

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JOSÉ FELIPE GARCIA DA FONTOURA

**PROJETO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE MOSTO CERVEJEIRO
PARA MICROCERVEJARIAS**

**Bagé
2020**

JOSÉ FELIPE GARCIAS DA FONTOURA

**PROJETO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE MOSTO CERVEJEIRO
PARA MICROCERVEJARIAS**

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

Orientador: Prof. Me. Vanderlei Eckhardt

**Bagé
2020**

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

D83p Da Fontoura, José Felipe Garcias
Projeto de um sistema de resfriamento de mosto cervejeiro para micro-
cervejarias / José Felipe Garcias Da Fontoura.
89 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação) – Universidade Federal
do Pampa, ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2020.
"Orientação: Vanderlei Eckhardt".

1. Cerveja. 2. Resfriamento. 3. Trocador de calor. 4. Produtividade. I.
Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

JOSÉ FELIPE GARCIAS DA FONTOURA

**PROJETO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE MOSTO CERVEJEIRO PARA
MICROCERVEJARIAS**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 03 de Dezembro de 2020.

Banca examinadora:

Prof. Me. Vanderlei Eckhardt
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Me. Fernanda Gobbi de Boer Garbin
UNIPAMPA

Prof. Dr. Evelise Pereira Ferreira
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **VANDERLEI ECKHARDT, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/12/2020, às 11:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FERNANDA GOBBI DE BOER GARBIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/12/2020, às 18:30, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **EVELISE PEREIRA FERREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/12/2020, às 19:43, 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 **0425694** e o código CRC **70C93B46**.

Referência: Processo nº 23100.017894/2020-04 SEI nº 0425694

“A persistência é o caminho do êxito.”
Charles Chaplin

RESUMO

A cerveja é uma das bebidas mais consumidas no mundo, descoberta pelas civilizações antigas ao longo dos anos foi sendo aperfeiçoada até chegar à bebida apreciada atualmente. No Brasil, nos últimos anos, o consumo da bebida vem aumentando em escala surpreendente, um dos motivos é o aumento do consumo das cervejas artesanais. Com isso, surgiram novas oportunidades de negócio no ramo cervejeiro no país, bem como a exigência dos consumidores por uma bebida de maior qualidade. Dessa forma, as microcervejarias preocuparam-se em melhorar seus processos produtivos, para assim não perder espaço no mercado. Um dos pontos cruciais para produção de uma cerveja artesanal de qualidade é a preocupação com o tempo de resfriamento do mosto, pois esse é responsável em deixar a mistura pronta para inoculação das leveduras. Em vista disso, o presente trabalho buscou desenvolver um projeto de um sistema de resfriamento de mosto cervejeiro em circuito fechado, que utilizasse água como fluido refrigerante e aproveitasse melhor os recursos de uma microcervejaria na cidade de Bagé. Portanto, o trabalho procurou aumentar a produtividade da empresa, com a diminuição do tempo de resfriamento do mosto em apenas uma passada pelo trocador de calor. A abordagem de pesquisa desse trabalho caracteriza-se como qualitativa e quantitativa, por mensurar as variáveis envolvidas no sistema de resfriamento, preocupando-se em interpretar o ambiente em que a problemática acontece. Trata-se de uma pesquisa aplicada, com a finalidade de resolver um problema e entender os fenômenos que acontecem no processo de resfriamento do mosto. No final do projeto foi desenvolvido um sistema de resfriamento de mosto com menor custo comparado a aquisição de equipamentos existentes no mercado, que aproveitou de forma mais eficaz os recursos da empresa e aumentando a qualidade do produto final.

Palavras-Chave: Cerveja. Resfriamento. Trocador de calor. Produtividade.

ABSTRACT

Beer is one of the most consumed drinks in the world, discovered by ancient civilizations over the years it has been perfected until the drink currently enjoyed. In Brazil, in the last years, the consumption of the drink has been increasing in a surprising scale, one of the reasons is the increase in the consumption of artisanal beers. As a result, new business opportunities have emerged in the beer industry in the country, as well as consumers' demand for a higher quality drink. Thus, as microbreweries were concerned with improving their production processes, so as not to lose space in the market. One of the crucial points for the production of a quality craft beer is the concern with the time of cooling of the must, since this is responsible for making the mixture ready for inoculation of the yeasts. In view of this, the present work sought to develop a project for a closed-loop beer must cooling system, which uses water as a refrigerant and makes better use of the resources of a microbrewery in the city of Bagé. Therefore, the work overloads the company's productivity, with a decrease in the time for cooling the wort in just one pass through the heat exchanger. The research approach of this work is denounced as qualitative and quantitative, as it measures as variables involved in the cooling system, concerned with interpreting the environment in which a problem occurs. It is an applied research, with a process of solving a problem and understanding the phenomena that happen in the wort cooling process. At the end of the project, a wort cooling system was developed at a lower cost compared to the purchase of existing equipment on the market, which made more effective use of company resources and increased the quality of the final product.

Keywords: Beer. Cooling. Heat exchanger. Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Total de cervejarias por ano no Brasil.	15
Figura 2 – Cervejarias por região no Brasil.	16
Figura 3 – Malte de cevada.	21
Figura 4 – Radículas de cevada.	22
Figura 5 – Flor de lúpulo (cone produzido pela planta fêmea).	24
Figura 6 – Constituição do cone de lúpulo.	24
Figura 7 – Esquema simplificado do processo produtivo da cerveja.	28
Figura 8 – Tinas de água quente, brassagem, filtração e fervura.	30
Figura 9 – Serpentina de alumínio.	33
Figura 10 – Trocador de calor de contracorrente ou contrafluxo.	33
Figura 11 – Trocador de calor de placas.	34
Figura 12 – Tanque Fermentador em aço inox de 500 litros.	35
Figura 13 – Trocador de calor de tubo duplo.	41
Figura 14 – Trocador de calor carcaça e tubo.	42
Figura 15 – Trocador de calor em serpentina.	42
Figura 16 – Trocador de calor de placas.	43
Figura 17 – Classificação da Pesquisa.	49
Figura 18 – Fases do projeto do produto.	49
Figura 19 – Processo produtivo da microcervejaria Mão Preta.	55
Figura 20 – Função Principal.	64
Figura 21 – Estrutura funcional do sistema de resfriamento.	65
Figura 22 – Trocador de calor casco e tubos.	71
Figura 23 – Rede de tubulação da água no sistema.	72
Figura 24 – Tubulação de mosto.	73
Figura 25 – Reservatório de água.	73
Figura 26 – Layout preliminar do sistema de resfriamento.	74
Figura 27 – Dimensões do trocador de calor.	75
Figura 28 – Reservatório de água de fibra de vidro.	76
Figura 29 – Esquema da tubulação de mosto.	77
Figura 30 – Rede de tubulação de água.	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Maltes e adjuntos usados na produção de cerveja.....	22
Quadro 2 – Formas de comercialização do lúpulo.	26
Quadro 3 – Formas comerciais das leveduras cervejeiras.....	27
Quadro 4 – Atividades do projeto informacional.....	50
Quadro 5 – Atividades do projeto conceitual.....	52
Quadro 6 – Atividades do projeto detalhado.	53
Quadro 7 – Termo de abertura do projeto.....	54
Quadro 8 – Produtos Similares no Mercado.....	57
Quadro 9 – Definição dos requisitos do cliente.	58
Quadro 10 – Requisitos do projeto.....	59
Quadro 11 – Representação dos requisitos do produto no Diagrama de Mudge.....	61
Quadro 12 – Grau de importância.....	61
Quadro 13 – Hierarquia dos requisitos do projeto.....	62
Quadro 14 – Especificações-meta.	63
Quadro 15 – Princípios de solução para as funções do produto.....	65
Quadro 16 – Seleção dos princípios de solução.	67
Quadro 17 – Comparação solução adotada versus especificação meta.....	68
Quadro 18 – Propriedades físicas dos fluidos quente e frio.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação do grão de cevada natural com o grão maltado.....	20
Tabela 2 – Composição química do lúpulo em flor.....	25
Tabela 3 – Temperatura e pH de atuação das enzimas.....	29
Tabela 4 – Coeficiente global de troca de calor (U).	70
Tabela 5 – Dados do trocador de calor.	75
Tabela 6 – Dados do Reservatório de Água.....	76
Tabela 7 – Dados da rede de tubulação de mosto.....	77
Tabela 8 – Dados da rede de tubulação de água.....	78

LISTA DE SIGLAS

AB IMBEV – Anheuser-Busch ImBev

AMBEV – Companhia de Bebida das Américas

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PH – Potencial Hidrogênico

SINDICERV – Sindicato Nacional da Indústria da cerveja

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Justificativa	12
1.2 Objetivo geral	13
1.3 Objetivos específicos	13
1.4 Delimitação do tema	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 As cervejarias no mundo e no Brasil	14
2.2 A cerveja artesanal e as microcervejarias	16
2.3 Principais insumos necessários para fabricação de cerveja	17
2.3.1 Água	18
2.3.2 Malte de cevada	19
2.3.2.1 O processo de Malteação	21
2.3.3 Lúpulo	23
2.3.3.1 Formas de comercialização do lúpulo	26
2.3.4 Levedura	26
2.3.4.1 Tipos de levedura	27
2.3.4.2 Formas de levedura	27
2.4 Processo produtivo da cerveja	28
2.4.1 Brassagem	28
2.4.2 Fervura do mosto	30
2.4.3 <i>Whirlpool</i> e Resfriamento do Mosto	31
2.4.3.1 Banho com água	32
2.4.3.3 Resfriadores de metal (ou <i>Chillers</i>)	32
2.4.4 Fermentação	34
2.4.5 Maturação	36
2.4.6 Carbonatação e Envase	36
2.4.7 Pasteurização	37
2.5 Métodos de transferência de calor	38
2.5.1 Condução	38
2.5.2 Convecção	39
2.5.3 Radiação	39
2.6 Trocadores de calor	40

2.6.1 Trocador de calor de tubos concêntricos ou tubos duplos	41
2.6.2 Trocador de calor de carcaça e tubo	41
2.6.3 Trocador de calor em serpentina.....	42
2.6.4 Trocador de calor de placas	43
2.7 Avaliação dos trocadores de calor	44
2.7.1 Coeficiente global de troca de calor	44
2.7.2 Método de análise de trocadores de calor pela diferença de temperatura média logarítmica.....	44
2.7.3 Método da Efetividade – Número de Unidades de Transferência	45
3 METODOLOGIA	47
3.1 Classificação da pesquisa	47
3.2 Metodologias para o projeto do produto	49
3.2.1 Projeto informacional.....	50
3.2.2 Projeto conceitual	51
3.2.3 Projeto Detalhado.....	53
4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DO MOSTO	54
4.1 Projeto informacional.....	55
4.1.1 Atividade 1 – Informações sobre o produto	55
4.2.2 Atividade 2 – Identificação das necessidades dos clientes	57
4.2.3 Atividade 3 – Requisitos do cliente.....	58
4.2.4 Atividade 4 – Requisitos do projeto	59
4.2.5 Atividade 5 – Hierarquizar os requisitos do projeto	60
4.2.6 Atividade 6 – Especificações-meta do projeto.....	62
4.3 Projeto Conceitual	63
4.3.1 Atividade 1 – Estabelecer a estrutura funcional do produto	64
4.3.2 Atividade 2 – Princípios de Solução	65
4.3.3 Atividade 3 – Seleção dos Princípios de Solução	66
4.3.4 Atividade 4 – Avaliação das soluções selecionadas	68
4.3.5 Atividade 5 – Definir Arquitetura do Sistema de Resfriamento.....	69
4.4 Projeto Detalhado.....	74
4.4.1 Atividade 1 – Leiaute preliminar do Sistema de Resfriamento	74
4.4.2 Atividade 2 – Finalizar e detalhar o leiaute do produto.....	74
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS.....	81

Apêndice A – Diagrama de Mudge.....	89
Anexo A – Normas da Anvisa.....	90
Anexo B – Norma NR 15.....	91

1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas mais populares no mundo, também uma das mais consumidas, foi descoberta por acaso na antiga Mesopotâmia, região entre os rios Tigres e Eufrates, na qual o grão de cevada crescia naturalmente em estado selvagem. Ademais, historiadores afirmam ter evidências de que na antiga Babilônia já se produzia cevada maltada por volta de 6000 a.C., eles também afirmam ter evidências que no antigo Egito a cerveja era usada em ritos religiosos, e era consumida também pelo povo (VENTURINI FILHO, 2010).

Na época antiga, o precário armazenamento de grãos não evitava o contato com a água no período das chuvas, foi assim que os primeiros grãos de cevada foram germinados. Em algum momento, o grão de cevada foi cozido para posteriormente ser consumido. Dessa forma, o mingau feito com os grãos germinados possivelmente entrou em contato com as leveduras selvagens do ambiente, e então esses grãos liberaram açúcares, que fermentaram de forma natural gerando álcool e CO₂, assim, foi gerada a primeira forma de cerveja experimentada pelos homens, que certamente após ser ingerida teve um impacto agradável no consumidor da época (BAMFORTH, 2011).

Ainda para Bamforth (2011), as primeiras evidências de pessoas apreciando cerveja foram encontradas na região correspondente ao norte do Iraque, por volta de 4000 a.C. Porém a popularidade da bebida chegou até a região do Crescente Fértil e do Egito, posteriormente passando suas técnicas de preparo para Grécia, Gália e Espanha. Logo, seu conhecimento foi passado de civilizações em civilizações até chegar na idade média, período no qual os mosteiros impulsionados pelo imperador do sacro império romano, Carlos Magno, tiveram papel importante na produção e comercialização da bebida. Pode-se destacar a apurada técnica de fermentação no preparo da cerveja produzida nos mosteiros, cuja finalidade era fazer experiências em misturar a cerveja com ervas e especiarias para dar amargor e aromas, mistura conhecida como *gruit*, que mais tarde será substituído pelo lúpulo, dando origem a cerveja comercializada nos dias atuais, cuja formulação apresenta basicamente malte, água e lúpulo.

No Brasil, conforme Santos (2004), a bebida chegou por meio da companhia das índias ocidentais, embarcações holandesas de livre comércio, no século XVII. Porém, imigrantes alemães que viviam no país naquela época já preparavam o seu

tipo próprio de cerveja caseira. A partir de 1808, com a vinda da família portuguesa para o Brasil colônia e a abertura dos portos para as nações amigas de Portugal, os comerciantes ingleses instalaram-se no Brasil, fazendo vir da Europa entre muitos produtos, a cerveja. No século XIX, a Inglaterra era a maior produtora de cerveja da Europa, detinha acordos e muita influência comercial com Portugal, desse modo ela comercializava grandes volumes da bebida com o Brasil colônia, dominando o mercado brasileiro por muitos anos.

Ainda, Santos (2004) acrescenta que somente no final do século XIX surgem duas grandes cervejarias no Brasil para fazer frente às cervejas que eram importadas da Europa, principalmente da Inglaterra e da Alemanha, a cervejaria Brahma (1888) no Rio de Janeiro e a Antártica (1891) em São Paulo, juntas se tornaram as duas maiores cervejarias do Brasil na época, posteriormente a união destas empresas formou a AmBev (Companhia de Bebidas das Américas), a maior companhia de bebidas do continente americano.

É importante destacar também, que o segmento que vem crescendo muito no Brasil nos últimos anos é o das cervejas artesanais e especiais. Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), desde 2014 o número de cervejarias saltou de 356 para 889 em 2018, somente no último ano o setor teve um crescimento de 30%, isso equivale a 210 novas fábricas registradas em 2018 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERVEJA ARTESANAL, 2019).

Diante de todo esse crescimento, Zago (2018) aponta oportunidades de negócio nesse setor, envolvendo toda cadeia que participa na concepção do produto. Desse modo, essas oportunidades abrangem toda a etapa de produção das cervejas artesanais, também os produtores de insumos, mestres cervejeiros e fabricantes de equipamentos para produção da cerveja.

Nesse contexto, as microcervejarias artesanais, empresas de pequeno porte com volume de produção de até 50 mil hectolitros por ano, estão sempre buscando o aperfeiçoamento dos seus produtos e processos, seja na elaboração das receitas, como na escolha dos insumos ou na etapa de produção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERVEJA ARTESANAL, 2019).

Estudos vêm sendo realizados para atingir melhores padrões de produtividade nas microcervejarias. A busca deste aperfeiçoamento desencadeia em pesquisas que envolvem a melhoria nos equipamentos de produção, com o objetivo de tornar os processos cada vez mais eficientes, mantendo os padrões de higiene e qualidade

necessários para o produto. As melhorias relacionam-se principalmente ao sistema de aquecimento do mosto (brassagem e fervura), ao sistema de resfriamento do mosto após fervura, e na etapa do controle da fermentação (CERVIERI JÚNIOR, 2017).

Ainda, Cervieri Júnior (2017) discorre em seu estudo sobre os avanços tecnológicos no setor de bebidas, apontando que as principais fronteiras nos avanços estão na diminuição do consumo de água, na redução de efluentes e CO₂, e na eficiência térmica. Levando em consideração os avanços tecnológicos em relação à água, sabe-se que ela é a matéria-prima principal da cerveja, porém seu uso não se restringe somente a produção da bebida. Ela também faz parte no processo de resfriamento do mosto, que consiste em transferir o calor do mosto pós-fervura para um fluido, tendo por objetivo resfriar a mistura, para que se possa dar continuidade ao processo seguinte, o da fermentação.

A empresa que motivou o estudo do presente trabalho, para melhoria no sistema de resfriamento de mosto, uma microcervejaria, situada na cidade de Bagé/RS, fronteira do Brasil com Uruguai. Esta microcervejaria foi fundada no ano de 2017 pelo empresário Paulo Trojan e seu filho Tiago Bordignon Trojan, atualmente ela possui quatro funcionários, e comercializa seus produtos na cidade de Bagé e região, seu portfólio é composto por sete produtos comercializados com diferentes formulações e volumes.

A empresa objeto do estudo possui um espaço amplo para comportar suas instalações, com sala de recepção, administrativo, banheiros, área de depósito de materiais (matéria-prima e estoque da cerveja pronta), sala de moagem do malte, câmara fria e a área do setor produtivo. Este último é composto por sete equipamentos diretamente ligados a produção da cerveja, entre eles, sala de brassagem tri bloco, sendo um bloco para brassagem, um de filtração e um de fervura, dois tanques de fermentação de 600 litros, uma bomba para movimentação dos fluidos, um trocador de calor de placas planas, com estes equipamentos esta planta tem uma capacidade de produção de 300 litros por batelada.

Na microcervejaria objeto do estudo, o mosto de cerveja tipo *Lager* é usualmente resfriado até 12°C, e o tipo *Ale* é resfriado até 20°C, em um trocador de calor de placas metálicas que utiliza como fluido de troca de calor a água em sistema aberto. O presente trabalho quer contribuir neste processo de resfriamento do mos-

to, desenvolvendo um projeto com objetivo de aumentar a produtividade da empresa por meio da redução do tempo de resfriamento do mosto.

1.1 Justificativa

De acordo com Rebello (2009), o resfriamento do mosto cervejeiro está diretamente ligado a qualidade final da cerveja, pois sem o controle e a temperatura de resfriamento adequados, o líquido ficará fora das especificações de qualidade e higiene estabelecidas para a fabricação da cerveja. Para que a levedura possa ser inoculada da maneira correta, o mosto de cerveja deve estar a uma temperatura de no máximo 30 graus, para que assim o processo de fermentação possa ser iniciado. Além disso, o tempo excessivo desse resfriamento pode resultar em odores e sabor indesejável no resultado do produto.

A microcervejaria objeto de estudo neste trabalho, com seu tempo atual de resfriamento do mosto torna o processo de produção lento, e é considerado hoje pela empresa como um gargalo a ser superado no processo de produção. Para o processo de resfriamento de mosto, a empresa conta atualmente em seus recursos disponíveis, com um trocador de calor com pouca capacidade volumétrica, e que usa como fluído refrigerante a água do sistema da rede pública de abastecimento, o que acarreta a necessidade de realizar a operação de resfriamento do mosto em várias passadas pelo trocador de calor, que para atingir a temperatura desejada, depende de um tempo elevado e alto consumo de água.

A troca simples do trocador de calor atual é onerosa e, ainda utiliza como fluído refrigerante o Glicol, o que tornaria o sistema dependente de um fornecedor externo.

Diante do exposto, a melhor alternativa é o desenvolvimento de um sistema de resfriamento de mosto com maior capacidade, mas que ainda utilize a água como fluído refrigerante, só que em um circuito fechado, minimizando o consumo de água e utilizando os recursos disponíveis na empresa, reduzindo assim o tempo elevado no processo de produção que a cerveja tem hoje.

1.2 Objetivo geral

Projetar um sistema de resfriamento do mosto de cerveja que utilize a água como fluido refrigerante em circuito fechado para uma microcervejaria na cidade de Bagé/RS.

1.3 Objetivos específicos

Para atender o objetivo geral serão desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar o processo de fabricação da cerveja na microcervejaria;
- b) Especificar o projeto de um sistema de resfriamento;
- c) Conceber o sistema de resfriamento;
- d) Documentar esse sistema.

1.4 Delimitação do tema

O tema de pesquisa desse trabalho é o desenvolvimento de um produto. Desta maneira, a proposta do trabalho é desenvolver um sistema de resfriamento de mosto cervejeiro em um circuito fechado que utilize a água como fluido refrigerante, utilizando os recursos existentes na empresa, de modo a diminuir o tempo de resfriamento e tornar o processo mais eficiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico é abordado uma breve história da cerveja no mundo e como chegou no Brasil, o processo cervejeiro e seus insumos principais, os processos de transferência de calor e a avaliação dos trocadores de calor.

2.1 As cervejarias no mundo e no Brasil

Os grandes fabricantes que difundiram a cultura cervejeira no mundo originaram-se na Europa, principalmente na Inglaterra e Alemanha. No Brasil, por muito tempo a cerveja importada dominou o comércio e os consumidores brasileiros (SANTOS, 2004).

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (2019), no período da revolução industrial, final do século XVIII, quando foram inventados os primeiros motores a vapor, aliados as novas tecnologias da época como a introdução de aparelhos, termômetro e hidrômetro nas indústrias, a eficiência no processo de preparação de cerveja aumentou muito, permitindo assim o surgimento de diversas cervejarias industriais.

No início do século XIX, a partir do requerimento dos princípios da fermentação microbiana e da pasteurização pelo químico francês Louis Pasteur, aconteceram avanços importantes para indústria cervejeira, pois o conhecimento desses estudos é indispensável no processo produtivo da bebida atualmente. A pasteurização por exemplo, garante que as grandes indústrias consigam comercializar seu produto por todo o mundo. Naquela época se destaca também o engarrafamento automático, que possibilitou a distribuição em massa da bebida, alcançando regiões mais distantes do meio produtor (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA, 2019).

No Brasil, conforme Santos (2004) as cervejarias vão assumir um papel de destaque no mercado nacional somente no final do século XIX. Pois é nesse momento da história, que as cervejarias nacionais Brahma e Antártica, após alguns anos de fundação, dominam o comércio das cervejas mais consumidas no país.

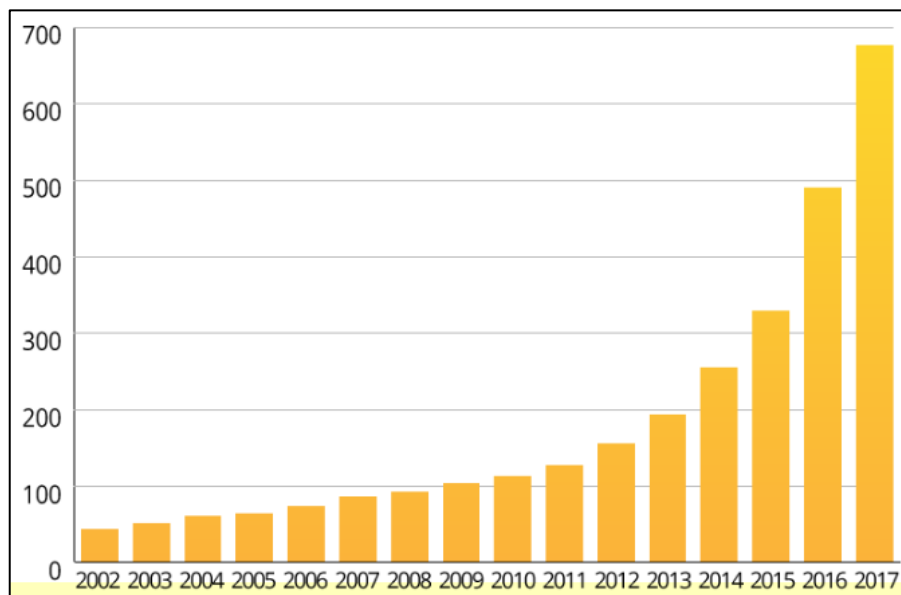
Conforme Komar (2019), outro ponto muito importante da história da cerveja no Brasil aconteceu no final do século XX, no ano de 1999 quando ocorreu a fusão entre a Companhia Antártica Paulista e a Companhia Cervejaria Brahma carioca,

surgindo a cervejaria Ambev. Após esse acontecimento, a Ambev sofreu nova fusão, desta vez com a cervejaria belga *Interbrew* no ano de 2004, a autora considera a criação desta nova empresa denominada *Anheuser-Busch ImBev* (AB ImBev), um fato marcante da última década na história da cerveja brasileira e mundial.

De acordo com Rocha (2017), a empresa AB ImBev tornou-se a maior produtora mundial de cerveja, sendo responsável por 18,1% da produção total da bebida no mundo.

Conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018), o número de cervejarias no Brasil cresceu exponencialmente nos últimos anos. Esse crescimento acelerado iniciado entre 2010 e 2017, é evidenciado na Figura 1 .

Figura 1 – Total de cervejarias por ano no Brasil.

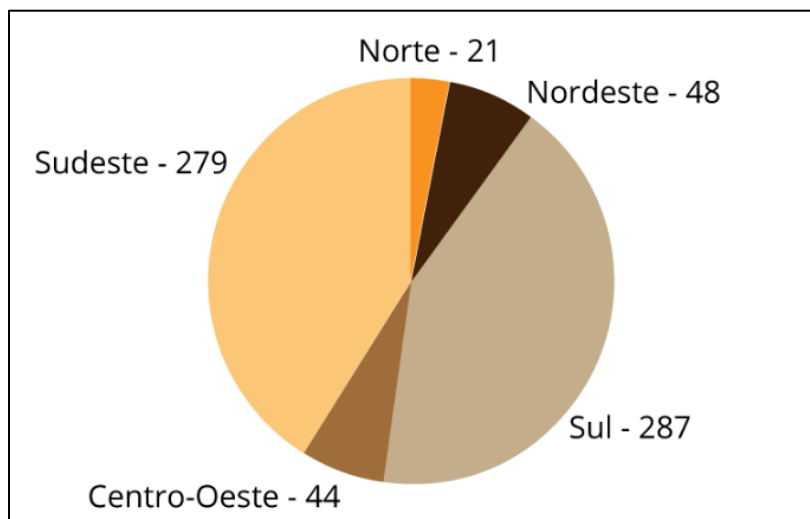


Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018).

O estado do Rio Grande do Sul destaca-se entre essas regiões por possuir 142 cervejarias, em sequência São Paulo com 124, Minas Gerais com 87, Santa Catarina com 78, Paraná com 67 e Rio de Janeiro com 57. Somando um total de 287 estabelecimentos na região Sul, e 279 na região sudeste. Na categoria densidade cervejeira, a relação entre população do estado e número de cervejarias, o Rio Grande do Sul também merece destaque com 79.873 habitantes para cada cervejaria, enquanto o estado de São Paulo, por exemplo, possui 363.668 habitantes para cada estabelecimento. A distribuição geográfica das cervejarias no país concentra-

se principalmente nas regiões sul e sudeste, como pode ser observado na Figura 2 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2018).

Figura 2 – Cervejarias por região no Brasil.



Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018).

2.2 A cerveja artesanal e as microcervejarias

Conforme Brejas (2020), um setor que vem ganhando espaço nos últimos anos no país, é a produção de cervejas artesanais ou especiais. Entende-se por cerveja artesanal ou especial, toda bebida preparada seguindo receitas antigas e tradicionais de acordo com a Lei de Pureza Alemã da Cerveja, a lei *Reinheitsgebot*, essa lei nos diz basicamente que os ingredientes da cerveja devem ser somente água, malte, lúpulo e leveduras. Contudo, essas cervejas utilizam matérias-primas de melhor qualidade, com nenhum ou poucos aditivos químicos.

Porém Komar (2019), diz que a produção de cerveja artesanal no Brasil começou discretamente há muito tempo, muito antes da crescente expansão que esse tipo de cerveja vem tendo hoje. Apesar de ser para consumo familiar, no ano de 1830, imigrantes no sul do país iniciaram a fabricação caseira de cerveja. Na época, a atividade era considerada apenas como culinária, e a produção de cerveja ficava sob a responsabilidade das mulheres. Somente a partir de 1835, com a mão de obra escrava, é que se passou a produzir a bebida para vender nos comércios locais.

A partir de 1980, a cultura cervejeira no Brasil passa por uma transformação, foi nesse ano que diversas microcervejarias surgiram no país e choperias renovaram o ambiente dos bares, fazendo com que as opções de estilos cervejeiros se ampliassem (KOMAR, 2019). Logo, define-se microcervejaria como:

Microcervejaria Brasileira, é a empresa com sede no Brasil, de capital predominantemente nacional (mais que 50%), detentora de registro de estabelecimento produtor junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, que produza as próprias marcas, ou marcas de terceiros sob encomenda, podendo ou não comercializar no próprio local e que produza até 50.000 (cinquenta mil) hectolitros de cerveja anuais, e que não tenha como integrante do quadro societário empresas do ramo cervejeiro que produzam volume superior ao estabelecido neste tópico (ABRACERVA, 2019, p. 1).

2.3 Principais insumos necessários para fabricação de cerveja

De acordo com a legislação brasileira em vigor, no decreto de número 9.902, em 8 de julho de 2019:

Cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro (BRASIL, 2019, p. 1).

O fabricante da bebida também tem a opção de trocar uma parcela do malte de cevada por adjuntos cervejeiros (arroz, trigo, centeio, milho, aveia, sorgo, etc.), maltados ou não, nos quais não poderão ser superiores a 45% do malte de cevada, isso significa que o malte de cevada tem que ser predominante na cerveja (BRASIL, 2019).

Segundo Emmel (2019), a lei da pureza alemã da cerveja, ou lei *Reinheitsgebot*, proclamada em 23 de abril de 1516, pelo Duque Guilherme IV, do estado de Baviera na Alemanha, decretava que para ser considerada cerveja, a bebida fermentada de malte poderia conter apenas malte, lúpulo e água entre os seus ingredientes. Naquela época, essa lei foi fundamental para seus consumidores, assegurando que a cerveja comprada por eles não teria aditivos no seu preparo. Hoje em dia, depois da descoberta da grande contribuição que a levedura tem para o processo cer-

vejeiro, a lei admite na composição da cerveja: água, malte, lúpulo e a levedura, assim constituindo os principais insumos para fabricação de cerveja.

2.3.1 Água

Conforme Palmer (2006), a água tem papel fundamental no processo cervejeiro e é considerada a principal matéria-prima da cerveja, ela também está diretamente ligada ao sucesso da produção de grandes cervejarias europeias. A exemplo da qualidade da água usada na fabricação de cervejas conceituadas mundialmente, tem-se a cerveja feita com a água dura de Burton na Inglaterra e a cerveja feita com a água leve de Pilsen na República Tcheca, pois nesses lugares esse ingrediente tem um sabor característico determinante no produto final, não sendo possível produzir a mesma bebida com as mesmas peculiaridades em qualquer outro lugar do mundo.

Para Bamforth (2011), a importância da água na produção de cerveja se dá pelo fato dela estar envolvida em praticamente todos os processos, começando pela malteação, depois brassagem, quando é incorporado o malte, filtração, resfriamento do mosto, pasteurização etc. Ainda, pode-se acrescentar que ela é fundamental na manutenção das instalações, pois essas devem ser mantidas sempre limpas e sanitizadas. Contudo, é comum que as cervejarias usem de quatro a cinco vezes mais água no processo de limpeza e manutenção, do que propriamente na quantidade presente de cerveja finalizada.

Venturini Filho (2010), salienta que a composição da água nas diferentes regiões afeta diretamente a qualidade do produto nas cervejarias, visto que os sais minerais e compostos orgânicos que estão dissolvidos nela quando encontrada na natureza, podem gerar gosto e odores indesejáveis na cerveja. Esses compostos orgânicos e sais minerais presentes na água influenciam diretamente nos processos químicos e enzimáticos que ocorrem na fermentação, isso precisa ser levado em consideração na hora de escolher o local apropriado para as instalações de uma cervejaria. Ainda assim, o autor ressalta que existem diversos processos de tratamento da água, caso no lugar escolhido a mesma não tenha a composição química adequada, tais processos permitem efetuar modificações nos níveis de íons inorgânicos ou mesmo purificar a água.

Ainda, Venturini Filho (2010) adverte que existem alguns requisitos básicos a serem atendidos quanto à composição de uma água cervejeira de qualidade, são eles:

- a) seguir os padrões de potabilidade;
- b) apresentar alcalinidade de até 50 mg/L (preferência ser inferior a 25 mg/L);
- c) possuir concentração de cálcio em torno de 50 mg/L.

É importante destacar que a água empregada nas microcervejarias, geralmente proveniente da rede pública ou poços artesianos, deve ser frequentemente analisada quanto a dureza em carbonatos, e avaliada conforme o sabor, odor, coloração e turbidez. Recomenda-se uma análise sensorial mais completa em intervalos de tempo maiores, na qual essa deve incluir exames microbiológicos (VENTURINI FILHO, 2010).

2.3.2 Malte de cevada

A cevada é um cereal cultivado desde as antigas civilizações, utilizado em culturas neolíticas no Egito mais ou menos 6000 a.C. Ela é uma gramínea que pertence ao gênero *Hordeum*, que em sua composição contém grãos dentro de uma espiga alinhados em duas ou até seis fileiras, estes grãos são envolvidos por diversas camadas celulósicas, sendo a primeira camada denominada palha e descartada no processo de malteação, e outras camadas aderentes ao grão, em conjunto denominadas de casca, que não são eliminadas no beneficiamento, e posteriormente irão desempenhar papel fundamental na técnica cervejeira (VENTURINI FILHO, 2010).

Conforme Bamforth (2011), uma excelente cerveja jamais poderia ser produzida a partir da cevada em natura sem passar pelo processo de malteação, isso porque o grão não maltado contém níveis baixíssimos das enzimas necessárias para trazer o amido a um estado fermentável, como pode ser observado na Tabela 1. Além disso, a cevada é de natureza muito dura e seca, o simples fato de mastigar um grão de cevada irrita a garganta e resseca o palato. Esses são alguns motivos de porque o grão de cevada na produção de cerveja tem que ser maltado.

Na Tabela 1, observa-se algumas propriedades no grão de cevada em comparação com o grão maltado.

Tabela 1 – Comparação do grão de cevada natural com o grão maltado.

Características	Cevada Natural	Grão Maltado
Massa do grão (mg)	32 – 36	29 – 33
Umidade (%)	10 – 14	4 – 6
Amido (%)	55 – 60	50 – 55
Açúcares (%)	0,5 – 1,0	8 – 10
Nitrogênio Total (%)	1,8 – 2,3	1,8 – 2,3
Nitrogênio solúvel (% de N total)	10 – 12	35 – 50
Poder diastásico, °Lintner	50 – 60	100 – 250
α-amilase, unidades de dextrina	Traços	30 – 60
Atividade proteolítica	Traços	15 – 30

Fonte: Adaptado Venturini Filho (2010).

Entretanto, o amido contido dentro do grão maltado apresenta-se em cadeias menores que na cevada, diminuindo a dureza do grão e aumentando sua solubilidade, havendo agora enzimas no interior do grão que serão fundamentais ao processo cervejeiro (VENTURINI FILHO, 2010).

Segundo Bortoli *et al.* (2013), dada a importância de o grão de cevada ser maltado na fabricação de cervejas, se torna necessário saber que o termo não se refere somente ao insumo empregado no processo cervejeiro. No entanto, malte é toda a matéria-prima resultante da germinação de qualquer tipo de cereal (cevada, arroz, milho, trigo, aveia etc.), dispostos a condições de temperatura e umidade controlada. Todavia, nesse trabalho será abordado especificamente o malte de cevada, que pode ser observado na Figura 3, pois é o malte usado em cervejarias em qualquer lugar do mundo.

Figura 3 – Malte de cevada.



Fonte: Cerveja Artesanal (2018).

2.3.2.1 O processo de Malteação

Venturini Filho (2010), descreve esse processo de forma resumida apontando que após a colheita da safra de cevada, os grãos são transportados até os silos onde serão armazenados sob condições controladas de temperatura e umidade, até que sejam enviados a maltaria, indústria que beneficiará o grão transformando-o em malte.

Depois de chegar na maltaria, de acordo com Bamforth (2011), a cevada é imersa em água, processo no qual o grão absorve água, contudo, esse reage e produz as enzimas necessárias para decompor as reservas alimentares nele contidas. Nessa absorção, parte das enzimas é responsável por amolecer a estrutura do grão, tornando-o mais fácil de moer. Enquanto ocorre o amolecimento do grão, paralelamente também acontece a produção de nutrientes que vão alimentar a plantinha recém-nascida, isso pode ser evidenciado no aparecimento de radículas, pequenas raízes ou parte embrionária do grão que se torna raiz, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Radículas de cevada.



Fonte: Hansen (2014).

Ainda Bamforth (2011), ressalta que depois de certo tempo de germinação controlada, aproximadamente uma semana, o grão passará por um estágio de secagem que levará até dois dias. Uma particularidade da secagem é a responsabilidade que ela tem de eliminar o fator desagradável do malte não maduro ou verde, caso isso não fosse extinto, esse malte não estaria habilitado para fazer parte da fabricação de cerveja. Nesse processo, os grãos maltados são aquecidos, esse aquecimento proporciona o desenvolvimento da cor do grão, dependendo de quanto esse grão for aquecido, mais escura será a sua cor, logo a cerveja produzida a partir desse malte também será mais escura.

No Quadro 1 pode ser observada uma lista de maltes e adjuntos usados na produção de cerveja.

Quadro 1 – Maltes e adjuntos usados na produção de cerveja.

(Continua)

Produto	Detalhes	Propósito/comentários
Malte Pilsen	Malte bem modificado, que é submetido a uma secagem moderada, em que as temperaturas não ultrapassam os 85°C.	Principal malte para as cervejas <i>Lager</i> claras.
Malte Viena	Semelhante ao tipo Pilsen, mas com maior teor de nitrogênio. É mais modificado e a temperatura final de secagem atinge os 90°C.	Principal malte para as cervejas <i>Lager</i> escuras.
Malte Munique	Derivado de cevadas com maior teor proteico e germinação prolongada. O aquecimento começa com temperaturas baixas (por exemplo 35°C) para permitir um cozimento lento. A temperatura, posteriormente é elevada a mais de 100°C, para a secagem.	Para cervejas <i>Lager</i> mais escuras.

Quadro 2 – Maltes e adjuntos usados na produção de cerveja.
(Conclusão)

Produto	Detalhes	Propósito/comentários
Malte Pale	Teor relativamente baixo de N (por exemplo, < 1,65%), bem modificado. A secagem começa com uma temperatura em torno dos 60°C e aumenta até a temperatura final de cura, de aproximadamente 105°C.	Principal malte para as cervejas do tipo <i>Pale Ale</i> .
Malte Chit	Tempo muito curto de germinação e secagem leve.	Aceitável como adjunto em países como Alemanha, que impõem restrições como a <i>Reinheitsgebot</i> .
Maltes verdes e de secagem ligeira	Pouca ou nenhuma secagem após uma germinação substancial.	Alternativa para as enzimas exógenas.
Maltes Diastásicos	Cevada com altos níveis de N (especialmente a de seis fileiras), imersa em altos níveis de umidade, com germinação longa e fria. Uso do ácido giberélico, quando permitido. Secagem muito leve.	Grande potencial enzimático para o uso na brassagem com altos níveis de adjuntos.
Maltes Defumados	Secagem feita sobre a turfa.	Para cervejas com sabores defumados.
Maltes de trigo	Trigo germinado, geralmente com pouca modificação, com secagem leve (por exemplo, < 40°C).	Para cervejas feitas a base de trigo.
Milho em flocos	Produzido pela torrefação e pelo processamento do milho por meio de rolos aquecidos.	Não precisa ser moído ou cozido na fábrica de cerveja.
Arroz granulado	Produzido pela moagem do arroz degerminado.	Acrescenta-se à máquina cozedora de cereais para a gelatinização, usado na produção de cerveja de cor e sabor mais leves.
Arroz em flocos	Produzido pela torrefação e pelo processamento do arroz por meio de rolos aquecidos.	Não precisa ser moído ou cozido na fábrica de cerveja.
Açúcar de cana	Refinado da cana-de-açúcar.	Sacarose - para adicionar à panela de fervura a fim de alongar o processo de brassagem ou à cerveja como agente de <i>priming</i> (formação de espuma e gás carbônico).
Açúcar invertido	Açúcar de cana após a hidrólise que o decompõe em frutose e glicose. Produzidos a partir da hidrólise do amido do milho, por meio de ácidos e/ou enzimas.	Para adicionar à panela de fervura a fim de alongar o processo de brassagem ou à cerveja como agente de <i>priming</i> .

Fonte: Adaptado Bamforth (2011).

2.3.3 Lúpulo

No universo cervejeiro o malte pode ser considerado a alma da cerveja, porém é o lúpulo que dá o tempero principal da bebida, pois ele é o responsável pelo amargor e aroma do produto. Embora o lúpulo esteja cada vez mais sendo aplicado a indústria farmacêutica, a maioria de sua produção e comercialização é destinada a fabricação de cervejas (BAMFORTH, 2011).

Segundo a definição de Palmer (2006), lúpulo é uma planta trepadeira nativa das regiões temperadas da Europa, Ásia e América do norte que produz uma flor utilizada na fabricação de cerveja. De acordo com Venturini Filho (2011), seu nome científico é *Humulus Lupulus*, trata-se de uma planta dioica, isto é, possui flores masculinas e femininas. Logo, Bamforth (2011), acrescenta que a planta cresce entre as latitudes 30° e 50°, em ambos os lados da linha do Equador corroborando com Palmer (2006). A flor de lúpulo pode ser observada na Figura 5.

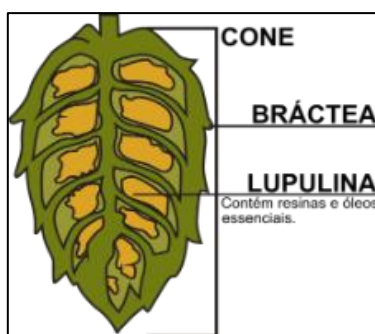
Figura 5 – Flor de lúpulo (cone produzido pela planta fêmea).



Fonte: Berbert (2017).

Conforme Palmer (2006), nessa espécie somente as plantas fêmeas produzem o cone, usado na fabricação de cerveja. O aspecto de suas folhas lembra as folhas de uva, e os cones por seu formato lembram ligeiramente pinhas em miniatura, porém esses cones são verdes claros e finos como papel. As apreciadas glândulas amarelas de lupulina, parte da planta que contém os óleos e resinas essenciais tão estimadas pelos cervejeiros, estão contidas na base de suas pétalas, conforme na Figura 6.

Figura 6 – Constituição do cone de lúpulo.



Fonte: Café Pasa (2013).

De acordo com Bamforth (2011), o lúpulo comumente é adicionado ao mosto cervejeiro no processo de fervura. No início desse processo, as resinas contidas nas glândulas amarelas de lupulina são transformadas em uma forma mais solúvel, conferindo ao mosto o sabor amargo característico das cervejas. Entretanto, no final do processo de fervura reserva-se um pouco de lúpulo para ser adicionado ao mosto, com a finalidade de conferir aroma a bebida. Desse modo, os óleos voláteis contidos na planta não são eliminados, e por consequência a cerveja adquire o aroma conferido por ele.

Desse modo, para Palmer (2006) os lúpulos são classificados em duas categorias gerais, os lúpulos de amargor e os de aroma, pois esses se diferem quanto aos seus níveis de composição de resinas e óleos essenciais. O autor também resalta a importância do *Dry-Hopping*, processo no qual consiste adicionar lúpulos na fermentação, etapa posterior à fervura, para conferir mais aroma ao produto.

Conforme Pinto (2018), é interessante ressaltar uma característica importante das propriedades do lúpulo que dão amargor a bebida, elas são uma das principais razões da cerveja ter uma espuma tão estável, também são antissépticas e estão entre os agentes que fazem da cerveja um dos alimentos mais resistentes a infecções por micróbios, a composição química do lúpulo em flor é demonstrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição química do lúpulo em flor.

Características	Porcentagem (%)
Resinas amargas totais	12 – 22
Proteínas	13 – 18
Celulose	10 – 17
Polifenóis	4 – 14
Umidade	10 – 12
Sais minerais	7 – 10
Açúcares	2 – 4
Lipídios	2,5 – 3,0
Óleos essenciais	0,5 – 2,0
Aminoácidos	0,1 – 0,2

Fonte: Venturini Filho (2011).

2.3.3.1 Formas de comercialização do lúpulo

Conforme Palmer (2006), a melhor forma de se usar o lúpulo é muito particular de cada processo cervejeiro, e basicamente se divide em três. Cada forma tem algumas vantagens e desvantagens, conforme pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 3 – Formas de comercialização do lúpulo.

Formas	Vantagens	Desvantagens
Flor	<ul style="list-style-type: none"> - Eles boiam, e são fáceis de serem retirados do mosto. - Melhores características de aroma quando frescos. - Boa forma para dry hopping. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eles absorvem o mosto, resultando em um pouco de perda do mosto após a fervura. - O volume os torna difíceis de pesar.
Plug	<ul style="list-style-type: none"> - Permanecem frescos por mais tempo que os inteiros. - Medidas convenientes de 15g. - Boa parte para dry hopping. - Se comportam como lúpulos inteiros na fervura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Difíceis de usar fora de incrementos de 15g. - Eles absorvem o mosto assim como em flor.
Pellets	<ul style="list-style-type: none"> - Fáceis de pesar. - Pequeno aumento na isomerização devido a moagem. - Não absorvem o mosto. Melhor estocagem. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formam um “lodo” de lúpulo na panela de fervura. - Difícil dry hop. - O conteúdo de aroma tende a ser menor que em outras formas devido ao processamento.

Fonte: Adaptado Palmer (2006).

2.3.4 Levedura

Conforme Rosenthal (2018), a levedura da fabricação de cerveja é um tipo de fungo, que tem por nome científico *Saccharomyces Cerevisiae*. Essas leveduras têm a característica de viver e crescer com ou sem oxigênio, e podem se reproduzir assexuadamente.

Venturini Filho (2010), complementa dizendo, que o gênero *Saccharomyces* é caracterizado por apresentar várias cepas consideradas seguras e capazes de realizar fermentação alcoólica, produzindo dois metabólicos primários importantes ao processo cervejeiro, etanol e dióxido de carbono.

Além desses metabólicos, Palmer (2006) acrescenta que essas leveduras têm a capacidade de gerar também outras cinco classes de substâncias, os ésteres, álcoois superiores, cetonas, fenóis e ácidos graxos, também importantes no processo

cervejeiro. Dessa forma, o autor descreve brevemente como cada uma dessas substâncias contribui no produto. Os ésteres e os fenóis são responsáveis pelas características frutadas e de especiarias na cerveja. O componente cetônico é o diacetil, responsável pelo perfil amanteigado da bebida. Os álcoois superiores são os responsáveis pela desagradável ressaca. Por fim, os ácidos graxos contribuem nas reações químicas que produzem componentes desejáveis à cerveja nova.

2.3.4.1 Tipos de levedura

Segundo Rosenthal (2018), as leveduras cervejeiras se dividem em duas, as tipo *Ale* e as tipo *Lager*, suas principais diferenças são a temperatura de fermentação e a maneira como ocorre a fermentação de cada uma dentro do fermentador.

Palmer (2006), explica que as leveduras tipo *Ale* são conhecidas como leveduras de alta fermentação, isso se deve ao fato da maioria da fermentação ocorrer na parte superior do fermentador. Enquanto as *Lager* são conhecidas como leveduras de baixa fermentação, devido a maioria da sua fermentação ocorrer no fundo do fermentador. Outra diferença entre elas é a temperatura de trabalho dessas leveduras, as *Ale* trabalham em temperaturas mais altas (em torno de 20°C) e as *Lager* em temperaturas mais baixas (em torno de 12°C).

Venturini Filho (2010) complementa dizendo que tradicionalmente a cerveja *Lager* leva mais tempo para fermentar, de sete a dez dias, ao passo que as do tipo *Ale* fermentam de três a cinco dias.

2.3.4.2 Formas de levedura

Conforme o Quadro 3, as leveduras podem ser encontradas de duas formas no comércio.

Quadro 4 – Formas comerciais das leveduras cervejeiras.

(Continua)

Formas	Característica
Seca	<ul style="list-style-type: none"> - levedura desidratada - facilitar o armazenamento ou estocagem - reidratá-la com água morna (35°C - 40°C)

Quadro 5 – Formas comerciais das leveduras cervejeiras.

(Conclusão)

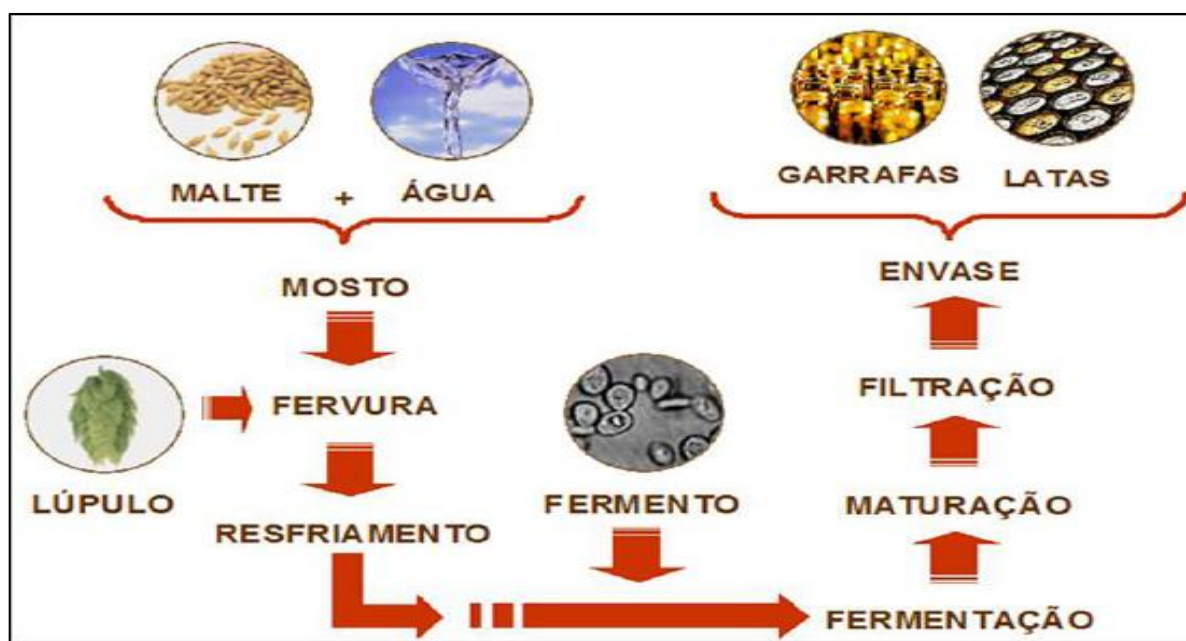
Formas	Característica
Líquida	<ul style="list-style-type: none"> - estado normal dos fermentos - . Embalagens com essa forma devem ser mantidas refrigeradas, - aquecida à 26°C para ativar a levedura

Fonte: Adaptado Palmer (2006).

2.4 Processo produtivo da cerveja

O esquema mostrado na Figura 7 demonstra simplificadaamente todo processo produtivo da cerveja.

Figura 7 – Esquema simplificado do processo produtivo da cerveja.



Fonte: ROSA; AFONSO (2015).

2.4.1 Brassagem

De acordo com Rosa e Afonso (2015), brassagem ou mosturação é a primeira fase do processo produtivo da cerveja, e basicamente consiste em misturar duas matérias-primas, água e malte. Nessa etapa o malte moído é dissolvido na água em temperatura controlada.

Conforme Santos e Ribeiro (2005), o produto da brassagem é denominado mosto cervejeiro, esse pode ser definido como uma solução em água potável de carboidratos, açúcares simples, proteínas, aminoácidos e sais minerais resultantes da degradação enzimática ocorrida no processo de aquecimento do malte em água.

Ainda segundo Venturini Filho (2010), o objetivo na brassagem é facilitar a absorção de água pelo amido, a fim de facilitar a quebra do mesmo em açúcares menores. As condições para que a mosturação ocorra corretamente depende da temperatura, do tempo, do grau de acidez, da concentração do meio, e da qualidade do malte moído. O tempo e temperatura a ser aplicado durante esse processo deve obedecer ao estilo de cerveja desejado. Em geral as enzimas presentes no malte produzem um mosto que apresenta entre 70 e 80% de carboidratos fermentáveis, divididos principalmente em glicose, maltose e maltotriose. As faixas de atuação ótima que cada enzima apresenta são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Temperatura e pH de atuação das enzimas.

Enzimas	Temperatura Ótima (°C)	pH ótimo	Substrato
Hemicelulases	40 - 45	4,5 - 4,7	Hemicelulose
Exopeptidases	40 - 50	5,2 - 8,2	Proteínas
Endopeptidases	50 - 60	5,0	Proteínas
Dextrinase	55 - 60	5,1	Amido
Beta-amilase	60 - 65	5,4 - 5,6	Amido
Alfa-amilases	70 - 75	5,6 - 5,8	Amido

Fonte: TSCHOPE, 2001 *apud* VENTURINI, 2010.

Ao final da brasagem, é aconselhável que se realize um teste prático com solução de iodo, tendo como finalidade conferir se houve a completa hidrólise do amido, ou seja, verificar se ainda existe amido para ser transformado em cadeia de açúcares menores. Portanto, se o resultado desse teste for positivo, a solução é aquecida até uma certa temperatura que neutralize as enzimas presentes no mosto, se for negativo, o processo de mosturação é retomado (DINSLAKEN, 2016).

De acordo com Venturini Filho (2010), a próxima etapa da produção de cerveja é a Fervura, porém antes do mosto ser transferido para a tina de fervura, ele deverá passar por um processo de filtração em um recipiente denominado tina de filtra-

ção, geralmente construído em aço inoxidável, como pode ser observado na Figura 8. Além disso, a casca do malte contida no mosto serve como camada filtrante nesse processo de filtração. Logo, essa camada é lavada com uma certa quantidade de água aquecida, tendo por finalidade potencializar a extração de açúcar que possa estar contida nela, assim elevando o rendimento do processo.

Figura 8 – Tinhas de água quente, brassagem, filtração e fervura.



Fonte: Japa Componentes (2019).

2.4.2 Fervura do mosto

A próxima etapa depois de se obter o mosto, é a fervura. Nessa etapa é acrescentado mais uma matéria-prima na cerveja, o lúpulo, usado para dar aroma e amargor ao líquido. A fervura tem como objetivo inativar as enzimas do malte esterilizando o mosto, como também extrair os compostos amargos e aromáticos do lúpulo, levando a evaporação da água em excesso juntamente com os componentes aromáticos indesejáveis na bebida. Ademais, esse processo é realizado em um equipamento denominado fervedor de mosto ou tina de fervura, com material inoxidável (VENTURINI FILHO, 2010).

Na fervura geralmente o lúpulo será adicionado ao mosto em três etapas, cada uma delas tem uma finalidade. Na primeira etapa de fervura aproximadamente um quarto do peso total do lúpulo utilizado em todo processo, é adicionado para auxiliar na coagulação das proteínas. Na segunda etapa é adicionada outra carga de lúpulo para conferir o amargor característico à cerveja. No final do processo, uma

carga é realizada com o intuito de conferir aroma à cerveja, elevando assim o perfil sensorial da bebida (AQUARONE, 2001 *apud* ROSSONI, 2017).

Ainda, segundo Venturini Filho (2010), a concentração requerida de açúcar no mosto para o processo de fermentação é que irá determinar o tempo total da fervura, que pode ser de até 90 minutos.

2.4.3 Whirlpool e Resfriamento do Mosto

Santos e Ribeiro (2005) relatam que em alguns processos cervejeiros, torna-se imprescindível realizar a clarificação do mosto após o processo de fervura e antes do resfriamento. Contudo, tal importância se dá pelo fato de que substâncias como álcoois de maior cadeia molecular e ésteres, podem prejudicar a qualidade final da cerveja. Todavia, uma das formas de fazer essa clarificação é por um processo chamado *whirlpool*, que consiste em submeter o mosto a uma decantação hidrodinâmica. Desse modo, o mosto entra tangencialmente em alta velocidade em um tanque circular, se separando dos complexos de proteínas, resinas e taninos por efeito centrífugo. O resultado dessa clarificação gera um resíduo sólido chamado *trub* que necessita ser retirado antes do mosto ser resfriado.

Ainda para Santos e Ribeiro (2005), o resfriamento do mosto é uma das etapas mais importantes do processo cervejeiro, pois a qualidade da fermentação da bebida está ligada diretamente ao bom desempenho nesse processo.

Sobretudo, a etapa de resfriamento ocorre da seguinte maneira, primeiramente se identifica a temperatura correspondente ao tipo de cerveja que se quer produzir, logo o mosto é resfriado até a temperatura de fermentação exigida por ela, geralmente resfria-se o mosto de 7 à 15°C para cervejas tipo *Lager*, e de 18 à 22°C para cervejas tipo *A/e* (VENTURINI FILHO, 2010).

Segundo Palmer (2006) é muito importante esfriar o mosto rapidamente ao final da fervura, pois enquanto esse se encontra ainda quente, as bactérias e as leveduras presentes no ambiente estão sendo inibidas, porém à medida que ele vai esfriando começa ficar suscetível a danos por oxidação. Se houver a contaminação do líquido por microrganismos, o lote estará comprometido e toda cerveja deverá ser descartada.

Outros problemas que podem ocorrer caso o mosto seja esfriado lentamente é a formação anormal de dimetil sulfito e turbidez na cerveja. De acordo com Dinsla-

ken (2016), a produção de dimetil sulfito produz um sabor azedo na cerveja, por outro lado a turbidez não afeta o aroma nem o sabor da bebida, porém esteticamente deixa a cerveja menos atrativa para os consumidores.

Por esses motivos Palmer (2006) explica que o objetivo desse processo é esfriar o mosto o mais rápido possível, até abaixo dos 26°C, antes de acontecer à oxidação ou contaminação dele. Ainda conforme o autor, o processo de resfriamento em microcervejarias pode ser desempenhado por trocadores de calor que utilizam água gelada ou natural. No entanto, para pequenos volumes de produção, o processo pode ser executado de forma simples, utilizando apenas o banho com água, ou até mesmo os resfriadores de metal.

2.4.3.1 Banho com água

Primeiramente, coloca-se o recipiente que está contido o mosto em um tanque com água e gelo, de modo que a água gelada do tanque troque calor com o exterior do recipiente com mosto. Logo, é aconselhável acelerar o processo revolvendo o mosto em sentido circular, fazendo com que haja mais troca de calor com a água contida no tanque. Desse modo, para minimizar o tempo do processo, imediatamente deve-se fazer a substituição por mais gelo quando ele for derreter. Além disso, o mosto deve alcançar a temperatura adequada em torno de 30 minutos, porém esse método é eficaz somente para pequenas quantidades que se deseja produzir (DINSLAKEN, 2016).

2.4.3.3 Resfriadores de metal (ou *Chillers*)

Esses resfriadores consistem em tubos circulares de metal, preferencialmente de cobre, alumínio ou inox, utilizados para trocar calor e assim resfriar o mosto. Ainda, existem dois tipos básicos desses resfriadores, os de imersão e os de contracorrente. Por conseguinte, um exemplo de resfriador de imersão é a serpentina de alumínio, que pode ser observada na Figura 9 (PALMER, 2006).

Figura 9 – Serpentina de alumínio.



Fonte: Zago (2018).

Zago (2018) acrescenta que a serpentina de alumínio é submersa no mosto que se encontra estagnado dentro da tina de fervura, pois quem circula pela serpentina é a água de troca, que percorre os cilindros trocando calor com o mosto. Assim sendo, o equipamento mostra-se eficiente apenas para pequenos volumes de produção, de aproximadamente 20 litros. Para volumes maiores utilizam-se trocadores de calor do tipo contrafluxo, também conhecido como contracorrente, como pode ser observado na Figura 10, ou ainda, do tipo de placas como pode ser observado na Figura 11.

Figura 10 – Trocador de calor de contracorrente ou contrafluxo.



Fonte: ZAGO (2018).

Os resfriadores de contracorrente ou contrafluxo funcionam de maneira inversa aos de imersão, ou seja, fora do recipiente que contém o mosto. Desse modo, o tubo de metal do *Chiller* passa por dentro da mangueira de água, e logo potencializa a troca de calor entre o mosto quente e a água fria (PALMER, 2006).

Figura 11 – Trocador de calor de placas.



Fonte: ZAGO (2018).

Conforme Bermo Serviços (2019), o resfriador de placas utiliza placas de metal para transferir calor entre dois fluidos. Dessa forma, ele obtém vantagem sobre resfriadores de serpentina e de contrafluxo, pois os fluidos nesse trocador ficam expostos a uma superfície maior de contato, facilitando a transferência de calor entre eles. Desse modo, o mosto quente passa por uma entrada do trocador e percorre as placas através de canais até sua saída, da mesma forma a água fria passa de uma entrada do resfriador, porém em sentido contrário ao do mosto, até a outra saída.

2.4.4 Fermentação

Venturini Filho (2010) salienta que o ponto central de qualquer bebida alcoólica fermentada é o seu processo fermentativo, pois esse possui como principal objetivo a conversão de açúcares em etanol e gás carbônico pela ação da levedura. Rosa e Afonso (2015) complementam dizendo que após o resfriamento e clarificação do mosto, a levedura é inoculada no líquido em grandes tanques chamado fermentadores ou dornas, conforme Figura 12.

Ainda, resumidamente Rosa e Afonso (2015) afirmam que na fermentação as leveduras consomem os carboidratos fermentáveis, gerando como produtos principais etanol e CO₂, e como secundários ésteres, ácidos e álcoois superiores. Assim, pode-se dizer que a fermentação é a fase mais importante para definir o paladar da cerveja. A reação de fermentação de carboidratos, como por exemplo, a glicose, é mostrada na Equação 1.



Figura 12 – Tanque Fermentador em aço inox de 500 litros.



Fonte: Basinox (2017).

Palmer (2006) considera três fatores como os principais responsáveis para que a fermentação alcance um bom resultado: a levedura, os nutrientes do mosto e a temperatura. Em relação à levedura, o autor adverte que se deve ter o cuidado de inocular ela na quantidade exata. Sobre os nutrientes do mosto é importante verificar se há suprimento de oxigênio suficiente para ocorrer a fermentação aeróbica e se há níveis de aminoácidos suficiente no mosto para a levedura crescer e se adaptar ao ambiente fermentativo. Em relação a temperatura, o autor informa que os fermentos são fortemente afetados por essa. Caso as temperaturas sejam muito baixas, as leveduras adormecem e não fermentam o mosto, caso sejam muito altas, incentivam a produção de álcoois pesados que geram sabor desagradável à cerveja.

Santos e Ribeiro (2005), antes de tudo, dividem a fermentação em duas etapas: a primeira denomina-se aeróbia, ou seja, com a presença de oxigênio, as leveduras se reproduzem, aumentando sua quantidade de duas até seis vezes mais do que no início do processo. Em seguida, inicia-se a segunda etapa, denominada anaeróbia, ou seja, sem a presença de oxigênio, nessa as leveduras realizam a sua função principal, convertendo os açúcares presentes no mosto em CO₂ e álcool. Dessa

maneira, o processo de fermentação pode ter uma duração de 6 a 9 dias. Na sequência, para garantir um bom andamento na fermentação, é necessário que a temperatura no processo se mantenha constante, em valores na faixa de 8 à 15°C. Para isso é necessário que os tanques de fermentação sejam resfriados, visto que a fermentação é um processo exotérmico, ou seja, ele libera calor.

Ainda, Palmer (2006) complementa dizendo que a temperatura interna do fermentador pode chegar até 10°C acima da temperatura ambiente, devido somente a atividade da levedura.

2.4.5 Maturação

Segundo Rosa e Afonso (2015), logo depois de concluída a fermentação principal, a cerveja é resfriada a 0°C, e é enviada para tanques de maturação. Em seguida, a maioria da levedura utilizada na primeira fermentação, é separada do mosto por decantação, logo após a retirada desse excesso de levedura do mosto, inicia-se o processo conhecido como maturação ou fermentação secundária.

Desta forma, o carboidrato residual ainda contido no mosto é consumido pelas leveduras remanescentes no mesmo, fenômeno conhecido por fermentação secundária. Também, verifica-se que é uma das funções das leveduras que atuam na maturação, metabolizar substâncias indesejáveis oriundas da fermentação primária (ROSA; AFONSO, 2015).

Venturini Filho (2010) complementa que a maturação também proporciona a clarificação do mosto, pela precipitação de leveduras, proteínas e sólidos insolúveis, durante o processo. Nessa fase, o repouso do líquido a baixas temperaturas provoca a precipitação dos resíduos de leveduras que ainda permanecem na cerveja, maturando o sabor da bebida. Desse modo, as concentrações de ácidos sulfídricos, acetaldéido e diacetil são minimizadas.

Ainda, a maturação pode levar de 6 a 30 dias, de acordo com o processo de cada cervejaria. Destarte, essa fase do processo cervejeiro, é responsável por aprimorar o sabor da cerveja (ROSA; AFONSO, 2015).

2.4.6 Carbonatação e Envase

Na sequência, a etapa que antecede o envase é a carbonatação, ela é responsável por adicionar dióxido de carbono (CO₂) à cerveja, pois essa necessita maiores quantidades do que somente as obtidas no processo de fermentação. Entretanto, o dióxido de carbono é um constituinte de importância sensorial na cerveja, pois ele é responsável pela efervescência e sensação de acidez conferida ao paladar, ele também é um dos principais fatores que influenciam a formação de espuma na bebida. Além disso, sua adição na cerveja deve ser moderada, tendo em vista o seu caráter ácido, também deve-se assegurar que seus níveis de concentração não estejam além do necessário, para que não afete a qualidade sensorial final do produto (VENTURINI FILHO, 2010).

Depois, a carbonatação da cerveja pode acontecer de duas maneiras, forçada ou pelo processo conhecido como *primming*. Na forma forçada, é adicionada uma injeção direta de CO₂ no líquido, já no método *primming*, é adicionado açúcar fermentável para que as leveduras realizem uma refermentação dentro da garrafa. Dessa maneira, a quantidade de açúcar a ser adicionada no segundo método, depende do nível de carbonatação desejado, sendo que para cada estilo de cerveja há faixas específicas de volumes de dióxido de carbono (HUGUES, 2014 *apud* ROSSONI, 2017).

Em seguida, o próximo processo é o envase, que tem por finalidade viabilizar a distribuição do produto depois de sua fabricação, e possibilitar a armazenagem da bebida em barris, garrafas ou latas de diferentes formatos e volumes (VENTURINI FILHO, 2010).

2.4.7 Pasteurização

Venturini Filho (2010) destaca que a cerveja pode ser considerada um produto de estabilidade microbiológica, por apresentar características desfavoráveis ao desenvolvimento de microrganismos. Mesmo assim, existem algumas espécies de microrganismos com capacidade de se multiplicar nessa bebida, conferindo características indesejáveis a ela, tais como turbidez e mudanças sensoriais que afetam a qualidade do produto. Em vista disso, as cervejas devem ser processadas visando a eliminação de qualquer resquício de levedura que possa ter sido gerada no seu processo produtivo, uma das maneiras de extinguir completamente esses microrganismos é a pasteurização.

Sobretudo, a pasteurização é um processo térmico, no qual a cerveja é submetida a um aquecimento de 60 até 70°C em certo intervalo de tempo, logo após ela é resfriada subitamente, a fim de eliminar os microrganismos existentes na bebida. Devido a esse processo, é possível assegurar uma data de validade ao produto de seis meses após a fabricação. No entanto, a cerveja que é armazenada em barris, não pasteurizada, recebe o nome de chope. Nesse caso, seu prazo de validade é menor que o das cervejas pasteurizadas. Depois disso, a cerveja pode ser encaminhada para a expedição e comercialização (ROSA; AFONSO, 2015).

2.5 Métodos de transferência de calor

Para Braga Filho (2006), basta haver uma diferença de temperatura entre dois corpos, para que haja transmissão ou transferência de calor. Evidentemente, isso significa que o corpo com a temperatura mais alta cederá energia para o corpo com temperatura mais baixa. Entretanto, essa transferência de calor pode ocorrer na natureza de três maneiras, por condução ou convecção, se houver matéria entre os dois corpos, ou por radiação, se houver ausência de matéria.

2.5.1 Condução

O processo de transferência de calor por condução consiste em transmitir energia entre sistemas ou partes de um mesmo sistema com diferentes temperaturas, que ocorrem através de interações moleculares em meios sólidos, líquidos ou gasosos. Desta forma, moléculas com alto nível energético transferem energia térmica por impacto para as outras com menor nível, gerando assim uma onda térmica cuja velocidade de propagação dependerá da natureza da matéria (BRAGA FILHO, 2006).

Logo, Incropera *et al.* (2008) afirma que temperaturas mais elevadas possuem relação com maiores vibrações moleculares, o que causa maior quantidade de colisões entre moléculas e assim maior transferência energética. Desta forma, torna-se importante ressaltar que a condutividade térmica é a capacidade que uma substância tem de transferir energia. Ainda, a taxa de transferência de calor por condução (\dot{Q}), fundamenta-se na Lei de Fourier, apresentada na Equação 2.

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Em que k , é a condutividade térmica do material, A é a área de troca térmica, dT é a variação de temperatura entre os dois corpos, e dx é o comprimento elementar da troca.

2.5.2 Convecção

De acordo com Barrosa (2004) e Braga Filho (2006), este processo de transferência de calor consiste na troca de calor de partes macroscópicas dos fluidos, abrangendo o contato térmico entre fluido em movimento e uma superfície sólida. Desse modo, as partículas do fluido que entram em contato com uma superfície aquecida se deslocam dentro dele para regiões nas quais se tem temperaturas mais baixas, de modo a transmitir calor para elas. Assim, a convecção caracteriza-se por ser o principal mecanismo de troca de calor entre fluidos, por ser mais eficaz que a condução. Destarte, a convecção que ocorre quando o movimento do fluido é criado artificialmente (por meio de bombas, ventilador etc.), classifica-se como forçada. De outro modo, quando o escoamento envolver apenas as diferenças de temperatura, ela denomina-se convecção livre.

Conforme Braga Filho (2006), o calor trocado por convecção é descrito pela Lei do Resfriamento de Newton, conforme Equação 3.

$$\dot{Q} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Em que h , é o coeficiente de troca de calor por convecção, A_s é a área superficial ou de contato entre a peça e o fluido, T_s é a temperatura superficial da peça, e T_∞ é a temperatura do fluido.

2.5.3 Radiação

De acordo com Oliveira (2014), a transferência de calor por radiação não necessita de um meio físico para acontecer. Desta maneira, quando dois corpos com uma diferença de temperatura estão separados entre si com ausência de matéria

(vácuo), a troca de calor entre eles acontece por meio da radiação térmica. Essa troca é transmitida através de ondas eletromagnéticas, pois sem um meio físico entre os corpos, a transmissão de calor por condução ou convecção não tem como ser realizada.

Incropera *et al.* (2008), afirmam que a radiação é mais eficiente no vácuo, mesmo assim, existe a necessidade de um meio material para a emissão e absorção dela. Deste modo, o fluxo térmico emitido pelo fenômeno de radiação (E), é determinado pela lei de *Stefan-Boltmann*, conforme a Equação 4.

$$E = \varepsilon_m \sigma T_s^4 \quad (4)$$

Em que ε , é a emissividade total e depende do material e seu acabamento superficial, podendo variar entre $0 \leq \varepsilon_m \leq 1$, σ é a constante de *Stefan-Boltmann*, e T_s é a temperatura absoluta do corpo irradiante.

2.6 Trocadores de calor

Conforme Ganghis (2016), os trocadores de calor são equipamentos desenvolvidos para atuar no processo de transmissão de calor entre dois fluidos que se encontram em diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida. Desse modo, eles são dispositivos muito importantes para as engenharias, pois suas aplicações são comumente utilizadas em diversos setores da indústria, bem como problemas de transferência de energia térmica entre um mesmo sistema ou com a sua vizinhança. Contudo, algumas dessas aplicações podem ser observadas em nosso dia a dia, como na calefação e resfriamento de ambientes e na geração de energia.

Como ainda, Incropera *et al.* (2008) destaca que os trocadores de calor podem ser tipicamente classificados em função do tipo de construção e configuração de escoamento. Destarte, de acordo com as configurações, os trocadores mais comuns são os trocadores de calor de tubos concêntricos, trocadores de calor compactos e trocadores de calor casco e tubo. Embora, para Braga Filho (2006) os principais tipos de trocadores de calor são tubulares e de placas.

2.6.1 Trocador de calor de tubos concêntricos ou tubos duplos

De acordo com Incropera *et al.* (2008) e Braga Filho (2006), os trocadores de calor de tubos concêntricos podem ser considerados equipamentos de concepção simples e com manutenção prática, sendo comum encontrá-los em aplicações de pequenas capacidades. Eles consistem basicamente em acoplar dois tubos de forma concêntrica, respeitando o espaço entre as duas paredes para possibilitar o escoamento do fluido.

Ainda, a construção desse equipamento pode ocorrer de dois modos, sendo eles os de corrente paralela e os de corrente cruzada. Logo, nos de corrente paralela os fluidos quente e frio entram e saem pela mesma extremidade, escoando no mesmo sentido. E na sequência, nos de corrente cruzada os fluidos entram e saem em extremidades opostas, escoando em sentidos opostos (INCROPERA *et al.*, 2008 e BRAGA FILHO, 2006).

Na Figura 13 é possível observar o trocador de calor de tubo duplo.

Figura 13 – Trocador de calor de tubo duplo.



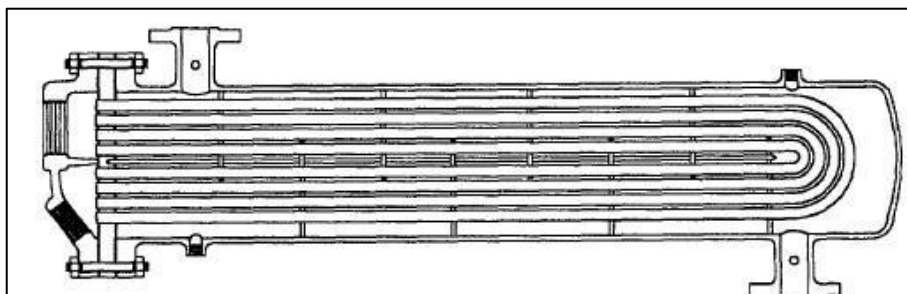
Fonte: Kakaç e Liu (2002) *apud* Gerhardt (2017).

2.6.2 Trocador de calor de carcaça e tubo

Esse tipo de trocador de calor é construído com tubos e uma carcaça, de modo que um fluido passe por dentro dos tubos, enquanto o outro fluido percorre o espaço existente entre a carcaça e os tubos, assim promovendo a troca de calor entre eles. Em vista da sua praticidade, esses trocadores são os mais adotados para quaisquer capacidades e condições operacionais, tais como altas pressões e temperaturas, atmosfera corrosiva, fluido muito viscoso etc. Por isso, trocadores desse tipo são conhecidos pela sua versatilidade, frequentemente se adequando a quaisquer processos industriais. Também, possui como vantagem a sua construção, podendo

ser fabricado em vários tipos de materiais. Esse trocador pode ser observado na Figura 14 (BRAGA FILHO, 2006).

Figura 14 – Trocador de calor carcaça e tubo.



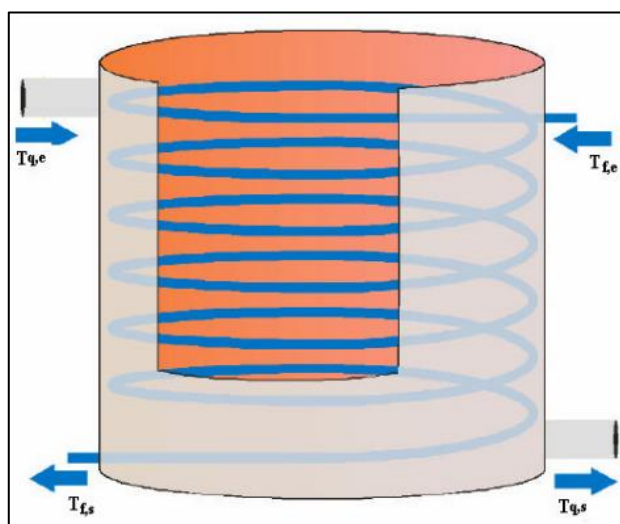
Fonte: Kakaç e Liu (2002) *apud* Gerhardt (2017).

2.6.3 Trocador de calor em serpentina

Os trocadores de calor desse tipo são constituídos de uma ou mais serpentinas, inseridas dentro de uma carcaça. Ainda é pertinente ressaltar, que a transferência de calor que ocorre em um tubo espiral é mais alta que para um trocador de calor de tubo duplo. No entanto, esse tipo de equipamento consegue acomodar uma grande superfície no espaço delimitado pela carcaça, e isso ajuda na sua adaptação aos diferentes processos de troca de calor. Porém, uma das dificuldades encontradas nesse tipo de aparelho é no seu processo de limpeza (BRAGA FILHO, 2006).

Pode-se observar o trocador de serpentina na Figura 15.

Figura 15 – Trocador de calor em serpentina.



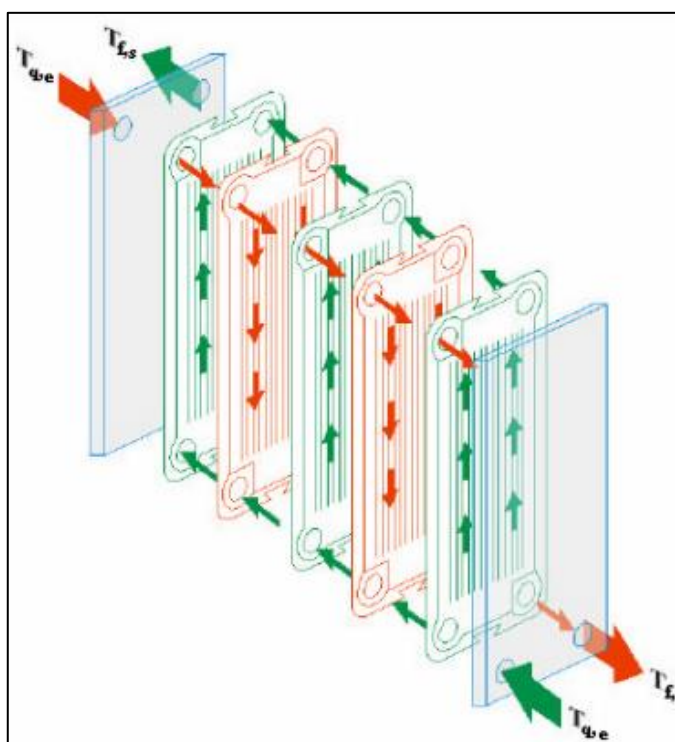
Fonte: Mundo Mecânico (2014).

2.6.4 Trocador de calor de placas

Conforme Gut (2003), os trocadores de calor de placas são equipamentos largamente utilizados em aplicações que exigem trocas térmicas entre fluidos. Ainda, o autor explica que para promover a troca de calor entre dois fluidos, esse tipo de equipamento utiliza um aglomerado de placas paralelas que formam canais de escoamento alternado entre o fluido quente e o frio, assim possibilitando a transferência de calor por meio de finas chapas metálicas que separam os líquidos. Todavia, as principais aplicações desse trocador, estão voltadas ao ramo alimentício, como na pasteurização de leites e suco, podendo ser aplicado também em outras funções, como no resfriamento de óleo de turbinas a vapor, resfriamento da água de geradores, ou mesmo em plantas nucleares.

Na sequência, Gut (2003) salienta que esse trocador de calor pode ser dividido em quatro tipos: espiral, lamela, circuito impresso e gaxeta, sendo o último citado, o mais utilizado, pois esse permite ser desmontado para eventual limpeza ou manutenção, assim conferindo maior praticidade. Pode-se observar esse equipamento na Figura 16.

Figura 16 – Trocador de calor de placas.



Fonte: Mundo Mecânico (2014).

2.7 Avaliação dos trocadores de calor

Segundo Braga Filho (2006), os três principais métodos para análise dos trocadores de calor, são: Método do Coeficiente global de troca de calor, Método da Temperatura Média Logarítmica e Método da Efetividade.

2.7.1 Coeficiente global de troca de calor

O conceito do coeficiente global de troca de calor, U , conforme Braga Filho (2006), é uma maneira de sistematizar diferentes resistências térmicas equivalentes num processo de troca de calor entre duas correntes de fluido. Deste modo, Incropera *et al.* (2008) adverte que o cálculo desse coeficiente é uma etapa essencial nas análises de trocadores de calor. Assim sendo, ele é definido normalmente como a função da soma total das resistências que estão participando da transferência de calor entre dois fluidos, e pode ser representado conforme a Equação 5.

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{(n_0 hA)_f} + \frac{R''_{d,f}}{(n_0 A)_f} + R_p + \frac{R''_{d,q}}{(n_0 A)_q} + \frac{1}{(n_0 hA)_q} \quad (5)$$

Logo, A representa a área de troca térmica, n_0 a eficiência do conjunto de aletas, h o coeficiente convectivo, R''_d o fator de deposição de incrustações e, R_p a resistência condutiva da parede, essa calculada de forma a considerar a geometria do tubo onde ocorre o escoamento. Os índices f e q indicam os fluidos frio e quente, respectivamente.

2.7.2 Método de análise de trocadores de calor pela diferença de temperatura média logarítmica

Segundo Incropera *et al.* (2008), o método de análise de trocadores de calor pela diferença de temperatura média logarítmica, é indicado para casos que se conhece a temperatura de entrada e saída dos fluidos analisados. Normalmente esse método é usado quando se está dimensionando, ou escolhendo, o tipo de trocador de calor a ser instalado.

Em um processo que não ocorre mudanças de fase, o calor específico mantém-se constante, dessa forma a taxa total de transferência de calor dos fluidos (Q), pode ser escrita conforme as Equações 6 e 7 (INCROPERA *et al.*, 2008).

$$Q = \dot{m}_q C_{p,q} (T_{q,ent} - T_{q,sai}) \quad (6)$$

$$Q = \dot{m}_f C_{p,f} (T_{f,ent} - T_{f,sai}) \quad (7)$$

Nas equações, Q é a taxa total de transferência de calor em watts (w), \dot{m}_q e \dot{m}_f são os fluxos mássicos para os fluidos quente e frio em quilogramas por segundo (kg/s). O C_p é o calor específico associado ao fluido em Joules por quilogramas kelvin (J/kg.K), e T_{ent} e T_{sai} são as temperaturas de entrada e saída do fluido.

Ainda, conforme Incropera *et al.* (2008), para obter a área de troca térmica do equipamento utiliza-se a Equação 8. Desse modo, leva-se em consideração a média logarítmica das diferenças de temperatura (ΔT_{ml}), conforme Equação 9.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad (8)$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)} \quad (9)$$

2.7.3 Método da Efetividade – Número de Unidades de Transferência

Por fim, Incropera *et al.* (2008) destaca o método NUT, que consiste em obter a máxima taxa de transferência de calor possível realizada por um trocador de calor (Q_{max}), e compará-la com a taxa de transferência de calor real realizada pelo trocador (Q). Assim, a efetividade pode ser obtida pela Equação 10.

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (10)$$

Desse forma, os autores ponderam que para fins de obtenção da taxa máxima de transferência de calor, deve-se considerar a hipótese que o equipamento possui comprimento infinito, de forma que a $T_{f,saída}$, seja maior que a $T_{q,saída}$.

Em vista disso, o número de unidades de transferência (NUT) é um parâmetro adimensional e pode ser determinado pela Equação 11.

$$NUT = \frac{UA}{C_{min}} \quad (11)$$

Na qual C_{min} é a capacidade calorífica mínima do fluido.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Conforme Gil (2010), a pesquisa é considerada um procedimento racional e sistemático com o objetivo de proporcionar respostas a problemas propostos. Logo, ela é requerida quando não se dispõe de informações suficientes para resolver esses problemas, e pode ser desenvolvida por meio de conhecimentos disponíveis, e com a utilização cuidadosa de métodos e técnicas de investigação científica.

Ainda Gil (2010), ressalta que os recursos que o pesquisador tem a sua disposição para fazer pesquisa são de suma importância, pois esses afetarão diretamente no desenvolvimento e na qualidade dos resultados. Contudo, os recursos que o pesquisador deve levar em consideração para garantir resultados satisfatórios em sua pesquisa são os humanos, materiais e financeiros necessários para efetivação da pesquisa. Em vista disso, é importante o pesquisador elaborar um projeto que tenha um orçamento adequado aos recursos que a empresa dispõe. Portanto, esse projeto permite saber se o empreendimento visado pela empresa se ajusta aos critérios por ela definidos, ao mesmo tempo que possibilita uma estimativa do custo e benefício para ela.

De acordo com Gerhardt e Silveira (2009), esta pesquisa científica pode ser classificada em diferentes critérios: quanto à sua abordagem e natureza, e quanto aos seus objetivos e procedimentos.

Segundo Cauchick (2012), o ato de mensurar variáveis em uma pesquisa pode ser considerado a característica mais marcante da abordagem quantitativa, portanto, no caso desse trabalho a pesquisa pode ser considerada como quantitativa, e as variáveis a serem mensuradas serão aquelas abordadas no referencial teórico. Sendo assim, nesse caso o pesquisador não interfere nas variáveis da pesquisa, pois essas são calculadas conforme uma teoria consolidada.

Ainda conforme Cauchick (2012), a abordagem nesse estudo também pode ser considerada como qualitativa, isto é, ela tem a preocupação de interpretar o ambiente em que a problemática acontece. Quando se trata desse tipo de pesquisa com ênfase em engenharia de produção, o pesquisador terá que fazer visitas a organização foco do estudo, fazendo todas as observações possíveis e coletando evidências, assim gerando uma visão panorâmica do problema a ser estudado. Dessa

forma, uma abordagem combinada proporciona um complemento de concepções metodológicas na pesquisa-científica. Diante disso, essa pesquisa é classificada também como quantitativa e qualitativa, visto que a combinação dessas abordagens permite uma melhor compreensão do problema. Assim, gerando resultados positivos como prover evidências mais abrangentes para o estudo, tornando-se mais prática no sentido que o autor da pesquisa é livre para usar todos os recursos metodológicos possíveis, para solucionar o problema em questão.

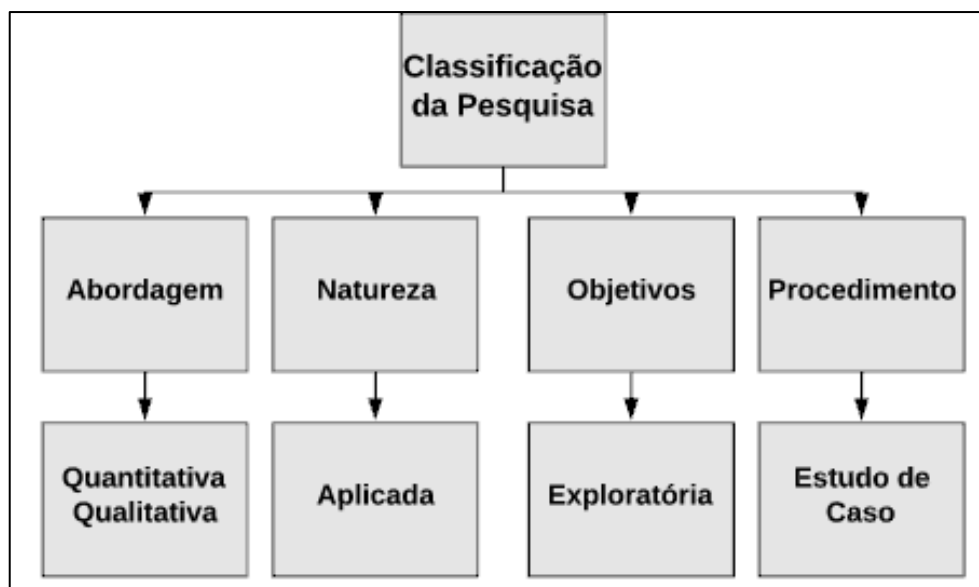
Todavia, de acordo com a sua natureza, a pesquisa desenvolvida nesse trabalho é considerada como aplicada, isso quer dizer que a pesquisa abrange estudos desenvolvidos com a finalidade de resolver problemas identificados no âmbito da sociedade em que o pesquisador está inserido. No entanto, no caso dessa pesquisa sua finalidade é a solução de um problema, que visa melhorar a forma de resfriamento de mosto cervejeiro, utilizando os recursos que a empresa dispõe de forma mais eficaz (GIL, 2010).

Em conformidade com Gerhardt e Silveira (2009), quanto ao objetivo essa pesquisa pode ser considerada exploratória. A pesquisa exploratória tem como finalidade proporcionar uma maior familiaridade com o problema a ser resolvido, preocupando-se em identificar fatores determinantes ou contribuintes para os fenômenos observados, tornando-os o mais explícito possível, para assim construir hipóteses de solução.

Ainda, quanto aos procedimentos, Gerhardt e Silveira (2009) classificam esse trabalho como um estudo de caso, isto é, esse estudo pretende entender a realidade de um determinado cenário definido. Para isso, o estudo de caso tem como característica desenrolar-se segundo o ponto de vista interpretativo do investigador, levando em consideração a perspectiva dos participantes do evento, com uma descrição íntegra e coerente do objeto de estudo.

Para facilitar a visualização e entendimento da classificação dessa pesquisa, a Figura 17 sintetiza a classificação das abordagens até aqui citadas.

Figura 17 – Classificação da Pesquisa.

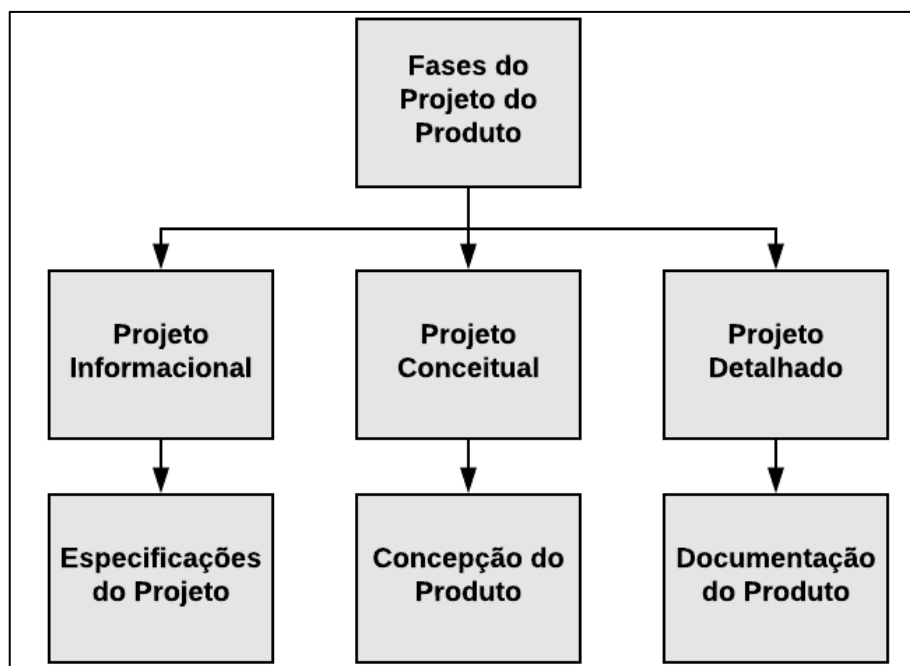


Fonte: Autor (2019).

3.2 Metodologias para o projeto do produto

A metodologia para o projeto do produto utilizada nesse trabalho é dividida em três fases, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado, para assim resultar no projeto do produto. A Figura 18 ilustra essas fases.

Figura 18 – Fases do projeto do produto.



Fonte: Autor (2019).

3.2.1 Projeto informacional

O objetivo do Projeto informacional é conseguir obter um conjunto de informações de todo o tipo que se relacionem com o produto, bem como as necessidades do consumidor, a descrição do produto a ser projetado e a elaboração da lista de requisitos do produto. Na sequência temos de fazer com que essas informações se tornem a base para a criação das especificações-meta do produto, uma vez que essas guiarão as diretrizes do projeto até a sua concepção (AMARAL *et al.*, 2006).

No que se refere as especificações-meta, essas além de orientar a geração de soluções, fornecem toda a base sobre a qual serão criados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento. Contudo, esse conjunto de informações deve refletir com rigor as características que o produto deverá ter para atender às necessidades dos clientes. Desta forma, inicialmente define-se o problema do projeto do produto no qual se busca o entendimento claro e completo do problema a ser enfrentado, além do aprofundamento das informações obtidas no planejamento do produto. Ademais, as informações detalhadas sobre aspectos tecnológicos de produtos concorrentes são procuradas nessa fase (AMARAL *et al.*, 2006).

As atividades que foram executadas nessa fase do projeto estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 6 – Atividades do projeto informacional.

Produto: Sistema de Resfriamento de Mosto Cervejeiro					
Fase 1: Projeto informacional					
Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3	Atividade 4	Atividade 5	Atividade 6
Obter informações sobre o produto.	Identificar as necessidades do cliente.	Estabelecer os requisitos do cliente.	Estabelecer os requisitos do projeto.	Hierarquizar os requisitos do projeto.	Estabelecer as especificações-meta.

Fonte: Adaptado Reis (2003).

O projeto informacional para o desenvolvimento desse trabalho tem como sua primeira atividade obter o maior número de informações técnicas e peculiares sobre o produto.

A atividade dois dessa fase teve como objetivo identificar as necessidades do cliente, por meio de uma entrevista não estruturada, com o gestor administrativo e proprietário da empresa e o Engenheiro Químico responsável pela produção, pois de acordo com Rodrigues (2016) essa entrevista é aplicada quando se tem um número reduzido de participantes.

A partir da identificação das necessidades do cliente, na atividade três são criados os requisitos do cliente, a fim de organizar e agrupar as necessidades normalmente expostas de maneira informal pelos consumidores (BACK *et al.*, 2008).

Em consonância com Back *et al.* (2008), na atividade quatro os requisitos do cliente foram modificados para requisitos do projeto por meio da utilização de linguagem técnica apropriada ao desenvolvimento do produto. Dessa forma, é imprescindível que esses requisitos do cliente sejam transformados em requisitos do projeto, com o propósito do projeto obter especificações mensuráveis, permitindo assim que a equipe de engenharia desenvolva-o.

Os requisitos do projeto foram hierarquizados na atividade cinco por intermédio do Diagrama de Mudge. Nesse diagrama elabora-se uma matriz triangular de forma a comparar um requisito com os outros requisitos e assim atribuir grau de importância a cada um deles (STONNER, 2014).

Por fim, na atividade seis do projeto informacional, as informações obtidas inicialmente que foram transformadas em requisitos do cliente, depois em requisitos do projeto, e posteriormente passaram por uma hierarquização, deram suporte para o estabelecimento das especificações-meta do projeto que nortearam todo o desenvolvimento do produto e permitiram perceber se as necessidades do cliente ao final do projeto foram atendidas (BACK *et al.*, 2008).

3.2.2 Projeto conceitual

Conforme Baxter (2003) e Amaral *et al.* (2006), as atividades do projeto nesta fase relacionam-se com a busca, criação e estabelecimento das soluções para o problema a ser resolvido no projeto. Essas soluções devem atender as condições do cliente de modo a se distinguirem dos produtos encontrados no mercado.

Ainda segundo Amaral *et al.* (2006), na fase do projeto conceitual é comum que essa busca por soluções seja feita por meio da observação de produtos similares no mercado, por exemplo, livros, artigos, catálogos, manuais técnicos e base de dados de patentes.

Desse modo, para o processo de criação de soluções não existem restrições, porém as soluções devem ser conduzidas pelas necessidades, requisitos e especificações-meta do projeto, sendo viável também a construção da solução por meio da criatividade. Para a representação das soluções podem ser feitos esquemas e desenhos manuais ou computacionais, sendo geralmente realizados em conjunto com a criação de soluções. Por fim, a seleção de todas as soluções criadas é feita com base em métodos apropriados que se apoiam nas necessidades ou requisitos previamente definidos no projeto (AMARAL *et al.*, 2006).

As atividades do projeto conceitual podem ser observadas no Quadro 5.

Quadro 7 – Atividades do projeto conceitual.

Fase 2: Projeto Conceitual				
Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3	Atividade 4	Atividade 5
Estabelecer a estrutura funcional do produto.	Pesquisar princípios de solução.	Selecionar princípios de solução.	Avaliação das soluções selecionadas	Definir arquitetura do projeto.

Fonte: Adaptado Reis (2003).

Na atividade um do projeto conceitual será estabelecido as funções da estrutura do produto, determinando a função global, as funções parciais e elementares. Após, na atividade dois será realizada uma busca pelos princípios de solução, e logo na atividade três será selecionado os princípios de solução examinados. Na atividade de quatro os princípios de solução selecionados são avaliados comparando-os com as especificações meta definidas no projeto informacional quanto ao seu atendimento. Por fim, na atividade cinco a arquitetura do produto é definida, estabelecendo suas configurações e assim chegando na concepção do produto.

3.2.3 Projeto Detalhado

De acordo com Santos (2001), esta é a última fase do projeto do produto e tem por objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto até aqui analisadas, para que assim o produto possa ser encaminhado à manufatura e às outras fases do desenvolvimento. O projeto detalhado conduz diretamente a produção de um produto, à medida que ele adquire todas as informações e configurações necessárias para conceber o mesmo. Portanto, nessa fase do projeto o modelo do produto evolui da concepção do produto até o seu leiaute definitivo. Além disto, nessa etapa a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias de todos os componentes devem ser finalizadas. Contudo, a especificação dos materiais deve ser finalizada também, levando em consideração a viabilidade técnica e econômica envolvidas no processo produtivo do produto. Por último, um modelo do produto é expresso pela documentação completa e necessária à sua produção.

As atividades envolvidas com o projeto detalhado desse trabalho, podem ser visualizadas no Quadro 6.

Quadro 8 – Atividades do projeto detalhado.

Fase 3: Projeto Detalhado	
Atividade 1	Atividade 2
Elaborar leiaute preliminar.	Finalizar e detalhar leiaute do produto.

Fonte: Autor (2019).

Logo após a concepção do produto no projeto conceitual, o projeto detalhado terá a preocupação de estabelecer o leiaute definitivo desse produto, começando pela atividade um com a elaboração de um leiaute preliminar, logo após é realizado o detalhamento e dimensionamento desse leiaute. Concluindo desta forma o ciclo do projeto do produto do trabalho, resultando em um projeto com todas as especificações necessárias a fabricação do produto.

4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DO MOSTO

Para o desenvolvimento do sistema de resfriamento do mosto de cerveja que utilize a água como fluido refrigerante em circuito fechado é necessário inicialmente estabelecer os parâmetros básicos do projeto através do termo de abertura do projeto, que é a forma de oficializar o início do projeto e está apresentado no Quadro 7.

Quadro 9 – Termo de abertura do projeto.

TERMO DE ABERTURA	
Produto:	Sistema de Resfriamento do Mosto de Cerveja
Cliente do produto:	Cervejaria Mão Preta
Equipe de desenvolvimento do produto:	José Felipe Garcias da Fontoura
Descrição do problema a ser resolvido:	
A microcervejaria Mão Preta tem um tempo de resfriamento do mosto muito elevado, o que torna seu processo produtivo lento e é hoje considerado um gargalo na empresa, por contar com um trocador de calor com pouca capacidade de troca térmica, que usa como fluido refrigerante a água do sistema da rede pública de abastecimento. A baixa capacidade térmica do trocador acarreta a necessidade de realizar a operação de resfriamento do mosto em várias passadas pelo mesmo, para atingir a temperatura desejada, dispendendo um tempo elevado de resfriamento e alto consumo de água.	
Objetivo:	
Projetar um sistema de resfriamento do mosto de cerveja que utilize a água como fluido refrigerante em circuito fechado para o cliente.	
Premissas:	
<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimentos dos procedimentos realizados na fabricação de cerveja; • Conhecimento dos riscos de contaminação no processo de fabricação de cerveja; • Conhecimentos sobre materiais de fabricação utilizados na área alimentícia; • Conhecimento das Normas Técnicas; • Conhecimento técnico para dimensionar um equipamento de troca térmica. • Utilizar materiais padronizados para fabricação do sistema de resfriamento. 	
Restrições:	
<ul style="list-style-type: none"> • Custo do sistema de resfriamento; • Utilização de água como fluido de troca térmica; • Atendimento aos requisitos estabelecidos pelas Normas de Saúde e Segurança. 	
Local de desenvolvimento:	
Laboratório de Desenvolvimento do Produto; Unipampa Campus Bagé/RS.	
Prazo de execução do projeto:	
Dezembro/2020	
Previsão de investimento:	
R\$ 5000,00	

Fonte: Autor (2020).

4.1 Projeto informacional

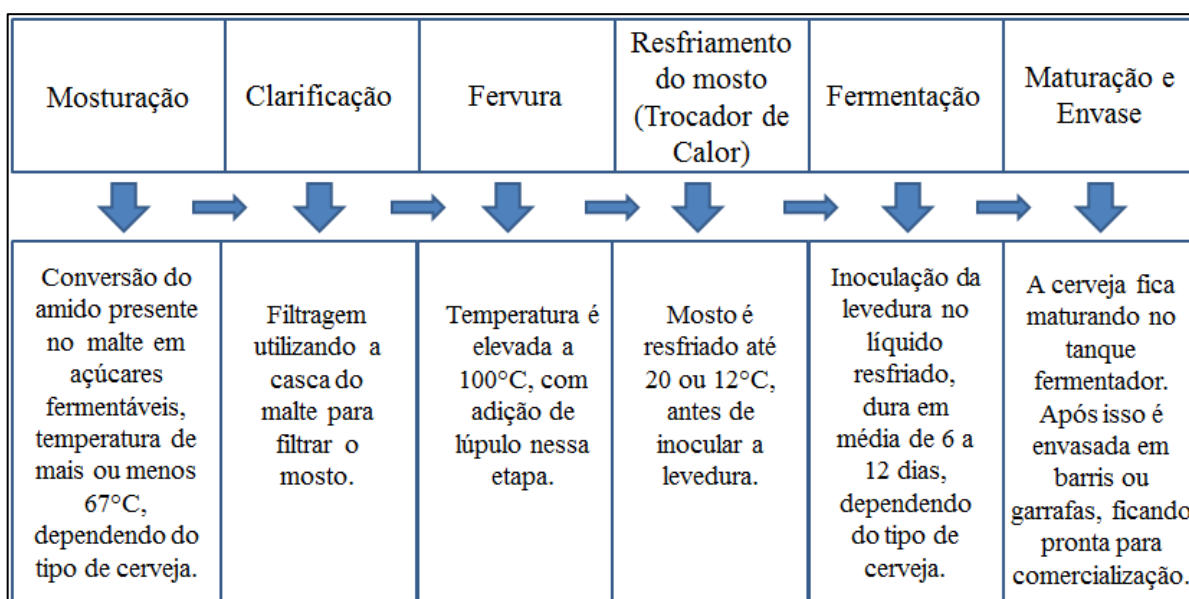
O projeto informacional apresenta as informações necessárias para o desenvolvimento do sistema de resfriamento do mosto de cerveja que utilize a água como fluido refrigerante em circuito fechado.

4.1.1 Atividade 1 – Informações sobre o produto

Processo de fabricação de cerveja na microcervejaria Mão Preta

O conhecimento do processo de fabricação de cerveja do cliente faz-se necessário em função da interferência que será realizada quando da substituição do sistema atual de resfriamento do mosto para o novo sistema projetado. A Figura 19 apresenta o processo produtivo da microcervejaria Mão Preta.

Figura 19 – Processo produtivo da microcervejaria Mão Preta.

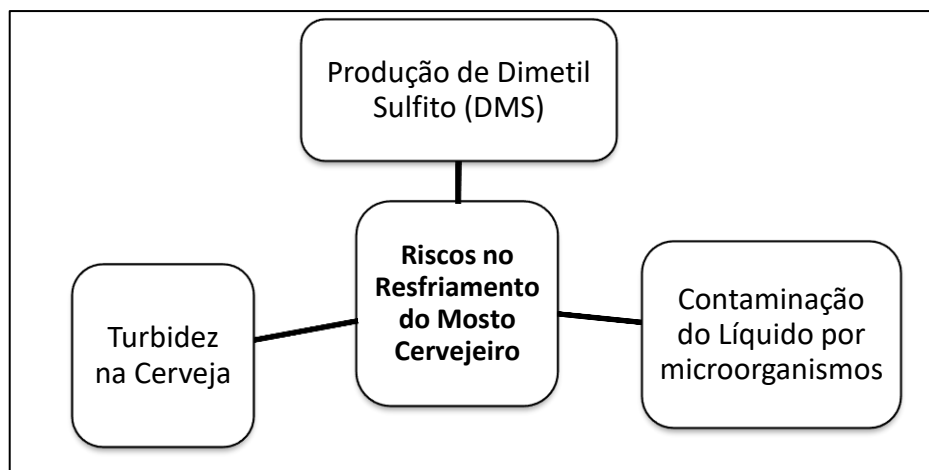


Fonte: Autor (2020).

Principais riscos envolvidos no processo de resfriamento de mosto

Os riscos envolvidos neste processo são relativos ao tempo de resfriamento do mosto, que, quando superior à uma hora causa problemas na qualidade do produto. Na Figura 20 são apresentados os riscos deste processo (DINSLAKEN, 2016).

Figura 20 – Principais riscos envolvidos no processo de resfriamento de mosto.



Fonte: Autor (2020).

Tubos utilizados na indústria alimentícia

Segundo a Losinox (2018), o aço inox 304 é o mais empregado na indústria de alimentos por sua facilidade de aquisição no comércio e por possuir dentre suas propriedades, alta resistência à corrosão, elevada capacidade de conformação e ser facilmente soldável.

Os diâmetros comerciais do aço inox 304 podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Diâmetros comerciais do aço inox 304.

Diâmetro		Espessura da parede (mm) e peso por metro (kg/m)						
Polegadas	Milímetros	0,60	0,70	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00
½"	12,70	0,1825	0,2111	0,2393	0,2941	0,3468	0,4222	0,5378
¾"	19,05	0,2782	0,3228	0,3670	0,4536	0,5383	0,6616	0,8570
1"	25,40		0,4345	0,4947	0,6132	0,7299	0,9010	1,1762
1 ¼"	31,75		-	-	0,7728	0,9214	1,1404	1,4954
1 ½"	38,10		-	-	0,9324	1,1129	1,3798	1,8146
1 ¾"	44,45		-	-	1,0920	1,3044	1,6192	2,1338
2"	50,80		-	-	1,2516	1,4959	1,8586	2,4530

Fonte: Adaptado Grupo Açotubo (2016).

Produtos similares existentes no mercado

Segundo Baxter (2003), a pesquisa de levantamento de produtos similares, ou análise dos produtos concorrentes, visa promover um maior conhecimento do que o mercado oferta para seus potenciais clientes, bem como trazer informações relacionadas ao tipo de material de fabricação, dimensão e preço de venda desses produtos. Estas informações estão apresentadas no Quadro 8.

Quadro 10 – Produtos Similares no Mercado.

Produto	Tipo	Preço	Características
	Trocador de Calor de Placas	R\$ 969,00	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Chiller</i> de 50 placas - Material Aço Inox 304 - Conexões de ¾ polegada - Conectado a uma bomba. - Marca Mestre Brew
	Trocador de calor Tubular de Contrafluxo	R\$ 780,00	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Chiller</i> tubular de 15 metros - Material Cobre - Conexões de ¾ polegada - Conectado a uma bomba - Marca Império Mangueiras
	<i>Chiller</i> de Imersão	R\$ 900,00	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Chiller</i> de imersão 30 metros - Material Cobre - Conexões de ½ polegada - Direto na Panela de Fervura - Marca Império Mangueiras

Fonte: Mercado Livre (2020).

4.2.2 Atividade 2 – Identificação das necessidades dos clientes

As necessidades relatadas pelo cliente através dos entrevistados de acordo com a metodologia desse projeto foram listadas:

- 1 - Usar a água para o resfriamento;

- 2 - Conseguir resfriar o mosto em uma única passada;
- 3 - O trocador de calor deve fazer o resfriamento do mosto no máximo em uma hora;
- 4 - Partes do trocador que sejam simples de limpar;
- 5 - O trocador de calor deve ser fácil de ligar na tina de fervura e no fermentador;
- 6 - O trocador de calor não deve ocupar muita área de produção da empresa;
- 7 - O trocador de calor deve custar pouco;
- 8 - O trocador de calor deve ser possível de fabricar em Bagé;
- 9 - Prestar atenção nas normas de saúde;
- 10 - O mosto deve ser resfriado até 12°C para cerveja tipo *Lager* e 20°C para *Ale*;
- 11 - A manutenção deve ser fácil, não necessitar de mão-de-obra especializada;
- 12 - Utilizar materiais que tenham medidas comerciais;
- 13 - Utilizar materiais que sejam facilmente encontrados no comércio;
- 14 - O trocador deve ser forte;
- 15 - O trocador deve ter baixa manutenção;
- 16 - Trocador de calor fácil de usar.

4.2.3 Atividade 3 – Requisitos do cliente

Definição dos requisitos do cliente/usuário

Para obtenção dos requisitos do cliente, as necessidades obtidas anteriormente em entrevista foram agrupadas em atributos e transformadas em requisitos no Quadro 9.

Quadro 11 – Definição dos requisitos do cliente.

(Continua)

Atributos	Necessidades do cliente	Requisitos do cliente
Projeto	- Usar a água para o resfriamento;	- Utilização de água como fluido refrigerante;
	- Conseguir resfriar o mosto em uma única passada;	- Passar o mosto somente uma vez pelo trocador;
	- O trocador de calor deve fazer o resfriamento do mosto no máximo em uma hora;	- Resfriar o mosto em uma hora;
	- O mosto deve ser resfriado até 12°C para cerveja tipo <i>Lager</i> e 20°C para <i>Ale</i> .	- Resfriar o mosto tipo <i>Lager</i> para 12°C e o mosto tipo <i>Ale</i> para 20°C.

Quadro 12 – Definição dos requisitos do cliente.

(Conclusão)

Atributos	Necessidades do cliente	Requisitos do cliente
Funcionalidade	- O trocador de calor deve ser fácil de ligar na tina de fervura e no fermentador;	- Facilidade de conexão do sistema de resfriamento aos equipamentos;
	- O trocador de calor não deve ocupar muita área de produção da empresa;	- Observar o leiaute da fábrica para instalação do sistema de resfriamento;
	- Trocador de calor fácil de usar.	- Facilidade na operação do sistema de resfriamento.
Confiabilidade e Segurança	- Prestar atenção nas normas de saúde;	- Observar as normas técnicas da saúde;
	- O trocador deve ter baixa manutenção.	- Baixas taxas de manutenção
Fabricação	- O trocador de calor deve ser possível de fabricar em Bagé.	- Facilidade de fabricação no município de Bagé.
Material	- Utilizar materiais que tenham medidas comerciais;	- Material comercialmente padronizado;
	- Utilizar materiais que sejam facilmente encontrados no comércio;	- Utilizar materiais comerciais que sejam de fácil aquisição;
	- O trocador deve ser forte.	- Material com boa durabilidade.
Manutenção e Limpeza	- Partes do trocador que sejam simples de limpar;	- Facilidade na limpeza do sistema;
	- A manutenção deve ser fácil, não necessitar de mão-de-obra especializada.	- Manutenção simples e não especializada.
Financeiro	- O trocador de calor deve custar pouco.	- O sistema deve ter custo baixo.

Fonte: Autor (2020).

4.2.4 Atividade 4 – Requisitos do projeto

Os requisitos do projeto foram estabelecidos a partir da determinação dos requisitos dos clientes, isto significa definir as características e atributos de engenharia do produto, ou seja, utilizar uma linguagem técnica dirigida ao objeto de estudo. O Quadro 10 apresenta a conversão dos requisitos do cliente em requisitos do projeto (BACK, 2008).

Quadro 13 – Requisitos do projeto.

(Continua)

Atributos	Requisitos do cliente	Requisitos do projeto
Projeto	- Utilização de água como fluido refrigerante.	- Utilizar água da rede pública de abastecimento.
	- Passar o mosto somente uma vez pelo trocador.	- Resfriar o mosto em passada única.

Quadro 14 – Requisitos do projeto.

(Conclusão)

Atributos	Requisitos do cliente	Requisitos do projeto
Projeto	- Resfriar o mosto em uma hora.	- Menor tempo de resfriamento possível.
	- Resfriar o mosto tipo <i>Lager</i> para 12°C e o mosto tipo <i>A/e</i> para 20°C.	- Resfriar o mosto tipo <i>Lager</i> para 12°C e o mosto tipo <i>A/e</i> para 20°C.
Funcionalidade	- Facilidade de conexão do sistema de resfriamento aos equipamentos.	- Utilizar conexões de acoplamento rápido no sistema.
	- Observar o leiaute da fábrica para instalação do sistema de resfriamento.	- Otimizar leiaute da fábrica na instalação do sistema de resfriamento.
	- Facilidade na operação do sistema de resfriamento.	- Sistema fácil de operar.
Confiabilidade e Segurança	- Observar as normas técnicas da saúde.	- Obedecer às normas técnicas.
	- Baixas taxas de manutenção.	- Manutenibilidade do sistema.
Fabricação	- Facilidade de fabricação no município de Bagé.	- Fabricar o sistema no município de Bagé.
Material	- Material comercialmente padronizado.	- Materiais padronizados.
	- Utilizar materiais comerciais que sejam de fácil aquisição.	- Facilidade na aquisição dos materiais.
	- Material com boa durabilidade.	- Materiais duráveis.
Manutenção e Limpeza	- Facilidade na limpeza do sistema.	- Fácil higienização.
	- Manutenção simples e não especializada.	- Manutenibilidade simples.
Financeiro	- O sistema deve ter custo baixo.	- O custo do sistema deve ser o mais baixo possível.

Fonte: Autor (2020).

4.2.5 Atividade 5 – Hierarquizar os requisitos do projeto

Para hierarquizar os requisitos do projeto, foi utilizado o Diagrama de Mudge (Apêndice A). Assim, cada letra do diagrama representa um requisito do produto conforme o Quadro 11.

Quadro 15 – Representação dos requisitos do produto no Diagrama de Mudge.

Letra	Requisito
A	Utilizar água da rede pública de abastecimento
B	Resfriar o mosto em passada única
C	Menor tempo de resfriamento possível
D	Resfriar o mosto tipo <i>Lager</i> para 12°C e o mosto tipo <i>Ale</i> para 20°C
E	Utilizar conexões de acoplamento rápido no sistema
F	Otimizar leiaute da fábrica na instalação do sistema de resfriamento
G	Sistema fácil de operar
H	Obedecer às normas técnicas
I	Mantenabilidade do sistema
J	Fabricar o sistema no município de Bagé
K	Materiais padronizados
L	Facilidade na aquisição dos materiais
M	Materiais duráveis
N	Fácil higienização
O	Manutenibilidade simples
P	O custo do sistema deve ser o mais baixo possível

Fonte: Autor (2020).

Na comparação dos requisitos, a letra que representa o requisito mais importante foi descrita na célula de convergência da matriz, acompanhada de um número usado para representar o grau de importância do requisito, conforme o Quadro 12.

Quadro 16 – Grau de importância.

Grau de importância
1 – Moderadamente mais importante
3 – Medianamente mais importante
5 – Muito mais importante

Fonte: Autor (2020).

A fim de melhor organizar o trabalho, o Diagrama de Mudge com os requisitos do projeto está no Apêndice A, enquanto a apresentação do seu resultado, de acordo com a classificação de cada requisito pode ser verificado no Quadro 13.

Quadro 17 – Hierarquia dos requisitos do projeto.

Classificação dos requisitos do projeto	
1º	Obedecer às normas técnicas.
2º	O custo do sistema deve ser o mais baixo possível.
3º	Resfriar o mosto tipo <i>Lager</i> para 12°C e o mosto tipo <i>Ale</i> para 20°C.
4º	Resfriar o mosto em passada única.
5º	Utilizar água da rede pública de abastecimento.
6º	Menor tempo de resfriamento possível.
7º	Fabricar o sistema no município de Bagé.
8º	Fácil higienização.
9º	Otimizar leiaute da fábrica na instalação do sistema de resfriamento.
10º	Sistema fácil de operar.
11º	Mantenabilidade do sistema.
12º	Manutenibilidade simples.
13º	Facilidade na aquisição dos materiais.
14º	Materiais duráveis.
15º	Materiais padronizados.
16º	Utilizar conexões de acoplamento rápido no sistema.

Fonte: Autor (2020).

4.2.6 Atividade 6 – Especificações-meta do projeto

Nessa etapa, utilizaram-se os requisitos do produto para estabelecer as metas para cada requisito que eles devem obedecer. As especificações-meta são um guia a ser seguido e atendido até a finalização do projeto na fase detalhada. Porém, é importante destacar que elas podem sofrer alterações no decorrer do projeto con-

forme forem surgindo eventuais restrições ao que foi estabelecido pela equipe de projeto. O Quadro 14 apresenta essas especificações.

Quadro 18 – Especificações-meta.

Item	Especificações do projeto	Meta	Saída Indesejável
1	Obedecer às normas técnicas	- Anvisa, portaria nº 326, de 30 de julho de 1997. - ISO 22000 - NR 12	Não obedecer às normas de saúde
2	O custo do sistema deve ser o mais baixo possível	R\$ 5000,00	Custo maior que R\$ 5000,00
3	Resfriar o mosto tipo Lager para 12°C e o mosto tipo Ale para 20°C	- Mosto Lager 12°C - Mosto Ale 20°C	Temperaturas diferentes da meta.
4	Resfriar o mosto em passada única	300 litros/hora	< 300 litros/hora
5	Utilizar água da rede pública de abastecimento	100% água rede pública	Utilizar água de outra fonte
6	Menor tempo de resfriamento possível	≤ 1 hora	≥ 1 hora
7	Fabricar o sistema no município de Bagé	Fabricar em Bagé	Fabricar em outras cidades
8	Fácil higienização	1 operador	Mais de 1 operador
9	Otimizar leiaute da fábrica na instalação do sistema de resfriamento	Leiaute otimizado	Leiaute não otimizado
10	Sistema fácil de operar	1 operador	Mais de 1 operador
11	Mantenabilidade do sistema	1 manutenção/mês	Mais de 1 manutenção/mês
12	Manutenibilidade simples	1 operador	Mais de um operador
13	Facilidade na aquisição dos materiais	Comprar em Bagé	Comprar fora de Bagé
14	Materiais duráveis	Aço Inox 304	Outros materiais
15	Materiais padronizados	Padronizado	Não Padronizado
16	Utilizar conexões de acoplamento rápido no sistema	Conexões padrão acoplamento rápido	Conexões diferentes da meta

Fonte: Autor (2020).

4.3 Projeto Conceitual

A fase conceitual tem início após a obtenção das especificações-meta do projeto e durante o seu desenvolvimento foi definida a concepção ideal para o produto em desenvolvimento, seguindo basicamente os passos do método da síntese funci-

onal. Nessa fase, o produto foi modelado funcionalmente com início na função global do produto (BACK, 2008).

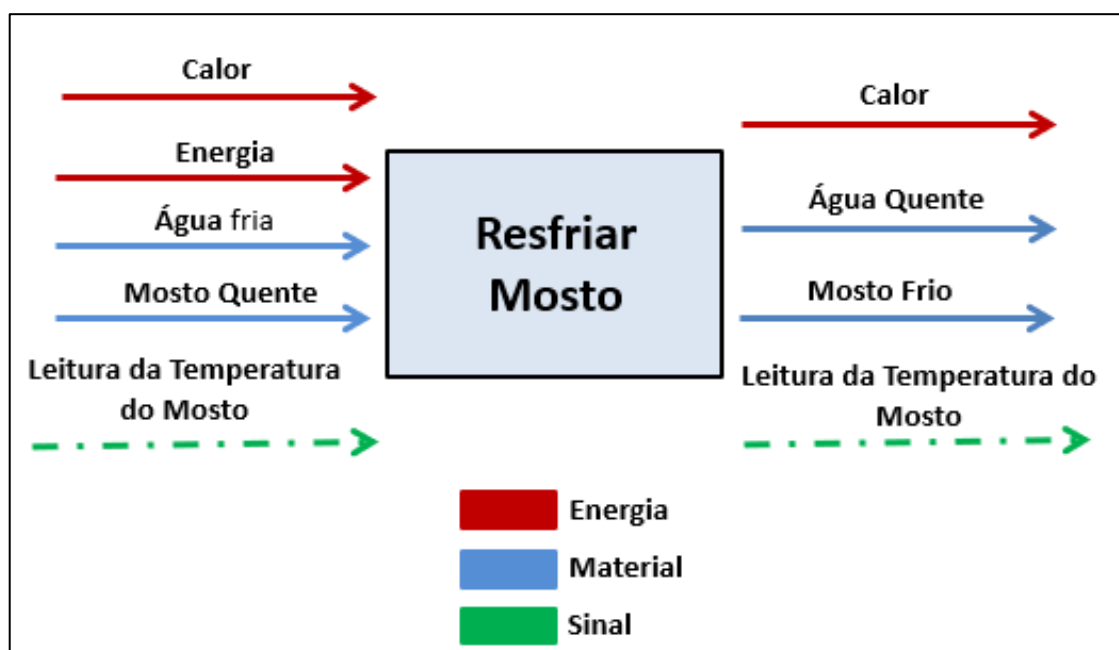
4.3.1 Atividade 1 – Estabelecer a estrutura funcional do produto

Função principal do produto

A estrutura funcional de um produto define a função principal e as funções secundárias, com a intenção de facilitar a concepção ideal que o sistema irá desempenhar. Desse modo, a função global deve expressar os relacionamentos entre as grandezas de entrada e saída do produto (BAXTER, 2003).

A função principal do sistema de resfriamento de mosto, é basicamente resfriar o mosto, tendo entradas e saídas de energia, material e sinal, descritas na Figura 20.

Figura 20 – Função Principal.



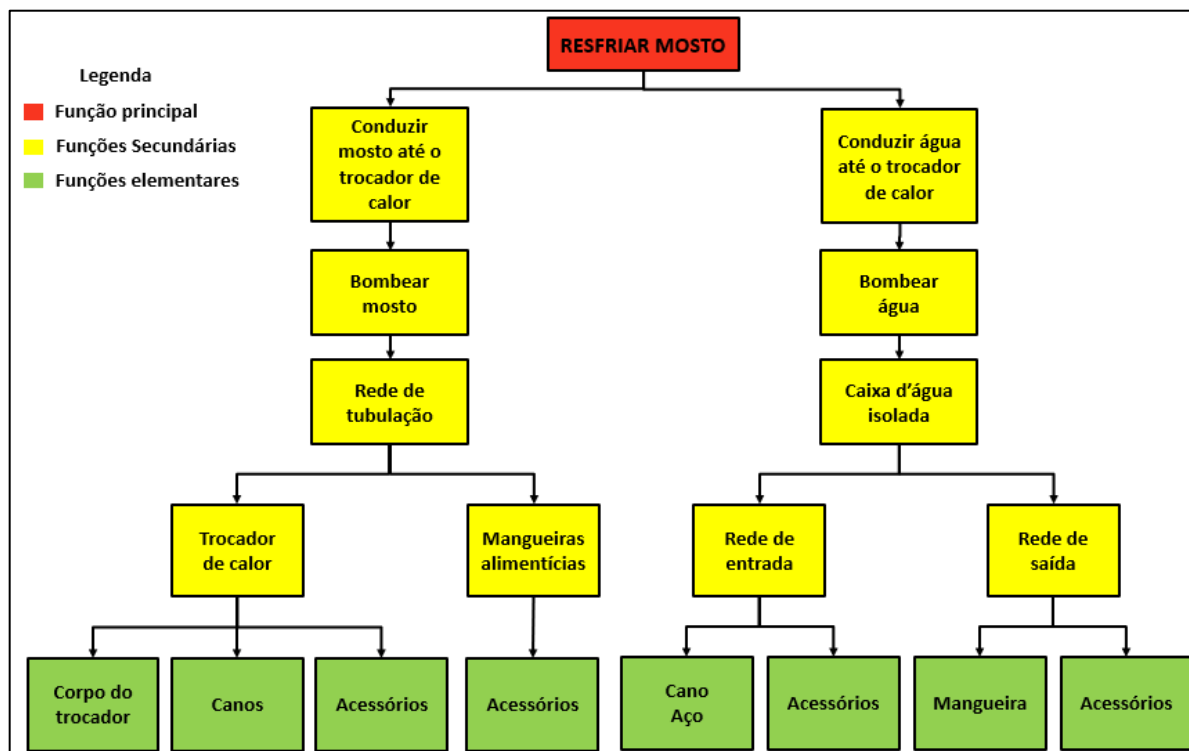
Fonte: Autor (2020).

Estrutura funcional do sistema de resfriamento

A estrutura funcional do sistema de resfriamento inicia na função principal e é desdobrada em funções secundárias e elementares, com o objetivo de facilitar a

busca por soluções. Na Figura 21 está representado o fluxograma da estrutura funcional do sistema.

Figura 21 – Estrutura funcional do sistema de resfriamento.



Fonte: Autor (2020).

4.3.2 Atividade 2 – Princípios de Solução

A cada uma das funções secundárias ou elementares da estrutura foi atribuída uma solução, através da matriz morfológica usada como ferramenta para elencar quatro possíveis soluções para cada função. Posteriormente é selecionada a melhor para a estrutura do produto, a partir dos critérios técnicos e econômicos definidos nas especificações-meta do projeto. O Quadro 15 apresenta essas opções.

Quadro 19 – Princípios de solução para as funções do produto.

(Continua)

Opções de solução				
Funções	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
Bombear mosto	Bomba Hidráulica 0,5 Hp	Bomba hidráulica 0,75 Hp	Bomba Hidráulica 1 Hp	Bomba Hidráulica 2 Hp
Mangueira alimentícia	1"	1,5"	2"	2,5"

Quadro 20 – Princípios de solução para as funções do produto.

(Conclusão)

Opções de solução				
Funções	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
Acessórios mangueira (curvas)	Curvas 45°	Curvas 90°	Joelho 45°	Joelho 90°
Corpo do trocador	Caixa de Polietileno	Caixa de Alumínio	Caixa de Aço Inox	Caixa de Fibra de Vidro
Canos (trocador de calor)	Canos PVC	Canos Galvanizados	Canos Aço Inox	Canos de Alumínio
Acessórios trocador de calor (Curva)	Curvas 45° Aço Inox	Curvas 45° Galvanizado	Curvas 90° Aço Inox	Curvas 90° Galvanizado
Acessórios trocador de calor (Redutor)	1" x 1,5"	1" x 2"	1,5" x 2"	1,5" x 2,5"
Bombear água	Bomba Hidráulica 0,5 Hp	Bomba hidráulica 0,75 Hp	Bomba Hidráulica 1 Hp	Bomba Hidráulica 2 Hp
Caixa d'água isolada	Caixa d'água de Polietileno	Caixa de Metal	Caixa d'água de Fibra de Vidro	Caixa de Concreto
Rede de entrada (canos)	Canos de Alumínio	Canos Aço Inox	Canos PVC	Canos Galvanizados
Rede de entrada (Acessórios)	Curvas 45° Galvanizado	Curvas 45° Aço Inox	Curvas 90° Galvanizado	Curvas 90° Aço Inox
Rede de saída (Mangueira)	Alimentícia 1"	Alimentícia 1,5"	PVC 1"	PVC 1,5"
Rede de saída (Acessórios)	Registro de Gaveta	Registro de Pressão	Registro de Esfera	Válvula Borboleta

Fonte: Autor (2020).

4.3.3 Atividade 3 – Seleção dos Princípios de Solução

Para a escolha da melhor opção de solução dentre as apresentadas no Quadro 15, foi avaliado as características técnicas necessárias ao sistema de resfriamento.

mento do mosto, como também observado os custos e disponibilidade de materiais no mercado. A seleção dos princípios de solução está apresentada no Quadro 16.

Quadro 21 – Seleção dos princípios de solução.

Função	Solução adotada	Justificativa
Bombear mosto	Bomba hidráulica 0,75 Hp inox	Se ajusta a potência esperada e o cliente dispõe de uma.
Mangueira alimentícia	1"	Atender norma de segurança alimentar Anvisa, portaria nº 326, de 30 de julho de 1997.
Acessórios mangueira (curvas)	Curvas 45°	Facilidade de ajuste e ampla variedade no mercado.
Corpo do trocador	Caixa de Aço Inox	Atender norma de segurança alimentar Anvisa, portaria nº 326, de 30 de julho de 1997.
Canos (trocador de calor)	Tubulação de 1,5 polegada	Permite maior fluxo de mosto.
Acessórios trocador de calor (Curva)	Curvas 45°	Facilidade de ajuste e ampla variedade no mercado.
Acessórios trocador de calor (Redutor)	1" x 1,5"	Permite ajuste adequado aos canos e disponível no mercado com ampla variedade.
Bombear água	Bomba Hidráulica 1 Hp	O fluxo de água no sistema tem que ser maior que o do mosto, possibilitando maior transferência de calor.
Caixa d'água isolada	Caixa d'água de Fibra de Vidro	Leveza do material, fácil limpeza e instalação.
Rede de entrada (canos)	Canos Galvanizados	Durabilidade do material, permite maior troca térmica e fácil aquisição no mercado
Rede de Entrada (Acessórios)	Curvas 45° Galvanizado	Facilidade de ajuste e ampla variedade no mercado.
Rede de saída (Mangueira)	Alimentícia 1"	Menor custo e maior disponibilidade no mercado.
Rede de saída (Acessórios)	Registro de Pressão	Se adapta melhor ao sistema, pois esse necessita regular o fluxo do mosto para atender os diferentes tipos de cerveja.

Fonte: Autor (2020).

4.3.4 Atividade 4 – Avaliação das soluções selecionadas

A avaliação das soluções selecionadas consiste em comparar essas soluções com as especificações meta estabelecidas no projeto informacional. Conforme podemos observar no Quadro 17, a solução selecionada foi comparada sendo definida qual a especificação atendida.

Quadro 22 – Comparação solução adotada versus especificação meta.

Função	Solução adotada	Especificações meta
Bombear mosto	Bomba hidráulica 0,75 Hp inox	Atende itens 2,3,4
Mangueira alimentícia	1"	Atende itens 1,8,13
Acessórios mangueira (curvas)	Curvas 45°	Atende itens 7,13,15
Corpo do trocador	Caixa de Aço Inox	Atende itens 1,8,14
Canos (trocador de calor)	Tubulação de 1,5 polegada	Atende itens 4,6,15
Acessórios trocador de calor (Curva)	Curvas 45°	Atende itens 7,13,15
Acessórios trocador de calor (Redutor)	1" x 1,5"	Atende itens 13,16
Bombear água	Bomba Hidráulica 1 Hp	Atende itens 2,3,4,6
Caixa d'água isolada	Caixa d'água de Fibra de Vidro	Atende itens 2,13,14
Rede de entrada (canos)	Canos Galvanizados	Atende itens 4,9,14
Rede de entrada (Acessórios)	Curvas 45° Galvanizado	Atende itens 7,13,15
Rede de saída (Mangueira)	Alimentícia 1"	Atende itens 1,8,13
Rede de saída (Acessórios)	Registro de Pressão	Atende itens 5,6,10

Fonte: Autor (2020).

4.3.5 Atividade 5 – Definir Arquitetura do Sistema de Resfriamento

O sistema de resfriamento foi composto em quatro partes principais: rede de tubulação do mosto, rede de tubulação da água, reservatório de água fria e um trocador de calor de casco e tubos.

O acionamento do sistema de resfriamento será direto no registro da entrada de mosto e de saída de água, a alimentação do reservatório de água fria utilizará mangueiras, que farão a água da rede pública de abastecimento circular na câmara fria até atingir a temperatura de 5°C.

A transferência de calor entre os líquidos, água fria e mosto quente, acontecerá com o mosto passando pela tubulação do trocador de calor e água fria percorrendo o casco do mesmo.

Para finalizar o processo os registros de entrada e saída dos líquidos devem ser fechados.

Cálculos das grandezas físicas

Para a definição da arquitetura do sistema de resfriamento primeiramente foram levantadas as propriedades do mosto quente e água fria conforme o Quadro 18.

Quadro 23 – Propriedades físicas dos fluidos quente e frio.

Propriedades Físicas			
	Mosto	Água	Unidade
Temperatura de entrada	95	5	°C
Temperatura de saída	12	-	°C
Vazão mássica	0,17	0,25	Kg / s
Calor específico	4187	4187	J / kg . k

Fonte: Autor (2020).

A partir dos dados obtidos foi possível calcular a taxa de calor trocado entre os fluidos conforme Equação 12:

$$\dot{Q}_T = C \cdot (T_{1,ent} - T_{1,sai}) \quad (12)$$

$$\dot{Q}_T = 59,08 \times 10^3 \text{ (watts ou J / s)}$$

E também foi calculada a temperatura de saída da água conforme a Equação 13:

$$T_{2,sai} = T_{2,ent} + \frac{\dot{M}_1 \cdot C_{p1}}{\dot{M}_2 \cdot C_{p2}} \cdot (T_{1,ent} - T_{1,sai}) \quad (13)$$

$$T_{2,sai} = 61,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A partir da temperatura de saída de água ($T_{2,sai}$), foi necessário calcular a diferença de temperatura média logarítmica (ΔTLM) para fluidos em contracorrente conforme Equação 14, que servirá para o cálculo da área de troca:

$$\Delta TLM, cc = \frac{(T_{1,ent} - T_{2,sai}) - (T_{1,sai} - T_{2,ent})}{\ln [(T_{1,ent} - T_{2,sai}) / (T_{1,sai} - T_{2,ent})]} \quad (14)$$

$$\Delta TLM, cc = 16,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A área de troca foi calculada a partir da Equação 15:

$$A_0 = \frac{Q_T}{U_0 \Delta TLM, cc} \quad (15)$$

$$A_0 = 4,11 \text{ m}^2$$

Onde U_0 (coeficiente global de troca de calor) baseado na área externa de um tubo, foi considerado $850 \text{ (W / m}^2 \cdot \text{K)}$, segundo a Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente global de troca de calor (U).

Combinação de fluidos	U (W / m ² . K)
Água para água	850 - 1700
Água para óleo	110 - 350
Condensador de vapor (água em tubos)	1000 - 6000
Condensador de Amônia (água em tubos)	800 - 1400
Condensador de Álcool	250 - 700
Trocador de calor de tubo com aletas (água em tubos, ar em fluxo cruzado)	25 - 50

Fonte: Adaptado Bohorquez (2014).

A partir da área de troca foi possível calcular o comprimento do trocador de calor de casco e tubos conforme Equação 16:

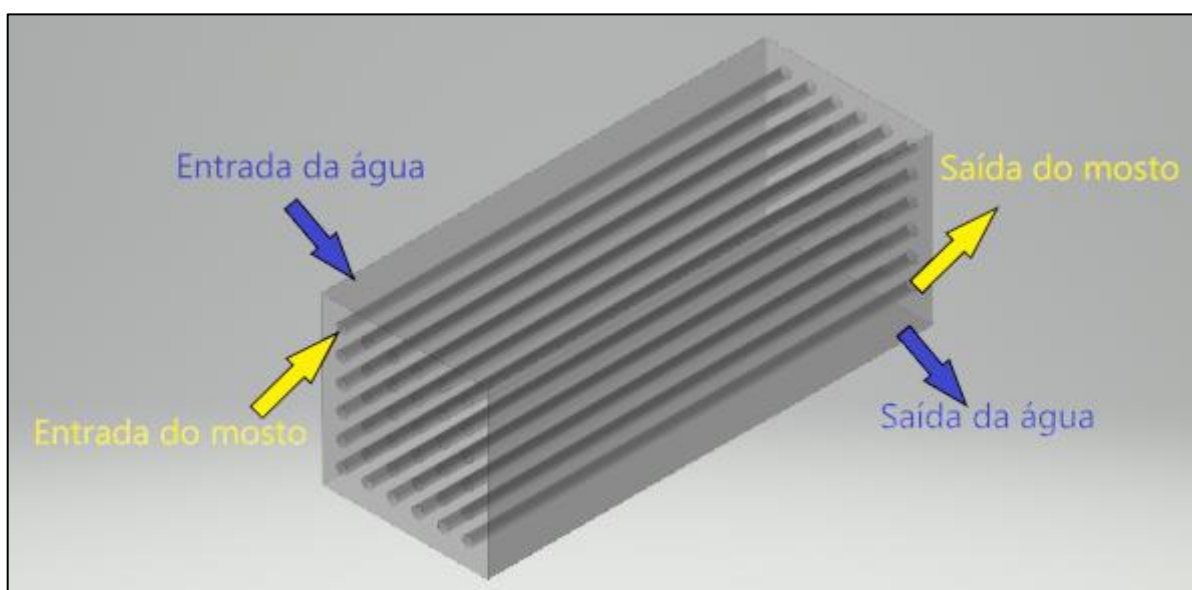
$$L = \frac{A_0}{\pi \cdot d_0 \cdot n} \quad (16)$$
$$L = 0,7 \text{ m}$$

Na qual, d_0 é o diâmetro externo de 1.1/2". Dessa forma, com a área de troca térmica e comprimento do trocador conhecidos foi possível definir a arquitetura do sistema de resfriamento, pois a partir do cálculo dessas grandezas as dimensões dos outros componentes foram calculadas.

Trocador de calor de casco e tubos

A trocador de calor será composto por um casco e tubos de aço inox 304, os tubos serão conectados pela junção das curvas de 45°, assegurando que o mosto percorra toda área de troca térmica desde a conexão de entrada até a conexão de saída, a Figura 22 ilustra de forma simplificada a configuração do trocador.

Figura 22 – Trocador de calor casco e tubos.

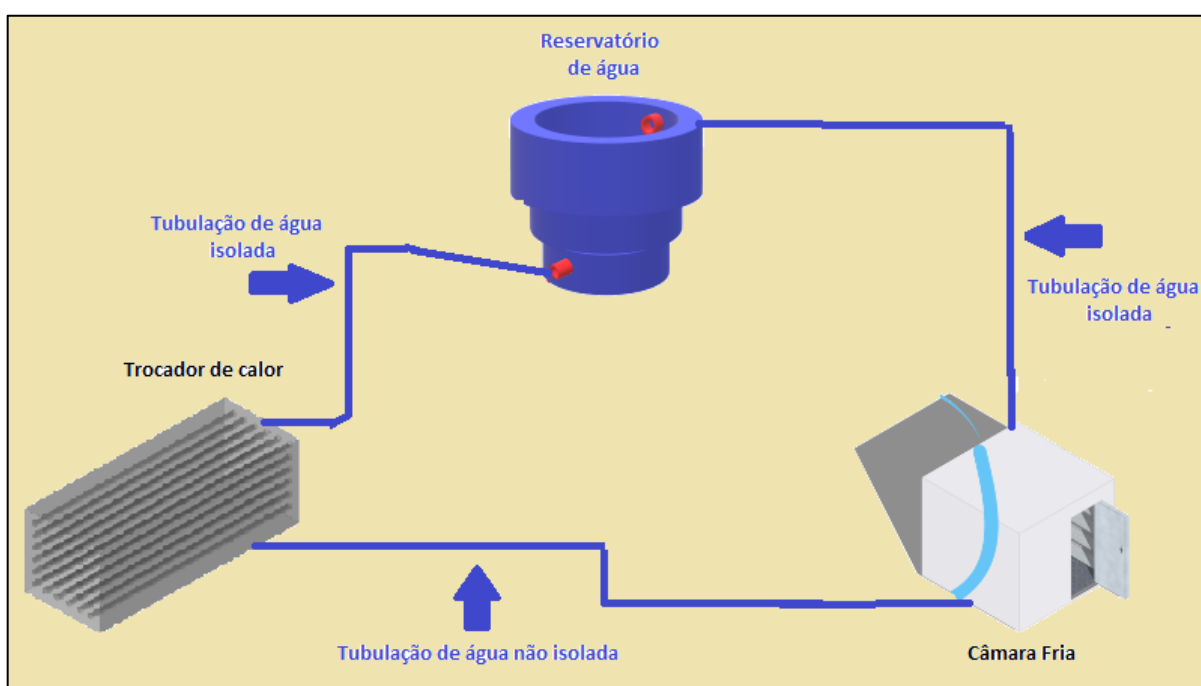


Fonte: Autor (2020).

Tubulação de água

A tubulação de água se dividirá em duas, a tubulação de entrada e saída do reservatório de água fria e a tubulação de entrada e saída do trocador de calor. A tubulação de saída do tanque de água a 5°C será galvanizada e isolada por lã de vidro, de modo a manter a temperatura para trocar calor com o mosto quente. A tubulação de saída do trocador será galvanizada, porém sem isolamento, pois ao chegar a câmara fria deverá trocar calor com o ambiente e esfriar até 5°C novamente. A Figura 23 demonstra de forma simplificada a rede de tubulação da água.

Figura 23 – Rede de tubulação da água no sistema.

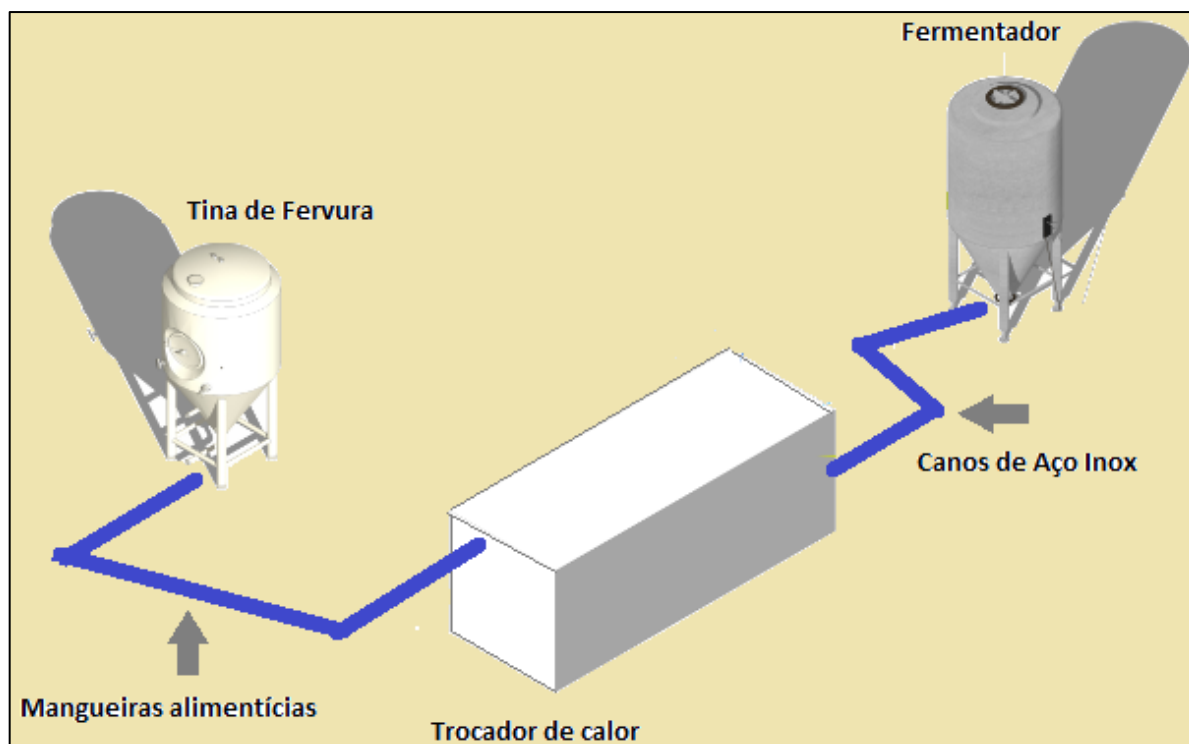


Fonte: Autor (2020).

Tubulação de mosto

A tubulação do mosto contempla a saída do mosto na panela de fervura, entrada no trocador de calor, saída trocador a 12 ou 20°C até o fermentador da microcervejaria. A Figura 24 demonstra de forma simplificada a rede de tubulação de mosto.

Figura 24 – Tubulação de mosto.

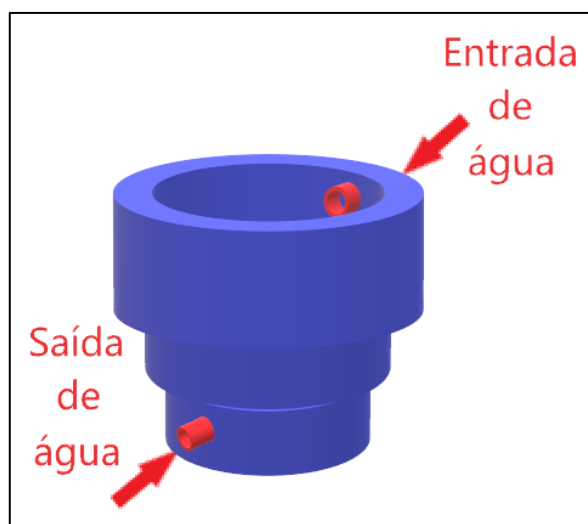


Fonte: Autor (2020).

Reservatório de água

O reservatório de água será de fibra de vidro e isolado com lã de vidro, com conexões de entrada para água que vem da câmara fria, e saída que leva até o trocador de calor. A Figura 25 ilustra de forma simplificada esse reservatório.

Figura 25 – Reservatório de água.



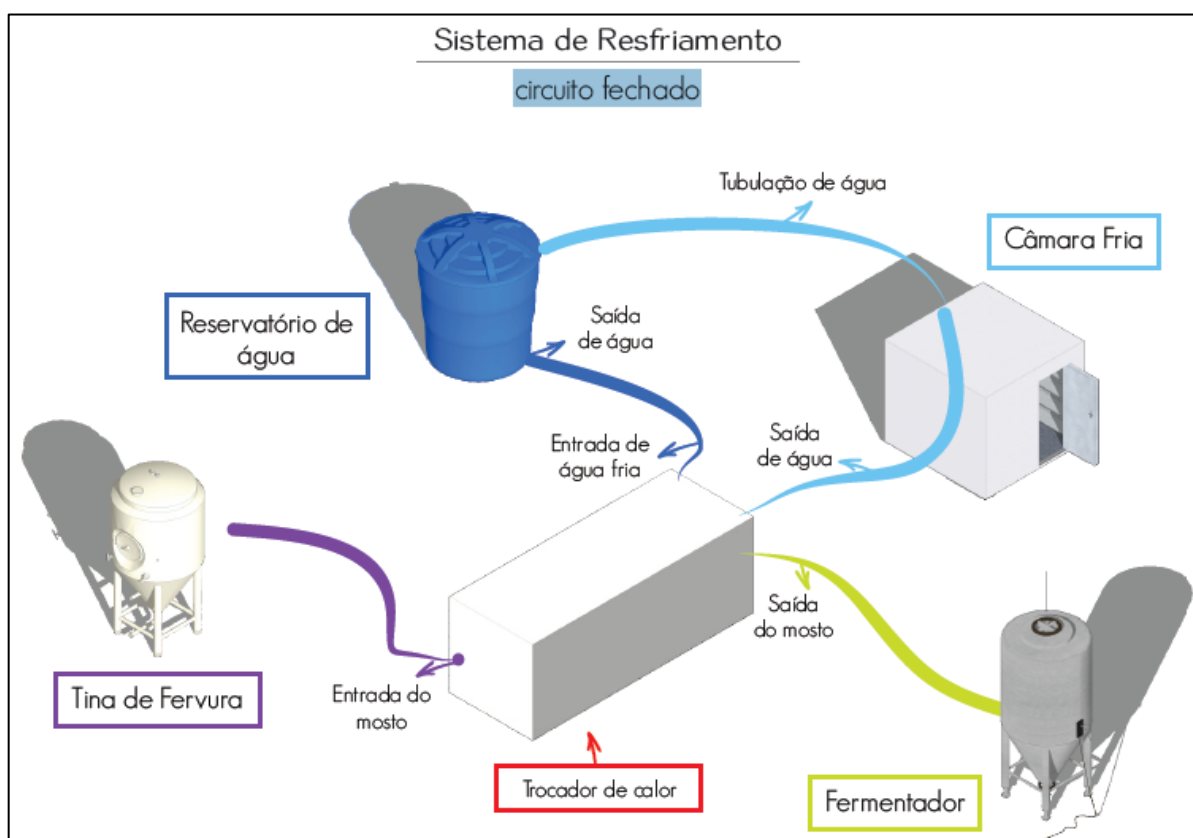
Fonte: Autor (2020).

4.4 Projeto Detalhado

4.4.1 Atividade 1 – Leiaute preliminar do Sistema de Resfriamento

O layout preliminar do sistema de resfriamento está demonstrado na Figura 26.

Figura 26 – Layout preliminar do sistema de resfriamento.



Fonte: Autor (2020).

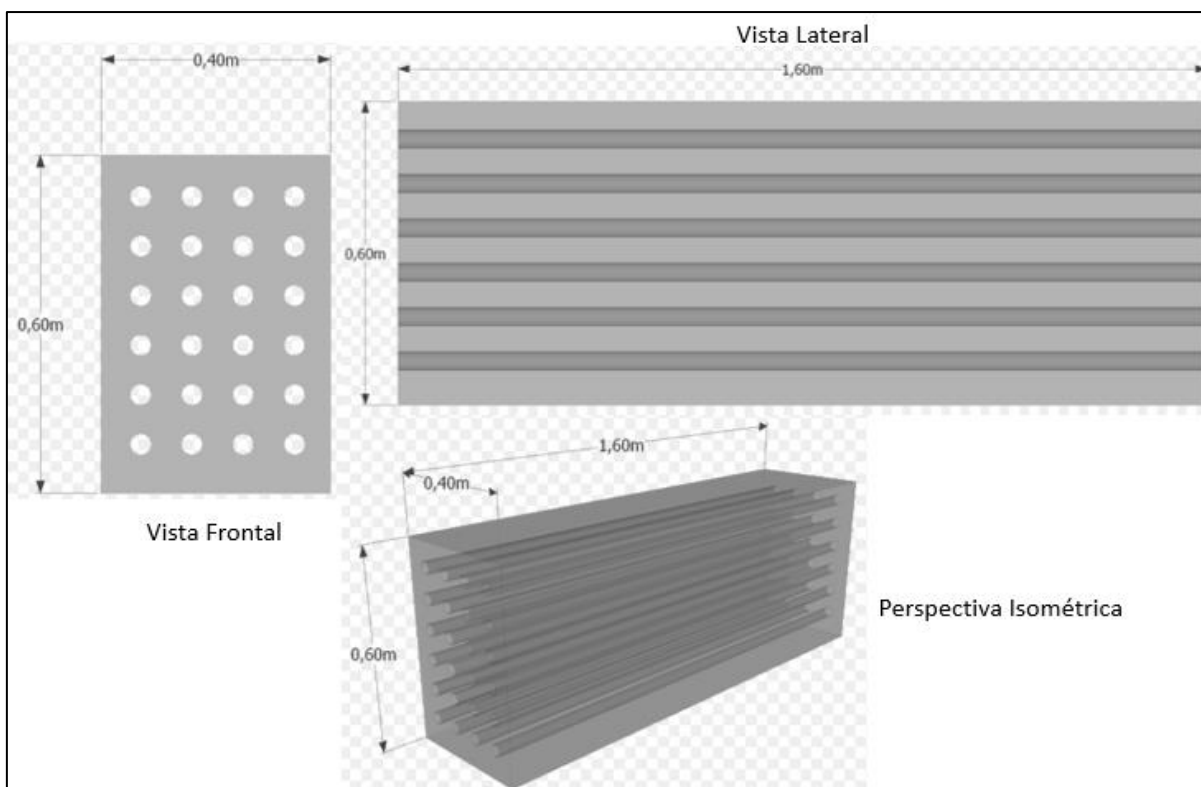
4.4.2 Atividade 2 – Finalizar e detalhar o leiaute do produto

Nessa etapa o leiaute foi dimensionado, com os respectivos volumes e metragem dos componentes do sistema.

Trocador de calor

A Figura 27 ilustra as dimensões do trocador de calor.

Figura 27 – Dimensões do trocador de calor.



Fonte: Autor (2020).

Os dados do trocador de calor podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados do trocador de calor.

Dados	Valor	Unidade
Altura	0,6	Metros
Comprimento	1,6	Metros
Largura	0,4	Metros
Número de Tubos	24	Tubos
Número de curvas	23	Curvas
Diâmetro dos tubos	0,0381	Metros
Tamanho dos tubos	1,5	Metros
Volume trocador	0,384	Metro cúbico
Preço estimado dos Tubos	110	Reais
Preço estimado das curvas 90°	580	Reais
Preço estimado do trocador	1000	Reais

Fonte: Autor (2020).

Reservatório de água

A Figura 28 ilustra o reservatório de água.

Figura 28 – Reservatório de água de fibra de vidro.



Fonte: Grupo Toca Obra (2019).

Os dados do reservatório de água podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados do Reservatório de Água.

Dados	Valor	Unidade
Altura	0,941	Metros
Comprimento	1,44	Metros
Largura	1,44	Metros
Volume	1000	Litros
Peso	17,2	Quilogramas
Preço estimado	400	Reais

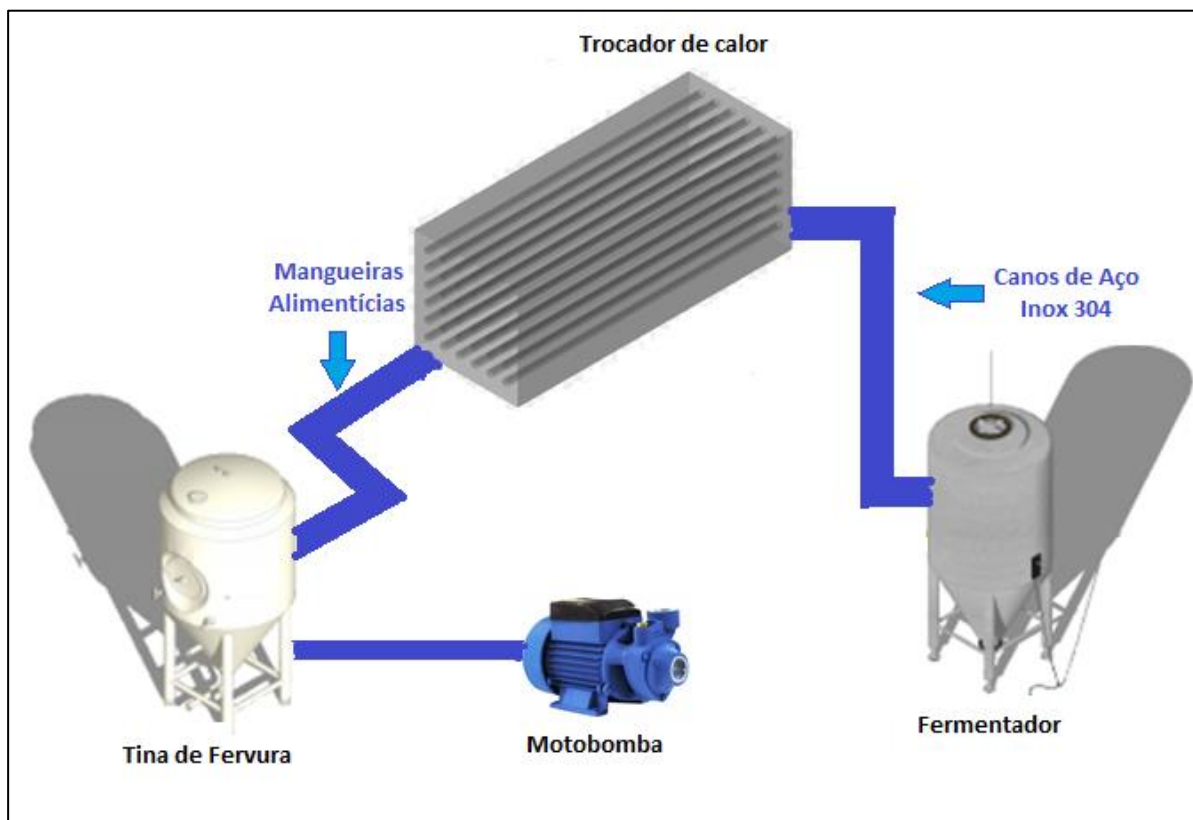
Fonte: Autor (2020).

Rede Tubulação do mosto

A rede de tubulação do mosto compreende as mangueiras alimentícias que saem da tina de fervura até o trocador de calor, e os canos em inox 304 que saem do trocador até o fermentador. O equipamento que fornecerá a vazão necessária

para a tubulação de mosto percorrer o sistema é uma motobomba hidráulica existente na microcervejaria. A Figura 29 demonstra a rede de tubulação do mosto.

Figura 29 – Esquema da tubulação de mosto.



Fonte: Autor (2020).

Os dados da rede de tubulação de mosto estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados da rede de tubulação de mosto.

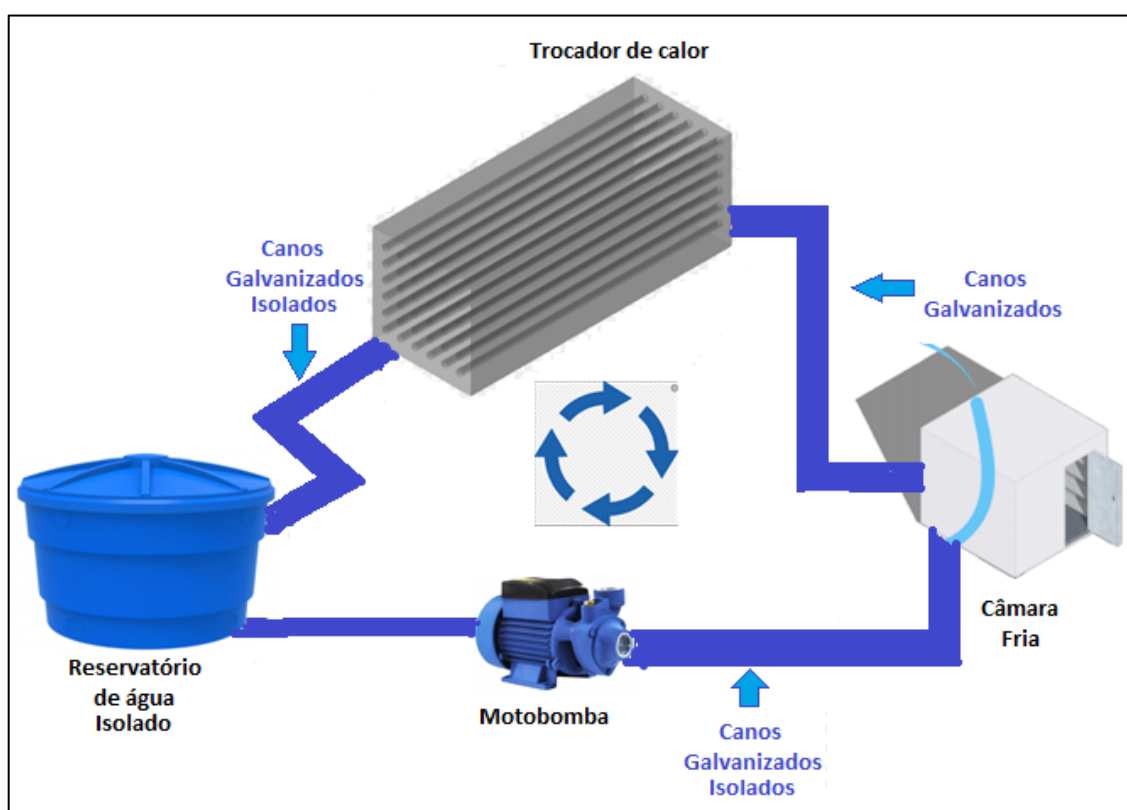
Componentes	Dimensão	Valor de mercado
Mangueira Alimentícia	1 metro 1.1/2"	R\$ 30,00
Motobomba Hidráulica	0,75 Hp	R\$ 320,00
Canos de inox 304	1 metro	R\$ 120,00

Fonte: Autor (2020).

Rede de Tubulação da água

A rede de tubulação da água compreende as mangueiras alimentícias que saem do reservatório até o trocador de calor e os canos galvanizados que percorrem a câmara fria. A motobomba hidráulica é a responsável por manter a vazão de água necessária para o funcionamento do sistema. A rede de tubulação de água está ilustrada na Figura 30.

Figura 30 – Rede de tubulação de água.



Fonte: Autor (2020).

Os dados da rede de tubulação de água estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados da rede de tubulação de água.

Componentes	Dimensão	Valor de mercado
Motobomba Hidráulica	1 Hp	R\$ 400,00
Canos Galvanizados	15 metros	R\$ 375,00
Isolante Térmico	5 m	R\$ 25,00

Fonte: Autor (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta do presente trabalho foi desenvolver um projeto de resfriamento de mosto de cerveja de forma simples e não muito onerosa, pois a empresa em estudo trata-se de uma microcervejaria restrita a execução de projetos que possam ser desenvolvidos na cidade ou região. Logo, a pesquisa apontou três requisitos como prioritários, usar água da rede pública de abastecimento, utilizar melhor os recursos e leiaute da empresa e gerar um ganho de eficiência resfriando o mosto de cerveja em apenas uma passada pelo trocador.

Quanto a utilização água da rede pública de abastecimento na troca de calor entre os líquidos, o trabalho apontou que para o sistema ser eficiente em relação a capacidade de produção da empresa, essa deveria utilizar da sua câmara fria. A rede de abastecimento de água fria no sistema não se mostrou complexa, uma vez que a canalização é comumente comercializada. Em relação ao reservatório de água, o projeto definiu metas a serem cumpridas, dentre essas havia uma restrição do custo do sistema, por isso esse reservatório também foi escolhido conforme o melhor custo-benefício que o comércio oferecia.

Em relação ao aproveitamento dos recursos existentes na empresa, bem como o estabelecimento de dimensões que se adequassem ao chão de fábrica da mesma, o projeto atendeu ao que se propôs, pois aprimorou o uso da câmara fria da microcervejaria, antes pouco utilizado. No desenvolvimento do projeto, a câmara fria da cervejaria obteve papel importante na produção da cerveja, pois se tornou um dos elementos principais do sistema de resfriamento.

No que se refere a projetar um sistema que obtivesse mosto resfriado em passagem única e na temperatura adequada para iniciar a fermentação, o trabalho apresentou dificuldades, pois o trocador de calor utilizado pela empresa não suportava o volume de produção. Consequentemente, um trocador de calor teve que ser projetado, todavia o dimensionamento desse novo trocador mostrou-se muito complexo, envolvendo muitas variáveis e considerações que estão além do conhecimento de um discente. Dessa maneira, a solução encontrada foi procurar ajuda externa em companhias privadas e fora do ambiente universitário.

O cenário que o mundo vive hoje, de uma pandemia, também dificultou a coleta de informações e busca por soluções. Dentro dos recursos disponíveis para es-

sa pesquisa, concluo que o presente trabalho foi muito proveitoso, sabendo que obtive todos parâmetros mensuráveis para sua execução.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Daniel Capaldo *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERVEJA ARTESANAL. **Brasil fecha 2018 com 889 cervejarias, 210 a mais do que em 2017.** Disponível em: <https://abracerva.com.br/2019/02/04/brasil-fecha-2018-com-889-cervejarias-210-a-mais-do-que-em-2017/>. Acesso em: 28 Abril de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERVEJA ARTESANAL. **Estatuto Associação Brasileira de Microcervejarias – ABRACERVA.** Disponível em: <http://abracerva.com.br/sobre/estatuto/>. Acesso em: 25 Maio de 2019.

BACK, Nelson *et al.* **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem.** Barueri, São Paulo: Manole, 2008. 648 p.

BAMFORTH, C. **Vinhos versus Cervejas: uma comparação histórica, tecnológica e social / Charles Bamforth; tradução Lenita Esteves.** São Paulo: Editora Senac. Volume único, 2011.

BARROSA, Marcelo Rosário da. **Princípios fundamentais da transferência de calor.** 2004. Dept. de Engenharia Naval e Oceânica. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/p/jesse.rebello/termo/Trabalho_Transcal.pdf. Acesso em: 3 nov. 2019.

BASINOX INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Cervejaria: tanque fermentador.** 2017. Disponível em: <http://basinox.com.br/produto/fermentador-500-1000-2000l>. Acesso em: 06 nov. 2020.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos.** Mike Baxter: Tradução Itiro Iida. 2^o Edição. São Paulo: Blucher, 2003.

BERBERT, Susana. **Conheça a produção de lúpulo brasileiro**. 2017. Revista Globo Rural. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/02/conheca-producao-de-lupulo-brasileiro.html>. Acesso em: 15 Jun. 2019.

BERMO SERVIÇOS. **Produtos: Trocadores de calor a placas**. 2019. Disponível em: <http://www.bermo.com.br/produto/trocadores-de-calor-placas-sistemas-troca-termica/>. Acesso em: 04 de maio de 2019.

BOHORQUEZ, Washington Orlando Irrazabal. **Aula 23: trocadores de calor**. Juiz de Fora/MG: UFJF, 2014. 26 slides, color. Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica. Disponível em: https://www.ufjf.br/washington_irrazabal/files/2014/05/Aula-23_Trocadores-de-Calor.pdf. Acesso em: 27 out. 2020.

BORTOLI, Daiane A. da S. *et al.* **Leveduras e produção de cervejas- Revisão**. Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN: 2236-9171), v. 3, n. 1, p. 45-58, 2013.

BRAGA FILHO, W. **Fenômenos de transporte para engenharia**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

BRASIL. Governo do Brasil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto nº 9902, de 8 de julho de 2019**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9902.htm#art2. Acesso em: 08 jun. 2020.

BREJAS. **Cervejas Especiais**: entenda o que é uma cerveja especial. 2020. Disponível em: <https://www.brejas.com.br/cervejas-especiais.shtml>. Acesso em: 06 nov. 2020.

CAFÉ PASA. **Blondine uma loira de respeito**: Conhecendo Santos e o mundo. 2013. Disponível em: <http://cafepasa.blogspot.com/2013/03/blondine-uma-loira-de-respeito.html>. Acesso em: 15 jun. 2019.

CAUCHICK, P.A.M. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

CERVEJA, Alquimia da. **Matéria prima: Malte em grãos**. 2019. Disponível em: https://www.alquimiadacerveja.com.br/malte_em_graos>. Acesso em: 6 maio 2019.

CERVEJA ARTESANAL. **Malte Cara Blond: malte castle**. 2018. Disponível em: <https://www.cervejaartesanal.com.br/malte-cara-blond-castle-1kg>. Acesso em: 06 nov. 2020.

CERVIERI JÚNIOR, Osmar. **Panoramas setoriais 2030: bebidas**. Rio de Janeiro : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. p. 69-78. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14256/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Bebidas_P.pdf. Acesso em: 05 maio 2019.

COMPONETES, Japa. **Produtos: Cervejarias**. Japa componentes. Disponível em: <http://www.japacomponentes.com.br/produtos.html>. Acesso em: 23 abr. 2019.

DINSLAKEN, Daniel. **Brassagem: como resfriar o mosto mais rápido**. Como resfriar o mosto mais rápido. 2016. Concerveja. Disponível em: <https://concerveja.com.br/resfriar-mosto/>. Acesso em: 21 set. 2020.

DINSLAKEN, Daniel. **Teste do iodo: como, quando e qual a importância?** 2016. Concerveja. Disponível em: <https://concerveja.com.br/teste-iodo/>. Acesso em: 06 nov. 2019.

EMMEL, Werner. **Lei da Pureza – ReinheitsGebot 1516**. 2019. Disponível em: <https://www.comofazercerveja.com.br/lei-da-pureza>. WE consultoria, acesso em: 15 de abr. 2019.

GANGHIS, Diógenes. **Trocadores de Calor**. 2016. Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET/BA. Coordenação de Processos Industriais. Apostila. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/19714522/apostila-de-trocadores-de-calor-cefet-ba-prof-diogenes-ganghis>. Acesso em: 06 nov. 2019.

GERHARDT, Fernando Sidnei. **Desenvolvimento de um trocador de calor desmontável para o resfriamento do mosto de cerveja artesanal**. 2017. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/1670>. Acesso em: 25 abr. 2019.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica. Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS, 2009. 120 páginas.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GRUPO AÇOTUBO. **Linha de produtos: Aços inoxidáveis**. 2016. Catálogo online. Pdf. Disponível em: https://www.acotubo.com.br/wp-content/uploads/2016/08/ACO_005_Catalogos_Acotubo2016_OnLine_04_Inox.pdf. Acesso em: 21 set. 2020.

GRUPO TOCA OBRA. **Caixa d'Água**. 2019. Disponível em: https://www.tocaobra.com.br/p/6518493/caixa-dagua-1000l-tigre-100017471-unitario?gclid=CjwKCAiA5IL-BRAzEiwA0lcWYiQfRHNessWgsc6-C3aJB8YdMP17iV8wptOfEDka9CFm_0Vsngyl3xoCX6gQAvD_BwE. Acesso em: 27 out. 2020.

GUT, Jorge Andrey Wilhelms. **Configurações ótimas para trocadores de calor a placas**. 2003. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título Doutor em Engenharia. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-22102003-093322/pt-br.php>. Acesso em: 07 abr. 2019.

HANSEN, Michel. **Maltagem: Desvendando o whisky**. 2014. Disponível em: <http://desvendandowhisky.blogspot.com/2014/07/maltagem.html>. Acesso em: 10 maio 2019.

INCROPERA, Frank P. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e massa.** Tradução e revisão técnica Eduardo Mach Queiroz, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JAPA COMPONENTES. **Cervejarias:** brassagem. 2019. Disponível em: <http://www.japacomponentes.com.br/cervejarias.html#brassagem>. Acesso em: 06 nov. 2020.

KOMAR, Ana Paula. **Você sabe como surgiu a cerveja artesanal no Brasil?** 2019. Clube do malte, cervejarias e curiosidades. Disponível em: <https://blog.clubedomalte.com.br/cervejarias/cerveja-artesanal-no-brasil/>. Acesso em: 19 abr. 2019.

LOSINOX. **Aço inox é muito usado na indústria alimentícia: saiba por quê.** 2018. Blog. Disponível em: <http://blog.losinox.com.br/2018/08/21/aco-inox-e-muito-usado-na-industria-alimenticia/>. Acesso em: 21 set. 2020.

MERCADO LIVRE (Brasil). **Chiller contra-fluxo de cobre 3/4 (15mts).** 2020. Site de compras online. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1064648963-chiller-contra-fluxo-cobre-34-15mts-mang-1-pol-cerveja-_JM. Acesso em: 22 set. 2020.

MERCADO LIVRE (Brasil). **Chiller Longo Alta Produção: trocador de calor de 50 placas inox.** 2020. Site de compras online. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1121420837-chiller-longo-alta-produco-50-placas-inox-trocador-de-calor-_JM#position=3&type=item&tracking_id=22ebd495-4ba8-48b2-8ee0-982656007e5c. Acesso em: 22 set. 2020.

MERCADO LIVRE (Brasil). **Resfriador de imersão 30 metros: Cerveja artesanal.** 2020. Site de compras online. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1260687831-resfriador-imerso-tubo-chiller-cerveja-artesanal-30mts-_JM#reco_item_pos=1&reco_backend=machinalis-seller-items-pdp&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-

above&reco_id=229a555b-a9d2-49ea-8b0a-e788db79e308. Acesso em: 22 set. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **A cerveja no Brasil**. 2018. Governo Federal. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/a-cerveja-no-brasil>. Acesso em: 06 nov. 2020.

MUNDO MECÂNICO. **Trocadores de calor**. 2014. Disponível em: <<https://www.mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2014/01/Trocadores-de-calor.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

OLIVEIRA, P.J. **Transmissão de Calor: Radiação**. 2014. Departamento de Engenharia Electromecânica, UBI. Disponível em: <http://webx.ubi.pt/~pjpo/TransCal8.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2019.

PALMER, J.J. **How to Brew / Como fazer cerveja**. 3. Ed. *Brewers Publication*, 2006. Disponível em: <https://oficinaeficio.files.wordpress.com/2014/11/how-to-brew-john-palmer-traduc3a7c3a3o-do-livro.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2019.

PINTO, Mariana Barreto Carvalho *et al.* **Isomerização de ácidos amargos de lúpulo cascade cultivado no Brasil e seu desempenho durante a fermentação da cerveja**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/331335/1/Pinto_MarianaBarretoCarvalho_M.pdf. Acesso em: 06 nov. 2020.

REBELLO, Flávia de Floriani Pozza. Produção de cerveja. **Revista Agrogeoambiental**, Inconfidentes/MG, v. 1, p. 145-155, 2009. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/224>. Acesso em: 08 dez. 2020.

REIS, Ângelo Vieira dos. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. Orientador: Fernando Antônio For-

cellini. 2003. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC_ff5c66bc05a1e643e5f7a0da43b70211. Acesso em: 11 jun. 2019.

ROCHA, Lucas Franco da. **A INTERNACIONALIZAÇÃO DA AMBEV**: um estudo de caso sobre a inserção da ambev no mercado internacional. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/184948/Monografia%20do%20Lucas%20Franco%20da%20Rocha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 06 nov. 2020.

RODRIGUES, Eli. **Técnicas e ferramentas para Coleta de Requisitos**. 2016. Blog. Disponível em: <https://www.elirodrigues.com/2016/05/09/tecnicas-e-ferramentas-para-coleta-de-requisitos/>. Acesso em: 22 set. 2020.

ROSA, Natasha Aguiar; AFONSO, Júlio Carlos. A Química da Cerveja. **Química Nova na Escola**, [S.L.], v. 37, n. 2, p. 98-105, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150030>. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_2/05-QS-155-12.pdf. Acesso em: 08 dez. 2020.

ROSENTHAL, Rodolfo. **Leveduras cervejeiras**: as verdadeiras “mestras cervejeiras”. 2018. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/cervejas-caseiras/guia-basico/leveduras/>. Acesso em: 12 mar. 2020.

ROSSONI, M.A. **Desenvolvimento de cerveja artesanal do estilo kölsch utilizando pinhão como adjunto: análises físico-químicas e sensorial**. 2017. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/513>. Acesso em: 26 abr. 2019.

RUIZ, J.A. **Metodologia científica: guia para eficiência nos estudos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SANTOS, Cesar dos. **Metodologia de projeto de produto**. 2001. 29 páginas. Apostila (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Baseada na Tese de Doutorado de Ângelo dos Reis (2000), Faculdade Horizontina. Horizontina, RS. 2001. Cap. 1.

SANTOS, M.S. dos; RIBEIRO, F. de M. **Cervejas e Refrigerantes**. 99. ed. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 05 abr. 2019.

SANTOS, S. de P. **Os primórdios da cerveja no Brasil**. 2. ed. Cotia: Ateliê Editorial, 2004.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA. **História da Cerveja**. 2020. Disponível em: <https://www.sindicerv.com.br/historia-da-cerveja/>. Acesso em: 06 nov. 2020.

STONNER, Rodolfo. **Gerenciamento de projetos: o método de mudge**. 2014. Blog. Disponível em: <https://blogtek.com.br/metodo-mudge/>. Acesso em: 06 nov. 2020.

VENTURINI FILHO, W.G. **Bebidas alcólicas: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2010, volume 1.

ZAGO, Patrick. **Estudo de um trocador de calor para produção artesanal de cerveja**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/4323>. Acesso em: 28 maio de 2019.

Apêndice A – Diagrama de Mudge

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Total	Resultado
A	B1	A1	D1	A5	A3	A3	H1	A3	A1	A5	A3	A3	A1	A3	A1	32	4°
	B	B1	D1	B5	B3	B3	H1	B3	B1	B5	B3	B3	B1	B5	B1	34	3°
		C	D1	C5	C1	C3	H1	C3	C1	C5	C3	C3	C1	C3	C1	29	5°
			D	D5	D3	D3	H1	D3	D1	D5	D5	D3	D1	D3	P1	36	2°
				E	F3	G3	H5	I3	J5	K1	L1	M1	N5	O3	P5	0	16°
					F	F1	H3	F1	J1	F3	F1	F3	N1	F1	P1	13	9°
						G	H3	G1	J1	G3	G1	G1	N1	G1	P1	10	10°
							H	H3	H3	H5	H5	H5	H3	H3	H1	43	1°
								I	J1	I3	I1	I1	N1	I1	P1	9	11°
									J	J5	J3	J3	J1	J3	P1	23	6°
										K	L1	M1	N5	O3	P3	1	15°
											L	L1	N3	O1	P1	3	13°
												M	N3	O1	P3	2	14°
													N	N3	P1	22	7°
														O	P3	8	12°
															P	21	8°

Fonte: Autor(2020).

Anexo A – Normas da Anvisa

Disponível

em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs1/1997/prt0326_30_07_1997.html.

Anexo B – Norma NR 15

Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.htm>.