



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**MARCOS MODOLON CORRÊA**

**DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CALOR REQUERIDA NOS PROCESSOS  
DE BRASSAGEM E FERVURA DE UMA MICROCERVEJARIA**

**Tubarão, SC**

**2017**



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**MARCOS MODOLON CORRÊA**

**DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CALOR REQUERIDA NOS PROCESSOS  
DE BRASSAGEM E FERVURA DE UMA MICROCERVEJARIA**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Prof. Marcos Marcelino Mazzucco Dr. (Orientador)

Tubarão, SC

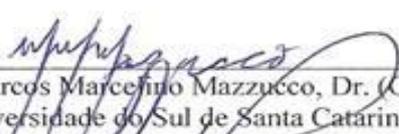
2017

MARCOS MODOLON CORRÊA

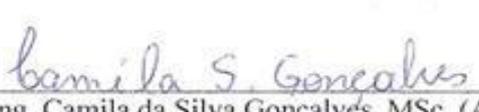
**DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CALOR REQUERIDA NOS  
PROCESSOS DE BRASSAGEM E FERVURA DE UMA MICROCERVEJARIA**

Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 29 de novembro de 2017.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Eng. Marcos Marcefino Mazzucco, Dr. (Orientador)  
Universidade do Sul de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Eng. Vladilen dos Santos Villar, Dr. (Avaliador)  
Universidade do Sul de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Eng. Camila da Silva Gonçalves, MSc. (Avaliadora)  
Universidade do Sul de Santa Catarina



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, irmãos, minha namorada, e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao professor Marcos Marcelino Mazzucco, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Ao professor Diogo Quirino Buss, pela oportunidade de realizar o estágio em sua empresa, e pelo seu empenho em ajudar.

Ao curso de Engenharia Química da Unisul, e seus docentes, pela oportunidade, e pelo aprendizado durante os anos de graduação.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelo incentivo e pelo apoio constantes.

Enfim, a todos que fizeram este momento possível.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar de novo com mais inteligência.” (Henry Ford).

## RESUMO

A cerveja é uma das bebidas mais consumidas em todo o planeta. Em seu processo de fabricação é utilizado em muitas etapas certa quantidade de calor, sendo assim as cervejarias devem realizar um balanço de massa e energia para se ter controle do processo. Este trabalho teve como objetivo calcular e analisar a quantidade de calor requerido nos processos de brassagem e fervura de uma microcervejaria, comparando tanques com e sem isolantes, determinou-se a temperatura de saída da água em um trocador de calor, e também realizou-se o balanço de massa para o processo de envase. Para a realização dos cálculos de resistência dos tanques utilizou-se o a equação da resistência das paredes por condução e convecção. Nos cálculos de aquecimento do mosto e quantidade de calor retido no utilizou-se a equação do calor sensível. Após os cálculos serem realizados percebeu-se a importância da dos isolantes em tanques industriais, do trocador de calor no processo cervejeiro, e da calibração dos equipamentos de envase.

Palavras-chave: Cerveja. Microcervejaria. Calor. Balanço de massa.

## **ABSTRACT, RÉSUMÉ OU RESUMEN**

Beer is one of the most consumed beverages on the planet. In its manufacturing process is used in many stages a certain amount of heat, so the breweries must perform a balance of mass and energy to have control of the process. The objective of this work was to calculate and analyze the amount of heat required in the brazing and boiling processes of a microbrewery, comparing tanks with and without insulators, determining the outlet temperature of a heat exchanger, and the mass balance for the packaging process. For the realization of the resistance calculations of the tanks the equation of the resistance of the walls by conduction and convection was used. In the heating calculations of the must and the amount of heat retained the sensible heat equation was used. After the calculations were performed, the importance of insulation in industrial tanks, the heat tracer in the brewing process, and the calibration of the packaging equipment were realized.

Keywords: Beer. Brewery. Heat. Mass Balance.

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 – Cevada.....	15
Figura 2 – Lúpulo.....	16
Figura 3 – Mosto em processo de brassagem. ....	18
Figura 4 – Barril do tipo keg. ....	20
Figura 5 – Trocador de calor do tipo placas. ....	23
Figura 6 – Lã de Rocha .....	24
Figura 7 – Layout da cozinha de brassagem. ....	26
Figura 8 – Ilustração da espessura dos tanque.....	26
Figura 9 – Fluxograma do processo.....	27
Figura 10 – Ilustração resistência em parede cilíndrica. ....	29
Figura 11 – Esquema trocador de calor do tipo placas .....	30

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	12
1.2.1.1 Objetivo Geral.....	12
1.2.1.2 Objetivos específicos.....	12
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>13</b>
2.1 CERVEJA .....	13
<b>2.1.1 Matérias Primas .....</b>	<b>14</b>
2.1.1.1 Água .....	14
2.1.1.2 Cevada .....	14
2.1.1.3 Lúpulo.....	15
2.1.1.4 Levedura .....	16
<b>2.1.2 Processos de Fabricação .....</b>	<b>17</b>
2.1.2.1 Brassagem.....	17
2.1.2.2 Fervura.....	18
2.1.2.3 Fermentação.....	19
2.1.2.4 Envase.....	20
2.1.2.4.1 Embarrilamento.....	20
2.1.2.4.2 Engarrafamento.....	20
2.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR .....	21
<b>2.2.1 Trocador de Calor.....</b>	<b>22</b>
2.2.1.1 Trocador de Calor do tipo Placa .....	23
<b>2.2.2 Isolantes Térmicos.....</b>	<b>24</b>
2.2.2.1 Lã de Rocha .....	24
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
3.1 A PESQUISA REALIZADA.....	25
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO .....	26
<b>3.2.1 Quantidade de calor requerida no processo .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2 Quantidade de calor retida pelo trocador de calor .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3 Balanço de massa do processo de envase .....</b>	<b>30</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
4.1 QUANTIDADE DE CALOR REQUERIDA NO PROCESSO .....	32

<b>4.1.1</b>	<b>1ª Etapa</b>	<b>32</b>
<b>4.1.2</b>	<b>2ª Etapa</b>	<b>32</b>
<b>4.1.3</b>	<b>3ª Etapa</b>	<b>33</b>
<b>4.1.4</b>	<b>4ª Etapa</b>	<b>33</b>
<b>4.1.5</b>	<b>5ª Etapa</b>	<b>34</b>
<b>4.1.6</b>	<b>6ª Etapa</b>	<b>35</b>
<b>4.1.7</b>	<b>7ª Etapa</b>	<b>36</b>
<b>4.1.8</b>	<b>8ª Etapa</b>	<b>37</b>
<b>4.1.9</b>	<b>9ª Etapa</b>	<b>38</b>
<b>4.1.10</b>	<b>10ª Etapa</b>	<b>38</b>
<b>4.1.11</b>	<b>11ª Etapa</b>	<b>39</b>
<b>4.2</b>	<b>QUANTIDADE DE CALOR RETIDA PELO TROCADOR DE CALOR</b>	<b>40</b>
<b>4.3</b>	<b>BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO DE ENVASE</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>44</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>46</b>
	<b>ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DA COZINHA DE BRASSAGEM</b>	<b>47</b>
	<b>ANEXO B – RECEITA APA (AMERICAN PALE ALE) 250L</b>	<b>49</b>
	<b>ANEXO C – LAYOUT DA EMPRESA HAI BIER</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO D – TABELA PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Como o mercado cervejeiro está em alta no Brasil, principalmente o das cervejas artesanais, muitas microcervejarias estão aproveitando para tentar ingressar no mercado. Com isso, tem-se aumentado a concorrência. Para entrar no mercado é necessário, além de um ótimo produto, um processo muito bem organizado e planejado. Pensando nisso, a Hai Bier, microcervejaria que está sendo implantada em Tubarão, sul do estado de Santa Catarina, deseja começar com o processo todo planejado, para assim, ingressar no mercado, além de ser uma cervejaria modelo, para realizações de cursos e outras oportunidades.

O processo de produção de cerveja requer uma alta quantidade de calor. Os processos de brassagem e fervura do mosto cervejeiro são as etapas que necessitam de uma maior quantidade de calor, sendo para aquecer o mosto, ou para manter a temperatura do mesmo por um tempo determinado.

Trocadores de calor são de suma importância em um processo cervejeiro. Ele serve primeiramente para resfriar o mosto com água fria após a fervura do mesmo, porém com isso, já se economiza energia, pois com o calor que a água fria absorve do mosto, a água sairá em uma temperatura maior, tendo assim que adicionar uma menor quantidade de calor para esta água entrar no processo.

O envase da cerveja pode ser realizado através do engarrafamento ou embarrilamento do produto. Este processo requer muito cuidado, pois, ocorre muita perda de produto final devido a contrapressão inserida na hora de envasar, a perda de produto pode variar entre 20 e 30%. Para obter-se o mínimo de perda possível deve-se revisar e calibrar os equipamentos periodicamente.

Sendo o processo de fabricação da cerveja muito minucioso, este trabalho tem como intuito determinar a quantidade de calor requerida nos processos de brassagem e fervura, além de calcular a temperatura de saída da água do trocador de calor, e realizar um balanço de massa do processo de envase de uma microcervejaria.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A cerveja hoje em dia é uma das bebidas mais populares do mundo. Pode ser produzida. Segundo Exame (2014), “pesquisa realizada pela OMS (Organização Mundial da Saúde), indica que a bebida alcoólica mais consumida pelos brasileiros é a cerveja, com cerca de 60% do consumo total de bebidas alcoólicas”. Esse alto consumo de cerveja abre novos

caminhos para as cervejarias artesanais, trazendo cada vez novos estilos e sabores de cerveja ao mercado brasileiro.

O balanço de massa e energia tem grande importância nas indústrias. Através do balanço de massa e energia consegue-se encontrar erros de processos, assim podendo otimizá-los, e também diminuir perdas de carga e de produto final. Determinar a quantidade de calor requerida em qualquer processo é fundamental, assim pode-se analisar se a empresa não está desperdiçando combustível.

Nas microcervejarias a quantidade de calor é muito significativa durante o processo, sendo assim, o presente projeto possui como intuito a projeção de se: **é possível determinar a quantidade de calor requerida nos processos de brassagem e fervura de uma microcervejaria da região sul de Santa Catarina.**

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1.1 Objetivo Geral

Analisar a quantidade de calor requerida nos processos de brassagem e fervura de uma microcervejaria da região sul de Santa Catarina.

### 1.2.1.2 Objetivos específicos

- a) Calcular a perda de calor nos processos de brassagem e fervura de uma microcervejaria;
- b) Comparar a quantidade de calor retida em tanques com isolamento de lã de rocha, e sem isolamento;
- c) Determinar a temperatura de saída da água utilizada para resfriar o mosto através de um trocador de calor;
- d) Realizar o balanço de massa para o processo de envase de uma microcervejaria.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CERVEJA

A cerveja é uma bebida alcoólica produzida da fermentação de cereais, principalmente a cevada. A cerveja é uma das bebidas mais populares do planeta, sendo a mais consumida entre as bebidas alcoólicas. Suas receitas normalmente incluem, água, malte, lúpulo e levedura, podendo ter diversos processos de fabricação.

Pesquisas históricas levam a crer que a cerveja já era fabricada na região da Mesopotâmia a aproximadamente 6000 anos antes de Cristo, uma terra onde ocorre um elevado crescimento de cevada, há registros de que os sumérios – povo local – já praticavam a arte cervejeira. As primeiras cervejas obtidas a partir de grãos de cereais foram produzidas pelos chineses, 2300 a.C., as duas principais cervejas produzidas nessa época eram a *Samshu* e a *Kin*. (MARTINS, 1987).

“Os monges aperfeiçoaram a tecnologia cervejeira e serviram como vendedores por atacado. A cerveja foi usada na Idade Média como mercadoria para comércio, pagamentos e impostos. Assim que as cidades cresceram, as operações comerciais simples se desenvolveram e tornou-se prática comum a fabricação de cerveja e sua venda no mesmo estabelecimento. No século XIV, a cidade de Hamburgo na Alemanha, era o centro cervejeiro da Europa com mais de 1000 mestres cervejeiros.” (REINOLD, 1997, p. 7).

Em 1516, foi criada a Lei da Pureza da Cerveja, “*Reinheitsgebot*”, pelo duque Guilherme IV da Baviera. A lei determinava que a cerveja só poderia ter água, malte e lúpulo, a levedura teria sido adicionada a receita posteriormente, pois não era conhecida à época.

No Brasil até a chegada da Família Real, a cerveja era consumida em baixa escala pelos ingleses residentes nas terras brasileiras. Na época do Imperador Dom Pedro I, os brasileiros começaram a se interessar pela cerveja importada, em 1836 começava timidamente a produção nacional. A primeira fábrica com todos os equipamentos necessários para fabricação de uma boa cerveja surgiu em 1888 e se chamava Manufatura de Cerveja Brahma, Villinger & Cia. (MARTINS, 1987).

Pode-se classificar a cerveja de vários modos, como seu tipo de fermentação, sua coloração, seu teor alcoólico, sua proporção de malte, entre outras características. A principal classificação é pelo seu tipo de fermentação, sendo as cervejas do tipo Lager as de baixa fermentação e as cervejas do tipo Ale as de alta fermentação.

## 2.1.1 Matérias Primas

### 2.1.1.1 Água

A água é muito importante para cerveja. Algumas águas são famosas para produção de cerveja: a água “leve” de Pilsen, República Tcheca, a água “dura” de Burton nas Midlands, Inglaterra, e a água “pura” de fontes das Montanhas Rochosas, EUA. Cada uma dessas águas contribui para a produção de um sabor único na cerveja. Quando produzido com extrato de malte e se a água tiver um bom sabor, a cerveja deverá ter um bom sabor. (PALMER, 2006)

Somente onde há disponibilidade da água apropriada é possível elaborar uma boa cerveja, pois as características da água são determinantes para o paladar da cerveja. Por isso, antigamente, as cervejarias eram produzidas basicamente próximas a poços profundos, para assegurar um fornecimento de água de boa qualidade. Muitas vezes, na elaboração da cerveja, não é dada a devida importância para a água e suas características. Isso pode levar a desvios no aroma e paladar, assim como na própria vida útil do produto. (REINOLD, 2009)

“O consumo médio de água para produção de 100 litros de cerveja pode variar entre 800 à 1000 litros de água, e requer condições para seu uso. O tratamento químico corrige sua composição natural, uma água sem condições de uso pode sofrer reparos por agentes químicos que a tornam própria para diversos usos.” (MARTINS, 1987, p 12).

A água está presente em todas as etapas da produção da cerveja, desde a brassagem e fermentação, até o engarrafamento e higienização dos equipamentos. Por isso, deve-se ter uma atenção especial no tratamento da água para a produção de uma boa cerveja.

### 2.1.1.2 Cevada

“A cevada é da família das gramíneas. Originária do oriente, é muito cultivada na China, onde cresce em abundância. É um cereal conhecido do homem desde a antiguidade. No Brasil é mais produzida nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.” (MARTINS, 1987, p. 14).

“Existem 2 tipos principais de cevada: de duas e de seis fileiras de grãos. A cevada de duas fileiras é a mais utilizada por conter grãos maiores e mais uniformes.” (REINOLD, 1997, p. 13)

“A cerveja é produzida a partir do malte da cerveja. Maltar é o processo no qual o grão de cevada é umidificado para iniciar o processo de germinação. Quando a semente germina ela ativa enzimas que começam a converter suas reservas de amido e proteínas em açúcares e aminoácidos, os quais serão utilizados no crescimento da planta.” (PALMER, 2006, p. 50).

Figura 1 – Cevada.



Fonte: Palmer, 2006, p. 75.

O preparo do malte é uma das etapas mais importantes do processo de fabricação da cerveja. O malte serve como alimento para as leveduras, fornecendo nutrientes e açúcares. Os variados tipos de malte determinam algumas características da cerveja, como, a cor, o aroma e o sabor.

### 2.1.1.3 Lúpulo

“Lúpulos tem sido cultivados para uso em cervejaria por mais de 1000 anos. A mais antiga plantação conhecida estava na Europa Central e no início dos anos 1500 o cultivo se espalhou pelo leste da Europa e Grã-Bretanha. Na virada do século, cerca de 12 variedades de lúpulo eram usadas em cervejarias, hoje há cerca de uma centena.” (PALMER, 2006, p. 62)

“O lúpulo é da família das *Canabiacées*, de origem europeia, que está aclimatada no Brasil principalmente no estado do Rio Grande do Sul. É uma planta dióica, ou seja, tem flores masculinas e femininas, a flor feminina não fertilizada tem preferência para o uso na indústria cervejeira, pois mantém seu poder aromático ao máximo.” (MARTINS, 1987, p. 16).

Cerveja nunca seria cerveja sem lúpulo. O Lúpulo confere equilíbrio, sendo a "assinatura" de muitos estilos. O amargor proporcionado pelo lúpulo equilibra a doçura dos açúcares do malte e proporciona um final refrescante. O principal agente do amargor é a resina chamada ácido alfa que é insolúvel em água até ser isomerizada pela ebulição do mosto. Quanto maior o tempo de ebulição, maior o percentual de isomerização e mais amarga a cerveja será. No entanto, os

óleos que contribuem com sabores e aromas característicos são voláteis e se perdem em grande quantidade durante longas fervuras. Há muitas variedades de lúpulo, mas estes podem ser divididos em duas categorias gerais: Amargor e Aroma. (PALMER, 2006)

Figura 2 – Lúpulo



Fonte: Palmer, 2006, p. 61.

O lúpulo é o ingrediente responsável pelo aroma e o sabor da cerveja. É utilizado de diferentes formas em cada tipo de cerveja, dependendo do aroma, ou sabor que o cervejeiro deseja alcançar. O lúpulo é adicionado ao processo após a mostura e filtração do mosto, assim iniciando a etapa de fervura. É nesta etapa do processo onde o lúpulo começa a proporcionar amargor à cerveja, isto acontece graças às resinas, que são os componentes que conferem amargor à cerveja.

#### 2.1.1.4 Levedura

A Lei de Pureza Alemã de 1516 - The Reinheitsgebot, indicava quais eram os elementos permitidos para a fabricação, como malte, lúpulo e água. Com o descobrimento da levedura e sua função, nos fins de 1860, por Luis Pasteur, a lei teve que ser modificada. A levedura de fabricação de cerveja (*Saccharomyces cerevisiae*), é um tipo de fungo. Reproduz-

se assexualmente por divisão de células. A levedura pode viver e crescer com ou sem oxigênio. A maioria dos microrganismos podem fazê-lo só de uma maneira ou de outra. A levedura pode viver sem oxigênio devido ao processo conhecido como fermentação. As células da levedura incorporam açúcares simples, como glicose e maltose, e produzem dióxido de carbono e álcool como produtos residuais.” (PALMER, 2006)

“A levedura é o ingrediente que faz a fermentação do mosto. Duas espécies estão ligadas ao processo de produção da cerveja, a *Saccharomyces cerevisiae* e a *Saccharomyces uvarum*” (MARTINS, 1987, p 19). Essas leveduras podem ser classificadas como, levedura de alta fermentação, e de baixa fermentação, respectivamente.

Há 2 tipos principais de levedura: Ale e Lager. As Ales são conhecidas como "de Alta Fermentação", porque a maior parte da fermentação se produz na parte superior do fermentador, enquanto que as Lager parecem "preferir" o fundo. Embora muitas das cepas atuais confundam essa definição, há uma importante diferença entre elas: a temperatura. As Ale "preferem" temperaturas mais altas, tornando-se inativas a menos de 12°C, enquanto que algumas Lager trabalham até mesmo a 4°C.” (PALMER, 2006)

A levedura é adicionada ao processo após o término da fervura do mosto, começando assim a etapa de fermentação. Nesta etapa a levedura consome os açúcares provenientes do malte, e os transforma em álcool e gás carbônico. A levedura também pode contribuir com o sabor, o aroma e a cor da cerveja.

## **2.1.2 Processos de Fabricação**

### **2.1.2.1 Brassagem**

“Na brasagem, o cervejeiro mói o malte da cevada e o coloca em água quente para reativar e acelerar a atividade das enzimas, convertendo as reservas de amido da cevada em açúcares num curto período de tempo. O líquido açucarado resultante (mosto) é fervido com lúpulo e fermentado pela levedura, produzindo a cerveja.” (PALMER, 2006, p. 50)

A mosturação pode ser realizada infusão, brassagem ou decocção. Os processos são simples mas requerem caminhos diferentes. Na maceração por infusão, o mosto é aquecido gradualmente até 50°C, deixando formar uma pasta com malte moído, deixa-se por 1 hora nessa temperatura. Após este procedimento continua-se aumentando gradualmente a temperatura (1°C/min), mas mantendo sempre abaixo do ponto de ebulição (63 a 70°C). Deixa-se por alguns

minutos e aquece-se a 75°C. Posteriormente filtra-se. Este método é conhecido como “método da temperatura ascendente.” Na infusão, pelo “método descendente”, o mosto é aquecido inicialmente a 77°C. Adiciona-se o malte (parte em separado) e a temperatura cai; mantém-se essa temperatura (65 a 70°C), ocorrendo dessa forma a sacarificação do amido. Mantém-se nessa temperatura por alguns minutos e filtra-se. No processo por decocção, uma parte do caldo é aquecida a 75°C e logo é adicionada ao restante, aquecido à parte, em menor temperatura. É o tipo de processo ideal para cervejas de baixa fermentação. (MARTINS, 1987)

Figura 1 – Mosto em processo de brassagem.



Fonte: Palmer, 2006, p. 219.

O principal objetivo da brasagem é ativar os enzimas do malte, isso ocorre com o cozimento dos grãos em água quente. Neste processo ocorre a conversão do amido contido no malte, em açúcares, podendo ser, fermentáveis ou não fermentáveis, formando assim o mosto cervejeiro. Após a brasagem é realizada a clarificação, que consistem em recircular o mosto até perder sua turvação.

#### 2.1.2.2 Fervura

“Na fervura é a etapa onde o lúpulo é adicionado ao processo, na proporção de 250 a 500 gramas por litros de cerveja. Tratando-se o mosto e deixando com um pH em torno de

5,2, haverá a coagulação das substâncias nitrogenadas, o que realçará o sabor amargo da cerveja. Ferve-se a 80°C por uma hora juntamente com o lúpulo. Ocorre então a inativação das amilases e proteases, havendo a precipitação em flocos, ficando límpida a parte de cima do mosto.” (MARTINS, 1987, p. 33.)

A fervura do mosto é a etapa do processo responsável por uma parte dos sabores e aromas da cerveja. Como é a última parte quente do processo, a fervura, serve também para esterilizar o mosto, ou seja, eliminar microrganismos indesejáveis, podendo assim evitar contaminações. É nesta etapa do processo que ocorre a isomerização dos alfa-ácidos do lúpulo, que é o principal responsável pelo amargor da cerveja.

### 2.1.2.3 Fermentação

A fermentação dos açúcares do malte em cerveja é um processo bioquímico complicado. É mais do que apenas conversão de açúcar em álcool, que pode ser considerada como atividade primária. Fermentação total pode ser definida como três fases, a fase da Adaptação ou Atraso (fase 01), a fase Primária ou Atenuativa (fase 02) e a fase Secundária ou Condicionante (fase 03). A levedura não termina a fase 2 antes de começar a fase 3, este processo ocorre em paralelo, mas o processo de condicionamento ocorre mais lentamente. Como a maioria dos açúcares estão consumidos, mais e mais leveduras vão transicionar a digerir maiores e mais complexos açúcares e subprodutos precoces das leveduras. É por isso que a cerveja (e o vinho) melhoram com a idade até um certo ponto, devido a presença de leveduras. Cervejas que foram filtradas ou pasteurizadas não se beneficiam do envelhecimento. (PALMER, 2006)

A fermentação do mosto é feita pela adição do *Saccharomyces cerevisiae*, em uma proporção de 500mL para 100L de mosto. No processo de baixa fermentação, após 24 horas do início da fermentação, retira-se e passa-se para outro recipiente pré-esterilizado. Após o segundo dia aumenta constantemente a camada de espuma sobre a cerveja. A temperatura ideal é de aproximadamente 8°C. A quantidade de espuma crescerá e assim de manterá nas 72 horas seguintes. Após esse tempo decrescerá. Nas cervejas de alta fermentação, o processo pode ser realizado entre 15 e 20°C, podendo durar de quatro a seis dias. (MARTINS, 1987)

No processo de fermentação é onde ocorre o consumo dos açúcares fermentáveis do mosto, em álcool ou gás carbônico. Alguns fatores são determinantes para que ocorra perfeitamente a fermentação, o primeiro deles é verificar a quantidade e viabilidade da levedura a ser utilizada, observar a aeração e os nutrientes dissolvidos no mosto, e controlar a temperatura

de fermentação. O tempo de fermentação pode durar entre 3 à 10 dias, dependendo o tipo de cerveja a ser produzida.

#### 2.1.2.4 Envase

##### 2.1.2.4.1 Embarrilamento

“Os barris, mais utilizados nas cervejarias comerciais, feitos de metal ou plástico, podem ter capacidade entre 5 e 50 litros. O barril do tipo keg é o mais utilizado hoje em dia, pois permitem um rápido processo de envase, assim podendo consumir a cerveja quase que imediatamente.” (HUGHES, 2014, p. 68)

Figura 2 – Barril do tipo keg.



Fonte: Agavic, [agavic.com.br](http://agavic.com.br)

O envase de cerveja através de barris é realizada através da carbonatação forçada com CO<sub>2</sub>. As principais vantagens do embarrilamento são, a facilidade de limpeza e envase, menor desperdício. As principais desvantagens são, alto custo de instalação, armazenamento em lugar frio, e mais complicado de utilizar.

##### 2.1.2.4.2 Engarrafamento

“Para muitos cervejeiros, as garrafas são o melhor método de envase. Encontradas em muitos tamanhos, em plástico ou vidro, podem ir a geladeira e são fáceis de transportar. A maioria requer fechamento com tampinha ou tampa de rosquear, embora algumas tenham fecho hermético. Evite usar garrafas claras, o lúpulo reage com a luz do sol, o que altera o sabor.” (HUGHES, 2014, p. 69)

O processo de engarrafamento, assim como o embarrilamento, é realizado através da carbonatação forçada. As principais vantagens da garrafa são, fáceis de guardar na geladeira, fácil para transportar, e tem maior tempo de conservação. As principais desvantagens são, tempo gasto para higienizar e encher as garrafas, e a alta perda de cerveja no envase, podendo chegar a 30%.

## 2.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

“A Termodinâmica aborda a quantidade de energia que são transferidas durante um processo. Seus princípios e leis se aplicam em todos os campos da engenharia. No seu sentido mais amplo, a ciência da Termodinâmica, considera a conversão e a transferência de energia. Suas leis foram desenvolvidas indutivamente, nenhuma de suas leis jamais foram violadas.” (PITTS; SISSOM, 1979, p. 28).

A termodinâmica trabalha com estados termodinâmicos em equilíbrio e transformações de um estado de equilíbrio para outro. A transferência de calor por sua vez, trabalha com sistemas que não estão em equilíbrio térmico, pois são fenômenos de não-equilíbrio termodinâmico. Desta forma, o estudo da transferência de calor, não pode ser baseado apenas nos princípios da termodinâmica. As leis da termodinâmica estabelecem o ambiente de trabalho na ciência da transferência de calor. A primeira lei da termodinâmica, estabelece que a taxa de energia transferida para um sistema deve ser igual à taxa de crescimento de sua energia. A segunda lei estabelece que o calor deve ser transferido na direção da menor temperatura. (Çengel; Ghajar, 2012)

“Sempre que existir um gradiente de temperatura no interior de um sistema ou dois sistemas a diferentes temperaturas colocadas em contato, haverá transferência de energia por calor. A transferência de calor é o trânsito de energia provocado por uma diferença de temperatura, no sentido da temperatura mais alta para a mais baixa.” (REIS, 2008, p. 86).

“O diferentes processos dos quais o calor é transmitido são chamados de modos de transferência de calor, podem ser classificados como condução, convecção e radiação. A) O modo de transferência de calor por condução, é um processo pelo qual o calor

flui de uma região de temperatura mais alta, para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio ou entre meios diferentes em contato físico direto. B) O modo transferência de calor por convecção ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento, quando estiverem em temperaturas diferentes. É um processo de transferência de energia através da ação combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimentação da mistura. C) O modo de transferência de calor por radiação ocorre através de uma energia emitida na forma de ondas eletromagnéticas por uma superfície a uma temperatura finita.” (id. bid. p. 88).

“A energia pode ser transferida de ou para uma massa por meio de dois mecanismos: transferência de calor e trabalho. A transferência de energia é considerada transferência de calor quando a força motriz é a diferença de temperatura. Caso contrário, a transferência de energia é trabalho.” (ÇENGEL; GHAJAR, 2012, p.6).

A transferência de calor é a energia trocada entre dois ou mais corpos com temperaturas diferentes, ocorrendo assim uma troca de energia térmica entre os meios. O fluxo de calor ocorre sempre do meio com maior temperatura para o de menor temperatura, seguindo assim a segunda lei a termodinâmica. A transferência de calor pode ser forçada, através de resistências elétricas ou trocadores de calor, mas também pode ser dificultada através de isolantes.

### **2.2.1 Trocador de Calor**

“Os trocadores de calor são dispositivos que facilitam a troca de calor entre dois fluidos que se encontram em diferentes temperaturas, evitando a mistura de um com outro. Os trocadores de calor são utilizados, na prática, em uma ampla gama de aplicações, desde sistemas de aquecimento e ar-condicionado domésticos, a processos químicos e produção de potência em grandes usinas.” (ÇENGEL; GHAJAR, 2012, p.629).

Quando um trocador de calor é colocado em um sistema de transferência térmica, uma queda de temperatura é necessária para a transferência do calor. As proporções dessa queda de temperatura podem ser reduzidas, utilizando-se um trocador de calor maior. A função dos trocadores de calor é cada vez mais essencial atualmente, à medida que os engenheiros se preocupam com a energia e desejam otimizar os projetos, em termos tanto de análise térmica e de retorno econômico do investimento. (KREITH; BOHN, 2001)

Para diferentes tipos de aplicações de transferência de calor se necessita de diferentes tipos de trocadores de calor. Pode-se classificar os trocadores de calor em:

- Tubo duplo (escoamento paralelo e contracorrente);
- Compacto;

- Casco e tubo;
- Regenerativo;
- Placas.

### 2.2.1.1 Trocador de Calor do tipo Placa

“O trocador de calor do tipo placa, consiste em uma série de placas planas corrugadas com passagens para o escoamento. Fluidos quentes e frios escoam em passagens alternadas e, assim, cada escoamento de fluido frio é cercado por dois escoamentos de fluido quente, resultando em uma transferência de calor muito eficiente. Além disso trocadores de placas podem crescer de acordo com a demanda de transferência de calor mediante uma simples montagem de mais placas. Estes trocadores são bem adaptados para aplicações de troca de calor líquido-líquido, desde que os escoamentos fluidos quentes e frios estejam mais ou menos na mesma pressão.” (ÇENGEL; GHAJAR, 2012, p.632).

Figura 3 – Trocador de calor do tipo placas.



Fonte: Haasen, 2017, p. 1.

“Trocadores de calor do tipo placa são geralmente construídos de placas delgadas, lisas ou onduladas. Este trocador, pela geometria da placa, não suporta pressões e diferenças de temperatura tão elevadas quanto um tubo cilíndrico, são ordinariamente projetados para temperaturas ou pressões moderadas” (MATTJIE, RISTOF, MICHELS, 2013, p. 3)

## 2.2.2 Isolantes Térmicos

O isolamento térmico dos tanques industriais é muito importante. É através de isolamentos térmico que se consegue diminuir a perda de calor do tanque com o meio, assim economizando energia e combustível, pois o tanque não sofrerá alterações de temperatura consideráveis.

O melhor isolante térmico é o vácuo, mas porém pouco utilizado devido à dificuldade de manter as condições de vácuo constantes. Pode-se citar outros isolantes térmicos muito utilizados na indústria como a lã de rocha, lã de vidro, isopor (EPS), entre outros. O poder de isolamento de cada isolante é medido através do *coeficiente de troca térmica* ( $k$ ), quanto menor o valor de  $k$ , o produto tem maior poder de isolamento.

### 2.2.2.1 Lã de Rocha

O isolante térmico a partir da lã de rocha é um dos mais utilizados na indústria. A lã de rocha é produzida a de rochas balsáticas, e outros minerais. Esses minerais quando aquecidos a aproximadamente 1500°C, se transformam em aglomerados de resina orgânica.

Figura 4 – Lã de Rocha



Fonte: Biolã, 2017, p1.

Como a lã de rocha possui ótimas características térmicas, ela pode ser utilizada em vários seguimentos, como a construção civil, tanques industriais, automóveis, entre outros.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 A PESQUISA REALIZADA

O estudo realizou-se através do método de abordagem quantitativo, do hipotético dedutivo, de nível explicativo e sob o método de abordagem experimental.

Nos chamados experimentos de laboratório – em contraste com os experimentos de campo – os pesquisadores fazem isto isolando a pesquisa em uma situação física delimitada e manipulando e medindo variáveis sob condições cuidadosamente especificadas e controladas. (KERLINGER, 2003, p. 125).

A abordagem realizada caracterizou-se como quantitativa pois foi integralmente voltada para a determinação de valores resultantes do controle de variáveis dispostas no objeto em estudo. Hipotético dedutivo porque, a partir da hipótese de trabalho (problema), determinado em função da dúvida gerada e, por meio do estabelecido no paradigma estudado faz um prognóstico através de uma hipótese realiza os testes de todos os fenômenos cobertos pela hipótese. Então, realiza-se o controle das variáveis independente e dependentes descritas previamente.

A hipótese de trabalho mais pertinente é a viável, não a criativa, a brilhante, a fatal. Por mais que esta afirmação possa desiludir, cabe coloca-la com a devida tranquilidade, para bem dos pesquisadores que desejam chegar até o fim do processo, sem “morrer na praia” ou perder-se em veleidades. (DEMO, 2012, p. 47).

Caracterizado também como de nível explicativo pois parte da descrição de hipóteses que deverão ser validadas ou refutadas ao final da investigação. Além disso, a resposta ao problema maior é dada a partir do controle rigoroso das variáveis determinadas.

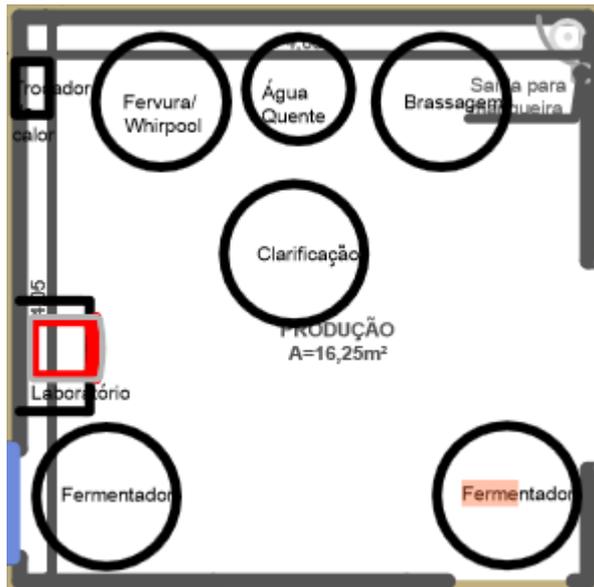
São aquelas pesquisas que tem como preocupação central identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão e o porquê das coisas. Por isso mesmo é o tipo mais complexo e delicado, já que o risco de cometer erros aumenta consideravelmente. (GIL, 1999, p. 44).

Por ser mais complexo e delicado o fenômeno estudado, definiu-se o método de abordagem experimental pois, toda a pesquisa deu-se em laboratório, controlando variáveis e testando hipóteses. Neste caso, o pesquisador afasta-se relativamente do objeto de estudo para que não haja interferência externa e, sobretudo, ocorra total fidedignidade aos resultados obtidos.

### 3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A cozinha cervejeira é tribloco, em forma de tríade, com um tanque de água quente localizado entre a tina de brassagem e a tina de fervura/whirlpool, o que a torna quase um sistema quadribloco.

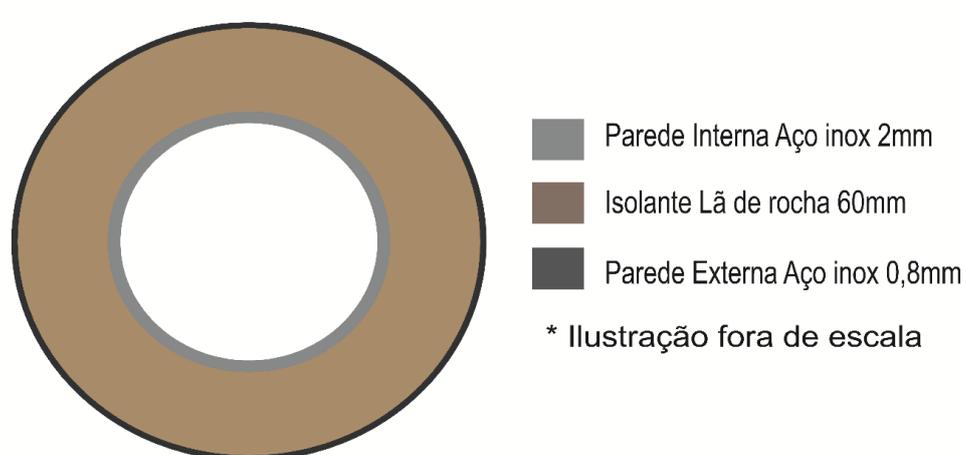
Figura 5 – Layout da cozinha de brassagem.



Fonte: Hai Bier, 2017.

O tanque/tina de clarificação é elevado em relação aos demais, a fim de reduzir o espaço necessário (o visor de mosto fica na parte inferior da tina), e proporcionar a facilitação da transferência para a tina de fervura.

Figura 6 – Ilustração da espessura dos tanques.



Fonte: do autor, 2017

Os tanques da cozinha de brassagem são todos isolados com lã de rocha para se ter maior retenção do calor dentro dos tanque. Os tanques possuem parede interna 2 milímetros de aço inox, no centro 60 milímetros de lã de rocha e na parede externa 0,8 milímetros de aço inox (para maiores especificações dos tanque, ver Anexo A).

### 3.2.1 Quantidade de calor requerida no processo

Os processos de brassagem e fervura da Hai Bier utilizam aquecimento em quase todas as etapas do processo, sendo assim foi realizado um cálculo para determinar a quantidade de calor requerido pelo processo. Seguiu-se uma receita padrão da empresa (ver no anexo B). Este processo foi dividido em 11 etapas para poder ser melhor compreendido, como pode-se ver abaixo:

Figura 7 – Fluxograma do processo



Fonte: do autor, 2017.

Para realizar o cálculo da quantidade de calor requerida no processo, deve ser calculado etapa por etapa:

- a) Etapa 1: Adicionar 162,5 litros de água à 72°C ao tanque de brassagem;
- b) Etapa 2: Adicionar o malte, 62,5 kg, ao tanque de brassagem. Com a adição do malte, a temperatura deve baixar para 62°C. Deve-se manter esta temperatura por 60 minutos;
- c) Etapa 3: Elevar a temperatura da mistura para 72°C;
- d) Etapa 4: Manter a temperatura da mistura em 72°C por 10 minutos;
- e) Etapa 5: Elevar a temperatura da mistura até 78°C;
- f) Etapa 6: Transferir a mistura do tanque de brassagem para o tanque de clarificação;
- g) Etapa 7: Efetuar a recirculação do mosto até perder a turvação, este processo deve levar 30 minutos;
- h) Etapa 8: Transferir o mosto do tanque de clarificação para o tanque de fervura;

- i) Etapa 9: Adicionar mais 212,5 litros de água à 78°C a mistura;
- j) Etapa 10: Elevar a temperatura até 100°C para começar a fervura;
- k) Etapa 11: Ferver a mistura à 100°C durante 60 minutos.

Para se determinar a quantidade de calor necessária para aquecer a água ou o mosto deve-se utilizar a equação do calor sensível, dada por:

$$Q = m * cp * \Delta T \quad (1)$$

Onde:

Q = Quantidade de calor requerida em kj;

m = Massa em kg;

cp = capacidade calorífica em kj/kg\*K;

$\Delta T$  = variância de temperatura em °C.

Para se determinar a perda de calor através das paredes dos tanques, deve-se utilizar a equação de transferência de calor, conforme abaixo:

$$Q = \frac{\Delta T}{\Sigma R} \quad (2)$$

Onde:

$\Delta T$  = variância de temperatura em °C;

$\Sigma R$  = Somatório das resistências da parede do tanque em °C/W.

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{conv.int.} + R_{aço\ inox\ int.} + R_{lã\ de\ rocha} + R_{aço\ inox\ ext.} + R_{conv.ext.}} \quad (3)$$

O cálculo de cada resistência por condução do tanque é realizado através da fórmula:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * K * l} \quad (4)$$

Onde:

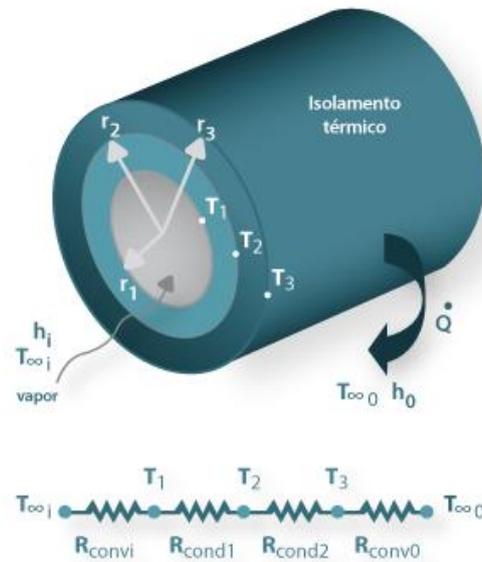
r2 = raio externo da parede;

r1 = raio interno da parede;

K = coeficiente de troca térmica por condução em W/m°C;

l = altura do tanque em m.

Figura 8 – Ilustração resistência em parede cilíndrica.



Fonte: labvirtual, 2017, p.1.

O cálculo da resistência de convecção do tanque é realizada através da fórmula abaixo:

$$R = \frac{1}{h_o * 2 * \pi * r * l} \quad (5)$$

Onde:

$h_o$  = coeficiente de troca térmica por convecção em  $W/m^2K$ .

$$h_o = c * \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^n \quad (6)$$

Onde:

$\Delta T$  = variância de temperatura em  $^{\circ}F$ ;

$c$  = constante empírica;

$L$  = altura do tanque em ft;

$n$  = constante empírica;

Para os cálculos de  $c$  e  $n$  usa-se os cálculos do número de Grashof e número de Prandtl (valor tabelado, ver anexo D), onde:

$$Gr = z * L^3 * \Delta T \quad (7)$$

Onde:

$z$  = valor tabelado (ver anexo D), em  $(K * m^3)^{-1}$

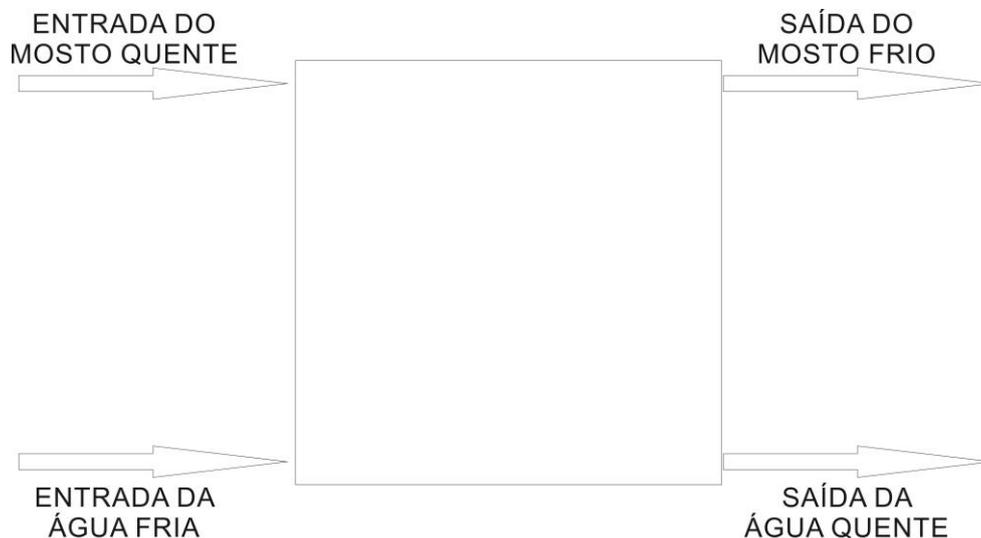
Sendo o valor do produto entre Grashof e Prandtl um valor com expoente  $.10^9$ , usa-se  $c = 0,19$  e  $n = 1/3$ . (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

$$Gr * Pr (8)$$

### 3.2.2 Quantidade de calor retida pelo trocador de calor

Após a fervura do mosto, o mesmo deve ser resfriado através de um trocador de calor de placas. Este processo ocorre em duas etapas. A primeira etapa o mosto entra a 100°C e deve sair a 25°C, enquanto a água entra a 20°C. Deve-se calcular a temperatura de saída da água do trocador, pois a mesma posteriormente será utilizada no processo de produção.

Figura 9 – Esquema trocador de calor do tipo placas



Fonte: do autor, 2017.

Na segunda etapa o mosto que está a 25°C deve ser resfriado até 5°C, para atingir tal temperatura utiliza-se água misturada com propilenoglicol, em uma proporção de 70% de água e 30% de propilenoglicol, essa mistura faz com que a temperatura de solidificação da água diminua, assim conseguindo utilizar água à -6°C para resfriar o mosto. Após ser resfriado o mosto vai para o processo de fermentação, enquanto a água volta para o tanque de água fria.

### 3.2.3 Balanço de massa do processo de envase

No processo de balanço de massa da cerveja ocorre uma perda de produto muito alta, devido a contrapressão que deve ser aplicada. Com isso deve-se realizar um balanço de massa para poder analisar a quantidade de produto descartado. Considerando-se 250 litros de cerveja para ser envasado, em uma proporção de 65% para barris e 35% para garrafas, deve-se calcular:

- Caso 1: perda de 20% para barris e 30% para garrafas;
- Caso 2: perda de 15% para barris e 15% para garrafas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 QUANTIDADE DE CALOR REQUERIDA NO PROCESSO

#### 4.1.1 1ª Etapa

A etapa 1 do processo é da primeira quantidade de água a entrar no processo. São adicionados 162,5 litros de água à 72°C ao tanque de brassagem. Com isso se calcula a energia necessária para a água atingir esta temperatura. Deve-se utilizar a equação 1:

$$Q = 162,5kg * 4,18 \frac{kJ}{kg * K} * (72^{\circ}C - 20^{\circ}C)$$

$$Q = 35321 kJ$$

#### 4.1.2 2ª Etapa

Na etapa 2 do processo é adicionado o malte à água que já está dentro do tanque. São adicionados 62,5 Kg de malte aos 162,5 litros de água, fazendo com que a temperatura da mistura diminua para 62°C. É necessário manter essa temperatura por 60 minutos. Com isso pode-se calcular a quantidade de calor necessária através do cálculo das resistências da parede do tanque.

Pode-se considerar que a temperatura no interior do tanque e na parede interna do tanque são iguais, assim o R de convecção interna é desprezível. Também pode-se considerar que o ambiente não haverá vento, ou alterações climáticas, sendo assim o R de convecção externa também é desprezível. Portanto utilizando a equação 3:

$$Q = \frac{62 - 25}{\frac{\ln\left(\frac{0,832}{0,830}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,892}{0,832}\right)}{2 * \pi * 0,04 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,8928}{0,892}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74}}$$

$$Q = 98,93 W$$

Multiplicando por 3600 segundos, e transformando para kJ. Tem-se:

$$Q = 356,148 kJ$$

Caso o tanque não tivesse o isolamento da lã de rocha:

$$Gr = 1,1606x10^8 * 0,74^3 * 37$$

$$Gr = 1,74x10^9 (k * m^3)^{-1}$$

Usando o produto de Grashof por Prandtl, se tem:

$$1,74 \times 10^9 * 0,7055 = 1,23 \times 10^9$$

Como o valor do produto de Grashof por Prandtl ficou com expoente acima de 9, usa-se valores para  $c = 0,19$  e  $n = 1/3$ , aplicando esses valores a equação 7, se tem:

$$h_o = 0,19 \left( \frac{143,6 - 77}{2,43} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_o = 0,572 \frac{Btu}{h * ft^2 * ^\circ F}$$

Transformando para  $W/m^2^\circ C$ , tem-se:

$$h_o = 3,247 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Com o coeficiente convectivo do ar encontrado, aplica-se a equação 3:

$$Q = \frac{62 - 25}{\frac{1}{3,247 * 2 * \pi * 0,83 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,832}{0,830}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74}}$$

Multiplicando por 3600 segundos, e transformando para kj. Tem-se:

$$Q = 1664 \text{ kj}$$

### 4.1.3 3ª Etapa

Nesta etapa do processo deve-se elevar a temperatura do mosto à  $72^\circ C$ . Calcular a quantidade de calor necessária para atingir esta temperatura. Deve-se utilizar a equação 1.

$$Q = 225 \text{ Kg} * 4,18 \frac{kJ}{kg * K} * (72^\circ C - 62^\circ C)$$

$$Q = 9409,5 \text{ kj}$$

### 4.1.4 4ª Etapa

Manter o mosto em  $72^\circ C$  por 10 minutos. Deve-se calcular a quantidade de calor necessária para manter a temperatura do mosto. Deve-se utilizar a equação 3.

$$Q = \frac{72 - 25}{\frac{\ln\left(\frac{0,832}{0,830}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,892}{0,832}\right)}{2 * \pi * 0,04 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,8928}{0,892}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74}}$$

$$Q = 125,668 \text{ W} * 600\text{s} = 75,40 \text{ kj}$$

Caso o tanque não tivesse o isolamento da lâ de rocha:

$$Gr = 0,9942 \times 10^8 * 0,74^3 * 47$$

$$Gr = 1,89 \times 10^9 (k * m^3)^{-1}$$

Usando o produto de Grashof por Prandtl, se tem:

$$1,89 \times 10^9 * 0,703 = 1,33 \times 10^9$$

Como o valor do produto de Grashof por Prandtl ficou com expoente acima de 9, usa-se valores para  $c = 0,19$  e  $n = 1/3$ , aplicando esses valores a equação 7, se tem:

$$ho = 0,19 \left( \frac{161,6 - 77}{2,43} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$ho = 0,6196 \frac{Btu}{h * ft^2 * ^\circ F}$$

Transformando para  $W/m^2^\circ C$ , tem-se:

$$ho = 3,518 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Com o coeficiente convectivo do ar encontrado, aplica-se a equação 3:

$$Q = \frac{72 - 25}{\frac{1}{3,518 * 2 * \pi * 0,83 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,832}{0,830}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74}}$$

Multiplicando por 600 segundos, e transformando para kj. Tem-se:

$$Q = 386,16 \text{ kj}$$

#### 4.1.5 5ª Etapa

Nesta etapa do processo deve-se elevar a temperatura do mosto à  $78^\circ C$ . Calcular a quantidade de calor necessária para atingir esta temperatura, após atingir a temperatura desejada desliga-se o equipamento. Deve-se utilizar a equação 1.

$$Q = 225 \text{ Kg} * 4,18 \frac{kJ}{kg * K} * (78^\circ C - 72^\circ C)$$

$$Q = 5643 \text{ kj}$$

Assume-se que 2% da água já tenha evaporado até o final do processo de brassagem. Logo:

$$\text{Massa água} = 162,5 \text{ kg} * 0,98 = 159,25 \text{ kg}$$

Após a etapa de brassagem percebe-se como é de extrema importância os isolantes térmicos em tanques para a retenção de calor. Na etapa 2 do processo pode-se perceber que no tanque sem isolamento a quantidade de calor requerida foi de 1664 kj, enquanto no tanque com isolamento foi de 356 kj, um aumento de mais de 400% entre os dois tanques. Enquanto na etapa 4 do processo, observou-se um aumento de mais de 500% da quantidade de calor requerida para manter o mosto na temperatura desejada.

#### 4.1.6 6ª Etapa

Nesta etapa ocorre a transferência entre o tanque de brassagem e o tanque de clarificação. Deve-se calcular a perda de calor nas paredes da tubulação durante a transferência.

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{\ln(\frac{e_o}{e_i})}{2 * \pi * K * l}} \quad (4)$$

Onde:

$e_o$  = diâmetro externo da tubulação;

$e_i$  = diâmetro interno da tubulação;

$l$  = comprimento da tubulação em m.

Sendo assim pode-se calcular:

$$Qtub \ 1" = \frac{78 - 25}{\frac{\ln(\frac{33,4}{27,86})}{2 * \pi * 19,8 * 1}}$$

$$Qtub \ 1" = 36,35 \text{ kj/s}$$

$$Qtub \ 1 \ 1/2" = \frac{78 - 25}{\frac{\ln(\frac{48,26}{42,7})}{2 * \pi * 19,8 * 1}}$$

$$Qtub \ 1 \ 1/2" = 54,07 \text{ kj/s}$$

Assume-se uma perda de temperatura de aproximadamente 5°C durante a transferência do mosto.

#### 4.1.7 7ª Etapa

O mosto deve ficar recirculando no tanque de clarificação até perder sua turvação. Esse processo leva em média 30 minutos. Deve-se calcular a perda de calor através das paredes do tanque. Assume-se que durante a transferência entre os tanques, a temperatura do mosto diminua em torno de 5°C. Deve-se utilizar a equação 2.

$$Q = \frac{73 - 25}{\frac{\ln\left(\frac{0,872}{0,870}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74} * \frac{\ln\left(\frac{0,932}{0,872}\right)}{2 * \pi * 0,04 * 0,74} * \frac{\ln\left(\frac{0,9328}{0,932}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74}}$$

$$Q = 134,81 W * 1800s = 242,67 kj$$

Caso o tanque não tivesse isolamento:

$$Gr = 0,9942x10^8 * 0,74^3 * 48$$

$$Gr = 1,93x10^9 (k * m^3)^{-1}$$

Usando o produto de Grashof por Prandtl, se tem:

$$1,93x10^9 * 0,703 = 1,36x10^9$$

Como o valor do produto de Grashof por Prandtl ficou com expoente acima de 9, usa-se valores para  $c = 0,19$  e  $n = 1/3$ , aplicando esses valores a equação 7, se tem:

$$ho = 0,19 \left( \frac{163,4 - 77}{2,43} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$ho = 0,624 \frac{Btu}{h * ft^2 * ^\circ F}$$

Transformando para W/m<sup>2</sup>C, tem-se:

$$ho = 3,543 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Com o coeficiente convectivo do ar encontrado, aplica-se a equação 3:

$$Q = \frac{73 - 25}{\frac{1}{3,543 * 2 * \pi * 0,83 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,832}{0,830}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74}}$$

Multiplicando por 1800 segundos, e transformando para kj. Tem-se:

$$Q = 1183 kj$$

Como o tanque de clarificação não possui aquecimento elétrico, calculou-se apenas a quantidade de calor perdido no tanque com isolamento, e caso não houvesse isolamento. Pode-se observar um aumento de 487% da quantidade de calor perdido no tanque sem isolamento.

Como estimasse uma queda de 12°C durante o processo de clarificação no tanque com isolamento, pode-se concluir que no tanque sem isolamento a queda seria muito maior, assim posteriormente aumentando o consumo de energia para elevar a temperatura do mosto em uma etapa seguinte.

Após a etapa de clarificação do mosto (etapa 11), pode-se analisar que o tanque sem isolamento necessitou de 1183 kj, enquanto o tanque com isolante requereu 1183 kj, analisando os resultados pode-se observar um aumento de 593% na quantidade de calor requerida no tanque sem isolamento.

Assume-se que 96% de peso do malte adicionado no processo fica retido como bagaço no tanque de clarificação. Logo:

$$\text{Massa malte} = 62,5 * 0,04 = 2,5 \text{ kg}$$

#### 4.1.8 8ª Etapa

Transferência do mosto do tanque de clarificação para o tanque de fervura. Deve-se calcular a quantidade de calor perdido na transferência entre os tanques. Assume-se que durante o processo de clarificação a temperatura do mosto diminua em torno de 12°C. Deve-se utilizar a equação 4.

$$Q_{tub \ 1''} = \frac{61 - 25}{\frac{\ln\left(\frac{33,4}{27,86}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 1}}$$

$$Q_{tub \ 1''} = 24,7 \text{ kj/s}$$

$$Q_{tub \ 1 \ 1/2''} = \frac{61 - 25}{\frac{\ln\left(\frac{48,26}{42,7}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 1}}$$

$$Q_{tub \ 1 \ 1/2''} = 36,59 \text{ kj/s}$$

#### 4.1.9 9ª Etapa

É adicionado 212,5 litros de água à 78°C ao processo. Deve-se calcular a quantidade de calor necessária para atingir a temperatura desejada. Deve-se utilizar a equação 1.

$$Q = 212,5 \text{ kg} * 4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} * (78^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q = 51518,5 \text{ kj}$$

#### 4.1.10 10ª Etapa

Deve-se elevar a temperatura do mosto até 100°C, temperatura em que o mosto deve começar a ferver. Calcular a quantidade de calor necessária para atingir a temperatura desejada. Assume-se que durante a transferência do mosto, a temperatura diminua em torno de 5°C.

Como se tem água à duas temperaturas diferentes, realiza-se um balanço de massa para descobrir a temperatura da mistura. O cálculo deve ser realizado a partir de cada proporção de massa e de suas temperaturas.

$$\begin{aligned} \text{Água} + \text{malte à } 56^\circ\text{C} &= 161,75 \text{ kg} \\ \text{Água à } 78^\circ\text{C} &= 212,5 \text{ kg} \\ \text{Massa total} &= 374,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\% \text{ massa à } 56^\circ\text{C} = 161,75 / 374,5 = 0,43$$

$$\% \text{ massa à } 78^\circ\text{C} = 212,5 / 374,5 = 0,57$$

$$56^\circ\text{C} * 0,43 = 24,08$$

$$78^\circ\text{C} * 0,57 = 44,46$$

$$T \text{ mistura} = 68,54^\circ\text{C}$$

Com a temperatura da mistura encontrada, calcula-se a quantidade de calor necessária para o mosto começar a ferver. Deve-se utilizar a equação 1.

$$Q = 374,25 \text{ kg} * 4,18 \frac{\text{kj}}{\text{kg} * \text{K}} * (100^\circ\text{C} - 68,54^\circ\text{C})$$

$$Q = 49,21 \text{ kj}$$

#### 4.1.11 11ª Etapa

Deve-se manter o mosto fervendo por 60 minutos. Com isso calcula-se a quantidade de calor necessária para manter a temperatura desejada. Deve-se utilizar a equação 3.

$$Q = \frac{100 - 25}{\frac{\ln\left(\frac{0,832}{0,830}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,892}{0,832}\right)}{2 * \pi * 0,04 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,8928}{0,892}\right)}{2 * \pi * 19,8 * 0,74}}$$

$$Q = 200,53 \text{ W} * 3600\text{s} = 721,9 \text{ kj}$$

Caso o tanque não tivesse o isolamento da lã de rocha:

$$Gr = 0,79 \times 10^8 * 0,74^3 * 75$$

$$Gr = 2,4 \times 10^9 (k * m^3)^{-1}$$

Usando o produto de Grashof por Prandtl, se tem:

$$2,4 \times 10^9 * 0,962 = 2,31 \times 10^9$$

Como o valor do produto de Grashof por Prandtl ficou com expoente acima de 9, usa-se valores para  $c = 0,19$  e  $n = 1/3$ , aplicando esses valores a equação 7, se tem:

$$ho = 0,19 \left( \frac{212 - 77}{2,43} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$ho = 0,724 \frac{Btu}{h * ft^2 * ^\circ F}$$

Transformando para  $W/m^2C$ , tem-se:

$$ho = 4,111 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Com o coeficiente convectivo do ar encontrado, aplica-se a equação 3:

$$Q = \frac{100 - 25}{\frac{1}{4,111 * 2 * \pi * 0,83 * 0,74} + \frac{\ln\left(\frac{0,832}{0,830}\right)}{2 * \pi * 0,04 * 0,74}}$$

Multiplicando por 3600 segundos, e transformando para kj. Tem-se:

$$Q = 4283 \text{ kj}$$

Após a etapa de fervura do mosto (etapa 11), pode-se analisar que o tanque sem isolamento necessitou de 4283 kj, enquanto o tanque com isolante requereu 1183 kj, analisando os resultados pode-se observar um aumento de 593% na quantidade de calor requerida no tanque sem isolamento.

Analisando todas as etapas do processo percebe-se o tamanho da importância dos tanques com isolante térmico em processo que requerem calor. Pode-se observar uma média de aproximadamente 500% de aumento na quantidade de calor requerida em tanques sem isolamento. Com esse aumento na quantidade de calor requerido, fazendo uma analogia à energia elétrica, percebe-se uma grande economia de energia, logo que os tanques possuem aquecimento através de resistências elétricas.

#### 4.2 QUANTIDADE DE CALOR RETIDA PELO TROCADOR DE CALOR

O mosto entra no trocador de calor à 100°C e deve ser resfriado até 25°C. Com isso pode-se calcular a quantidade de calor retirado do mosto através da equação 1.

$$Q = 250kg * 4,18 \frac{kJ}{kg.K} * (100^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$Q = 78.375 kJ$$

Com a quantidade de calor retirado do mosto, pode-se calcular a temperatura de saída da água do trocador de calor, que será transferida para o tanque de água quente do processo de produção.

$$78.375 kJ = 350kg * 4,18 \frac{kJ}{kg.K} * (T - 20^{\circ}C)$$

$$T = 73, 57^{\circ}C$$

Como a água sai do trocador de calor à aproximadamente 73°C, e a água utilizada no processo entra com temperaturas de 72 e 78°C, pode-se perceber que praticamente não precisaria elevar a temperatura da água no tanque, tendo assim uma alta economia de energia.

Após o mosto ser resfriado até 25°C, ele deve ser resfriado novamente até 5°C, para isto acontecer a água é misturada com propileno glicol, em proporção de 70% de água e 30% de propileno glicol, essa mistura diminui a temperatura de solidificação da água, sendo utilizada à 6°C negativos para poder diminuir a temperatura do mosto até a desejada.

$$Q = 250kg * 4,18 \frac{kJ}{kg.K} * (25^{\circ}C - 5^{\circ}C)$$

$$Q = 20.900 kJ$$

Com a quantidade de calor retirado do mosto, pode-se calcular a temperatura de saída da água do trocador de calor, que retornará ao tanque de água fria, para poder ser reutilizada em um próximo ciclo.

$$20900 kJ = 350kg * 4,18 \frac{kJ}{kg.K} * (T - (-6)^{\circ}C)$$

$$T = 8,29^{\circ}C$$

Para se chegar à temperatura desejada do mosto, a mistura de água com propileno glicol sobe para aproximadamente 8°C, e assim retorna para o tanque de água fria para ser reutilizada novamente em um novo ciclo do processo. O mosto resfriado à 5°C segue para a etapa de fermentação.

#### 4.3 BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO DE ENVASE

Foi realizado um balanço de massa do envase da cerveja. Sendo 250 litros de cerveja com uma proporção de envase de 65% para barris e 35% para garrafas. Calculou-se a perda em dois casos. O primeiro com 20% de perda em barris e 30% em garrafas, e o segundo com 15% para barris e 20% para garrafas.

No primeiro caso calculou-se a perda no envase para 250 litros de cerveja, em uma proporção de envase de 65% para barris e 35% para garrafas, e perdas de 20% para barris e 30% para garrafas.

Barris

$$250L * 0,65 = 162,5 L \text{ a ser envasado}$$

$$162,5L * 0,20 = 32,5 L \text{ de perda no envase.}$$

Garrafas

$$250L * 0,35 = 87,5 L \text{ a ser envasado}$$

$$87,5L * 0,30 = 26,25 L \text{ de perda no envase}$$

Perda total

$$32,5L + 26,25L = 58,75 L$$

No segundo caso calculou-se a perda no envase para 250 litros de cerveja, em uma proporção de envase de 65% para barris e 35% para garrafas, e perdas de 15% para barris e 20% para garrafas.

Barris

$$250L * 0,65 = 162,5 L \text{ a ser envasado}$$

$$162,5L * 0,15 = 24,37 L \text{ de perda no envase.}$$

Garrafas

$$250L * 0,35 = 87,5 L \text{ a ser envasado}$$

$$87,5L * 0,20 = 17,5 L \text{ de perda no envase}$$

Perda total

$$24,37L + 17,5L = 41,87 L$$

O processo cervejeiro demonstra uma alta perda de produto final, principalmente no envase. No envase de barris, a perda se deve ao espumamento devido à contrapressão no ato do envase, do tanque fermentador em relação ao barril. Isto causa um espumamento considerável de cerveja, o qual é descartado. Sem o descarte, o barril não é preenchido até o nível previsto. No envase de garrafas a perda também é devido à contrapressão, porém em relação ao equipamento de envase. Este ainda precisa de uma espumação excedente para que seja possível fazer o tamponamento das garrafas, visto que este tamponamento dificulta o desprendimento de gás carbônico, o contato da cerveja com o oxigênio (grande vilão por causar oxidação precoce, e se envasado junto com a cerveja, continua a atuar dentro da garrafa), e ainda, dificultar a contaminação.

## 5 CONCLUSÃO

Os cálculos da quantidade de energia requerida no processo cervejeiro é de suma importância para uma cervejaria, sendo que a empresa está em processo de montagem, isso proporciona ao poder fazer uma análise da quantidade de calor que a sua empresa irá consumir.

Os processos de brassagem e fervura de uma microcervejaria demandam de muita quantidade de calor, através dos cálculos realizados pode-se analisar que graças ao isolamento por lã de rocha nos tanques se retém uma grande quantidade de calor, assim economizando muita energia e conseqüentemente dinheiro.

Analisando os resultados pode-se concluir que o trocador de calor é muito útil ao processo, pois além de resfriar o mosto para ir para a fermentação, o calor absorvido do mosto aquece a água que será utilizada no processo posteriormente, assim também economizando muita energia.

O processo de envase apresenta a maior perda de produto do processo cervejeiro por conta de contrapressão exigida durante o envase da cerveja. Por isso, deve-se sempre estar com os equipamentos bem calibrados e revisados, para se ter uma menor perda de produto.

Como sugestão para novos trabalhos fica a ideia de realizar cálculos para diferentes espessuras e materiais de isolante, assim podendo definir qual relação se encaixa melhor ao processo. Pode-se também realizar o balanço de massa e energia para o processo de fermentação, para assim se ter dados mais completos para a empresa.

## REFERÊNCIAS

- AGAVIC. **Barris do tipo keg**. Disponível em: < <https://www.agavic.com.br/produtos/barril-de-chopp/>>. Acesso em: 09/11/2017
- BECKHAUSER, Laércio. **O mundo da cerveja caseira e de outras bebidas: Manual prático para você fazer sua cerveja caseira**. 1 ed. Cedepesc, 1984. 100p.
- BIOLÃ. **Lã de Rocha**. Disponível em: < <http://www.biola.com.br/la-de-rocha/>>. Acesso em: 29/10/2017
- ÇENGEL, Yunus A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4 ed. AMGH, 2012. 902 p.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.
- EXAME, 2014. **Brasileiros bebem mais que o restante do mundo**; veja como. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/brasil-bate-o-mundo-na-hora-de-beber-conheca-os-beberros/>>. Acesso em 09/11/2017
- FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 2 ed. Guanabara Dois. 562 p.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.
- HAASEN. **Trocadores de calor de placas**. Disponível em: <<http://www.haasen.com.br/produtos.html>>. Acesso em: 25/10/2017
- HUGUES, Greg. **Cerveja feita em casa**. 1 ed. Publifolha, 2014. 224 p.
- KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. 9. ed. Tradução: Helena Mendes Rotundo. São Paulo: EPU, 2003. 378 p.
- KREITH, Frank; BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor**. 6 ed. Pioneira Thomson. 623 p.
- MARTINS, Silvio de Melo. **Como fabricar Cerveja**. 1 ed. São Paulo, Ícone, 1987. 78 p.
- MARTINS, Silvio de Melo. **Como fabricar Cerveja**. 2 ed. São Paulo, Ícone, 1991. 83 p.
- MASSEY, B.S. **Mecânica dos fluidos**. 6 ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. 998 p.
- MATTJIE, Clovis Adelar; MICHELS, Ademar; RISTOF, Renato. **Projeto de um trocador de calor para resfriamento de fluido em um circuito hidráulico utilizado na agricultura de precisão**. Disponível em: [http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2013/projeto\\_de\\_um\\_trocador.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2013/projeto_de_um_trocador.pdf) Acesso em: 08/11/2017

MELLO, Pedro Paulo M de. **Filtração e envase**. 4º Catarina Bier Festival, 2012. 131 p.

MELLO, Pedro Paulo M de. **Envasamento**. 4º Catarina Bier Festival, 2012. 121 p.

PALMER, John J. **How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Beer Right the First Time**. 3 ed. Brewers, 2006. 347 p. Traduzido

PITTS, Donald R.; SISSOM, Leighton E. **Fenômenos de Transporte**. 1 ed. LTC editora, 1979. 765 p.

PROCESSOS QUÍMICOS, Portal de laboratórios virtuais de. **Transferência de Calor**. Disponível em: <[http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com\\_content&task=view&id=248&Itemid=422](http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422)> . Acesso em: 23/11/2017.

REINOLD, Matthias R. **Água: uma boa base para cerveja**. 3 ed. Bier Life, 2009. Disponível em: <[https://www.cervesia.com.br/images/stories/img\\_imprensa/agua%20a%20base%20para%20uma%20boa%20cerveja.pdf](https://www.cervesia.com.br/images/stories/img_imprensa/agua%20a%20base%20para%20uma%20boa%20cerveja.pdf)> . Acesso em: 20/10/2017.

REINOLD, Matthias R. **Manual Prático de cervejaria**. 1 ed. São Paulo, ADEN, 1997. 149 p

REIS, Mara Nilza E. **Fenômenos de transporte**. Disponível em: <<http://netulio.weebly.com/uploads/9/0/6/6/9066781/apostila-ft-2008-pucmg.pdf>>. Acesso em 25/10/2017

WELTY, James R.; WICKS, Charles E.; WILSON, Robert E. **Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer**. 3 ed. J. Willey, New York, 1984. 803 p.

**ANEXOS**

## ANEXO A – Especificações da cozinha de brassagem

	Brassagem	Clarificação	Fervura/Whirpool	Tanque Água Quente	Tanque de Frio
<b>Volume Total Aprox.</b>	415L	415L	415L	400L	540 L
<b>Volume Útil Aprox.</b>	250 a 300L	250 a 300L	250 a 320L	350L	550 L
<b>Tem aquecimento?/ Tipo?</b>	Sim, resistência elétrica de imersão borda circular	Não	Sim, resistência elétrica de imersão borda circular e imersão reta (2 retas e 1 circular)	Sim, resistência elétrica de imersão reta	Não
<b>Tem resfriamento?/ Tipo?</b>	Não	Não	Não	Não	Sim, ciclo de refrigeração com máquina de ar condicionado ou freezer, mistura de água + álcool de cereais (propilenoglicol) na razão 70%/30%
<b>Faixa de Aquecimento/resfriamento</b>	20 a 80°C	Apenas manter temperatura	50 a 100°C	0 a 80°C	25 a -10°C
<b>Rampas de temperatura (intervalo de tempo)</b>	1 a 1,3°C/minuto (as rampas precisam ser de 1°C/minuto)	-	1,5 a 2°C/minuto	0,4 a 0,5°C/minuto	
<b>Quantidade de resistências, de potência máxima</b>	1 resistência trifásica 24 kW, circular com 6 voltas.	-	1 resistência trifásica de 19,5 kW, circular com 6 voltas. E 1 resistência trifásica 4,5 kW do tipo imersão tubular.	1 resistência trifásica de 12 kW, circular de 6 voltas.	-

Resfriador de mosto:

<b>Trocador 1 placas</b>	<b>Temperatura entrada</b>	<b>Temperatura saída</b>	<b>Tempo máximo</b>	<b>Observações</b>
Mosto Cervejeiro	100°C aprox.	20 a 25°C	15 a 20min / 300L (15 a 20L/min)	
Água rede comum	20°C	-		Será usada para reabastecer o tanque de água quente
<b>Trocador 2 placas</b>	<b>Temperatura entrada</b>	<b>Temperatura saída</b>	<b>Tempo máximo</b>	
Mosto Cervejeiro	25°C	5°C	5 a 10min / 300L (30 a 60L/min)	
Água + álcool de cereais 70/30	-6°C a -8°C	-		Retorna para o tanque de frio

Nas etapas de resfriamento do mosto cervejeiro, o processo ocorrerá em dois estágios, dependendo da cerveja a ser produzida: normalmente 1 estágio para Ales, resfriadas até 17 a 23°C aproximadamente), e 2 estágios para lagers, resfriadas a aproximadamente 6 a 12°C.

A instalação elétrica da unidade é trifásica 380V, e a água fornecida é da rede pública de abastecimento, a qual passará por tratamento via filtro triplo (composto de filtros de carvão ativo e membrana filtrante), ou osmose reversa. Limite de potência de rede 59kW.

A cozinha cervejeira é tribloco, em forma de tríade, com um tanque de água quente localizado entre a tina de brassagem e a tina de fervura/whirpool, o que a torna quase um sistema quadribloco.

As bitolas dos tubos, tanto sucção quanto recalque são de 1 polegada padrão SMS, com exceção da bomba, que terá bitolas de 1 polegada por~em padrão Triclamp.

Há um tanque móvel utilizado como single vessel para testes de receitas, de 50L úteis, o qual poderá ser utilizado eventualmente nos casos de cervejas com processo de decocção

O tanque/tina de clarificação é elevado em relação aos demais, a fim de reduzir o espaço necessário (o visor de mosto fica na parte inferior da tina), e proporcionar a facilitação da transferência para a tina de fervura com o auxílio da gravidade Bomba de transferência, resfriadores de mosto 1 e 2 possivelmente ficarão embutidos ao lado ou na parte inferior desta tina também.

## ANEXO B – Receita APA (american pale ale) 250L

*American Pale Ale* ou **APA** é um estilo de cerveja americana mas mais suave que uma IPA. Caracterizada pela frescura do lúpulo cascade.

Características esperadas:

Densidade inicial: 1049

Receita:

56,25 kg Malte Pale Ale 5,9 EBC.

3,125 kg Malte Cara-Pils 3,9 EBC.

3,125 kg Malte Caramel/Crystal – 118,2 EBC.

(O Ecr (estrato conforme recebido) médio considerar 80%).

Lúpulos:

375 g Perle 8.00 A. A. % - 60 minutos.

350 g Cascade 5.50 A. A. % - 5 minutos.

350 g Cascade 5.50 A. A.% - via Dry Hop após 5 dias.

Levedura: Líquida tipo Ale (SafBrew Ale Fermentis S-33), quantidade precisa calcular.

### - Instruções:

Seguir todos os passos descritos em “fazer cerveja a partir de grão”.

Moer todos os maltes, e misturar em 162,5 L de água a 72°C.

Vai baixar a temperatura a aproximadamente 62°C. Manter a 62°C durante 60 minutos.

Elevar a temperatura para 72°C e manter durante 10 minutos.

Elevar a temperatura para 78°C, e atingindo a temperatura proposta desligar o aquecimento.

Transferir para a tina de clarificação e efetuar a recirculação do mosto até perder a turvação (aproximadamente 30min). Após, transferir o volume clarificado para a tina de fervura.

Adicionar mais 212,5 litros de água a 78°C ao grão da tina de clarificação para lavagem do grão.

Ferver durante 60 minutos, adicionando os lúpulos.

Obs.: o tempo de fervura é contado a partir do início efetivo da fervura (precisa calcular de acordo com o volume de caldeira cheia, com base na potência das resistências elétricas). O tempo de adição dos lúpulos é contado de trás para frente, ou seja, do tempo restante para o final da fervura (após ela ter iniciado). No caso em questão, o mosto será aquecido até a fervura, e após esta iniciar, ficará fervendo por 60 minutos (tempo máximo da adição do 1º lúpulo).

Após o término da fervura, é feito um whirlpool por 15 minutos (10 de recirculação + 10 de repouso para o trub quente).

Terminado o whirlpool, é feito o resfriamento.

Densidade final: 1016

Acl. vol: 5%



## ANEXO D – Tabela Propriedades Físicas do Ar

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p \times 10^{-3}$ (J/kg · K)	$\mu \times 10^5$ (Pa · s)	$\nu \times 10^5$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \times 10^2$ (W/m · K)	$\alpha \times 10^5$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/K · m <sup>3</sup> )
Air								
250	1.4133	1.0054	1.5991	1.1315	2.2269	1.5672	0.722	$4.638 \times 10^8$
260	1.3587	1.0054	1.6503	1.2146	2.3080	1.6896	0.719	2.573
280	1.2614	1.0057	1.7503	1.3876	2.4671	1.9448	0.713	1.815
300	1.1769	1.0063	1.8464	1.5689	2.6240	2.2156	0.708	1.327
320	1.1032	1.0073	1.9391	1.7577	2.7785	2.5003	0.703	0.9942
340	1.0382	1.0085	2.0300	1.9553	2.9282	2.7967	0.699	0.7502
360	0.9805	1.0100	2.1175	2.1596	3.0779	3.1080	0.695	0.5828
400	0.8822	1.0142	2.2857	2.5909	3.3651	3.7610	0.689	0.3656
440	0.8021	1.0197	2.4453	3.0486	3.6427	4.4537	0.684	0.2394
480	0.7351	1.0263	2.5963	3.5319	3.9107	5.1836	0.681	0.1627
520	0.6786	1.0339	2.7422	4.0410	4.1690	5.9421	0.680	0.1156
580	0.6084	1.0468	2.9515	4.8512	4.5407	7.1297	0.680	$7.193 \times 10^6$
700	0.5040	1.0751	3.3325	6.6121	5.2360	9.6632	0.684	3.210
800	0.4411	1.0988	3.6242	8.2163	5.7743	11.9136	0.689	1.804
1000	0.3529	1.1421	4.1527	11.1767	6.7544	16.7583	0.702	0.803

Fonte: Welty, Wicks, Wilson, 1984.

