



MÁRCIO JOSÉ STURMER

**DESENVOLVIMENTO E OTIMIZAÇÃO DE TANQUE FERMENTADOR
PARA CERVEJA ARTESANAL**

HORIZONTALINA-RS

2016



FACULDADE HORIZONTINA
Curso de Engenharia Mecânica

Marcio José Sturmer

**DESENVOLVIMENTO E OTIMIZAÇÃO DE TANQUE FERMENTADOR
PARA CERVEJA ARTESANAL**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Mestre Marcelo Gonzalez Passos.

HORIZONTINA-RS

2016

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Projeto e desenvolvimento de tanque fermentador para cerveja artesanal”

Elaborada por:

Marcio José Sturmer

**Aprovado em: 22 /11/2016
Pela Comissão Examinadora**

**Mestre Marcelo Gonzalez Passos
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Mestre Claudia Verdum Viegas
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Mestre Luis Carlos Wachholz
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**HORIZONTINA-RS
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família e a Deus que sempre estiveram comigo em todos os momentos desta caminhada.

AGRADECIMENTO

A Deus acima de tudo, pela vida, força e coragem.

Aos meus pais José Inácio Sturmer e Helena Maria Fin Sturmer, pelas abdições feitas para que pudesse prosseguir com minha jornada acadêmica.

A Karin Elisa Hineraski pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis.

A meu orientador Marcelo Gonzalez Passos pela sua dedicação e disponibilidade.

A todos que colaboraram de uma maneira ou outra durante a trajetória de construção deste trabalho, meu muito obrigado!

“Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo que você sabe.” – Aldous Huxley

RESUMO

O mercado de cerveja artesanal vem crescendo e ganhando destaque cada vez maior. O número de adeptos de cervejas artesanais aumentou consideravelmente o que criou um novo nicho no mercado. A modernização do processo de fabricação de cerveja artesanal é de suma importância, dessa forma o pequeno produtor garante uma melhor qualidade em seu produto sem perder a essência do processo artesanal. Nesse contexto, o objetivo do trabalho é desenvolver um tanque fermentador de cerveja artesanal voltado para o pequeno produtor, a fim de auxiliar no processo e assegurar uma melhor qualidade no produto. Primeiramente foi realizada uma pesquisa sobre os materiais mais indicados na produção, levando em conta o que já existe no mercado, adequando o produto as necessidades do usuário final. A etapa seguinte foi o desenvolvimento e montagem do tanque fermentador com os materiais selecionados e o resultado final pronto para o uso. A realização do trabalho permitiu a elaboração de um equipamento de ponta direcionado especialmente para os pequenos produtores de cerveja artesanal elaborado com os melhores materiais disponíveis garantindo a melhora na qualidade da produção e modernização do equipamento.

Palavras-chave: tanque fermentador, Desenvolvimento de fermentador, cerveja artesanal.

ABSTRACT

The craft beer market is growing and being recognized. The number of craft beer producers increased considerably which created a new niche in the market. The craft modernization brewing process is very important, so the small product ensures better quality in their product without losing the essence of the craft process. In this context, the objective is to develop a fermented craft beer tank facing small farmers in order to assist in the process and ensure better quality in the product. First there was a research on the most suitable materials in the production was, taking into account what already exists in the market, adapting the product to the end user's needs. The following step was the development and installation of the fermenter tank with the materials selected and the final result tested and ready for use. The completion of the work allowed the development of a cutting-edge equipment especially suited for small producers of craft beer made with the best materials available to ensure improved quality of production and its modernization

Keywords:Fermenter tank.Developmentfermenter.craft beer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ação corrosiva do aço inoxidável.....	17
Figura 2: Ciclo simples de refrigeração.....	20
Figura 3: Modelo de fermentador utilizado atualmente.....	22
Figura 4: Ciclo de refrigeração líquido e vapor.....	26
Figura 5: Alta e baixa pressão em um ciclo de refrigeração.....	26
Figura 6 - Modelos de compressores.....	27
Figura 7- Modelo de motor de refrigeração utilizado.....	28
Figura 8- Medidas internas do equipamento.....	29
Figura 9- Resultado final da otimização do tanque fermentador.....	30
Figura 10: Chapa aço inoxidável AISI 304.....	31
Figura 11: União do corpo interno com a parte inferior cônica.....	31
Figura 12: Camisa interna do equipamento.....	32
Figura 13: União da chapa no corpo do equipamento formando a camisa.....	32
Figura 14: Realização do teste de pressão.....	33
Figura 15: Realização de teste de pressão.....	34
Figura 16: Revestimento em aço inoxidável do corpo do equipamento.....	34
Figura 17: Injeção do sistema de isolamento térmico de poliuretano.....	35
Figura 18: Equipamento pré montado com demais itens adicionados.....	36
Figura 19: Unidade de refrigeração e aquecimento completa.....	36
Figura 20: Válvula reversora instalada no sistema de refrigeração.....	37
Figura 21: Válvula solenóide.....	37
Figura 22: Equipamento completo e painel de controle.....	38

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA.....	11
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	12
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.4 JUSTIFICATIVA	13
1.5 OBJETIVO GERAL.....	13
1.6 OBJETIVO ESPECIFICO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 CLASSIFICAÇÕES DOS MATERIAIS	15
2.1.1 Aço Inoxidável	16
2.1.2 Isolamento Térmico.....	18
2.2 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	18
2.2.1 Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor	20
3 METODOLOGIA	22
3.1 SELEÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	23
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	23
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	24
4.1 DEFINIÇÃO DO MATERIAL A SER UTILIZADO	24
4.1.1 Tipos de aços inoxidáveis	24
4.1.2 Aço inox selecionado.....	24
4.2 DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.	25
4.2.1 Fluidos ou gases refrigerantes	26
4.3 DEFINIÇÃO DE DIMENSÕES E VOLUME DO TANQUE FERMENTADOR	28
4.4 DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DO EQUIPAMENTO	30
4.4.1 Montagem do corpo e sistema de refrigeração do equipamento	30
CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o mercado de consumo e fabricação de cervejas artesanais vem aumentando significativamente. Os fabricantes estão em busca de inovação no método de produção para que haja aumento na qualidade do produto final.

Segundo pesquisa realizada pelo Ibope em novembro de 2013 a cerveja é a bebida preferida de 2/3 dos brasileiros, com 64% da preferência. Partindo desses dados pode-se afirmar que o Brasil é um dos maiores consumidores de cerveja do mundo, com a média anual de litros consumidos por habitante crescendo ano a ano (SEBRAE, 2013).

No mesmo sentido, verifica-se, que enquanto a classe C opta pelas grandes marcas, as classes A e B buscam produtos que apresentam diferenciação, o que pode ser encontrado nas cervejas artesanais. De acordo com dados obtidos através da Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE), o consumo de cervejas artesanais é majoritariamente masculino, com idades entre 18 e 65 anos. Já as mulheres consumidoras de cerveja artesanal têm idade entre 30 e 65 anos (SEBRAE, 2013).

Partindo dessas informações, segundo o SEBRAE (2013), as micro cervejarias e importadoras estão ocupando cada vez mais um espaço importante no mercado nacional, chegando a ocupar 5% do mercado apenas nas cervejas especiais, que reúnem as artesanais, importadas e industriais Premium, valor este que tem previsão de dobrar o número de vendas nos próximos 5 anos.

1.1 TEMA

O processo de fabricação de cerveja artesanal passa por diferentes etapas, cada qual com sua importância para o resultado final, sendo que a etapa da fermentação tem um papel essencial na produção de cerveja artesanal. O produto passa por alterações em cada operação unitária, porém a fermentação é o momento fundamental de todo processo, pois é nesse momento que as leveduras irão transformar os substratos fermentáveis do mosto em álcool e CO₂ formando e produzindo a cerveja (POLZ, 2015).

No que se refere ao processo de fermentação da cerveja o equipamento responsável por esse processo deve ser produzido com material atóxico, de fácil higienização, para que o produto não corra o risco de sofrer contaminação (POLZ, 2015).

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Existem no mercado equipamentos semelhantes produzidos em aço inox, porém é necessário melhorias no produto já existente, pois se observa que a maior parte dos equipamentos são estruturados com a junção de vários componentes não existindo dessa forma um padrão no produto.

Assim, surge a necessidade de otimização e desenvolvimento de um tanque fermentador para a produção de cerveja artesanal em pequena escala.

Importante ressaltar que quando se realiza um estudo de adequação de um equipamento já existente, onde se altera suas características originais, já desenvolvidas pelo fabricante, é necessária uma avaliação para que haja garantia que os aspectos legais e físicos sejam contemplados.

Partindo dessa premissa, foram analisadas as principais características do projeto em conjunto com as dificuldades e facilidades, identificando assim que as mudanças sugeridas no fermentador completam de forma eficiente o equipamento já existente, tornando-o superior no quesito qualidade, finalidade e resultado final.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Observa-se que vários segmentos novos vêm se destacando no cenário atual, onde se faz necessárias inovações para acompanhar o ritmo intenso das mudanças e idéias novas. Um desses segmentos em ascensão de estudos, mercado e equipamentos é o de produção de cerveja artesanal. Tal técnica vem ganhando mais seguidores que buscam, com a finalidade de obter mais qualidade, equipamentos próprios para a realização do processo de fabricação. Dessa forma, verificou-se que há no mercado poucos equipamentos padronizados e que atendam as expectativas dos clientes nos quesitos de funcionalidade e qualidade.

Assim, ao analisar o processo de fabricação da cerveja na prática, constatou-se que o equipamento de fermentação - o fermentador -necessita de mudanças, ou seja, desenvolvido em outro material e com sistema de isolamento térmico, e funcionalidades, como a implantação de sistema de refrigeração, que venham a agregar na facilidade, agilidade, segurança e qualidade do produto final.

Partindo desse pressuposto surgiu a necessidade de alteração de um equipamento de fermentação de cerveja já existente, como forma de aprimoramento do equipamento para que possa haver sistema de aquecimento e resfriamento na cerveja na etapa da fermentação.

1.4 JUSTIFICATIVA

Um dos principais componentes do tanque fermentador é o sistema de refrigeração, onde, um dos mais relevantes problemas para o micro-ervejeiro é o controle de temperatura. Existem regiões onde a temperatura ambiente pode chegar abaixo de 0° Celsius, e para que ocorra a fermentação da cerveja é necessário temperaturas positivas muitas vezes acima de 20° graus Celsius. Em grandes cervejarias este controle é feito através de vapor ou água quente que circula nos tanques através de uma serpentina ou placa de expansão.

Nesse sentido, refere Palmer (2006), que é importante manter uma temperatura constante, pois a temperatura quando oscila pode estressar a levedura e prejudicar a fermentação. Ocorre que, temperaturas inferiores a 12 °C ou 15 °C farão as leveduras entrar em hibernação parando o processo de fermentação ou deixando o mesmo mais lento.

Diante de tais aspectos, surge a necessidade de agregar em fermentadores para micro-ervejeiro o sistema de unidade de aquecimento e refrigeração a gás que gere aumento de temperatura no sistema de acordo com a necessidade imediata.

1.5 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo geral aperfeiçoar um tanque para fermentação de cerveja que refrigere e aqueça no mesmo sistema de unidade condensadora no intuito de melhorar o desempenho do equipamento, bem como utilizá-lo em ambientes com temperatura externa negativa. Bem como melhorias no conjunto completo do equipamento, para que o pequeno produtor de cerveja artesanal tenha utensílios do mesmo porte de qualidade de uma cervejaria em escala maior.

O objetivo geral da presente pesquisa é o aperfeiçoamento do equipamento já existente com a finalidade de tornar o processo de fabricação da cerveja mais preciso

e o manuseio mais adequado ao usuário, e como consequência mais qualidade no produto final.

1.6 OBJETIVO ESPECIFICO

Como objetivos específicos podemos destacar:

- Instalar sistema de aquecimento e resfriamento do líquido de acordo com a necessidade imediata
- Melhorar a qualidade do fermentador, tornando o produto final padronizado sem interferência de aspectos externos como a temperatura.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo desenvolve-se uma revisão de literatura direcionada a área de construção e desenvolvimento de tanque fermentador para cerveja, abordando principalmente a parte técnica do sistema de refrigeração e aquecimento.

2.1 CLASSIFICAÇÕES DOS MATERIAIS

Para melhor compreensão da fermentação da cerveja, é necessário breve conhecimento do modo de fabricação da mesma, nesse sentido todo o processo começa com a adição de água ao malte e adjuntos já moídos. Normalmente os adjuntos são produtos do beneficiamento de cereais ou de outros vegetais ricos em carboidratos. Esta mistura é então cozida e, durante o processo, o amido do malte é transformado em açúcar. O resultado é um líquido turvo e grosso, chamado de mosto. O mosto é filtrado e novamente fervido. Neste momento é adicionado o lúpulo, o responsável pelo sabor amargo da cerveja. Para seguir para seu próximo estágio, o mosto é resfriado (MEGA, 2011).

As cervejas podem ser classificadas de acordo com seu processo fermentativo em dois grandes grupos, de alta fermentação e de baixa fermentação. A primeira é referente as cervejas tradicionais (Ale), em que o microorganismo utilizado é o da espécie *Saccharomyces cerevisiae* e a fermentação ocorre em temperaturas ao redor de 18° C durante 4 ou 5 dias. As cervejas de baixa fermentação são referentes ao tipo (*Lager*) e a espécie utilizada, neste caso, é a *Saccharomyces uvarum*, a uma temperatura ao redor de 12° C durante 8 ou 9 dias. (MEGA, 2011).

Para o desenvolvimento do fermentador serão utilizados como base materiais como o aço inoxidável e poliuretano, elementos essenciais para que o projeto possa ser concretizado de maneira satisfatória. O aço inoxidável é um dos materiais mais utilizados para o setor alimentício devido sua durabilidade e higiene, já o poliuretano é responsável pelo sistema de isolamento térmico também utilizado nos mais diversos setores.

Os aços inoxidáveis são, basicamente, ligas de ferro-cromo. Outros metais atuam como elementos de liga, mas o cromo é mais importante e sua presença é

indispensável para se conferir a resistência à corrosão desejada (NÚCLEO INOX, 2010).

Para a realização do isolamento térmico do equipamento será utilizado o poliuretano de espuma, de forma injetada, devido a sua alta resistência química, durabilidade e baixo fator de condutividade.

2.1.1 Aço Inoxidável

Um dos aspectos mais importantes da segurança alimentar está diretamente relacionado à seleção de materiais que entrarão em contato com os produtos alimentícios. Esta assertiva é válida para todas as fases pelas quais o alimento passa durante sua industrialização: preparação, manuseio, estocagem e transporte. A escolha de um material inadequado irá, inevitavelmente, comprometer suas condições higiênico-sanitárias (MACEIRAS, 2016).

Para garantir as condições adequadas as superfícies em contato com alimentos precisam ser lisas, impermeáveis, livres de fendas, trincas e arranhões de modo a evitar o “aprisionamento” de matéria orgânica nessas irregularidades. Devem ainda ser de materiais não-tóxicos, à prova de danos, resistentes a corrosão, não-absorventes e incapazes de migrar para os produtos alimentícios (MACEIRA, 2016).

Sobre o processo de corrosão dos materiais, Chiaverini (2002, p.382) leciona que:

A corrosão pode ser considerada como um ataque gradual e contínuo do metal por parte do meio circunvizinho, que pode ser a atmosfera mais ou menos contaminada das cidades, ou em meio químico, líquido ou gasoso. Como resultado de reações químicas entre os metais e elementos não-metálicos contidos nesses meios, tem-se mudança gradual do metal num composto ou em vários compostos químicos, que são geralmente óxidos ou sais.

A fim de evitar ou minimizar a corrosão do material, é necessário a realização de um processo químico, como explica Chiaverini (2002, p.386):

Geralmente a proteção contra a corrosão é feita criando-se sobre a superfície do metal uma película protetora que separa o metal-base do meio corrosivo. Essa película protetora pode ser criada artificialmente, mediante depósito propositado de uma outra substância- metálica ou orgânica- sobre superfície do metal a proteger, ou naturalmente, isto é, pela produção

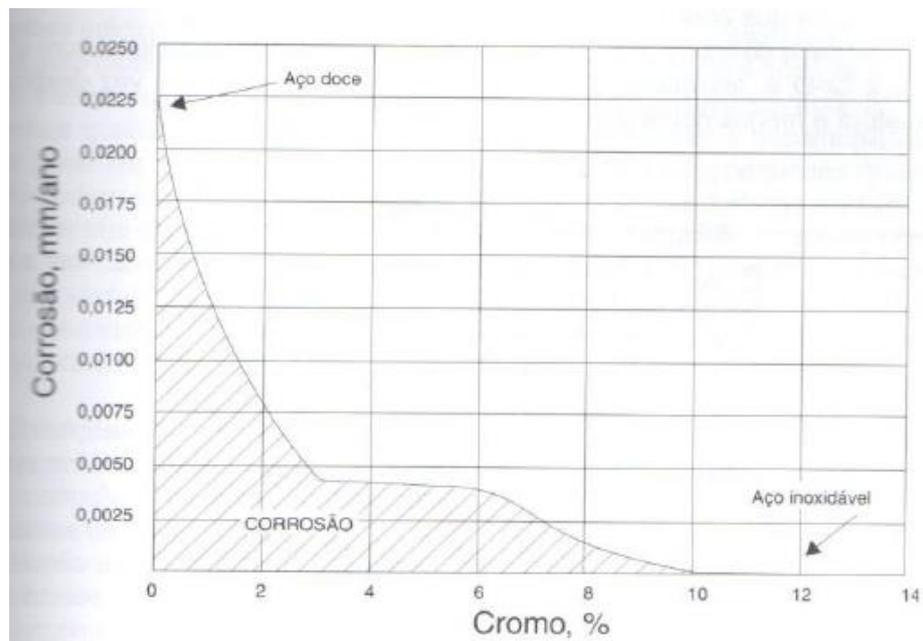
espontânea da película superficial, através da formação de um composto químico, mantido sobre a superfície metálica por forças atômicas, como se mencionou, composto este que resulta da reação de certos elementos de liga introduzidos no metal com o meio circunvizinho.

Desse modo, a combinação de elementos a fim de formar um material resistente a corrosão é essencial para a composição do equipamento que será desenvolvido para a utilização na fermentação da cerveja artesanal.

Sobre o tema é o ensinamento de e Chiaverini (2002, p. 386):

De qualquer modo, o cromo é o elemento essencial, podendo-se dizer que é a ciência dos aços inoxidáveis é a ciência do cromo como elemento de liga no ferro. O papel do cromo como elementos protetor à corrosão está ilustrado na Figura 1 onde se observa que, num atmosfera industrial, o aço, a medida que seu teor em cromo aumenta passa de um metal de grande corrosibilidade a um metal praticamente indestrutível pela corrosão.

Figura 1: ação corrosiva do aço inoxidável



Fonte: Chiaverini (2002).

Dessa forma, conforme figura 1, verifica-se que aço inox além de ser o material mais indicado para o fabricação de equipamentos para o setor alimentício devido a sua higiene e aparência estética, também possui alta resistência à corrosão e facilidade de fabricação o que torna o material mais adequado para o desenvolvimento do tanque fermentador.

2.1.2 Isolamento Térmico

O sistema de isolamento térmico é de suma importância no equipamento, pois através dele será mantida a temperatura necessária para que ocorra a fermentação do modo adequado. Os isolantes são normalmente materiais porosos, cuja elevada resistência térmica se deve à baixa condutividade de ar contido em seus vazios (COSTA, 1982).

Souza (1982, p. 222) afirma que:

um bom isolante deve ter baixa condutividade térmica; ter boa resistência mecânica, não sofrer fisicamente, influência da temperatura em que é aplicado; não ser combustível, ser imputrescível e inatacável por pragas, ratos, etc; ser abundante e barato e ter baixa permeabilidade ao vapor d'água.

Diante dos requisitos apresentado pelos autores, o isolante a ser utilizado é o poliuretano de espuma, que será injetado no equipamento.

As espumas de poliuretano são obtidas pela reação química de 2 componentes líquidos Isocianato e Poli-hidroxiolo em presença de catalizadores (COSTA, 1982).

A estrutura celular é formada pelo desprendimento de CO₂, devido a uma reação química secundária ou, pela ebulição sob o efeito do calor de reação, de um líquido (agente de expansão) adicionado a um dos componentes (COSTA, 1982).

As espumas de poliuretano podem ser plásticas de estrutura celular aberta (utilizadas em isolamento acústico embalagens, etc.), e rígidas de estrutura porosa fechada (utilizadas em isolamento térmico) (COSTA, 1982).

2.2 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

A refrigeração industrial, a exemplo do condicionamento de ar, tem como objetivo a refrigeração de alguma substância ou meio. Os componentes básicos de ambos os processos não diferem: trocadores de calor, ventiladores, bombas, tubos, dutos e controles. Os fluídos envolvidos mais comuns são: ar, água e algum refrigerante. Em suma, cada um dos sistemas é composto fundamentalmente de um ciclo frigorífico (STOECKER, JABARDO, 2002).

O objetivo básico do armazenamento refrigerado de alimentos, congelados ou não, é a preservação de suas características. Por outro lado, refrigeração pode ser utilizada em processos de mudança das características ou até mesmo estrutura química, o que se denominará de processamento de alimentos. Entre aqueles que sofrem processamento durante sua preparação, podem ser citados: queijos, bebidas, como cerveja, vinhos e sucos cítricos, e café instantâneo (STOECKER, JABARDO, 2002).

No caso da cerveja, são as reações químicas principais que ocorrem durante o processo de fabricação: 1) conversão do amido do grão em açúcar; 2) fermentação, durante a qual o açúcar é convertido em álcool e dióxido de carbono. Como a fermentação é um processo exotérmico, o produto deve ser resfriado sob pena de ocorrer um aumento de temperatura suficiente para reduzir ou mesmo interromper a transformação do açúcar. A mistura em fermentação deve ser mantida a temperatura que pode variar em 7 e 13° C. Por outro lado, refrigeração também é utilizada no processo de maturação da cerveja, que demanda um período de dois a três meses em ambiente refrigerado. (STOECKER, JABARDO, 2002).

Segundo Taboca (2015), a fermentação depende de fatores importantes como a temperatura certa, tempo de fermentação, insumos fermentáveis e não fermentáveis e água. Nesse processo as leveduras utilizadas produzem álcool e CO₂, além de trazer para a cerveja outros atributos, como sabor e aroma.

Ainda sobre o processo de fermentação, Taboca (2015, p.03) refere que:

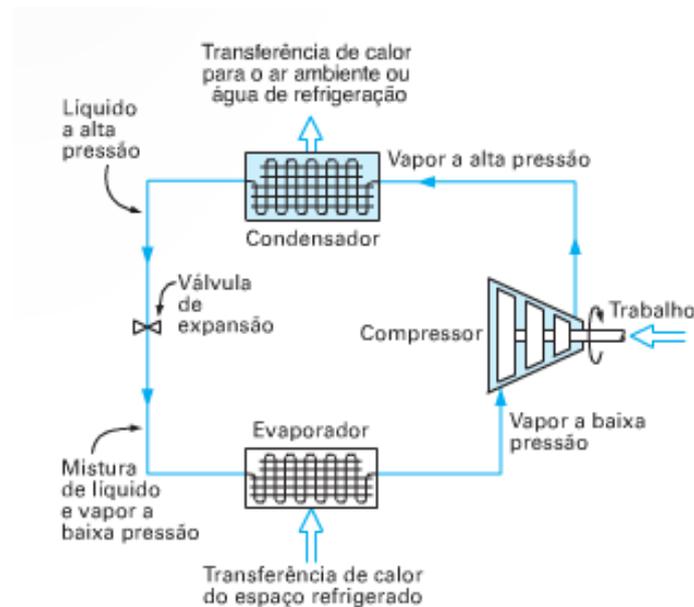
A levedura é responsável pela fermentação, que ocorre na fase de respiração anaeróbica, na qual processa a produção de álcool e CO₂. Existem dois tipos principais de leveduras utilizadas na produção de cerveja: Lagers e Ales. As Lagers geram cores leves, com sabores e aromas limpos, fermentam entre 10°C e 13 °C. As Ales fermentam em temperaturas mais altas e geram sabores mais complexos e frutados — têm, em geral, temperaturas de fermentação que variam entre 18°C e 23.9°C.

Desse modo, a utilização de um tanque fermentador com regulagem de temperatura é de grande importância, pois exclui totalmente a possibilidade de oscilação da temperatura, visto que poderá ser programada pelo fabricante a temperatura ideal para cada tipo de cerveja em cada fase da fermentação.

2.2.1 Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor

A Figura 2 mostra o esquema de um ciclo simples de refrigeração por compressão de vapor. O refrigerante entra no compressor como vapor ligeiramente superaquecido a baixa pressão. O vapor é descarregado do compressor e entra no condensador como vapor numa pressão elevada. A condensação do refrigerante é realizada no condensador à custa da transferência de calor para a água de refrigeração ou para o ambiente (vizinhanças). O refrigerante deixa o condensador como líquido a uma pressão elevada. A pressão do líquido é reduzida ao escoar pela válvula de expansão e isso provoca vaporização instantânea de parte do líquido. O líquido restante, agora a baixa pressão e temperatura, é vaporizado e evaporado como resultado da transferência de calor do ambiente refrigerado para o fluido refrigerante. Após essa operação, o vapor retorna ao compressor (BORGNAKKE, SONNTAG, 2009).

Figura 2: Ciclo simples de refrigeração.



Fonte:Borgnakke, (2009)

Segundo Storcker e Jabardo (2002, p. 40), o “ciclo simples de refrigeração a vapor consiste em 4 processos”. Primeiramente ocorre a compressão isoentrópica até a pressão de condensação, após a redução de temperatura do vapor seguida de condensação até líquido saturado a pressão constante. Posteriormente ocorre a

expansão isoentálpica até a pressão de evaporação no dispositivo de expansão e ao final a evaporação até o estado de vapor saturado e pressão constante.

3 METODOLOGIA

Na metodologia será apresentada a elaboração da otimização e desenvolvimento, o qual segue as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica
- Seleção do tipo de resfriamento/aquecimento
- Desenvolvimento de modelo de tanque fermentador

Para a realização do trabalho foi selecionado o tipo de sistema de refrigeração que será utilizado para a realização do projeto, e partindo do modelo inicial de sistema foram realizadas modificações para adaptação ao projeto que está sendo desenvolvido.

Na sequência, foi selecionado o método atual de sistema de fermentação utilizado pelos produtores de cerveja artesanal e posteriormente elaborado um esboço de projeto partindo da inicial de padronização do equipamento juntamente com as melhorias já mencionadas.

O modelo inicial de tanque fermentador selecionado é o modelo convencional, realizado através de um refrigerador doméstico (Figura 3), ele possui um sistema totalmente dependente de manutenção do produtor.

Figura 3: Modelo de fermentador utilizado atualmente



Fonte: Desenvolvido pelo autor

3.1 SELEÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Primeiramente, verifica-se que o sistema de refrigeração é a parte mais importante do tanque fermentador, pois através da refrigeração o produtor poderá controlar a temperatura que desejar. O equipamento terá uma medição de temperatura que vai de 0°C até 50°C, cabendo ao operador definir qual temperatura deseja alcançar. Pois é através dessa operação unitária que irá definir a qualidade do produto final.

Relata Palmer (2006), que um dos fatores a serem controlados para uma boa fermentação é a temperatura. Os microorganismos utilizados quando afetados pela temperatura podem adormecer, se a temperatura for muito baixa, ou se multiplicar demasiadamente, se muito alta a temperatura. Ocasionalmente produzindo de alcoóis que podem trazer gosto ruim no produto final.

Partindo disso, verificou-se a necessidade de existir um sistema de refrigeração e aquecimento no equipamento, visto que por vezes é necessário, para que ocorra o processo de fermentação, que a temperatura fique mais adequada com a temperatura ativa de fermentação daquela cepa, levando em consideração a temperatura do ambiente que pode estar muito alta ou muito baixa.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento do projeto, utilizou-se o material aço inoxidável tipo AISI 304 para o tanque fermentador, bem como borrachas tipo atóxicas para vedação e termômetros digitais. O isolamento térmico utilizado foi o poliuretano de espuma, que será injetado no equipamento. Para a composição do sistema de refrigeração foi utilizado o sistema a gás.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 DEFINIÇÃO DO MATERIAL A SER UTILIZADO

Como visto anteriormente, o material a ser utilizado para a elaboração do fermentador será o aço inoxidável, porém existem no mercado diversos tipos e variações do material. Para a escolha do material correto foram realizadas pesquisas para que não houvesse imprevistos no decorrer do processo de fabricação.

4.1.1 Tipos de aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis podem ser divididos e classificados em três grupos:

1º os aços inoxidáveis martensíticos,

2º aços inoxidáveis ferríticos

3º aços inoxidáveis austeníticos

Segundo Chiaverini (2002) os grupos 1º e 2º são formados essencialmente por ligas de ferro e cromo; o grupo 3º compreende as ligas de ferro cromo e níquel.

4.1.2 Aço inox selecionado

Dentre os três tipos de aços inoxidáveis, se tratando de um equipamento que será utilizado para armazenamento de conteúdo alimentício, foi selecionado o aço inoxidável austenítico.

Segundo Chiaverini (2002), a maior parte dos aços austeníticos comumente empregados pertence ao primeiro grupo. Os mais conhecidos e populares são os 18-8 em que o teor médio de cromo é 18% e o de níquel 8%. A introdução do níquel melhora consideravelmente a resistência a corrosão e a resistência a oxidação a altas temperaturas, visto que, na maioria dos reagentes, o níquel é mais nobre que o ferro e, além disso, forma uma camada de óxido que protege o aço espontaneamente. Para comprovar esse fato, demonstra-se que a restauração da película inerte protetora que tenha sido retirada de um aço inoxidável ao Cr-Ni é muito mais rápida do que a de um aço inoxidável somente ao cromo.

Desse modo, os aços inoxidáveis austeníticos são divididos em vários

tipos e composições, dentre as quais destaca-se o aço inox tipo AISI 304.

Nesse sentido, Chiaverini (2002), refere que tais aços inoxidáveis são menos suscetíveis a corrosão, pois possuem baixo teor de carbono e são os mais indicados para equipamentos e processador de alimentos, bem como recipientes criogênicos.

4.2 DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.

Em um sistema de refrigeração existem quatro funções básicas que formam o ciclo de refrigeração conforme mostrado na Figura 4 e 5.

O compressor (1) promove a circulação do fluido, ou gás refrigerante, por todo o sistema (circuito) e, com o auxílio do dispositivo de expansão (3) eleva a pressão no condensador (2) e reduz a pressão no evaporador (4). As setas da Figura 6 indicam o sentido de circulação do fluido, ou gás refrigerante (SILVA, 2013).

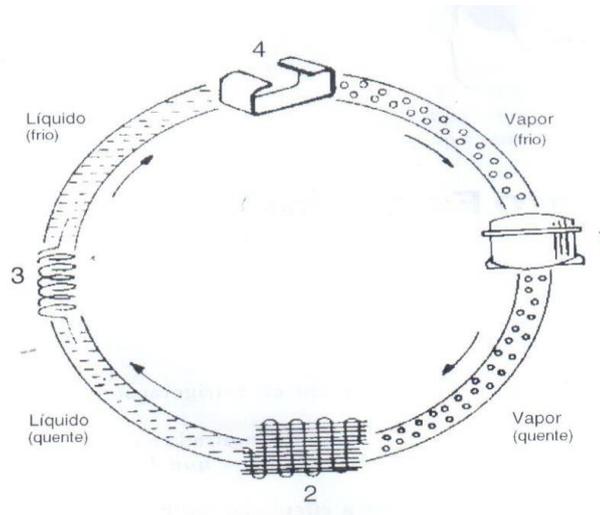
O condensador (2), ou serpentina condensadora, tem a função de eliminar (rejeitar) o calor absorvido pelo evaporador (4) somado ao calor promovido pela compressão do compressor (1); com essa eliminação de calor, o fluido refrigerante que penetra (entra) no condensador, no estado físico “vapor”, se transforma em “líquido” (SILVA, 2013).

O evaporador (4) absorve calor do ambiente interno, e com essa absorção de calor, o fluido refrigerante que sai do dispositivo de expansão (3) e entra neste no estado físico “líquido” evapora, ou seja, transforma-se em “vapor” (SILVA, 2013).

O dispositivo de expansão (3), que pode ser o tubo capilar, o pistão ou a válvula de expansão termostática, restringe ou dificulta a passagem do fluido refrigerante “líquido” que vem do condensador para o evaporador e, com essa restrição, provoca uma elevação de pressão no condensador e uma redução brusca de pressão no evaporador (SILVA, 2013).

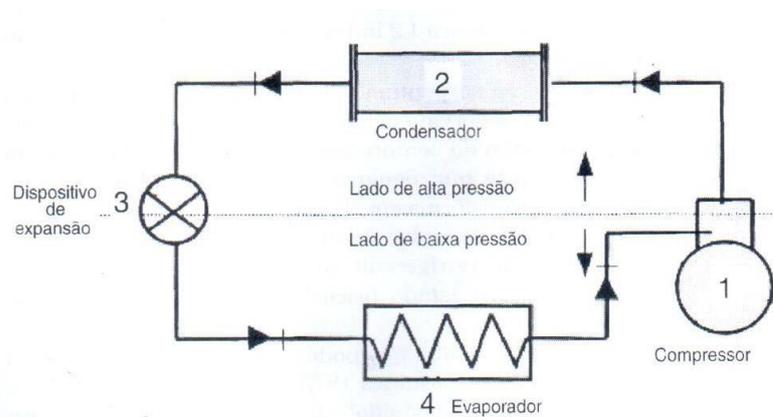
A condensação se dá com a rejeição de calor do fluido refrigerante no estado físico “vapor” e a evaporação, com a absorção de calor pelo fluido no estado físico “líquido”. Então, o condensador rejeita calor e o evaporador absorve calor (SILVA, 2013).

Figura 4: Ciclo de refrigeração líquido e vapor.



Fonte: Silva (2013)

Figura 5: Alta e baixa pressão em um ciclo de refrigeração.



Fonte: Silva (2013).

4.2.1 Fluidos ou gases refrigerantes

Além das quatro funções básicas do compressor, condensador, evaporador e dispositivo de expansão que formam o ciclo de refrigeração, também é preciso selecionar o fluido refrigerante que vai atuar no interior dos componentes, o mesmo deve ser o gás correto para a aplicação e resultados desejados, contudo, adicionado ao sistema em quantidade correta, visando não provocar danos ou falhas no sistema.

De acordo com pesquisas realizadas durante o processo de desenvolvimento e fabricação do tanque fermentador, constatou-se que podem ser utilizados dois diferentes tipos de fluidos refrigerantes. São eles R22 ou R134a, ambos são utilizados em sistemas similares como, por exemplo, refrigeradores domésticos.

O motor selecionado para o equipamento é o TCM 2030-E, 60HZ, 220w, ½ HP, do fabricante Elgin, escolhido por ser o mais recomendado pela empresa fabricante para o tipo de projeto que está sendo desenvolvido, visto que o projeto se assemelha a um sistema de refrigeração doméstica. Segue na Figura 6 e 7 a descrição do modelo compressor pelo fabricante.

Figura 6 - Modelos de compressores

MODELO COMPRESOR	TENSÃO (V)	REF. COML. (HP)	TIPO DE ÓLEO	CAPACIDADE FRIGORÍFICA (Kcal/h)					DESLOC. (cc/rev)	CORRENTE (A)	CONSUMO (W)
				TEMPERATURA EVAPORAÇÃO (°C)							
				-15	-10	-6,7	-5	0			
REFRIGERANTE R22											
TCM 2010	D-115	1/6	ALKYLBENZENO ISO 32	228	296	310	392	498	5,9	3,8	325
	E-220			1,9							
TCM 2015	D-115	1/5		290	355	375	400	620	6,82	4,0	340
	E-220			2,0							
TCM 2020	D-115	1/4		430	525	550	575	780	7,32	5,0	480
	E-220			2,5							
TCM 2030	D-115	1/2		480	625	675	695	875	8,42	6,7	570
	E-220			3,4							
TCM 2038	-	3/4		608	768	950	1001	1213	11,65	-	720
	E-220			4,6							
TCM 2040	D-115	7/8		625	795	1000	1150	1280	15,76	7,5	820
	E-220			4,0							
TCM 2050	D-115	1	825	1200	1250	1625	1968	17,52	8,0	840	
	E-220		4,2								
TCM 2062	-	1-1/4	1070	1475	1550	1800	2175	20,66	-	1040	
	E-220		4,8								

Fonte: Elgin Refrigeração

Figura 7- Modelo de motor de refrigeração utilizado



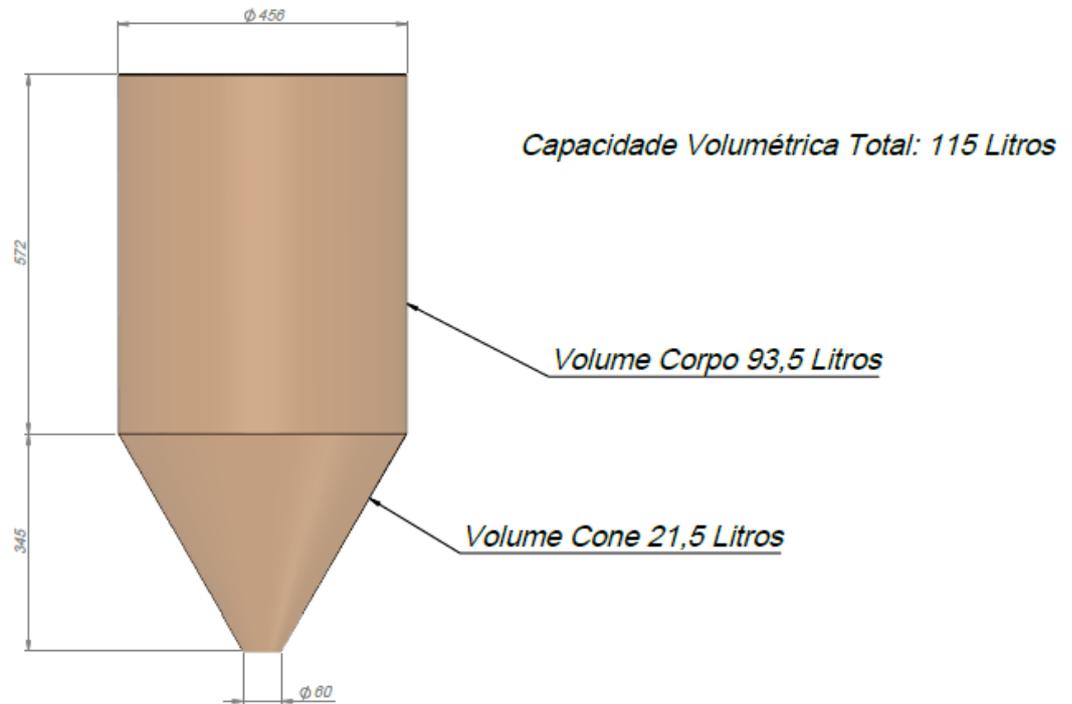
Fonte: Elgin Refrigeração.

4.3 DEFINIÇÃO DE DIMENSÕES E VOLUME DO TANQUE FERMENTADOR

Antes de iniciar a fabricação do fermentador, é necessário estabelecer e definir dimensões e a capacidade volumétrica que o equipamento terá. Assim, o equipamento em desenvolvimento foi projetado para 115 litros, porém, nada impede que este valor possa ser maior ou menor, depende da capacidade de produção de cada cervejeiro, bem como, sua necessidade, como se observa na Figura 8.

Entretanto, cumpre salientar que este equipamento de 115 litros tem a capacidade de produzir somente 100 litros ou menos, devido à necessidade de um espaçamento de 15% do seu volume para a espuma gerada durante a fermentação (headspace ou espaço de cabeça).

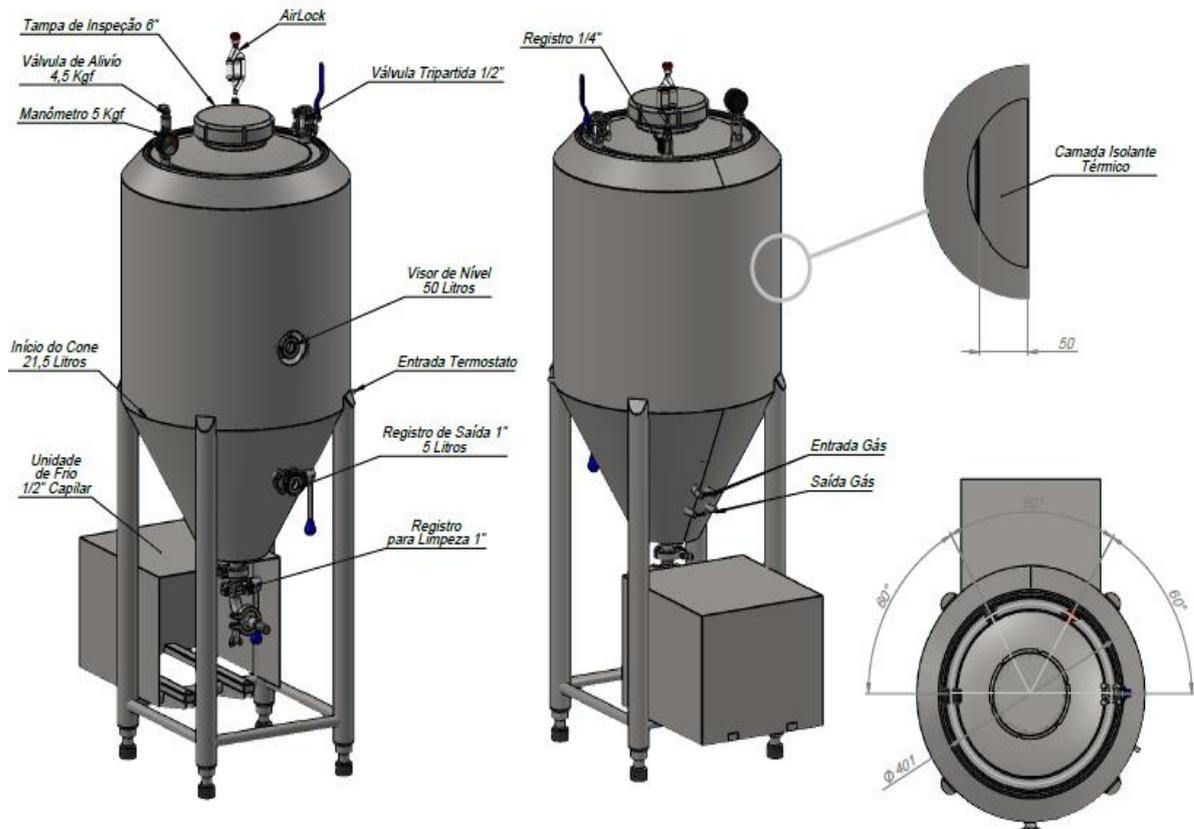
Figura 8- Medidas internas do equipamento



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2016.

O projeto do novo fermentador é apresentado na Figura 9, onde as melhorias e mudanças realizadas estão incluídas, tais como formato, sistema de refrigeração, sistema de nível, material e isolamento térmico.

Figura 9- resultado final da otimização do tanque fermentador



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2016.

4.4 DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DO EQUIPAMENTO

4.4.1 Montagem do corpo e sistema de refrigeração do equipamento

Após a seleção de todos os materiais a serem utilizados no projeto do tanque fermentador, inicia-se o processo de montagem e fabricação, colocando em prática toda a pesquisa realizada até o presente momento.

Na Figura 10 a chapa de aço inoxidável AISI 304 com espessura 2,5mm cortada em formato cônico, demonstrando a parte interna inferior do equipamento.

Figura 10: Chapa aço inoxidável AISI 304



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Posteriormente, na Figura 11 ocorre a união da parte inferior do equipamento com o corpo interno, todo construído com o mesmo material inoxidável.

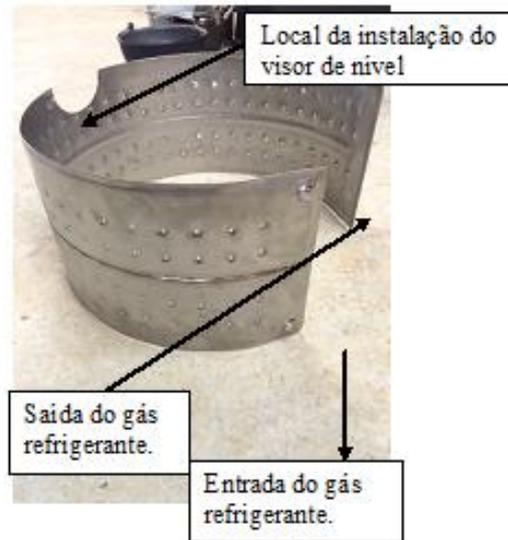
Figura 11: União do corpo interno com a parte inferior cônica



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Em seguida, foi moldada a chapa que servirá de camisa do equipamento, que é onde ocorre a circulação do gás refrigerante. Tomando por base que o gás percorre o caminho mais curto, foram realizadas adaptações na chapa com a finalidade de que o gás percorra todo o entorno do equipamento, dessa forma, aproveitando o máximo de trabalho do gás refrigerante, conforme Figura 12.

Figura 12: camisa interna do equipamento



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Figura 13: União da chapa no corpo do equipamento formando a camisa



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Após a união da chapa no corpo principal, forma-se a camisa do equipamento, como se observa na Figura 13 foi adicionada uma chapa na parte cônica do corpo formando a segunda camisa.

O objetivo principal da formação de duas camisas no mesmo corpo, sendo uma na parte superior e outra na inferior, é baseado na quantidade de líquido

existente no tanque. Visto que se o líquido estiver abaixo do visor de nível será desativada a parte superior da refrigeração, sendo que só a camisa inferior estará funcionando, evitando gasto de energia.

Vale ressaltar que a capacidade do equipamento é de 115 litros, e caso o produtor desejar fabricar quantidade inferior, automaticamente apenas o sistema de refrigeração da parte inferior será utilizado.

Na seqüência foram realizados testes de verificação na soldagem do equipamento com a finalidade de prevenir vazamento de gás refrigerante.

Figura 14: Realização do teste de pressão.



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Levando em consideração que o tanque vai trabalhar com 150 psi, para realizar o teste foi injetado no equipamento 200 psi, para garantir o seu funcionamento não ocorrendo nenhuma falha no sistema, como demonstrado na Figura 14 e 15.

Figura 15: Realização de teste de pressão.



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Após a realização dos testes, com resultado positivo, na seqüência da montagem do equipamento foi realizado o revestimento Figura 16 e posteriormente o isolamento térmico Figura 17.

O revestimento foi fabricado com chapa de aço inoxidável AISI 304 1,5mm.

Entre o corpo do equipamento e o revestimento externo é injetado o isolante térmico, que são as espumas de poliuretano, obtidas pela reação química de 2 componentes líquidos – Isocianato e Poli-hidroxilo- em presença de catalizadores (COSTA, 1982).

Figura 16: Revestimento em aço inoxidável do corpo do equipamento



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Como mostra a Figura 17, por se tratar de um isolante composto por líquidos, é possível ser injetado entre o corpo e o revestimento através de um pequeno orifício, onde ocorre a formação sólida do isolante, preenchendo todos os espaços.

Figura 174: Injeção do sistema de isolamento térmico de poliuretano.



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Por fim, após todas as etapas de produção acima descritas, chegou-se ao término da montagem do tanque com os materiais selecionados e o sistema de isolamento térmico. Na Figura 18 está representado o equipamento pré montado, restando a parte de refrigeração para ser anexada.

Também foram adicionados itens indispensáveis para o bom funcionamento de equipamento, conforme Figura 18 foram anexados manômetro de pressão até 5kgf/cm^2 , válvula de segurança que irá ser acionada no momento em que a pressão interna chegar a $4,5\text{kgf/cm}^2$, válvula de fermentação (air-lock) que permite a saída do dióxido de carbono, produzido pelo processo fermentativo, válvula com espigão para adição de CO_2 , visor de nível e termostato localizado na parte central do equipamento.

Figura 18: Equipamento pré montado com demais itens adicionados



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Após a conclusão da montagem do corpo do tanque, foi realizada a instalação do sistema da unidade refrigeradora já selecionada anteriormente (Figura 7). Na Figura 19 vemos a unidade completa de $\frac{1}{2}$ Hp que realiza apenas o ciclo de resfriamento do equipamento. Para que o equipamento possa realizar o processo de fermentação da maneira que foi posposta na elaboração do trabalho é necessário instalar juntamente com a refrigeração um modo de aquecimento do equipamento.

Figura 19: Unidade de refrigeração e aquecimento completa



Fonte: Desenvolvido pelo autor

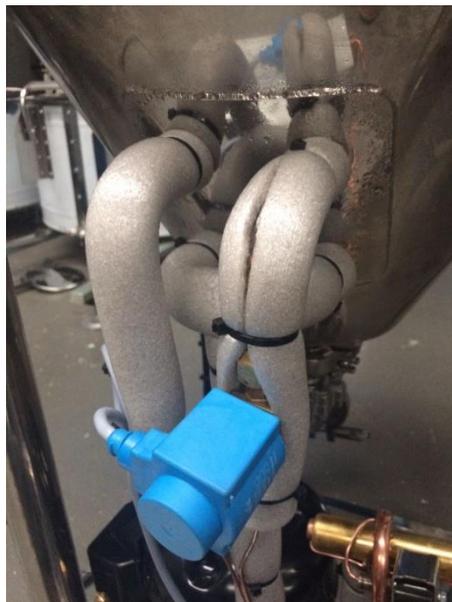
Juntamente com a unidade de refrigeração foi instalada uma válvula reversora, que funciona mudando o caminho que o gás irá percorrer, nesse sistema de aquecimento o gás irá primeiro para o evaporador, trocando de função com o condensador. Portanto, quem fica com a temperatura mais elevada é o evaporador e condensador fica com a temperatura mais baixa. Dessa forma é possível colocar no equipamento a unidade de frio e calor, podendo ser ajustada pelo produtor, numa variação que vai de 0° C a 50° C. Abaixo na Figura 20 temos a válvula reversora já instalada na unidade refrigeradora.

Figura 20: Válvula reversora instalada no sistema de refrigeração



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Figura 21: válvula solenóide



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Ao realizar a montagem do sistema de refrigeração, foi adicionada uma válvula solenóide, conforme Figura 21, pois o equipamento é composto por uma camisa superior, localizada no corpo do tanque, e uma inferior, localizada no cone. Caso haja a necessidade de produzir metade da capacidade do tanque, a camisa superior do corpo poderá ser desativada, ocasionando uma economia de energia.

Figura 22: equipamento completo e painel de controle



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Por fim, na Figura 22, temos o equipamento completo, com detalhe para o painel de controle, com funções de aquecimento, desligamento da camisa superior e termostato digital.

CONCLUSÃO

O setor de produção e consumo de cerveja artesanal vem se destacando e crescendo no mercado brasileiro. Com a expansão do mercado a procura por equipamentos para a fabricação de cerveja artesanal aumentou consideravelmente, os pequenos produtores buscam equipamentos de qualidade a fim de manter alto padrão na fabricação da cerveja.

Levando em conta todo o processo de fabricação da cerveja artesanal, pode-se considerar a etapa da fermentação uma das etapas mais importantes para que o produto final tenha qualidade. Observou-se também que o equipamento utilizado pelos pequenos produtores nessa fase do processo é mais simples e rústico e que se não fosse operado e manejado corretamente poderia comprometer a produção inteira.

Assim, surge a proposta de desenvolvimento de um tanque fermentador de cerveja artesanal, todo produzido em materiais atóxicos, com sistema de isolamento térmico, bem como sistema de refrigeração. Partindo desse projeto inicial foram selecionados os materiais a serem utilizados e o sistema de refrigeração.

O equipamento foi desenvolvido em aço inoxidável 304, como isolante térmico foi utilizado o poliuretanos e o sistema de refrigeração a gás foi instalado no equipamento, com isso é possível determinar a temperatura para que ocorra a fermentação.

Partindo dessa premissa, foram analisadas as principais características do projeto em conjunto com as dificuldades e facilidades, identificando assim que as mudanças sugeridas no fermentador completam de forma eficiente o equipamento já existente, tornando-o superior no quesito qualidade, finalidade e resultado final.

Portanto, após a realização da montagem e testado o equipamento os resultados foram satisfatórios, visto que a temperatura no processo de fermentação pode ser controlada pelo produtor diretamente no tanque fermentador, sem interferência do ambiente externo, garantindo assim que fermentação estaria na temperatura correta pelo tempo correto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R.E. **Fundamentos da Termodinâmica**. 7. ed. São Paulo: Blucher, 2012.

Coletânea de Informações Técnicas Aço Inoxidável. Disponível em: <http://www.nucleinox.org.br/upfiles/arquivos/downloads/A%E7o%20Inoxid%E1vel_No%E7%F5es%20b%E1sicas.pdf>. Acesso em 24 de jun. 2016.

COSTA, Enio Cruz. **Refrigeração**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 1982.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7. ed. São Paulo: ABM, 2002.

MACEIRAS, Arturo Chao. **Atributos dos aços inoxidáveis como materiais de contato com alimentos**. Disponível em: <<http://www.abinox.org.br/upfiles/arquivos/downloads/apresentacoes/Artigo-ACM-Revista-Carne.pdf>> Acesso em 18 de outubro de 2016.

MEGA, Jéssica Francieli. **A produção de cerveja artesanal no Brasil**. Disponível em: <<http://www.hestia.org.br/wp-content/uploads/2012/07/CITINOAno1V01N1Port04.pdf>>. Acesso em 18 de outubro de 2016.

PALMER, John J. **Howtobrew?**. Estados Unidos: Natl Boot Network, 2006.

POLZ, Walter Borelli. **Escola Superior de Cerveja e Malte**. Curso Cervejeiro. Blumenau, 2015.

SEBRAE. **Cerveja Artesanal**: ótimo negócio para pequenos. Disponível em: <<http://www.sebraemercados.com.br/ceveja-artesanal-otimo-negocio-para-pequenos/>> Acesso em 18 de outubro de 2016.

SILVA, José Castro. **Refrigeração Comercial, Climatização Comercial**. 3ª.ed. São Paulo: Leopardo 2013.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**: fundamentos teóricos e práticos. 5. ed.. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

STOECKER, W.F.; JABARDO, J.M.S. **Refrigeração Industrial**. São Paulo: Blucher, 2002.

TABOCA. **Processo de Fermentação de cerveja artesanal**. Disponível em: <<http://www.slidequest.com/q/sbpcv>>. Acesso em 18 de outubro de 2016.