:

O malte é levado para um processo que produz o mosto (cerveja antes da fermentação). O mosto é resfriado e levado por tubulações ao tanque de fermentação. O tanque é resfriado com líquido anticongelante e o produto, posteriormente, embalado para consumo. Deve-se resfriar os tanques de forma que não haja vazamento: é uma grande geladeira chamada de *chiller*. O vazamento que contaminou as cervejas foi identificado justamente no *chiller* houve falha na solda do tanque, adquirido pela empresa no fim do ano passado. O líquido (tóxico) jorrava e se misturava com a cerveja. O vazamento começou em setembro de 2019, quando foi adquirido o tanque JB10. Também que foram encontrados outros pontos de vazamento na mesma adega. (RICCI, 2020, p. 1).

Ao todo foram confirmadas 29 vítimas, sendo que sete foram a óbito e 22 sobreviveram com lesões corporais. No entanto, ainda existem outras 30 vítimas ainda em análise. De acordo com Lemos (2020) relatos apontam que os primeiros sintomas começaram com dores abdominais, náuseas e vômitos. Eles poderiam ser facilmente associados a uma típica intoxicação alimentar. No entanto, trata-se de uma grave intoxicação que pode ter levado à síndrome nefroneural, caracterizada por sintomas como insuficiência renal e alterações neurológicas como paralisia da face e problemas na visão.

3.2 Microcervejaria

Microcervejarias são microindústrias com instalações singelas que visam produzir cerveja ou chope especial em pequeno volume e, geralmente são pequenas empresas familiares. O processo produtivo, neste caso, ocorre de maneira artesanal,

seguindo receitas tradicionais com a utilização de ingredientes especiais e com maior quantidade de malte por hectolitro produzido quando comparado às grandes cervejarias (BORGES, 2015).

Kramer (2010) afirma que antes da revolução industrial toda a cerveja era produzida em microcervejarias. Na Europa, as cidades tinham suas cervejarias, que produziam diversos tipos de cervejas, porém em pouca quantidade. No período pós-revolução industrial, com o advento da máquina a vapor, a produção de cerveja passou para grande escala em ambientes industriais. Havendo assim um grande desenvolvimento tecnológico, melhoria nos processos e, aos poucos, a ciência da cerveja foi sendo melhor compreendida.

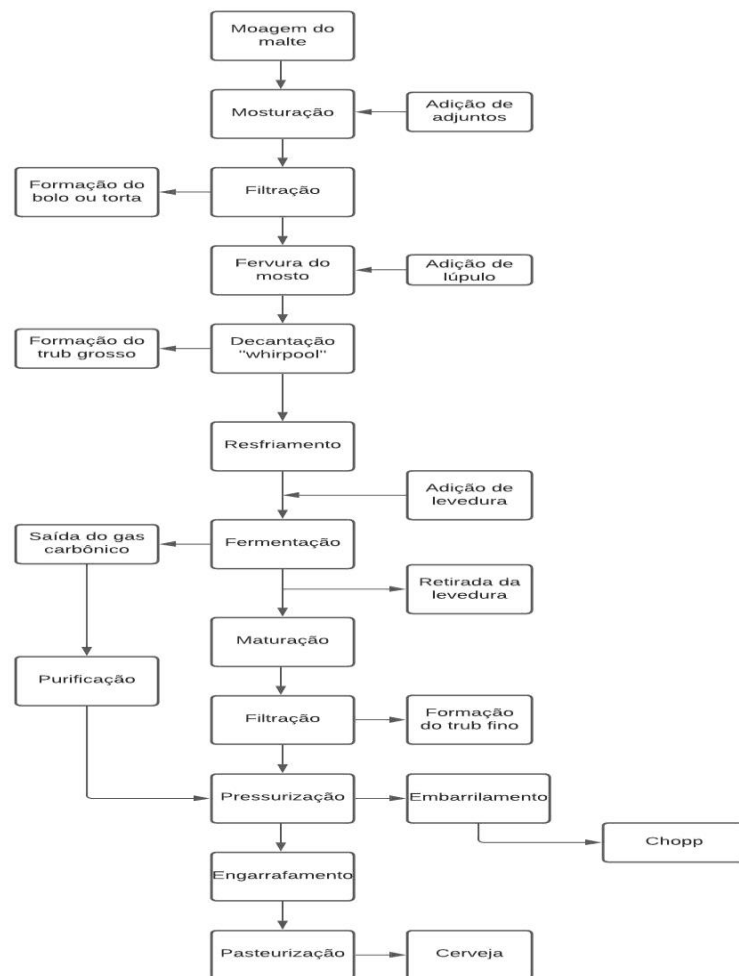
Assim, as grandes indústrias dominaram o mercado e tornaram a cerveja um produto muito padronizado. O oposto a isso, as microcervejarias vem ganhando espaço há alguns anos, fabricando outros tipos e sabores de cerveja. A tendência é que as cidades voltem a ter suas próprias microcervejarias, oferecendo cervejas únicas, estilosas e com sabores próprios. O consumidor ganha em qualidade e variedade, além disso as microcervejarias podem se integrar melhor à comunidade e à cultura local. Cria-se assim a cultura cervejeira, podendo se tornar uma bebida tão nobre quanto os bons vinhos, e não apenas uma bebida de verão, e sim algo saudável que pode ser consumido diariamente com moderação (KRAMER, 2010).

Borges (2015) destaca que ainda falta educar a população para o consumo de uma cerveja mais nobre e com isso mais cara, por ser um produto muito popular, existe a consciência do barato. É preciso ainda derrubar o mito de que cerveja é tudo igual, pois essa cultura faz com que o consumidor escolha a cerveja pelo preço e não pela qualidade.

3.2.1 Processo de produção de cervejas

Na Figura 3 é possível visualizar o fluxograma de produção de cerveja, onde as etapas serão descritas nos itens a seguir.

Figura 3 - Processo exemplificado da produção de cerveja



Fonte: Adaptado de Matos (2011)

● Moagem

Conforme Dias, Vieira e Ferreira (2009), a moagem do malte é o primeiro passo do processo da produção da cerveja, constitui no preparo para a mosturação e também tem influência significativa no rendimento da brassagem.

Conforme Cervesia (2017), o objetivo principal da moagem do grão no processo tem de tornar o interior dos grãos acessível ao meio aquoso, e dessa maneira aumentar a superfície de contato com as enzimas do malte, para permitir a melhor ação enzimática, para que ocorra o processo de hidrólise de forma eficiente é necessário que haja a desintegração total do endosperma, parte interna do mesmo, no momento da brassagem. Para que o processo de moagem seja o mais próximo do

ideal deve-se preservar a casca do grão praticamente inteira e quebrar o interior em partes para melhor velocidade da reação. A preservação da casca é pertinente para auxiliar no processo de filtração e clarificação.

Segundo Morado (2009), para melhor escolha do equipamento de moagem é necessário observar qual é o tipo de filtração que será utilizado. Existem dois tipos básicos de moagem. A moagem com rolos preserva a casca, enquanto a moagem em moinhos do tipo martelo reduz o malte a pó. Além disso, não é ideal moer o grão ao ponto de pó, pois este tenderia a entupir o filtro e não permitiria o fluxo do mosto, prejudicando o processo, sendo a moagem com rolos a mais indicada.

Segundo Dragone, Almeida e Silva (2010), a etapa de moagem tem relação direta com a rapidez das transformações físico-químicas, rendimento, clarificação e qualidade final da cerveja.

Segundo Odorczyk (2015), é importante que a mostura ocorra pouco tempo depois da moagem do malte, devido à impossibilidade de armazenamento do malte moído por muito tempo, pois o mesmo absorve umidade do ambiente perdendo assim características importantes para a cerveja.

● **Mostura ou Brassagem**

Segundo Palmer (2017), a etapa de brassagem ou mosturação consiste em adicionar o malte moído na água, para ativação das enzimas que irão converter os amidos em açúcares fermentáveis e não fermentáveis. Segundo Busch (2015), nessa etapa emprega-se um controle rigoroso de tempos e temperaturas de processo, com o objetivo de favorecer as reações bioquímicas necessárias ao processo.

Segundo Morado (2011), às temperaturas mais importantes para o processo de brassagem são exemplificadas a seguir:

- Entre 40 e 45°C: Inicia-se a solubilização dos grãos e as enzimas contidas no malte, facilitando a solubilização futura do amido.
- Entre 50 e 55°C: Nesta faixa de temperatura inicia-se a quebra de algumas proteínas do malte, formando peptídeos e até mesmo aminoácidos. É nesta faixa de temperatura que é possível regular a espuma e o brilho da cerveja.
- Entre 60 e 72°C: Nesta faixa de temperatura consegue-se determinar o corpo da cerveja, regulando a atuação das duas enzimas atuantes nesta parte do processo,

que são a alfa-amilase e a beta-amilase. Estas possuem temperaturas ótimas diferentes para atuar também de modos diferentes na estrutura do malte.

- Entre 76 e 78°C: Nesta fase do processo acontece a inativação das enzimas para estabilização e obtenção do resultado desejado, este processo impede as enzimas de atuarem durante a filtração do mosto. Nestas temperaturas as enzimas se modificam, perdendo sua funcionalidade.

Segundo Grainfather (2017), o controle de temperatura no processo de brassagem é determinante para que se atinja o gosto final que é uma das principais características da cerveja, já que cada enzima atuante transforma o amido em diferentes tipos de açúcares. Também é pertinente expor que em temperaturas acima de 75°C as enzimas sofrem uma mudança denominada de desnaturação, ou seja, nesta etapa elas têm suas atividades finalizadas. Também faz parte do processo de brassagem uma etapa chamada *mash-out*, onde o mosto é aquecido até a faixa de temperatura de 75°C e permanece nesta por um determinado tempo, geralmente de 10 minutos. Dessa forma as ações enzimáticas são finalizadas pela desnaturação e o mosto está pronto para ser filtrado e clarificado.

De acordo com Dias, Vieira e Ferreira (2009), outro importante ponto a ser controlado no processo é o pH pois o mesmo interage com a temperatura para controlar a degradação do amido e das proteínas.

Pelo processo de mosturação, consegue-se obter a extração de 65% dos sólidos totais do malte que em dissolução ou suspensão em água constituirão o mosto para a fermentação da cerveja.

Segundo Dias, Vieira e Ferreira (2009), vários fatores influenciam a qualidade e o rendimento da brassagem e, dentre eles, se destacam a qualidade do malte e dos outros componentes que podem vir a ser utilizados; a composição química da água utilizada; a relação água e quantidade de produtos adicionados; a relação dos tempos e temperatura na panela de mostura.

- **Filtração do Mosto, Fervura e Resfriamento**

Segundo Piccini, Moresco e Munhos (2002), a filtragem e clarificação consiste na separação dos grãos moídos do mosto cervejeiro. Na filtragem o mosto contém além de uma substância líquida rica em açúcares, uma grande parcela de grãos e cascas. Dessa forma há a necessidade da separação dos grãos e cascas para que se

possa direcionar apenas o líquido para a fervura. Segundo Morado (2011), o processo de filtração mais utilizado nas microcervejarias é o processo em tina de clarificação ou tina-filtro. Segundo Grainfather (2017), para a finalização do processo de clarificação, utiliza-se a técnica de lavagem dos grãos que é simplesmente inserir água em temperatura igual a do mosto (75°C) na cama de grãos. Assim, além de extrair o açúcar presente no bagaço, ocorre a diluição parcial do mosto, tornando-o mais claro.

Segundo Curi *et al.* (2008), na etapa de fervura do mosto ocorre desnaturação proteica, a concentração do mosto, a eliminação de compostos sulfurosos, a esterilização e escurecimento do mosto. A fervura intensa irá eliminar microrganismos que iriam competir com as leveduras pelos nutrientes no mosto, além de exercer função determinante na definição da cor e sabor da cerveja, também são eliminados aromas indesejáveis, o que implica em uma exaustão eficiente destes aromas, impedindo que os mesmos condensem e retornem ao mosto. O mosto permanece na panela de fervura, a 100°C, por cerca de 1 h 30 min, nesta etapa ocorre a adição do lúpulo, normalmente feita em duas etapas: no início da fervura, para conferir o amargor e mais ao final da fervura, responsável por conferir o aroma característico de cerveja, podendo neste adicionar os aromas florais, herbais e condimentados do lúpulo.

Segundo Reitenbach (2010), antes da etapa de resfriamento efetua-se a decantação dos sólidos em suspensão, podendo ser efetuada de maneira mais rápida e eficiente através da movimentação do mosto, mais conhecida como *whirpool*. A técnica de *whirpool* consiste em girar o mosto na panela e deixá-lo em repouso por alguns minutos, de forma que os sólidos em suspensão se sedimentam e fiquem no fundo da panela, facilitando a separação do mosto no momento da transferência para o fermentador, após resfriamento.

Segundo Huang, Tippmann e Becker (2013), o processo de resfriamento do mosto cervejeiro deve ocorrer de maneira rápida, pelo fato de que quanto mais rápido o resfriamento, mais intenso são os aromas que ficarão presentes no mosto. O segundo motivo é pelo fato de que quanto mais rápido ocorre o processo de resfriamento, a chance de contaminação por microrganismos externos é menor. O terceiro motivo é pelo fato de que a levedura que será introduzida no mosto no momento de fermentação possui uma temperatura ideal de trabalho, ou seja, não realizará a fermentação corretamente caso seja inserida em temperaturas diferentes das ideais.

- **Fermentação e Maturação**

Segundo Alermo e Castro (1994), a fermentação é a etapa na qual acontece a biotransformação do mosto para cerveja. Sendo uma fase em que se depende da atuação de organismos vivos, a fermentação corresponde à parte mais importante para definir o paladar da cerveja. De acordo com Rosa e Afonso (2015), após o resfriamento o mosto é acrescido de fermento (levedura) e é colocado em fermentadores. Então as leveduras consomem os açúcares fermentáveis, produzindo etanol e dióxido de carbono (CO₂), como produtos principais, e ésteres, ácidos e álcoois superiores, como produtos secundários. De acordo com Curi *et al.* (2008), no início da fermentação há grande concentração de açúcares neste processo, os quais se destacam a maltose e a glicose. Há também uma grande concentração de oxigênio, que será utilizado pela levedura para a multiplicação celular na fase inicial.

Segundo Brunelli, Mansano e Venturini (2014), alguns dos subprodutos formados podem vir a emanar aromas agradáveis e outros não. Segundo Morado (2011), destacam-se entre os compostos formados na fermentação os álcoois superiores e os ésteres, que são responsáveis pelas características frutadas presentes em algumas cervejas.

De acordo com Bamforth (2009), nem todas as substâncias químicas presentes no mosto serão consumidas pela levedura, assim as que permanecerem após a fermentação também serão responsáveis pelos sabores presentes no produto final. As substâncias que não serão consumidas pela fermentação são os polissacarídeos, como as dextrinas, beta-glucanos, proteínas, taninos e lúpulo. Ao término da fermentação obtêm-se álcool, álcoois superiores, diacetil, ésteres, compostos de enxofre e ácido carboxílico.

De acordo com Brunelli, Mansano e Venturini (2014), o diacetil é uma substância importante formada durante o processo de fermentação, pois esse é responsável pela formação e eliminação de aromas. Quando em altas concentrações, o diacetil possui um aroma que lembra manteiga rançosa, esta substância, no final da fermentação, é reabsorvida pela levedura.

Segundo Morado (2011), é necessário, portanto, administrar esse processo para favorecer a produção e manutenção dos aromas desejáveis e a eliminação dos indesejáveis. Portanto, pode-se destacar como fatores mais importantes neste

processo: a temperatura de fermentação; a duração da fermentação; a contrapressão para ocorrência da carbonatação; a escolha adequada da levedura para cerveja de alta ou baixa fermentação; e a quantidade de levedura a ser utilizada.

Para se ter o controle da temperatura de fermentação, de acordo com Rosa e Afonso (2015), os fermentadores são revestidos por uma camisa externa de fluido refrigerante (amônia ou etilenoglicol). O tipo de fermentação dependerá da levedura utilizada: cerveja de alta fermentação (*Saccharomyces cerevisiae*) – as leveduras tendem a se situar nas partes superiores do fermentador; cerveja de baixa fermentação (*Saccharomyces uvarum*) – as leveduras tendem a permanecer nas partes inferiores do fermentador. É muito importante o controle preciso da temperatura, em geral entre 10 e 25°C, pois somente nessa condição a levedura produzirá cerveja com o sabor adequado. A maior parte da levedura é separada por decantação (sedimentação) e tem início a maturação.

Segundo Sleiman *et al.* (2010), o processo de maturação trata-se da diminuição gradual da temperatura do tanque fermentador, a fim de ocorrerem reabsorções de aromas por parte da cerveja, além de deixá-la com aspecto mais límpido e diminuir o teor de diacetil, ácido sulfídrico e acetaldeído. Segundo Palmer (2017), pode também ter o processo chamado *dryhopping*, que é a adição de lúpulo no momento da maturação, deixando a cerveja ainda mais aromática. A maturação leva de 6 a 30 dias, variando de uma cervejaria para outra.

De acordo com Mosher (2004), durante a maturação ocorre a carbonatação natural da cerveja por causa do efeito de contrapressão exercida no próprio tanque de maturação pelo gás carbônico, resultado da fermentação do extrato que ainda resta. De acordo com Brunelli, Mansano e Venturini (2014), a clarificação da cerveja é auxiliada pela precipitação da levedura e pela formação de complexos de proteínas e polifenóis a baixas temperaturas sendo mantida por períodos variáveis. Ocorre a sedimentação de partículas em suspensão que desencadeiam reações de esterificação entre os ácidos e os álcoois produzidos na fermentação, que produzem muitos dos ésteres essenciais para o sabor da cerveja.

- **Envase**

Segundo Matos (2011), no envase é necessário garantir previamente a esterilização das garrafas, para isso, diversos métodos podem ser utilizados. Em

produções de menor escala, geralmente as garrafas são esterilizadas com solução de iodo, água fervida ou outras soluções químicas. Se esse processo de limpeza das garrafas não for realizado, pode haver contaminação elevada da cerveja. Outro cuidado necessário nessa etapa é a exposição da cerveja ao oxigênio ao realizar a transferência para as garrafas, sendo assim, o líquido deve escorrer, sem muita turbulência, para dentro da garrafa, até que a mesma esteja quase totalmente preenchida.

Segundo Rosa e Afonso (2015), a cerveja finalizada é estocada em tanques e depois segue para o envasamento, passando por várias etapas: enchedora, pasteurizador, rotuladora e destino final. A pasteurização é um processo térmico no qual a cerveja é submetida a um aquecimento a 60-70°C, e posterior resfriamento. Esse processo serve para estabilizar a microbiologia da cerveja, microrganismos que poderiam alterar a qualidade da cerveja. Com a pasteurização é possível às cervejarias assegurar uma data de validade ao produto de seis meses após sua fabricação. A cerveja em barris não é pasteurizada, recebendo o nome de chope. Nesse caso, sua validade é fixada normalmente em 10 dias, no caso do chope claro, e 15 dias, no caso do chope escuro.

3.3 Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos

Perigos e riscos são dois conceitos básicos e essenciais quando se trata de segurança. Existe uma certa confusão ao se interpretar e comparar esses conceitos, assim se faz essencial compreendê-los. Tejada (2017) explica que o perigo se trata de uma atividade ou elemento com potencial causador de perdas ou danos, já o risco relaciona-se às chances ou probabilidade de perdas ou danos.

Conforme complementa Kolluru (1996, p.13) “um perigo é um agente químico, biológico ou físico ou um conjunto de condições que apresentam uma fonte de risco, mas não o risco em si”.

O perigo é a origem do dano em potencial, ou a situação com chances de causar uma perda. Vale destacar que é um potencial para danos ou perdas e não uma perda ou dano já concretizados (CAMERON e RAMAN, 2005). Tajada (2017) complementa que o perigo se trata da ocorrência ou fonte com potencial para provocar danos em termos de lesão, doença, dano à propriedade, danos ao meio ambiente ou uma combinação desses.

No âmbito industrial, Cameron e Raman (2005) apresentam alguns tipos de perigos: altas temperaturas e pressões elevadas; existência de materiais explosivos; comportamento inapropriado dos colaboradores; armazenamento de substâncias tóxicas.

Já o risco, Shinar, Gurion e Flascher (1991, p.1095) destacam: “(...) risco é um resultado medido do efeito potencial do perigo”. Ainda quanto ao risco complementa Soares (2018, p. 21): “combinação da probabilidade da ocorrência de um acontecimento perigoso ou exposição e da severidade das lesões, ferimentos ou danos para a saúde, que pode ser causada pelo acontecimento ou pela exposição”. De acordo com a Norma brasileira (NBR) ISO 31000 (2018) o risco refere-se aos eventos potenciais e às consequências, ou uma combinação destes.

Assim, entende-se que o risco está ligado à ameaça, um acontecimento indesejado com consequências ruins que possui chances de ocorrência. Já o perigo caracteriza-se como a própria ameaça ainda não mensurada (SOARES, 2018).

Neste sentido, Nascimento (2016) afirma que os riscos e perigos fazem parte de todos os tipos de atividades industriais e organizacionais, podendo ocorrer imprevistos significativos. Assim, estabelecer medidas sistêmicas que analisem esses eventos inesperados se faz essencial a fim de obter informações e com isso ter a capacidade de prevenção do que possa ocorrer.

Saxer (2015) destaca que enquanto muitas organizações aceitam riscos passivamente, as demais criam uma vantagem competitiva pela exposição aos riscos de maneira fundamentada e prudente. Vale salientar que, em ambos os casos os riscos devem ser monitorados atentamente visto seu potencial de danos (JORION, 2007).

Neste cenário surge a gestão de riscos, instrumento que garante mais segurança aos produtos oferecidos aos clientes, por meio do fornecimento de medidas dinâmicas para identificar e controlar possíveis avarias na qualidade durante o processo de fabricação (SAXER, 2015).

Ielo e Silva (2015) explicam que:

Gerenciar o processo de identificação de riscos requer o auxílio de recursos humanos, métodos, orçamentos e técnicas a fim de impedir que acidentes possam ocorrer provocando perturbações ao meio ambiente assim como a saúde dos funcionários e ao bom funcionamento do empreendimento. A partir disso torna-se imprescindível identificar as possíveis falhas, idealizar as medidas corretivas, ações capazes de resguardar os riscos, e supervisionar

todo o processo para garantir a eficiência contínua. (IELO; SILVA, 2015, p. 8).

A aplicação de ferramentas de gestão de risco de qualidade pode favorecer o poder de decisão industrial caso ocorra algum inconveniente na qualidade que demande uma decisão. Favorecem ainda a empresa frente aos órgãos regulamentadores, demonstrando uma maior capacidade em administrar riscos potenciais de seus produtos e até mesmo afetar beneficentemente a extensão e nível de supervisão reguladora direta (SAXER, 2015).

3.4 Importância das Metodologias de Análise de Riscos

De acordo com França *et al* (2011), realizar a identificação e a análise de riscos é fundamental para a prevenção de acidentes, e é por meio destas ações que são obtidas informações sobre os potenciais riscos presentes nas inúmeras atividades, produtos ou processos. Para realizar essa identificação e análise de riscos empregam-se técnicas específicas para caracterizar os efeitos, suas consequências e os possíveis impactos que podem ocasionar. As técnicas de análise possibilitam ainda, definir a probabilidade de ocorrência dos impactos, quando estes são adicionados ao conhecimento de sua severidade, fornecem dados necessários à tomada de decisão referente ao gerenciamento dos riscos, por intermédio da comparação dos critérios de aceitabilidade indicados preliminarmente.

A necessidade de segurança originou as técnicas de análises de risco. A difusão dos princípios de perigo, risco, confiabilidade, de metodologias e técnicas utilizadas para a segurança de sistemas, que eram empregadas preliminarmente apenas em áreas militares e espacial, possibilitou a partir da década de 70, uma aplicação global para a solução de problemas em engenharia. (ALBERTON, 1996)

Conforme Quintella (2011), as técnicas de análise de risco consistem em métodos estruturados que se propõem a identificar a causa, consequência e ações que amenizam de maneira preventiva ou corretiva, cada risco vigente em uma operação. Atualmente existem inúmeras técnicas reconhecidas que são empregadas em diversas áreas.

3.4.1 FMEA

A Análise de FMEA surgiu nos Estados Unidos durante a segunda metade dos anos de 1960, sendo desenvolvida pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) como parte do projeto Apolo, esses desenvolveram um método para identificar, de forma sistemática, falhas potenciais em processos pela definição de suas causas e efeitos e, a partir disso, definir ações para reduzir ou eliminar o risco associado a essas falhas. Depois de ter sido aplicada na aviação e viagem espacial, como também na tecnologia nuclear, a FMEA foi inserida no setor industrial automobilístico. A partir de então a FMEA vem sendo aplicada em larga escala em setores por todo o mundo (SOUZA, 2006; FERNANDES; REBELATO, 2006).

Conforme Oliveira (2012):

A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*), é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo. Este é o objetivo básico desta ferramenta e, portanto, pode-se dizer que com sua utilização, diminuem-se as chances do produto ou processo falhar durante sua operação, ou seja, aumento da confiabilidade que é a probabilidade de falha do produto/processo. (OLIVEIRA, 2012, p. 14).

Segundo Stamatis (1995) a FMEA é um método de análise de produtos ou processos, usado para identificar todos os possíveis potenciais de falha e determinar o efeito de cada um desses modos sobre o desempenho do sistema, mediante um raciocínio basicamente dedutivo. Trata-se, portanto, de um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa, sendo possível por meio do mesmo não só identificar os possíveis riscos, mas também evitá-los com medidas corretivas no processo. A FMEA deve ser uma ação “antes do evento”, e não um exercício “após o fato”. Para obter melhores resultados, a FMEA deve ser feita antes de um modo de falha ter sido incorporado ao produto sem ter sido percebido (MOURA, 2000).

De acordo com Helman e Andery (1995) a FMEA usa um raciocínio basicamente dedutivo. Como seu desenvolvimento é formalmente documentado permite: padronizar procedimentos, fazer um registro histórico de análise de falhas, que poderá posteriormente ser usado em outras revisões de produtos ou processos e

no encaminhamento de ações corretivas em produtos similares e selecionar e priorizar projetos de melhoria (modificações no projeto) que deverão ser conduzidos.

De acordo com Martins (2012), existem dois tipos básicos de FMEA, de produto (Design FMEA = DFMEA) e de processo (Process FMEA = PFMEA).

- FMEA de produto: considera as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo, decorrentes do projeto. É normalmente chamada FMEA de produto (MARTINS, 2012).
- FMEA de processo: considera as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o interesse desta análise é evitar falhas no processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto (MARTINS, 2012).

Há ainda um terceiro tipo, menos comum, que é a FMEA de procedimentos administrativos, onde são verificadas as falhas potenciais de cada etapa do processo com o mesmo objetivo que as análises anteriores, ou seja, diminuir os riscos de falha (SANTOS apud IQA, 1997a).

A utilização de FMEA visa identificar as características do processo que são críticas para os diversos tipos de falhas, através de questionamentos referentes à consequência da falha, probabilidade de ocorrência e probabilidade de detecção antes de afetar o cliente (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). Assim, pela relação existente entre a severidade do modo de falha, a frequência na qual a falha pode ocorrer e a probabilidade de detecção da falha, a FMEA de Processo tem como objetivo definir, demonstrar e otimizar as soluções de engenharia em resposta à qualidade, confiabilidade, manutenibilidade, custos e produtividade.

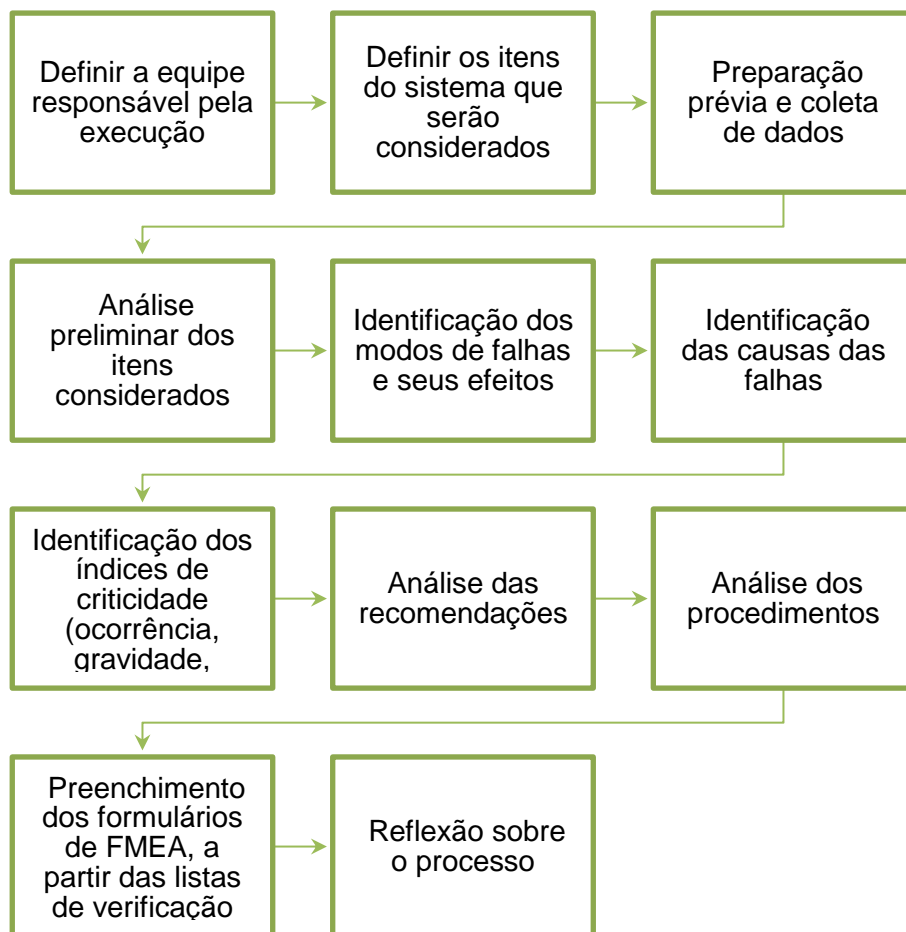
A FMEA de processo apresenta as seguintes características: (IQA, 1997a)

- Identifica os modos de falhas potenciais do processo relacionados ao produto;
- Avalia os efeitos potenciais da falha sobre o cliente;
- Identifica as causas potenciais de falhas do processo e as variáveis que deverão ser controladas para redução das falhas;

- Classifica modos de falha potenciais, estabelecendo assim um sistema de padronização para a tomada das medidas preventivas;
- Documenta os resultados do processo.

A Figura 4 ilustra as etapas para a elaboração de uma análise utilizando a FMEA na análise de processos.

Figura 4- Etapas da metodologia FMEA



Fonte: Adaptado de Silva *et al* (1997).

A utilização de FMEA de Processo deve ser registrada em um formulário padrão que reúne os modos potenciais de falha associados com as causas, efeitos e ações corretivas. (IQA, 1997a).

Conforme Martins (2012) a implementação da FMEA proporciona um impacto direto no retorno financeiro de uma organização, resultando a minimização e eliminação de falhas potenciais que podem colocar em risco a qualidade do produto final. Estes resultados trazem benefícios importantes para o negócio, permitindo

aumentar a confiança do produto e serviço prestado e uma maior satisfação do cliente final.

No Quadro 1 é possível visualizar a severidade do efeito para a técnica de análise FMEA.

Quadro 1- Severidade do efeito para análise FMEA

Severidade do efeito	Escala
Muito alta: Quando compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais	10
	9
Alta: Quando provoca alta insatisfação do cliente, por exemplo um veículo ou aparelho que não opera, sem comprometer a segurança ou implicar infração	8
	7
Moderada: Quando provoca alguma insatisfação, devido à queda do desempenho ou mal funcionamento de partes do sistema	6
	5
	4
Baixa: Quando provoca uma leve insatisfação, o cliente observa apenas uma leve deterioração ou queda no desempenho	3
	2
Mínima: Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema, e a maioria dos clientes nem mesmo note a sua ocorrência	1

Fonte: Adaptado de Garcia (2000, p.32)

No Quadro 2 é possível visualizar a probabilidade de ocorrência para a técnica de análise FMEA.

Quadro 2- Probabilidade de ocorrência para análise FMEA

Probabilidade de Ocorrência	Taxa de Falha	Escala
Muito alta: Falha quase inevitável	$\frac{1}{2}$	10
	$\frac{1}{3}$	9
Alta: Falhas ocorrem com frequência	$\frac{1}{8}$	8
	$\frac{1}{20}$	7
Moderada: Falhas ocasionais	$\frac{1}{80}$	6
	$\frac{1}{400}$	5
	$\frac{1}{2000}$	4
Baixa: Falhas raramente ocorrem	$\frac{1}{15000}$	3
	$\frac{1}{150000}$	2
Remota: Falha muito improvável	$\frac{1}{1500000}$	1

Fonte: Adaptado de Garcia (2000, p.33)

No Quadro 3 é possível visualizar a probabilidade de detecção da falha para a técnica de análise FMEA.

Quadro 3- Probabilidade de detecção para análise FMEA

Tabela de Probabilidade de Detecção	
Probabilidade de Detecção	Ranking
Muito Alta: A falha será certamente detectada durante o processo de projeto/fabricação/montagem/operação.	1
	2
Alta: Boa chance de determinar a falha.	3
	4
Moderada: 50% de chance de determinar a falha.	5
	6
Baixa: Não é provável que a falha seja detectável.	7
	8
Muito baixa: A falha é muito improvavelmente detectável.	9
Absolutamente indetectável: A falha não será detectável com certeza.	10

Fonte: Adaptado de Brantes *et al* (2011, p.5)

3.4.2 HAZOP

A técnica *Hazard and Operability Study* (HAZOP) foi desenvolvida na Inglaterra por volta de 1963 pelos engenheiros da empresa inglesa *Imperial Chemical Industries* (ICI), e o primeiro estudo sobre o tema publicado na década seguinte (KLETZ, 2009). Desde então, tornou-se a principal técnica de muitos engenheiros envolvidos no projeto de novos processos e operações (OYAMA, 2017).

Segundo Aguiar (2001), o método de análise de risco HAZOP, também conhecido como Estudo de Perigos e Operabilidade, permite a identificação dos riscos que podem surgir durante a operação, suas frequências e as severidades das perdas dele advindas. HAZOP é a técnica mais abrangente usada para a identificação de risco na indústria química. (NOLAN, 1994).

Crawley e Tyler (2015) afirmam que a HAZOP visa identificar perigos de segurança, saúde e meio ambiente, podendo ainda ser aplicável no estudo de possíveis problemas operacionais nos mais variados tipos de indústrias.

Segundo (ALBERTON, 1996):

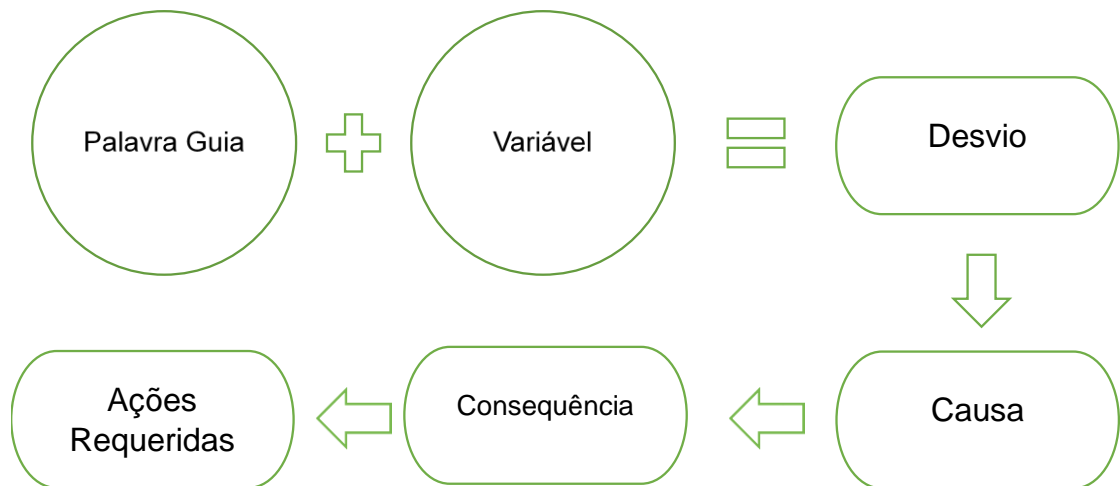
A técnica HAZOP é principalmente indicada para implantações de novos processos na fase de projeto ou nas modificações de processos já existentes. O ideal na realização do HAZOP é que o estudo seja desenvolvido antes mesmo da fase de detalhamento e construção do projeto, evitando modificações, quer no detalhamento ou ainda nas instalações, para evitar custos adicionais. Às vezes, muitos acidentes ocorrem porque subestima-se os efeitos secundários de pequenos detalhes ou modificações, que à primeira vista parecem insignificantes e é impossível, antes de se fazer uma análise completa, saber se existem efeitos secundários graves e difíceis de prever. O caráter do trabalho com equipe multidisciplinar que o HAZOP apresenta propõe que a criatividade individual seja estimulada, os esquecimentos evitados e a compreensão dos problemas das diferentes áreas e interfaces do sistema seja atingida. Assim, o desenvolvimento de uma análise HAZOP alia a experiência e competências individuais às vantagens do trabalho em equipe. (ALBERTON, 1996, p.72).

Conforme Matos (2009) o HAZOP visa deixar a mente livre de forma controlada, identificando e avaliando os perigos do processo e os possíveis inconvenientes do processo de operação, que apesar de não serem perigosos, podem vir a afetar a produtividade e, em consequência a confiabilidade. Trata-se de uma técnica qualitativa que objetiva, conhecer os perigos, caracterizar suas possíveis causas, consequências e salvaguardas existentes, propondo medidas para a redução dos riscos da instalação, quando necessário.

Calixto (2006) complementa que, uma vez verificadas as causas e as consequências de cada tipo de desvio, esta técnica procura propor medidas para eliminar, mitigar ou controlar em níveis aceitáveis o risco ou quem sabe até sanar o problema de operabilidade da instalação. É uma técnica estruturada em palavras-guias, desvios, causas, consequências e recomendações sendo a técnica mais formalizada em termos de metodologia sendo necessário experiência e conhecimento na aplicação da técnica para uma análise de processo de projetos. Isso exige um coordenador que conheça a técnica, além de representantes da operação, processo, manutenção, instrumentação e projeto.

A Figura 5 exemplifica a estrutura básica da metodologia de análise de risco HAZOP.

Figura 5- Estrutura básica do HAZOP



Fonte: Adaptado de QUINTELLA (2011, p. 28)

As principais vantagens da análise por HAZOP estão relacionadas com a sistematicidade, flexibilidade e abrangência para identificação de perigos e problemas operacionais. Além disso, as reuniões de HAZOP promovem a troca de ideias entre os membros da equipe uniformizando o grau de conhecimento e gerando informações úteis para análises subsequentes, principalmente, para Avaliações Quantitativas de Riscos (AQR) (AGUIAR, 2018).

O estudo de perigos e operabilidade consiste na realização de uma revisão de instalação, a fim de identificar perigos potenciais e/ou problemas de operabilidade, por meio de uma série de reuniões constituída por uma equipe multidisciplinar para discussão sobre o projeto de instalação. A equipe é orientada através de um conjunto de palavras guias que são relacionadas aos desvios de parâmetros estabelecidos para processo ou operação em análise (NASCIMENTO, 2016).

Segundo McKay *et al.* (2011), no estudo de HAZOP, é necessário rever todos os desenhos e/ou procedimentos de processo em uma série de reuniões, durante as quais uma equipe multidisciplinar utiliza um protocolo definido para avaliar metodicamente o significado dos desvios da intenção de projeto. Segundo Dunjó *et al.* (2010), o bom funcionamento desta metodologia todos os fluxogramas de linhas e

instrumentos (P&ID - Pipe and Instruments), separando o projeto em seções gerenciáveis com limites definidos chamados de nós, de forma a assegurar a análise de todos os equipamentos da unidade.

No Quadro 4 é possível visualizar as palavras-guias e os desvios considerados.

Quadro 4- Palavra-guia com seus desvios considerados

Palavra-Guia	Desvio considerado
Não, nenhum	Ausência de fluxo, quando deveria existir, ou fluxo reverso (fluxo em sentido contrário ao desejado)
Menor, menos	Diminuição de qualquer propriedade física importante em relação ao seu padrão (Ex.: menor pressão, fluxo menor, etc.)
Maior, mais	Elevação de qualquer propriedade física importante em relação ao seu padrão (Ex.: mais vazão, maior temperatura, etc.)
Reverso	Fluxo reverso (fluxo em sentido contrário ao desejado)

Fonte: Adaptado de QUINTELLA (2011, p. 29)

No Quadro 5 é possível visualizar a lista de parâmetros, palavras-guias e respectivo desvios para o processo cervejeiro.

Quadro 5 - Lista de desvios para o processo cervejeiro

Parâmetro	Palavra-guia	Desvio
Pressão	Menos Mais	Pressão baixa Pressão alta
Vazão	Nenhum Menos Mais Reverso	Nenhuma vazão Vazão baixa Vazão alta Vazão reversa (sentido contrário)
Temperatura	Menos Mais	Temperatura baixa Temperatura alta
Nível	Menos Mais	Nível baixo Nível alto

Fonte: Adaptado de SELLA (2014, p. 27)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo foram apresentados o tipo de materiais e a metodologia a ser empregada para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

4.1 Materiais

Os materiais que foram empregados na execução deste Trabalho de Conclusão de Curso consistem de dados obtidos da realização de um estágio em uma microcervejaria, os quais foram submetidos à análise de risco pelas técnicas de FMEA e HAZOP.

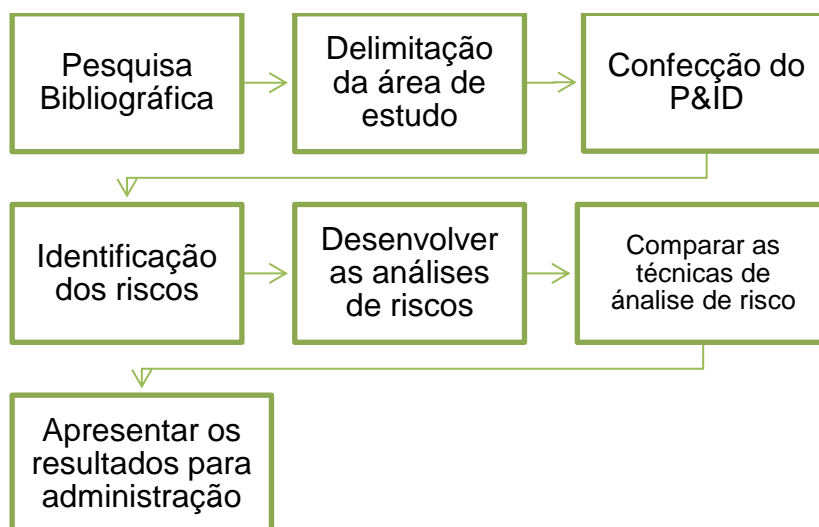
Foi utilizado o AutoCad educacional (AUTOCAD, 2021) disponível no site da empresa para a confecção do fluxograma de engenharia (P&ID).

A FMEA e HAZOP foram desenvolvidos um editor de planilhas eletrônicas para avaliação dos riscos do processo conforme os Quadros 6 e 7 respectivamente.

4.2 Métodos

A Figura 6 exemplifica as etapas da metodologia que foram empregadas neste trabalho de conclusão de curso.

Figura 6 - Esquema da metodologia utilizada no Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)



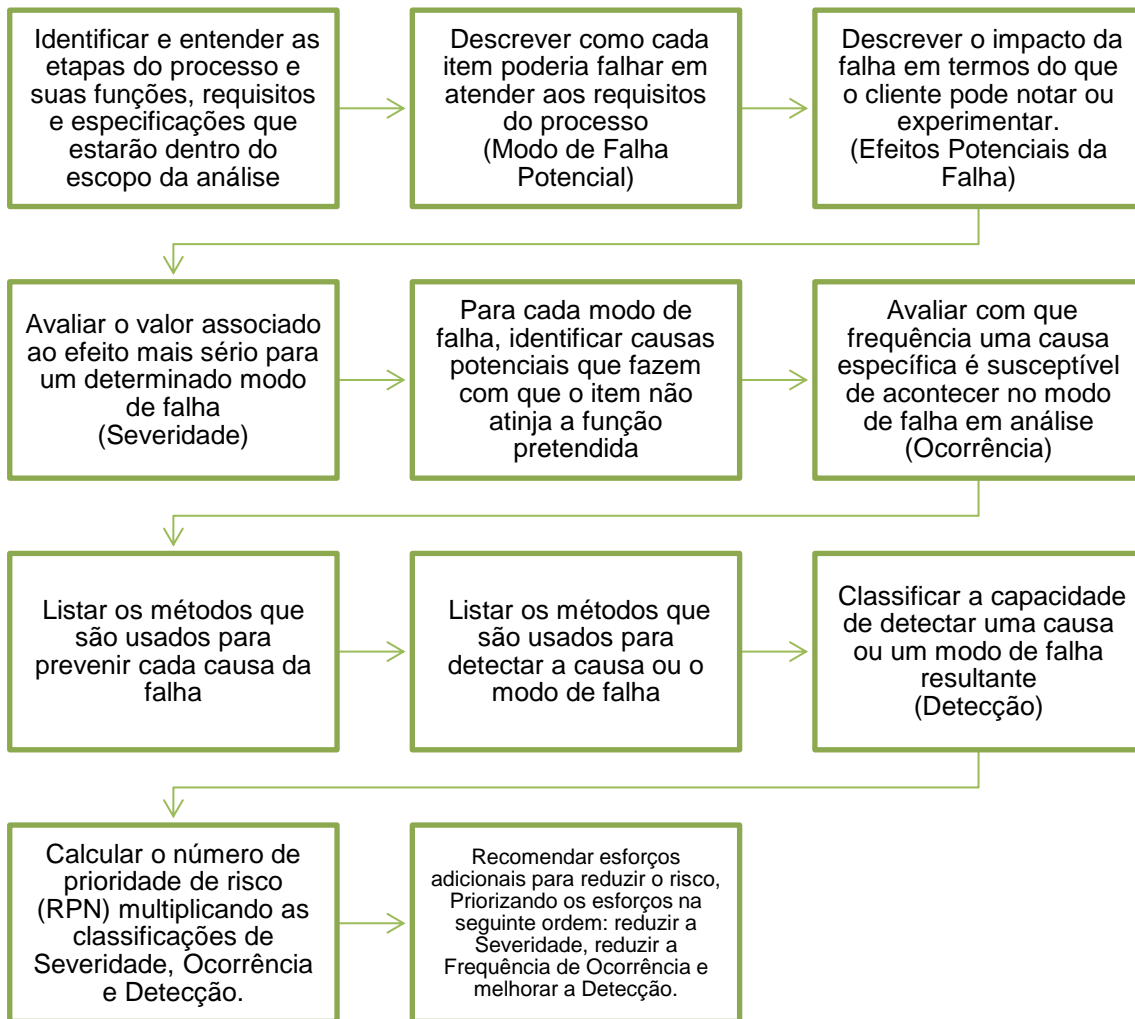
- **Confecção do P&ID**

Para a construção do P&ID foram necessárias realizar visitas às instalações da microcervejaria para listar os equipamentos e sua localização. Posteriormente foi reproduzido a distribuição dos equipamentos, instrumentos e tubulações, seguindo a simbologia da ISA (*International Society of Automation*) conforme Delmée (2006), com o emprego do aplicativo AutoCAD educacional. O fluxograma de engenharia foi dividido em cinco etapas prioritárias do processo: mosturação, filtração, fervura, resfriamento e fermentação/maturação.

- **Metodologia FMEA**

Para aplicar a metodologia qualitativa de análise FMEA, foram necessárias realizar visitas à empresa para a realização do *brainstorming*. A equipe foi composta de funcionários, sócios, estagiária da empresa e um engenheiro de segurança do trabalho para formação da equipe de análise de risco da microcervejaria em estudo. Foram empregados como base de estudo o diagrama de tubulação e instrumentação dos equipamentos (P&ID) e por meio deste foi possível demonstrar e identificar as cinco etapas prioritárias do processo, os erros, modos de falhas e efeitos de riscos, com o intuito de eliminar ou atenuar os mesmos. Posteriormente à observação das falhas no processo, foi possível aplicar a técnica de análise de risco FMEA. A Figura 7 exemplifica as etapas que foram utilizadas para aplicar essa técnica de análise de risco.

Figura 7- Etapas da técnica de análise FMEA



Fonte: Autora, 2021.

No Quadro 6 é possível visualizar como foi realizada a coleta de dados técnicos para o emprego da metodologia FMEA.

Quadro 6 - Etapas da técnica de análise FMEA

FMEA-ANÁLISES DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS								
				Índices				
Etapa do processo /função	Modo de falha	Efeitos da falha	Controles atuais	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN	Ação preventiva recomendada

Fonte: adaptado de IQA (1997^a).

- **Metodologia HAZOP**

Para empregar a análise qualitativa de riscos HAZOP foi utilizado como base de estudo o diagrama de tubulação e instrumentação dos equipamentos (P&ID). Para a aplicação da metodologia HAZOP foi utilizada a mesma equipe da FMEA.

Foi definido em conjunto com a equipe, os 'nós de estudo', que consistem das seções onde existe a probabilidade de falhas causadoras de danos. Os 'nós de estudo' consistem pontos no processo onde ocorre mudança de temperatura, vazões, pressões dos equipamentos que tenham parâmetros de processos distintos, e interfaces com outros sistemas que sejam capazes de interferir com o sistema em estudo. (DUNJÓ *et al*, 2010)

Após a definição dos 'nós', foram determinados os parâmetros que remetem aos desvios de finalidade do processo de produção de cerveja e conjuntamente serão definidas as palavras-guias, que relacionam os parâmetros do processo aos possíveis desvios. A união dos mesmos, compõem o desvio causador de danos e perdas dentro do processo. Neste estudo de caso, as palavras guias utilizadas para a determinação dos desvios junto aos seus parâmetros se encontram no Quadro 5.

Foram obtidas por meio de encontros a avaliação dos desvios e suas consequências para a tomada de providências visando a atenuação dos níveis de risco.

No Quadro 7 é possível visualizar como foi realizada a coleta de dados técnicos para o emprego da metodologia HAZOP.

Quadro 7- Análise HAZOP

Análise de Perigos e Operabilidade											
Unidade			Equipe:						Data:		
Sistema			Nó:						Página:		
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Deteção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq.	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações/Observações	Nº

Fonte: Adaptado de (QUINTELLA, 2011, p. 28)

No quadro 8 e 9, encontra-se a matriz de tolerabilidade de riscos e a categoria de riscos usadas para classificar os riscos na metodologia HAZOP.

Quadro 8 - Matriz de tolerabilidade de riscos

				Descrição / Característica				A	B	C	D	E
				Extremamente Remota	Remota	Pouco Provável	Provável	Frequente				
				Segurança Pessoal	Patrimônio	Meio Ambiente	Imagem	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável na vida útil da instalação. Sem referências históricas.	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas.	Possível ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação.	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação.	Esperado ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação.
Categoria de Severidade das Conseqüências	IV	Catastrófica	Provoca morte ou lesões graves em 1 ou mais pessoas intra e extramuros.	Perda da instalação industrial.	Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais.	Impacto nacional e/ou internacional.	M	M	NT	NT	NT	
	III	Crítica	Lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros. Lesões leves de pessoas extramuros.	Danos severos a sistemas da instalação industrial (reparação lenta)	Danos severos com efeitos localizados.	Impacto regional.	T	M	M	NT	NT	
	II	Marginal	Lesões leves em empregados e terceiros. Ausência de lesões extramuros.	Danos leves aos sistemas com comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial.	Danos leves	Impacto local.	T	T	M	M	M	
	I	Desprezível	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros, sem afastamento	Danos leves aos sistemas sem comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial	Sem danos ou com danos insignificantes	Sem impacto	T	T	T	T	M	

Fonte: PETROBRAS, 2010 apud ZAMBONI; QUARESMA, p.39.(2017).

Quadro 9 - Categoria de Riscos

Categoria de Risco	Frequência
Tolerável (T)	Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos.
Moderado (M)	Controles adicionais devem ser avaliados com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementados aqueles considerados praticáveis (região ALARP).
Não Tolerável (NT)	Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência e, adicionalmente, as conseqüências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos (regiões ALARP ou tolerável).

Fonte: PETROBRAS, 2010 apud ZAMBONI; QUARESMA, p.40. (2017).

Notas:

1. As categorias de frequência se referem às frequências/probabilidades de ocorrência dos efeitos físicos de interesse (sobrepessão, concentração tóxica, radiação térmica, etc).
2. Tolerabilidade conforme considerada pelos órgãos ambientais competentes, caso existente.
3. A identificação da categoria de frequência deve ser obtida a partir da respectiva descrição. Os valores de frequência de ocorrência são fornecidos como referência para situações em que se possa estimá-los a partir de dados estatísticos.

- **Critérios para avaliação da análise de risco FMEA e HAZOP**

Para comparação entre FMEA e HAZOP foram adotados alguns critérios para avaliação do processo que foi dividido em 5 partes. Como foi descrito anteriormente, essa comparação foi tanto quantitativa como qualitativa, utilizando: Números de pontos analisados no processo, número de recomendações, identificação do tipo de

falha, avaliação do risco identificado, avaliação da severidade e avaliação da frequência.

- **Números de pontos analisados:** Para cada etapa do processo foi contabilizado o número de pontos que foram analisados, de forma a ver numericamente a abrangência das análises de risco aplicadas.

- **Número de recomendações:** As recomendações são as atitudes que deveriam ser tomadas para atenuar ou erradicar o risco, foi contabilizado o número do HAZOP e FMEA para comparação de qual tem mais recomendações.

- **Identificação do tipo de falha:** As análises de risco identificam o tipo de falha de formas diferentes então foi comparado de qual forma a falha foi identificado e se conseguiu ser identificada.

- **Avaliação do risco identificado:** Foi analisado como o risco foi classificado, em seus diferentes pontos identificados pelo HAZOP e FMEA, de forma a ver como foi feita a avaliação e se foi feita.

- **Avaliação da severidade:** Os riscos descritos pelas análises foram avaliados pela sua severidade, sendo a severidade um fator importante para avaliar quais falhas precisam de mais atenção, por isso foi comparado este parâmetro.

- **Avaliação da frequência:** Os riscos descritos pelas análises foram avaliados pela sua frequência, a frequência nada mais é que o quanto isso seria comum de acontecer, por isso foi comparado este parâmetro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

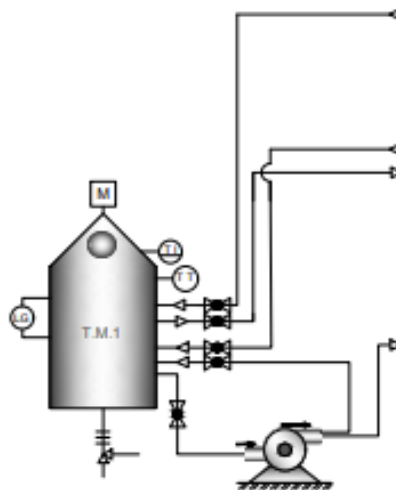
A comparação das metodologias FMEA e HAZOP foram realizadas seguindo as etapas do processo de Mosturação, Filtração, Fervura, Resfriamento e Fermentação/Maturação.

5.1 Mosturação

A mosturação é a etapa na qual consiste em adicionar o malte moído na água, para ativação das enzimas que irão converter os amidos, nessa etapa temos o controle de temperatura mais rigoroso.

Na Figura 8, é possível ver o recorte de onde ocorre a mosturação sendo essa na tina 1 que possui um agitador, entrada de água quente e entrada e saída de vapor, a bomba que leva da tina 1 para tina 2 e faz o *sprayball* do tanque, tem os instrumentos de medição de nível, indicador de temperatura e transmissor de temperatura e válvula de alívio de pressão. O P&ID completo consta no apêndice K.

Figura 8 - Etapa da mosturação



Fonte: Autora, (2022).

- Números de pontos analisados: Na FMEA foram analisados 4 pontos, enquanto no HAZOP foi analisado 19 pontos, os pontos analisados na FMEA e no HAZOP diferem entre si, como esperado pelo tipo de análise de risco. O fato de o número de pontos ter uma diferença expressiva se explica pelo HAZOP ser feito pelos equipamentos, ou seja, na mosturação incluímos a tina 1 e a bomba 1, enquanto no FMEA foi analisado de modo geral a etapa de mosturação.

- Número de recomendações: Na FMEA foram feitas 4 recomendações enquanto no HAZOP foram feitas 27 recomendações, o fato se explica do mesmo modo que no número de pontos analisados.

- Identificação do tipo de falha: Na análise FMEA foi observado alguns pontos distintos encontrados no HAZOP, como a falha na água que entra no processo com alterações de cálcio, material em suspensão e também com pH fora da faixa ideal. No HAZOP as falhas identificadas são quase todas totalmente diferentes, por exemplo, na tina 1 observamos como falha vazamento nos flanges, bloqueio de válvula, parada do agitador, entre outros que constam na análise da TM1 nos apêndices. No HAZOP também está inclusa na mosturação a bomba 1 no qual as falhas encontradas diferem da FMEA, pois são mal funcionamento da bomba, rompimento de tubulação, as válvulas de descarga da bomba em diferentes posições, a análise completa da bomba consta nos apêndices.

- Avaliação do risco identificado: Após identificação do tipo de falha foi possível então avaliar os riscos nas análises. Na FMEA encontra-se na mosturação riscos como a contaminação da cerveja na entrada de água do processo, alteração do sabor da cerveja, já a perda de produção e degradação do produto encontram-se tanto na FMEA como no HAZOP. O HAZOP por analisar a tina 1 e a bomba 1 para a etapa de mosturação encontra-se mais riscos como por exemplo transtorno operacional, parada de processo, insuficiência de aquecimento, acidente de trabalho, deformação da tubulação de PVC, entre outras que estão nos apêndices dos equipamentos citados.

- Avaliação da severidade: Quando avaliada a FMEA teve-se severidade de 7 e 2, ou seja, severidades alta e baixa considerando que o processo da mosturação não é tão perigoso. No HAZOP para a tina 1 teve severidade I e II, sendo essas mais baixas visto que vai até IIII, na bomba 1 considerada na mosturação teve

a mesma severidade que a tina 1, sendo assim o processo de mosturação não apresenta grande severidade.

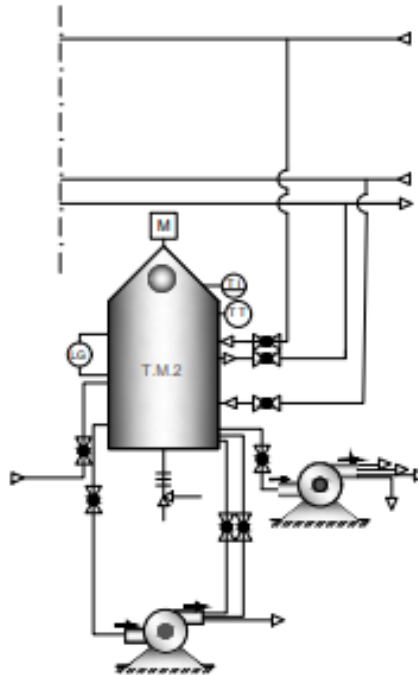
- Avaliação da frequência: Quando analisado a ocorrência na FMEA encontra-se valores baixos tais como 2 e 3, tendo sua frequência baixa. Analisando a tina 1 pelo HAZOP temos B e C, sendo classificada como remota e pouco provável, já na bomba 1 para o processo de mosturação tem o mesmo resultado da tina 1, considerando que os riscos não seriam tão comuns de acontecer.

5.2 Filtração

A filtração onde também ocorre a clarificação do mosto, consiste em primeiro separar os grãos moídos do mosto e a clarificação consiste da inserção de água na mesma temperatura do mosto lavagem da cama de grãos de forma a extrair o açúcar presente no bagaço e também diluindo parcialmente o mosto, tornado-o o mais claro. A cama de grãos então restante do processo de filtração e clarificação é usada para alimentação animal.

Na Figura 9, é possível ver o recorte de onde ocorre a filtração sendo essa na tina 2 que possui um agitador, entrada de água quente e entrada e saída de vapor, a bomba que leva da tina 2 para tina 3, possui *sprayball* do tanque e uma recirculação para realizar a clarificação do mosto, tem os instrumentos de medição de nível, indicador de temperatura e transmissor de temperatura e válvula de alívio de pressão.

Figura 9 - Tina 2 de filtração e clarificação do mosto



Fonte: Autora, (2022).

- Números de pontos analisados: Na FMEA foram analisados 2 pontos, enquanto no HAZOP foram analisados 23 pontos, os pontos analisados na FMEA e no HAZOP diferem entre si, como esperado pelo tipo de análise de risco. O fato de o número de pontos ter uma diferença expressiva se explica pelo HAZOP ser feito pelos equipamentos, ou seja, na filtração incluímos a tina 2 e a bomba 2, enquanto no FMEA foi analisado de modo geral a etapa da filtração.
- Número de recomendações: Na FMEA foram feitas 4 recomendações enquanto no HAZOP foram feitas 36 recomendações, o fato se explica do mesmo modo que no número de pontos analisados.
- Identificação do tipo de falha: Na análise FMEA se encontram falhas como presença de açúcar retido no bagaço, presença de partículas sólidas, já no HAZOP as falhas diferem muito das encontradas e tendo várias outras falhas identificadas, quando a analisado a tina 2 encontra-se falhas como abertura indevida de válvulas, transferências indevidas de uma tina para outra contaminando o produto, acionamento indevido da bomba, entre outras que encontram-se na análise completa da tina 2, como no HAZOP o sistema de filtração incluem também a bomba 2 nessa se encontram falhas como mal funcionamento da bomba, rompimento de tubulação,

as válvulas de descarga da bomba em diferentes posições, a análise completa da bomba 2 consta nos apêndices.

- Avaliação do risco identificado: Na FMEA encontra-se na filtração os riscos como alterar os aspectos visuais e sabor da cerveja, reduzir a quantidade de cerveja produzida e/ou comprometendo a fermentação, o HAZOP por analisar a tina 2 e a bomba 2 para a etapa de filtração encontra-se mais riscos como por exemplo perda de produção, transtorno operacional, parada de processo, rompimento do vaso, acidente de trabalho, deformação da tubulação de PVC, entre outras que estão nos apêndices da tina 2 e da bomba 2.

- Avaliação da severidade: Quando avaliada a FMEA teve-se severidade de 1 e 4, ou seja, severidade mínima e moderada sendo o processo de filtração considerado não perigoso. No HAZOP para a tina 2 teve severidade I, II e III, considerando sim que existe maior severidade, na bomba 2 considerada na filtração teve menos severidade que a tina 2 apresentando apenas I e II, sendo assim o processo de filtração apresenta severidades diferentes quando analisado em seus diferentes pontos e quando comparado às análises de risco.

- Avaliação da frequência: Quando analisado a ocorrência na FMEA encontra-se valores baixos tais como 2 e 3, tendo sua frequência baixa. Analisando a tina 2 pelo HAZOP temos B e C, sendo classificada como remota e pouco provável, já na bomba 2 para o processo de filtração tem o mesmo resultado da tina 2, considerando que os riscos não seriam tão comuns de acontecer.

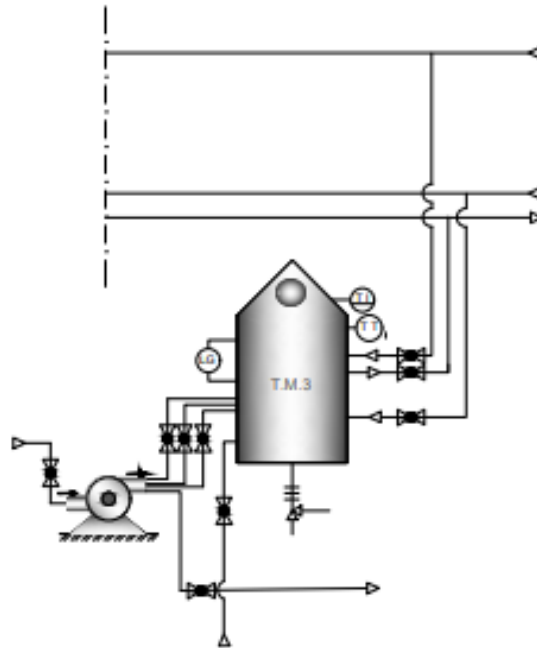
5.3 Fervura

A fervura do mosto serve para a concentração do mosto, a eliminação de compostos sulfurosos, a esterilização e escurecimento do mosto. A fervura intensa irá eliminar microrganismos que iriam competir com as leveduras pelos nutrientes no mosto, além de exercer função determinante na definição da cor e sabor da cerveja, também são eliminados aromas indesejáveis, o que implica em uma exaustão eficiente destes aromas, impedindo que os mesmos condensam e retornem ao mosto. Nessa etapa também ocorre a adição do lúpulo.

Na Figura 10, é possível ver o recorte de onde ocorre a fervura sendo essa na tina 3 que possui exaustão, entrada de água quente e entrada e saída de vapor, a

bomba 2 que leva da tina 2 para tina 3, e a bomba 3 possui *sprayball* do tanque, o sistema de whirlpool e uma saída para o trocador, tem os instrumentos de medição de nível, indicador de temperatura e transmissor de temperatura e válvula de alívio de pressão.

Figura 10 - Tina 3 fervura do mosto



Fonte: Autora, 2022.

- Números de pontos analisados: Na FMEA foram analisados 3 pontos, enquanto no HAZOP foram analisados 9 pontos, os pontos analisados na FMEA e no HAZOP não diferem tanto entre si. Para a fervura o HAZOP utilizou apenas a tina 3 para sua análise, diferentemente da mosturação e da filtração que levaram em conta as bombas.
- Número de recomendações: Na FMEA foram feitas 4 recomendações enquanto no HAZOP foram feitas 21 recomendações, o fato se explica do mesmo modo que no número de pontos analisados.
- Identificação do tipo de falha: No HAZOP quando analisado a tina 3 encontra-se falhas como abertura indevida de válvulas, transferências indevidas de uma tina para outra contaminando o produto, acionamento indevido da bomba, entre outras que se encontram na análise completa da tina 3, na fervura a análise não inclui

a bomba, já no FMEA as falhas encontradas diferem, sendo como presença de cascas, falta de sanitização e tempo incorreto de fervura.

- Avaliação do risco identificado: Na FMEA encontra-se na fervura os riscos como contaminação da cerveja, conferir sabor adstringente à cerveja, caramelizar o mosto, alterando os aspectos visuais e sabor da cerveja, o HAZOP tem em comum com a FMEA a perda de produção, quando analisado tina 3 no HAZOP para a etapa de fervura encontra-se mais riscos como por exemplo transtorno operacional, parada de processo, presença de aromas indesejáveis, rompimento do vaso, acidente de trabalho, cavitação da bomba, entre outras que estão no apêndice da tina 3.

- Avaliação da severidade: Quando avaliada a FMEA teve-se severidade de 3, 6 e 7, ou seja, severidades alta e baixa considerando que o processo da fervura não é tão perigoso. No HAZOP para a tina 3 teve severidade I, II e III, podendo considerar que existe severidade alta e baixa assim como na FMEA, sendo assim o processo de fervura não apresenta grande severidade.

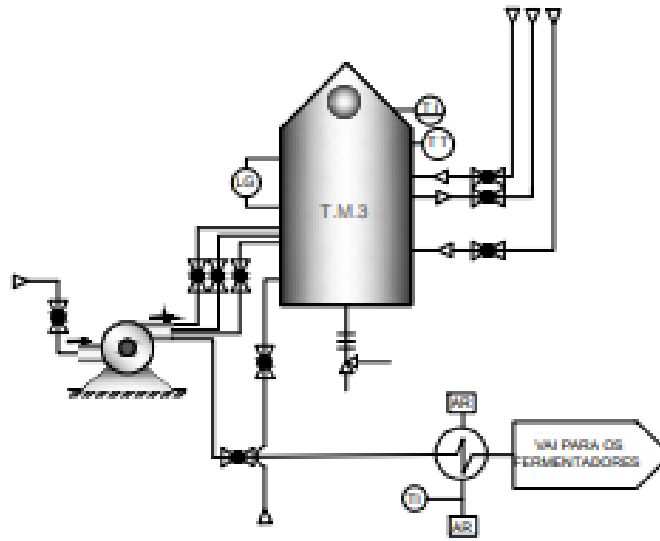
- Avaliação da frequência: Quando analisado a ocorrência na FMEA encontra-se valores baixos tais como 2 e 3, tendo sua frequência baixa. Analisando a tina 3 pelo HAZOP temos B e C, sendo classificada como remota e pouco provável.

5.4 Resfriamento

Segundo Huang, Tippmann e Becker (2013), o processo de resfriamento do mosto cervejeiro deve ocorrer de maneira rápida, pelo fato de que quanto mais rápido o resfriamento, mais intenso são os aromas que ficarão presentes no mosto. O segundo motivo é pelo fato de que quanto mais rápido ocorre o processo de resfriamento, a chance de contaminação por microrganismos externos é menor. O terceiro motivo é pelo fato de que a levedura que será introduzida no mosto no momento de fermentação possui uma temperatura ideal de trabalho, ou seja, não realizará a fermentação corretamente caso seja inserida em temperaturas diferentes das ideais.

Na Figura 11, é possível ver o recorte de onde ocorre o resfriamento do mosto, que seria no trocador de calor em placas, sendo que este recebe o mosto pela bomba 3 da tina 3, tem como fluido de resfriamento água e álcool alimentício e possui apenas indicador de temperatura.

Figura 11 - Sistema de resfriamento do mosto



Fonte: Autora, 2022.

- Números de pontos analisados: Na FMEA foram analisados 3 pontos, enquanto no HAZOP foram analisados 17 pontos, os pontos analisados na FMEA e no HAZOP diferem entre si, como esperado pelo tipo de análise de risco. O fato de o número de pontos ter uma diferença expressiva se explica pelo HAZOP ser feito pelos equipamentos, ou seja, no resfriamento o HAZOP foi feito da saída da bomba 3 para o trocador de calor, enquanto no FMEA foi analisado de modo geral a etapa de resfriamento.
- Número de recomendações: Na FMEA foram feitas 9 recomendações enquanto no HAZOP foram feitas 27 recomendações, o fato se explica do mesmo modo que no número de pontos analisados.
- Identificação do tipo de falha: Quando analisado o resfriamento pela FMEA encontra-se falhas como tempo de resfriamento, contato do fluido com o mosto sendo essas as falhas que diferem do HAZOP que teve como análise a bomba 3 com saída para o trocador de calor que teve como falhas como mal funcionamento da bomba, rompimento de tubulação, as válvulas de descarga da bomba em diferentes posições, falta de fornecimento de água para o trocador, falta do fluido de resfriamento, as outras falhas se encontra na análise completa no apêndice.
- Avaliação do risco identificado: Na FMEA encontra-se no resfriamento os riscos como contaminação da cerveja por produto químico presente no fluido de

resfriamento, o HAZOP tem em comum com a FMEA a perda econômica, a perda da qualidade da cerveja explicadas de maneiras diferentes em cada análise de risco mas sendo como nas duas, quando a descarga da bomba 3 com saída para o trocador de calor no HAZOP para a etapa de resfriamento encontra-se mais riscos como por exemplo perda de produção, parada de processo, rompimento da tubulação, aumento da temperatura do mosto, acidente de trabalho, entre outras que estão no apêndice da bomba 3.

- Avaliação da severidade: Quando avaliada a FMEA teve-se severidade de 5, 8 e 8, ou seja, severidades alta e moderada considerando que o processo de resfriamento contém severidade. No HAZOP para a bomba 3 com saída para o trocador de calor teve severidade I e II, podendo considerar que a severidade é baixa diferente do resultado da FMEA.
- Avaliação da frequência: Quando analisado a ocorrência na FMEA encontra-se valores baixos tais como 2 e 3, tendo sua frequência baixa. Analisando a bomba 3 com saída para o trocador de calor pelo HAZOP temos B e C, sendo classificada como remota e pouco provável.

5.5 Fermentação e Maturação

A fermentação é a etapa na qual acontece a biotransformação do mosto para cerveja. Sendo uma fase em que se depende da atuação de organismos vivos, a fermentação corresponde à parte mais importante para definir o paladar da cerveja.

Segundo Morado (2011), é necessário, portanto, administrar esse processo para favorecer a produção e manutenção dos aromas desejáveis e a eliminação dos indesejáveis. Portanto, pode-se destacar como fatores mais importantes neste processo: a temperatura de fermentação; a duração da fermentação; a contrapressão para ocorrência da carbonatação; a escolha adequada da levedura para cerveja de alta ou baixa fermentação; e a quantidade de levedura a ser utilizada.

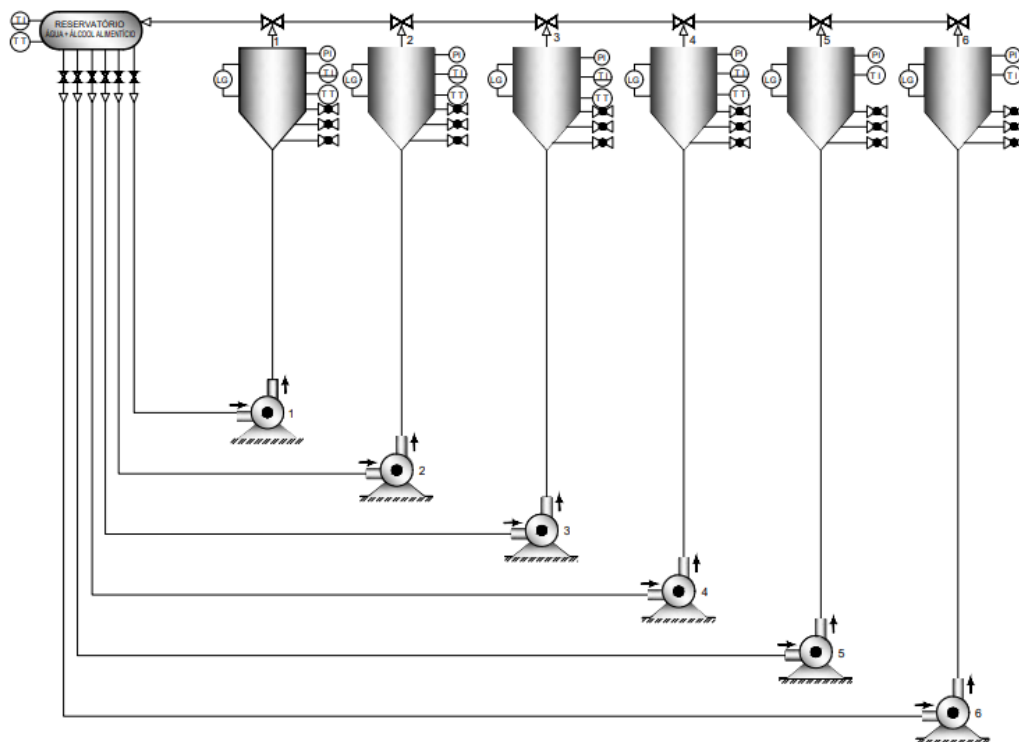
A maior parte da levedura é separada por decantação (sedimentação) e tem início a maturação.

Segundo Sleiman *et al.* (2010), o processo de maturação trata-se da diminuição gradual da temperatura do tanque fermentador, a fim de ocorrerem reabsorções de aromas por parte da cerveja, além de deixar a cerveja com aspecto mais límpido e

diminuir o teor de diacetil, ácido sulfídrico e acetaldeído. De acordo com Mosher (2004), durante a maturação ocorre a carbonatação natural da cerveja por causa do efeito de contrapressão exercida no próprio tanque de maturação pelo gás carbônico, fruto da fermentação do extrato que ainda resta. De acordo com Brunelli, Mansano e Venturini (2014), a clarificação da cerveja é auxiliada pela precipitação da levedura e pela formação de complexos de proteínas e polifenóis a baixas temperaturas sendo mantida por períodos variáveis.

Na Figura 12, é possível ver o recorte de onde ocorre a fermentação e maturação na empresa possui 6 fermentadores cada um possui a sua linha da bomba que leva do reservatório água + álcool alimentício para o fermentador para o manter refrigerado. No reservatório tem indicador de temperatura e transmissor de temperatura, já nos fermentadores tem os instrumentos de medição de nível, indicador de temperatura e transmissor de temperatura e indicador de pressão.

Figura 12 - Sistema de fermentação e maturação



Fonte: Autora, 2022.

- Números de pontos analisados: Na FMEA foram analisados 5 pontos, enquanto no HAZOP foram analisados 26 pontos, os pontos analisados na FMEA e no HAZOP diferem entre si, como esperado pelo tipo de análise de risco. O fato de o

número de pontos ter uma diferença expressiva se explica pelo HAZOP ser feito pelos equipamentos, ou seja, na fermentação incluímos os fermentadores e suas respectivas bombas, enquanto no FMEA foi analisado de modo geral a etapa de fermentação.

- Número de recomendações: Na FMEA foram feitas 11 recomendações enquanto no HAZOP foram feitas 40 recomendações, o fato se explica do mesmo modo que no número de pontos analisados.

- Identificação do tipo de falha: Na FMEA as falhas que diferem do HAZOP seriam a contaminação do tanque e a entrada de oxigênio no processo, quando analisado pelo HAZOP inclui os fermentadores que tem falhas como vazamento do fluido de refrigeração para o fermentador, vazamento no topo, na tubulação, falta de fornecimento de fluido de refrigeração, entre outras que se encontram na análise completa dos fermentadores no apêndice H. E o sistema de bombeamento o que gera diversas outras falhas identificadas, nas bombas encontra-se como falhas como mal funcionamento da bomba, rompimento de tubulação, as válvulas de descarga da bomba em diferentes posições, falha no motor de resfriamento do tanque de mistura álcool alimentício mais água, nível baixo do tanque de mistura álcool alimentício mais água as outras falhas da bomba se encontra na análise completa no apêndice.

- Avaliação do risco identificado: Na FMEA da fermentação os riscos como prejuízo a saúde de consumidores, aumento no tempo da fermentação, interrupção da fermentação (stuck), estresse ou autólise das leveduras, deformação do tanque com possibilidade de ruptura, perda da eficiência, o HAZOP encontrou uma causa em comum com a FMEA perda econômica devidos a diversos fatores, já o HAZOP por analisar os fermentadores e a bombas para resfriamento dos mesmo encontra-se mais riscos como por exemplo perda de produção, transtorno operacional, parada de processo, acidente de trabalho, perda da eficiência de resfriamento, rompimento da tubulação, aumento da temperatura da cerveja, entre outras que estão nos apêndices dos fermentadores e da bombas dos fermentadores.

- Avaliação da severidade: Quando avaliada a FMEA teve-se severidade de 3, 5, 7 e 8, ou seja, severidades baixa, moderada e alta considerando que o processo de fermentação apresenta perigo. No HAZOP para os fermentadores teve severidade I, II e III, nas bombas dos fermentadores teve a mesma severidade que os fermentadores, sendo assim o processo de fermentação apresenta severidade, mas não no nível mais alto tanto na FMEA quanto no HAZOP.

- Avaliação da frequência: Quando analisado a ocorrência na FMEA encontra-se valores baixos tais como 2, 3, 4 e 5, tendo sua frequência baixa e moderada. Analisando os fermentadores pelo HAZOP temos B e C, sendo classificada como remota e pouco provável, já para as bombas dos fermentadores para tem o mesmo resultado dos fermentadores, considerando que os riscos não seriam tão comuns de acontecer.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposto aplicar e comparar duas técnicas de análise de risco diferentes, sendo elas FMEA e HAZOP, para entender quais os riscos do processo de uma microcervejaria e como seria a abordagem feita por cada uma.

Foi possível conhecer as instalações e o funcionamento da microcervejaria, conhecer a rotina dos processos de produção do chopp e cerveja tanto com o estágio como com as visitas feitas para obtenção de mais dados técnicos e discussão dos resultados obtidos pela análise de risco.

Após conhecer o funcionamento da cervejaria foi possível construir o diagrama de tubulação e instrumentação dos equipamentos (P&ID) da microcervejaria em cima do diagrama foi desenvolvida a FMEA e HAZOP para análise de risco do processo produtivo da microcervejaria em estudo.

Para comparação dos métodos FMEA e HAZOP o processo foi dividido nas etapas de mosturação, filtração, fervura, resfriamento e fermentação/maturação, utilizou cinco parâmetros de comparação: Números de pontos analisados, número de recomendações, identificação do tipo de falha, avaliação do risco identificado, avaliação da severidade e avaliação da frequência.

Na comparação dos métodos FMEA e HAZOP mostrou que no número de pontos analisados e no número de recomendações, o HAZOP mostrou mais pontos e mais recomendações. Na identificação do tipo de falha e avaliação do risco identificado é possível ver a diferença das metodologias utilizadas visto que diferem muito estes resultados, sendo que a FMEA analisa a etapa do processo em um todo enquanto o HAZOP analisa por equipamentos. Na avaliação de frequência e severidade os dois métodos não diferem tanto.

As melhorias propostas constam nos apêndices juntamente com as análises completas do HAZOP e FMEA.

Foi possível apresentar as análises de risco e o P&ID para a administração da microcervejaria, no intuito de colaborar com os setores de operação, segurança e qualidade em engenharia.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após realizado este trabalho de conclusão de curso, ficam sugestões do que pode ainda ser realizado de forma a enriquecer esse estudo.

- Aplicar o método de AHP (*Analytic Hierarchical Process*) para ver matematicamente qual o melhor método para a cervejaria em questão.
- Realizar o HAZOP e FMEA nas etapas de moagem e envase, tornando o estudo mais completo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR ISO 31000 – Gestão de riscos – Diretrizes**. Rio de Janeiro. 2018.

AGUIAR, L. A. **A Termelétrica de Santa Cruz: laboratório químico e operações com produtos químicos na área industrial**. 2001. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2001.

ALBERTON, A. **Uma metodologia auxiliar no gerenciamento de riscos e na seleção alternativa de investimentos em segurança**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 1996. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/76462/104023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 abr. 2021.

ALERMO, A.; CASTRO, A. **Engarrafador Moderno**. São Paulo: Engarrafador Moderno, 1994. Disponível em: <https://engarrafadormoderno.com.br/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CERVEJA. **Mercado cervejeiro**. (2020). Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/mercado-cervejeiro/. Acesso em: 24 abr. 2021.

BAMFORTH, C. W. **Beer: a quality perspective**. Burlington: Academic Press, 2009.

BELLINI, V. **Metodologia para análise dos modos de falha aplicada à segurança de condicionadores de ar**. Florianópolis, 2008. 53p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91561/263044.pdf?sequence=1>. Acesso em: 26 abr. 2021.

BORGES, P. F. O. **Concentração do mercado de cerveja no brasil e a participação das microcervejarias**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2015. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/742>. Acesso 26 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário da cerveja: 2019**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/SDA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2019>. Acesso em: 30 abr. 2021.

BRUNELLI, L. T., MANSANO, A. R., VENTURINI FILHO, W. G. Caracterização físico-química de cervejas elaboradas com mel. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 19-27, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/bjft/v17n1/a04v17n1.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

BUSCH, J. **Base malts**. Pittsburg: Morebeer, 2015. Disponível em: <https://www.morebeer.com/category/base-malts.html>. Acesso em: 1 abr. 2021.

CAMERON, I.; RAMAN, R. **Process Systems Risk Management**. 6. Ed. [S.l.]: Elsevier, 2005.

CALIXTO, E. **Uma metodologia para gerenciamento de risco em empreendimentos: Um estudo de caso na Indústria de petróleo**. Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção–XXVI ENEGEP. Fortaleza. 2006. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr500338_8619.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

CERVESIA. A Cerveja e sua história. São Paulo: **Cervesia Tecnologia Cervejeira**, 2017. Disponível em: [https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/cerveja/historia-da-cerveja/1-a-cerveja\[1\]e-sua-hist%C3%B3ria.html](https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/cerveja/historia-da-cerveja/1-a-cerveja[1]e-sua-hist%C3%B3ria.html). Acesso em: 22 mar. 2021.

CRAWLEY, F.; TYLER, B. **HAZOP: Guide to Best Practice – Guidelines to Best Practice for Process and Chemical Industries**. 3. Ed. Elsevier, 2015.

CURI, R. A. *et al.* Produção de cerveja utilizando cevada e maltose de milho como adjunto de malte: análises físico-química, sensorial e isotópica. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 11, n. 4, p. 279-287, 2008. Disponível em: <http://bjft.ital.sp.gov.br/arquivos/artigos/v11n43707a.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2021.

DELMÉE, Gérard Jean. **Instrumentação industrial**. 2. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2006. XVIII, 583 p. ISBN 8571931372.

DIAS JUNIOR, A. A.; VIEIRA, A. G.; FERREIRA, T. P. Processo de produção de cerveja. **Revista Processos Químicos**, Goiânia, v. 3, n. 6, p. 61-71, 2009. Disponível em: http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/35/26. Acesso em: 22 mar. 2021.

DRAGONE, G.; ALMEIDA, E.; SILVA, J. B. Cerveja. *In*: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. Cap. 2, p. 15-50.

DUNJÓ, J. *et al.* Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 173, n. 1-3, p. 19-32, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389409013727>. Acesso em: 10 abr. 2021.

FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G. Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA. **Gestão e Produção**, v. 13, n. 2, p. 245-259, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/gp/v13n2/31171.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021.

FRANÇA, W. S. *et al.* **VI-043-AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS ADOTADAS NOS ESTUDOS DE ANÁLISES DE RISCOS EM INDÚSTRIAS PETROQUÍMICAS NO COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE-PE**. Disponível em: <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento22/TrabalhosCompletoPDF/VI-043.pdf>. Acesso em 29 abr. 2021.

GARCIA, M. D. **Uso integrado das técnicas de HACCP, CEP e FMEA**. 2000. 128p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2000. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10884>. Acesso em: 26 abr. 2021.

GRAINFATHER. **Hints and tips for grainfather mastery** – part 1. Armadale: The Grainfather All Grain Brewing, 2017. Disponível em: <https://grainfather.com/hints-and-tips-for-grainfather-mastery-part-1/>. Acesso em: 1 abr. 2021.

GOULD, J. Review of hazard identification techniques. **Health and Safety Laboratories**. 2000. Disponível em: http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2005/hsl0558.pdf. Acesso em: 26 abr 2021.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)**. UFMG, Escola de Engenharia, 1995.

HUANG, Y.; TIPPMANN J.; BECKER, T. Kinetic modeling of hop acids during wort boiling. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, San Bernardino, v. 3, n. 1, p. 47-52, 2013. Disponível em: <http://www.ijbbb.org/papers/161-E005.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2021.

IELO, R. F.; SILVA, S. Y. **Estudo de caso: aplicação da ferramenta HAZOP em segurança de processos – empresa M&G – Poços De Caldas/MG**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Química). Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas. 2015. Disponível em: https://www.unifal-mg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2015_2/TCC_SUELLEN%20e%20RAFAELA%20Ferfoggia.pdf. Acesso 26 abr. 2021.

IQA – INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Manuais QS-9000**. São Paulo: IQA, 1997^a. Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial: FMEA.

KRAMER, G. V. **Recuperação de CO₂ em microcervejaria**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/28420>. Acesso em 23 abr. 2021.

KLETZ, T. A. **HAZOP and HAZAN: identifying and assessing process industry hazards**. IchemE, 1999.

LACERDA, A. L. F.; ROCHA, G. S.; POLY, T. T. A. **Análise preliminar de perigos aplicada à produção de cerveja**. 2020. 121f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) –Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2020. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/22000>. Acesso 1 jul. 2022.

LEMOS, V. **Caso Belorizontina: como distinguir uma intoxicação alimentar comum de algo mais grave?** (2020). Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-51128766#:~:text=V%C3%ADdeos-,Caso%20Belorizontina%3A%20como%20distinguir%20uma%20intoxica%C3%A7%C3%A3o,comum%20de%20algo%20mais%20grave%3F&text=Os%20relatos%20apontam%20que%20os,alguns%20moradores%20de%20Minas%20Gerais.> Acesso em: 24 abr. 2021.

MARTINS, C. P. **Aplicação da ferramenta FMEA no desenvolvimento do processo e cadastro de um produto rodoviário.** Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica). UNIJUÍ – Universidade Regional Do Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul. Panambi. 2012. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/1281>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MATOS, J. S. G. C. **Aplicação do HAZOP dinâmico na avaliação de perigo operacional em uma coluna de destilação de u uma planta de separação de ar.** Dissertação (Mestre). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009. Disponível em: <http://epqb.eq.ufrj.br/download/aplicacao-do-hazop-dinamico.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MATOS, R. A. G. **Cerveja: Panorama do mercado, produção artesanal, e avaliação de aceitação e preferência.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/25472/ragr250.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 mar. 2021.

McKAY, G. *et al.* Safety education for chemical engineering students in Hong Kong: development of HAZOP study teaching module. **Education for Chemical Engineers**, Amsterdam, v. 6, n. 2, p. 31-55, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S174977281000014X>. Acesso em: 09 abr. 2021.

MEDEIROS, C. **Consumo de cerveja foi ‘banalizado’ no Brasil, mas é álcool e traz riscos.** (2020). 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?cmpid=copiaecola>. Acesso em: 24 abr 2021.

MEGA, J. F.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. de. **Revista Citino**, Mato Grosso, v. 1, n. 1, p.34-42, dez. 2011. Disponível em: <http://www.hestia.org.br/wp-content/uploads/2012/07/CITINOAno1V01N1Port04.pdf>. Acesso em 24 abr. 2021.

MORADO, R. **Larousse da cerveja.** São Paulo: Larousse, 2009.

MORADO, R. **Larousse da Cerveja.** São Paulo: Larousse, 2011.

MOSHER, R. **Radical Brewing.** Curitiba: Krater, 2004.

MORENO, F. **Explosão em cervejaria da Heineken deixa dois mortos e três feridos.** (2016). Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/negocios/explosao-em- cervejaria-da-heineken-deixa-dois-mortos-e-tres-feridos/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MOURA, C. **Análise de modos e efeitos de falha potencial (FMEA): manual de referência.** SAE J-1739, 2000. Disponível em: www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/amario/Unidades_Curriculares/Inovação/Textos_apoio/FMEA.pdf. Acesso em 21 abr. 2021.

MURATORI, M. **Backer produzia cerveja contaminada desde janeiro de 2019, diz Ministério da Agricultura.** (2020). Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2020/08/05/interna_gerais,1173224/backer-produzia-cerveja-contaminada-desde-janeiro-de-2019-diz-mapa.shtml. Acesso em: 24 abr. 2021.

NASCIMENTO, D. N. **Análise qualitativa de riscos com APR e HAZOP em uma planta piloto de uma agroindústria.** Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/35791>. Acesso em: 25 abr. 2021.

NOLAN, D. P. **Application of HAZOP and what-if safety reviews to the petroleum, petrochemical & chemical industries.** New Jersey: Noyes Publications, 1994.

ODORCZYK, R. S. **Avaliação de riscos no processo de produção de cerveja em uma microcervejaria.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/17589>. Acesso em: 15 mar. 2021.

OLIVEIRA, M. G. **Análise de modo e efeitos de falhas: gerenciamento de riscos FMEA.** Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica). Centro Universitário Do Sul De Minas. Varginha. 2012. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/97>. Acesso em 24 abr. 2021.

OYAMA, H. C. **Análise de processo em caldeiras da indústria sucroenergética.** Universidade Federal de Uberlândia. Monografia (Bacharel em Engenharia Química). Uberlândia. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20152>. Acesso em: 25 abr. 2021.

PALMER, J. J. **How to brew.** 4. Ed., [S. l.]: Brewers Publications, 2017. Acesso em: 1 abr. 2021.

PICCINI, A. R.; MORESCO, C.; MUNHOS, L. **Cerveja.** Porto Alegre: UFRGS, 2002. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prcerea/cerveja/>. Acesso em: 13 abr. 2021.

PIMENTA, D. DANTAS, M. **Explosão em tanque de cerveja assusta funcionários da Ambev**, em Juatuba, na Grande BH; vídeo. (2020). Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/09/26/explosao-em-tanque-de-cerveja-assusta-funcionarios-da-ambev-em-juatuba-na-grande-bh-video.ghtml>. Acesso em: 24 abr 2021.

PETROBRAS. **N-2782**. Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais. 2015.

QUINTELLA, M. C.. **Adaptação e aplicação da técnica HAZOP na identificação de risco na área de serviço de saúde = estudo de caso HEMOCENTRO/UNICAMP**. 2011. 101 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266864>. Acesso em: 28 abr. 2021.

REITENBACH, A. F. **Desenvolvimento de cerveja funcional com adição de probiótico: Saccharomyces boulardii**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93745>. Acesso em: 14 abr. 2021.

RODRIGUES, A. **Polícia indícia 11 funcionários da cervejaria Backer por contaminação**. (2020). Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-06/policia-indicia-11-funcionarios-da-cervejaria-backer-por-contaminacao>. Acesso em: 24 abr. 2021.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A Química da Cerveja. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 98-105, 2015. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_2/05-QS-155-12.pdf. Acesso em: 1 abr. 2021.

SANTOS, A. C. S. **Notícias – Diretor da Apaest fala sobre acidente na cervejaria Heineken**. (2020). Disponível em: <https://apaest.org.br/index.php/imprensa/noticias/230-diretor-da-apaest-fala-sobre-acidente-na-cervejaria-heineken>. Acesso em: 24 abr. 2021.

SAXER, P. **Aplicação da FMEA para análise de riscos na qualidade do processo de embalagens em uma multinacional de agroquímicos**. Monografia (Bacharel em Engenharia Industrial Química). Universidade de São Paulo. Lorena. 2015. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2015/MEQ15046.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021.

SELLA, B. C. **Comparativo entre as técnicas de análise de riscos APR e HAZOP**. 2014. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/17637>. Acesso em: 28 abr. 2021.

SHINAR, D. GURION, B. FLASCHER, O. M. **The perceptual determinants of workplace hazards**. Proceedings of Human FACTORS Society: 35th Annual Meeting. São Francisco. V. 2. P. 1095-1099. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/154193129103501516>. Acesso em: 26 abr. 2021.

SHINZATO *et al.* Análise preliminar de riscos sobre o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde de uma instituição de ensino em Mato Grosso do Sul: estudo de caso. **Saúde ocupacional** vol.35 no.122, São Paulo, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0303-76572010000200016&script=sci_arttext. Acesso em: 24 abr. 2021.

SILVA, B. **Acidente ou sabotagem?** (2020). Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/acidente-ou-sabotagem/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

SILVA, C. E. S.; TIN, J. V.; OLIVEIRA, V. C. **Uma Análise da Aplicação da FMEA nas Normas de: Sistema de Gestão pela Qualidade (ISO9000 e QS9000), Sistema de Gestão Ambiental (ISO14000) e Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do trabalho (BS8800 – futura ISO18000)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 1997, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: UFRGS, 1997. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1997_t4217.pdf. Acesso em: 25 abr. 2021

SINDICERV (Org.). **Mercado de Cerveja**. Disponível em: <http://www.sindicerv.com.br/mercado.php>. Acesso em: 24 abr 2021.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2 Ed. São Paulo: Atlas, 2002

SLEIMAN, M. *et al.* Determinação do percentual de malte e adjuntos em cervejas comerciais brasileiras através de análise isotópica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 163-172, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cagro/v34n1/21.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SOARES, W. O. S. **Work safety canvas: desenvolvimento de uma ferramenta para o gerenciamento de riscos**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Campina Grande. Sumé. 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4195>. Acesso em: 26 abr. 2021.

SOUZA, I. A. **Prevenção de falhas em projetos nascentes – uma aplicação do FMEA**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. 2006. Disponível em: https://www.ufjf.br/ep/files/2009/06/tcc_jul2006_itamar_antonio_de_souza.pdf. Acesso 26 abr. 2021.

STAMATIS, D.H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. Wisconsin: ASQC, 1995, p. 494.

TEJADA, L. A. **Segurança de processos: gestão de riscos aplicada em uma indústria química de fertilizantes**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2017. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/labserg/files/2018/06/o_tcc_tejada_2017.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

ZAMBONI, L. G.; QUARESMA, T. L. S. **Cálculo dos alcances dos efeitos físicos danosos decorrentes do fluxo de radiação térmica emitido por um incêndio em jato devido a um vazamento de gás natural em um gasoduto**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/4099/TCC%20Tassia%20e%20Leticia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 ago. 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Análise FMEA

FMEA-ANÁLISES DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS									
					Índices				
Etapa do processo /função	Modo de falha	Causas potenciais de falha	Efeitos de falha	Controles atuais	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN	Ação preventiva recomendada
Mosturação	Água com material em suspensão	Falta de tratamento da água	Contaminar a cerveja	Sem controle atual	7	3	7	147	Controle do sistema de filtração, Monitoramento da qualidade da água
	Água com excesso de cálcio	Falta de tratamento da água	Alterar o sabor da cerveja	Sem controle atual	7	3	7	147	Controle do sistema de filtração, Monitoramento da qualidade da água
	Temperatura acima da especificação	Abertura indevida da válvula de água quente para T.M 1	Perda de produção Degradação do produto	Controle de temperatura	7	2	3	42	Alarme de temperatura alta

	Alteração do parâmetro do pH do mosto	Temperatura fora das especificações	Degradação do produto	Sem controle atual	2	2	7	28	Controlar o pH no momento da mosturação
Filtração	Presença de partículas sólidas	Entupimento do filtrador	Alterar os aspectos visuais e sabor da cerveja	Tina com equipamento de filtração	1	3	6	18	Controle do sistema de filtração, manutenção preventiva
	Açúcar retido no bagaço	Água de lavagem fria	Reduzir a quantidade de cerveja produzida e/ou comprometendo a fermentação	Lavagem automatizada	4	2	5	40	Manutenção preventiva Conferir a temperatura da água de lavagem
Fervura	Falta de sanitização	Limpeza inadequada	Contaminação da cerveja	Lavagem CIP (sanitização com ácido peracético)	6	2	3	36	Procedimento operacional padrão para limpeza
	Presença de cascas	Aparelho de filtragem entupido	Conferir sabor adstringente à cerveja	Tina com equipamento de filtração	3	2	5	30	Controle do sistema de filtração, manutenção preventiva

	Tempo incorreto de fervura	- Perder o controle do tempo de fervura	- Caramelizar o mosto, alterando os aspectos visuais e sabor da cerveja - Perda de produção	Sistema de temperatura automatizado	7	3	3	63	Automatização do sistema de tempo
Resfriamento	Tempo de resfriamento	- Perder o controle do tempo de resfriamento	- Contaminação da cerveja	-	8	3	5	120	Automatização do sistema de tempo
	Temperatura de saída do mosto no trocador de calor fora das especificações	- Incrustação nas placas - Vazão de bombeamento dos fluidos (mosto e fluido refrigerante) fora das especificações - Entupimento no trocador de calor pela presença de trub	- Perda econômica devido a comprometimento da qualidade da cerveja (alteração nas propriedades organolépticas)	Sistema de temperatura automatizado	5	2	4	40	- Fazer manutenção preventiva no resfriador de placas - Realizar inspeção periódica no resfriador de placas - Realizar limpeza periódica do trocador de calor - Instalar sistema de controle de vazão para os fluidos do trocador de calor - Instalar sensor de temperatura na saída do trocador
	Contato do fluido de	- Furo nas placas do trocador de	- Perda econômica devido a comprometimen	Sem controle atual	8	2	3	48	- Fazer manutenção preventiva no resfriador de placas

	resfriamento com o mosto	calor por desgaste - Folga nas conexões das tubulações e das placas	to da qualidade da cerveja (alteração da composição do mosto) -Contaminação da cerveja por produto químico presente no fluido de resfriamento							<ul style="list-style-type: none"> - Realizar inspeção periódica no resfriador de placas - Garantir que a pressão de bombeamento do mosto seja maior que a pressão de bombeamento do fluido de resfriamento
	Entrada de oxigênio no processo	Mal encaixe da válvula de CO2 no processo de carbonatação	- Perder eficiência, pois o processo de fermentação é anaerobio	Sem controle atual	5	4	3	60		
	Aumento de pressão no fermentador	- Válvula de saída de CO2 bloqueada - Nível acima do permitido	-Deformação do tanque com possibilidade de ruptura - Perda econômica devido a comprometimento da qualidade da cerveja (baixa esterificação)	Sem controle atual	7	2	3	42	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar alarme de pressão alta - Realizar inspeção periódica na válvula de saída de CO2 - Fazer manutenção preventiva na válvula de saída de CO2 - Teste periódico no sistema de controle de pressão 	

			- Estresse ou autólise das leveduras						
	Temperatura alta no fermentador	- Falha no sistema de controle de resfriamento (medição incorreta por sensor em local inadequado, sensor com acúmulo de sujeira, sensor não calibrado, linha de transmissão comprometida - Baixa vazão de fluido de resfriamento	- Perda econômica devido a comprometimento da qualidade da cerveja (alta esterificação) - Estresse ou autólise das leveduras	Sensor de temperatura	8	4	2	64	- Instalar alarme de temperatura alta - Teste periódico no sistema de controle de temperatura
	Temperatura baixa no fermentador	- Falha no sistema de controle de resfriamento (medição incorreta por sensor em local inadequado, sensor com acúmulo de sujeira, sensor não calibrado, linha de	-Perda econômica devido a comprometimento da qualidade da cerveja (aroma e sabor) -Aumento no tempo da fermentação	Sensor de temperatura	3	5	4	60	- Instalar alarme de temperatura baixa - Teste periódico no sistema de controle de temperatura

		transmissão comprometida) - Alta vazão de fluido de resfriamento	- Interrupção da fermentação (stuck)						
Fermentação	Contaminação da cerveja no tanque	- Sanitização inadequada do tanque - Falha no sistema de refrigeração permitindo proliferação de microrganismos - Falha estrutural interna com aumento da rugosidade permitindo acúmulo de microrganismos - Oxidação por entrada indevida de ar	- Perda econômica devido a comprometimento da qualidade da cerveja - Prejuízo a saúde de consumidores	- Sanitização CIP	7	3	6	126	- Procedimento de sanitização após cada batelada - Treinamento de operadores para sanitização adequada do tanque - Adotar sistema de boas práticas de fabricação (BPF)

Fonte: Autora.

APÊNDICE B – Análise HAZOP da tina 1

Análise de Perigos e Operabilidade											
Unidade			Equipe:		Data:						
Sistema: TM1			Nó: TM1		Página:						
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Detecção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações /observações	Nº
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Parada do agitador	Sensor de temperatura do vaso do T.M 1 Sensor de pressão do vaso do T.M 1	Inspeção visual da T.M 1 pelo operador	Perda de produção Degradação do produto	C	II	M	R1- Alarme de temperatura alta	01
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Abertura indevida da válvula vapor para T.M 1	Sensor de temperatura do vaso do T.M 1 Sensor de pressão do vaso do T.M 1	-	Igual ao 01	C	II	M	R1 R2 – Padronização de cores R3 – Usar cadeado para bloqueio de válvula	02
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Válvula de água quente parcialmente aberta	Sensor de temperatura do vaso do T.M 1	-	Insuficiência do aquecimento	B	I	T	R4 – Alarme de temperatura baixa R3	03
Pressão	Maior	Pressão maior	Bloqueio indevido da válvula saída de vapor	Sensor de pressão do vaso do T.M1	Válvula de alívio de pressão	Rompimento do vaso Perda de produção Acidente de trabalho	C	II	M	R5 – Alarme de pressão alta R6 – Usar cadeado para manter a	04

										válvula de saída sempre aberta O1- Verificar localização da válvula de alívio. O2 – Rever procedimento operacional	
Pressão	Maior	Pressão maior	Como no item nº 2							R1 R2 R3 R5	05
Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento nos flanges	Sensor de pressão do T.M1	-	Parada do processo	B	II	T	R7 – Manutenção preventiva O2	06
Nível	Maior	Nível maior	Esquecer a bomba ligada	Sensor de nível da TM1	Valvula de alívio de pressão	Transtorno operacional Alteração na qualidade	B	II	T	R8 –Alarme de nível alto O2	07
Nível	Menor	Nível menor	Acionamento indevido da bomba de descarga	Sensor de nível da TM1	-	Transtorno operacional Cavitação da bomba	B	II	T	R9 – Alarme de nível baixo O2	08
Vazão	Não se aplica										09

Fonte: Autora.

APÊNDICE C – Análise HAZOP da tina 2

Análise de Perigos e Operabilidade

Análise de Perigos e Operabilidade											
Unidade			Equipe:			Data:					
Sistema: TM2			Nó: TM2			Página:					
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Detecção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações /observações	Nº
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Parada do agitador	Sensor de temperatura do vaso do T.M 2 Sensor de pressão do vaso do T.M 2	Inspeção visual da T.M 2 pelo operador	Perda de produção Degradação do produto	C	II	M	R1	10
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Abertura indevida da válvula de água quente para T.M 2	Sensor de temperatura do vaso do T.M 2 Sensor de pressão do vaso do T.M 2	-	Igual ao 10	B	II	T	R1 R2 R3	11
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Transferencia indevida do produto quente do TM1 para TM2	Sensor de temperatura do vaso do T.M 2	-	Perda da produção	B	III	M	R1	12
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Água de lavagem fria	Sensor de temperatura do vaso do T.M 2	-	Não extrair o açúcar presente no bagaço	B	I	T	R4 R3	13
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Transferencia indevida do produto frio do TM1 para TM2	Sensor de temperatura do vaso do T.M 2	-	Perda de produção	B	III	M	R4	14
Pressão	Maior	Pressão maior	Bloqueio indevido da válvula saída de vapor	Sensor de pressão do vaso do T.M2	Válvula de alívio de pressão	Rompimento do vaso Perda de produção	C	II	M	R5 R6 O1. O2	15

						Acidente de trabalho					
Pressão	Maior	Pressão maior	Como no item n° 11							R1 R2 R3 R5	16
Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento nos flanges	Sensor de pressão do T.M2	-	Perda de produção Parada do processo	B	III	M	R7 O2	17
Nível	Maior	Nível maior	Abertura indevida da válvula de água quente para T.M2	Sensor de nível da TM2	Valvula de alivio de pressão	Perda de produção Parada do processo	B	III	M	R8 O2	18
Nível	Maior	Nível maior	Acionamento indevido da bomba de descarga do TM1	Sensor de nível da TM2	Valvula de alivio de pressão	Perda de produção Parada do processo	C	II	M	R8 O2	19
Nível	Menor	Nível menor	Acionamento indevido da bomba de descarga TM2	Sensor de nível da TM2	-	Transtorno operacional Cavitação da bomba	B	II	T	R9 O2	20
Vazão	Não se aplica										21

Fonte: Autora.

APÊNDICE D – Análise HAZOP da tina 3

Análise de Perigos e Operabilidade

Análise de Perigos e Operabilidade											
Unidade			Equipe:			Data:					
Sistema: TM3			Nó: TM3			Página:					
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Detecção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações /observações	Nº
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Parada do agitador	Sensor de temperatura do vaso do T.M 3 Sensor de pressão do vaso do T.M 3	Inspeção visual da T.M 3 pelo operador	Perda de produção Degradação do produto	C	II	M	R1	22
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Abertura indevida da válvula de água quente para T.M 3	Sensor de temperatura do vaso do T.M 3 Sensor de pressão do vaso do T.M 3	-	Igual ao 22	C	II	M	R1 R2 R3	23
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Válvula de água quente parcialmente aberta	Sensor de temperatura do vaso do T.M 3	-	Presença de aromas indesejáveis	B	I	T	R4 R3	24
Pressão	Maior	Pressão maior	Bloqueio indevido da válvula saída de vapor	Sensor de pressão do vaso do T.M3	Válvula de alívio de pressão	Rompimento do vaso Perda de produção Acidente de trabalho	C	II	M	R5 R6 O1 O2	25
Pressão	Maior	Pressão maior	Como no item nº 23							R1 R2 R3 R5	26

Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento nos flanges	Sensor de pressão do T.M3	-	Perda de produção Parada do processo	B	II	T	R7 O2	27
Nível	Maior	Nível maior	Abertura indevida da válvula de água quente para T.M3	Sensor de nível da TM3	Valvula de alivio de pressão	Perda de produção Parada do processo	B	III	M	R8 O2	28
Nível	Menor	Nível menor	Acionamento indevido da bomba de descarga	Sensor de nível da TM3	-	Transtorno operacional Cavitação da bomba	B	II	T	R9 O2	29
Vazão	Não se aplica										30

Fonte: Autora.

APÊNDICE E – Análise HAZOP da bomba 1

Análise de Perigos e Operabilidade

Análise de Perigos e Operabilidade											
Unidade			Equipe:			Data:					
Sistema: Bomba TM1 para TM2			Nó: Da descarga da bomba TM1 para TM2			Página:					
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Detecção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações/observações	Nº
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Como no item nº 1,2			Deformação da tubulação de PVC Problemas de vedação	B	II	T	R1 O2	31
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Como no item nº 3			Sem consequências	B	I	T	-	32
Pressão	Maior	Pressão maior	Bloqueio indevido da válvula da saída da descarga da bomba	-	-	Rompimento da tubulação Perda de produção Acidente de trabalho	C	II	M	R10 – Instalação de sensor de pressão local na descarga da bomba O2	33
Pressão	Menor	Pressão Menor	Mal funcionamento da bomba	-	-	Parada do processo	B	I	T	R7 O2	34
Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento na tubulação da bomba	-	-	Perda de produção Parada do processo	B	II	T	R7 O2	35
Vazão	Maior	Vazão maior	Valvula da descarga da bomba totalmente aberta	-	-	Sem consequências	B	I	T	O2	36

Vazão	Menor	Vazão menor	Valvula da descarga da bomba parcialmente fechada	-	-	Transtorno operacional	B	I	T	O2	37
Vazão	Menor	Vazão menor	Vazamento na linha da bomba	Como no item nº 35							38
Vazão	Nula	Vazão nula	Rompimento da tubulação	Inspeção visual do operador	-	Perda de produção Parada do processo Acidente de trabalho	C	II	M	R7 O2	39
Fluxo	Reverso	Fluxo Reverso	Não se aplica								40
Nível	Não se aplica										41

Fonte: Autora.

APÊNDICE F – Análise HAZOP da bomba 2

Análise de Perigos e Operabilidade												
Unidade			Equipe:			Data:						
Sistema: Bomba TM2 para TM3			Nó: Da descarga da bomba TM2 para TM3			Página:						
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Detecção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações / observações	Nº	
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Como no item nº 1,2			Deformação da tubulação de PVC Problemas de vedação	B	II	T	R1 O2	42	
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Como no item nº 3			Sem consequências	B	I	T	-	43	
Pressão	Maior	Pressão maior	Bloqueio indevido da válvula da saída da descarga da bomba	-	-	Rompimento da tubulação Perda de produção Acidente de trabalho	C	II	M	R10 O2	44	
Pressão	Menor	Pressão Menor	Mal funcionamento da bomba	-	-	Parada do processo	B	I	T	R7 O2	45	
Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento na tubulação da bomba	-	-	Perda de produção Parada do processo	B	II	T	R7 O2	46	
Vazão	Maior	Vazão maior	Valvula da descarga da bomba totalmente aberta	-	-	Sem consequências	B	I	T	O2	47	

Vazão	Menor	Vazão menor	Valvula da descarga da bomba parcialmente fechada	-	-	Transtorno operacional	B	I	T	O2	48
Vazão	Menor	Vazão menor	Vazamento na linha da bomba	Como no item nº 46							49
Vazão	Nula	Vazão nula	Rompimento da tubulação	Inspeção visual do operador	-	Perda de produção Parada do processo Acidente de trabalho	C	II	M	R7 O2	50
Fluxo	Reverso	Fluxo Reverso	Não se aplica								51
Nível	Não se aplica										52

Fonte: Autora.

APÊNDICE G – Análise HAZOP da bomba 3

Análise de Perigos e Operabilidade

Análise de Perigos e Operabilidade											
Unidade			Equipe:			Data:					
Sistema: Bomba T.M.3 para o trocador			Nó: Da descarga da bomba TM3 para trocador e fermentadores			Página:					
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Detecção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações /observações	Nº
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Falta de fornecimento de água de resfriamento	Sensor de temperatura do fermentador	Utilização da mistura álcool alimentício + água	-Atraso na produção - Perda da qualidade da cerveja	B	I	T	O2 R11- Instalação de sensor de temperatura na saída do trocador	53
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Falta de fornecimento da mistura álcool alimentício + água	Sensor de temperatura do fermentador	-	- Atraso na produção - Perda da qualidade da cerveja	B	I	T	O2 R11	54
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Bloqueio indevido fornecimento de fluido de refrigeração	Sensor de temperatura do fermentador	-	- Atraso na produção - Perda da qualidade da cerveja	B	I	T	O2 R11	55
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Temperatura do mosto abaixo da especificação	Sensor de temperatura do fermentador	-	-Perda econômica devido a comprometimento da qualidade da cerveja (aroma e sabor)	B	I	T	O2 R11	56

						-Aumento no tempo da fermentação - Interrupção da fermentação (stuck)					
Pressão	Maior	Pressão maior	Bloqueio indevido da válvula da saída da descarga da bomba	-	-	-Rompimento da tubulação -Perda de produção -Acidente de trabalho	C	II	M	R10 O2	57
Pressão	Maior	Pressão maior	Bloqueio indevido da válvula da linha do trocador de calor	-	-	- Aumento da temperatura do mosto - Vazamento na linha ou/no trocador	B	II	T	R11 O2 R6	58
Pressão	Menor	Pressão Menor	Mal funcionamento da bomba	-	-	Parada do processo	B	I	T	R7 O2	59
Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento na tubulação da bomba	-	-	Perda de produção Parada do processo	B	II	T	R7 O2	60
Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento na linha do trocador ou/no trocador	-	-	Perda de produção Parada do processo	B	II	T	R7 O2	61
Vazão	Maior	Vazão maior	Valvula da descarga da bomba totalmente aberta	-	-	Vazamento na linha do trocador ou/no trocador	B	I	T	O2	62
Vazão	Maior	Vazão maior	Valvula na linha trocador ou/no trocador totalmente aberta	-	-	Sem consequências	B	I	T	O2 R11	63

Vazão	Menor	Vazão menor	Valvula da descarga da bomba parcialmente fechada	-	-	Transtorno operacional	B	I	T	O2	64
Vazão	Menor	Vazão menor	Vazamento na linha da bomba	Como no item nº 46							65
Vazão	Menor	Vazão menor	Valvula na linha trocador ou/no trocador parcialmente fechada	-	-	- Aumento de temperatura da entrada do mosto na fermentação - Como no item nº 56	C	II	M	O2 R11	66
Vazão	Nula	Vazão nula	Rompimento da tubulação	Inspeção visual do operador	-	Perda de produção Parada do processo Acidente de trabalho	C	II	M	R7 O2	67
Fluxo	Reverso	Fluxo Reverso	Não se aplica								68
Nível	Não se aplica										69

Fonte: Autora.

APÊNDICE H – Análise HAZOP dos fermentadores

Análise de Perigos e Operabilidade											
Unidade			Equipe:			Data:					
Sistema: Conjunto de fermentadores			Nó: Conjunto de fermentadores (1-6)			Página:					
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Detecção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações /observações	Nº
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Falta de fornecimento da mistura álcool alimentício + água	Sensor de temperatura do fermentador	-	- Perda da qualidade da cerveja - Perda da produção	B	III	M	O2 R1 R12 – Alarme de vazão baixa no sistema de água + álcool alimentício	70
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Bloqueio indevido fornecimento de fluido de refrigeração	Sensor de temperatura do fermentador	-	- Perda da qualidade da cerveja - Perda da produção	B	III	M	O2 R1 R12	71
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Vazamento no circuito da bomba do fluido de refrigeração	Sensor de temperatura do fermentador	-	- Perda da qualidade da cerveja - Perda da produção	B	III	M	O2 R1 R12	72
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Vazamento do fluido refrigerante para o fermentador	Sensor de temperatura do fermentador	-	-Perda de produção	B	III	M	O2 R7 R4	73
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Como no item nº56								74
Pressão	Maior	Pressão maior	Interrupção da saída dos gases de fermentação	Sensor de pressão	-	-Acidente de trabalho	C	III	M	R5 O2	75

						- Danos estruturais do tanque -Perda de produção					
Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento no topo do vaso	Sensor de pressão	-	- Perda monetária pela inclusão de gás carbônico -Trasntorno operacional	B	II	T	R13 – Alarme de pressão baixa R7 O2	76
Nível	Maior	Nível Maior	Vazamento do fluido refrigerante para o fermentador	Sensor de nível	-	- Danos estruturais do tanque -Perda de produção	B	III	M	R7 R8	78
Nível	Maior	Nível Maior	Erro de cálculo na quantidade de mosto e/ou levedura	Sensor de nível	-	- Prejuízo financeiro	B	I	T	R8 O2	79
Nível	Menor	Nível Menor	Erro de cálculo na quantidade de mosto e/ou levedura	Como no item nº79							80
Nível	Menor	Nível Menor	Vazamento do fermentador	Sensor de nível Inspeção visual	-	- Perda de produção - Parada de processo	B	II	T	R7 R9	81
Vazão	Não se aplica										82

Fonte: Autora.

APÊNDICE I – Análise HAZOP das bombas dos fermentadores

Análise de Perigos e Operabilidade											
Unidade			Equipe:			Data:					
Sistema:			Nó: Conjunto de bombas dos fermentadores (1-6)			Página:					
Parâmetro	Palavra Guia	Desvio	Causas	Deteção	Salva-guarda	Consequências	Cat-freq	Cat-sev	Cat-risco	Recomendações /observações	Nº
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Falha no motor de resfriamento do tanque de mistura álcool alimentício + água	-	-	- Atraso na produção - Perda de produção	B	III	M	R7 R15- Alarme de parada do motor R16- Instalação de sensor de temperatura na descarga da bomba	83
Temperatura	Maior	Temperatura maior	Isolamento da tubulação com defeito	-	-	- Atraso na produção - Perda de eficiência do resfriamento	B	II	T	R7 R16	84
Temperatura	Menor	Temperatura menor	Falha no motor de resfriamento abaixo da especificação	-	-	- Congelar a cerveja - Perda de produção - Perda de Qualidade	B	III	M	R15	85

Pressão	Maior	Pressão maior	Bloqueio indevido da válvula da saída da descarga da bomba	-	-	-Rompimento da tubulação -Perda de produção -Acidente de trabalho	C	III	M	R10 O2	86	
Pressão	Menor	Pressão Menor	Mal funcionamento da bomba	-	-	-Parada do processo	B	I	T	R7 O2	87	
Pressão	Menor	Pressão Menor	Vazamento na tubulação da bomba	-	-	-Perda de produção -Parada do processo	B	III	M	R7 O2	88	
Pressão	Menor	Pressão Menor	Nível baixo do tanque de mistura álcool alimentício + água	-	-	- Cavitação da bomba - Danos na bomba	C	II	M	R18 – Sensor de pressão no tanque de mistura	89	
Vazão	Maior	Vazão maior	Valvula da descarga da bomba totalmente aberta	-	-	Sem consequências	B	I	T		90	
Vazão	Menor	Vazão menor	Valvula da descarga da bomba parcialmente fechada	-	-	-Transtorno operacional - Perda de qualidade do produto	B	II	T	O2	91	
Vazão	Menor	Vazão menor	Vazamento na linha da bomba	-	-	- Aumento de temperatura da do mosto - Transtorno operacional - Perda de qualidade do produto	B	II	T	R7	92	
Vazão	Nula	Vazão nula	Valvula da descarga da bomba totalmente fechada	Como no item n °86								93

Vazão	Nula	Vazão Nula	Rompimento da tubulação	-	-	-Perda de produção - Parada do processo	B	III	M	R7 R1	94
Fluxo	Reverso	Fluxo Reverso	Não se aplica								95
Nível	Não se aplica										96

Fonte: Autora.

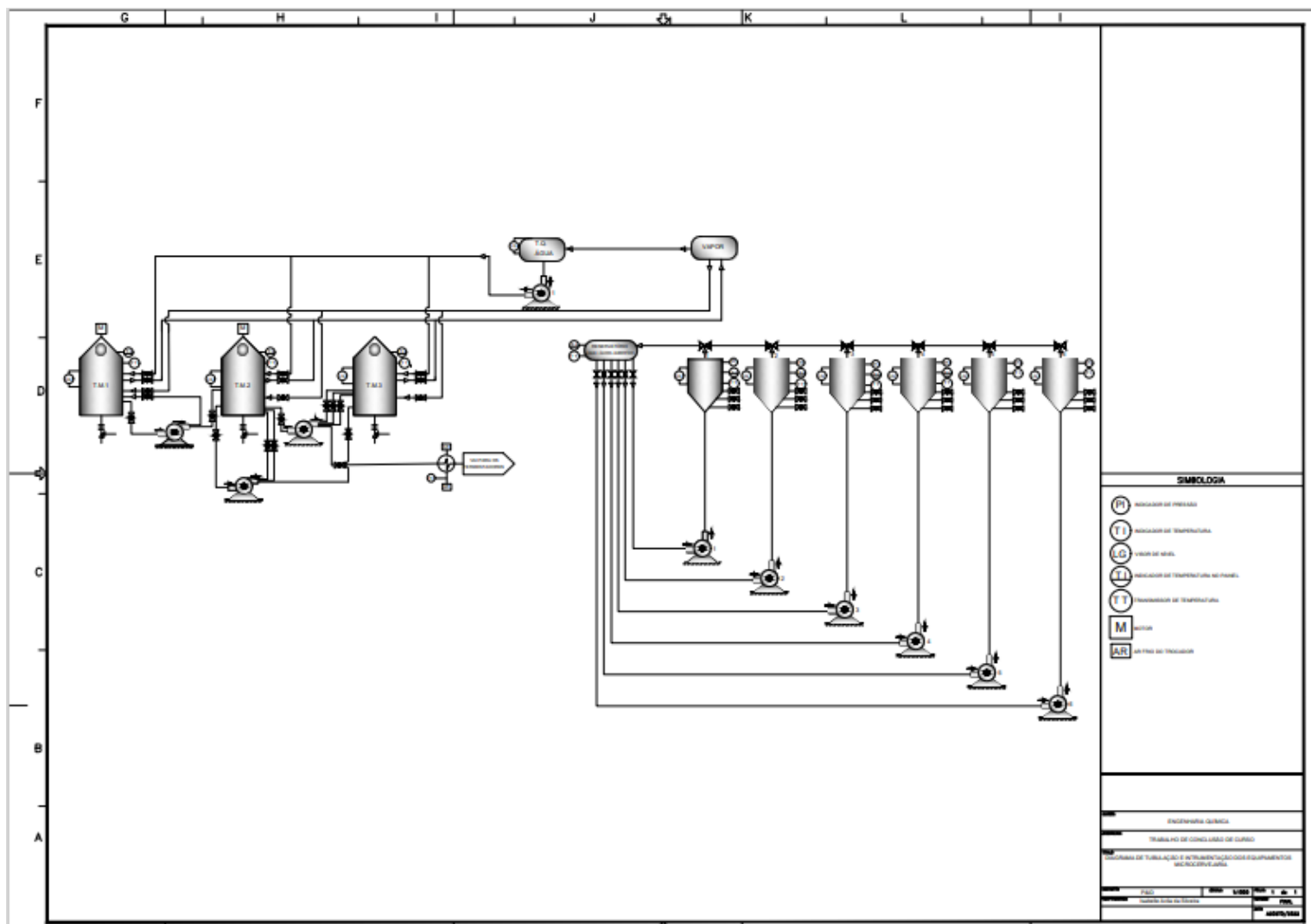
APÊNDICE J – Recomendações do HAZOP

Identificação das recomendações	Recomendações do HAZOP
R1	Alarme de temperatura alta
R2	Padronização de cores
R3	Usar cadeado para bloqueio de válvula
R4	Alarme de temperatura baixa
R5	Alarme de pressão alta
R6	Usar cadeado para manter a válvula de saída sempre aberta
R7	Manutenção preventiva
R8	Alarme de nível alto
R9	Alarme de nível baixo
R10	Instalação de sensor de pressão local na descarga da bomba
R11	Instalação de sensor de temperatura na saída do trocador

R12	Alarme de vazão baixa no sistema de água + álcool alimentício
R13	Alarme de pressão baixa
R14	Análise da qualidade da levedura antes do processo
R15	Alarme de parada do motor
R16	Instalação de sensor de temperatura na descarga da bomba
R17	Sensor de pressão no tanque de mistura
O1	Verificar localização da válvula de alívio
O2	Rever procedimento operacional

Fonte: Autora.

APÊNDICE K – Fluxograma de engenharia (P&ID) da cervejaria



Fonte: Autora.