

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES**  
**URI ERECHIM**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**MARLAN MIOTTO**

**CLARIFICAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS TIPO MALTE RED ALE E PILSEN**  
**UTILIZANDO PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS**

**ERECHIM-RS**  
**Setembro, 2020**

**MARLAN MIOTTO**

**CLARIFICAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS TIPO MALTE RED ALE E PILSEN  
UTILIZANDO PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS**

**Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do grau de Engenheiro Químico,  
Departamento de Engenharias e Ciência da  
Computação da Universidade Regional  
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –  
URI Erechim.**

**Orientador(s): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Eunice Valduga**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Juliana Steffens**

**ERECHIM-RS**

**2020**

## RESUMO

A filtração é uma das etapas mais importantes do processo de clarificação de produção de cerveja, objetivando principalmente a remoção de sólidos em suspensão e turbidez, promovendo assim a clarificação e manutenção das principais propriedades da cerveja, assegurando uma maior durabilidade do produto. Dentre as tecnologias de filtração aplicadas, o processo de separação por membranas tem se destacado na indústria de bebidas, sendo o tipo de membrana e o sistema podem variar de acordo com a escala industrial de produção. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi realizar a clarificação das cervejas artesanais tipo malte Red e Pilsen, empregando sistema de microfiltração e ultrafiltração (tipo espiral de 10 kDa e tipo fibra oca de 50 kDa), avaliando os fluxos de permeado e características das cervejas (teor alcóolico, sólidos solúveis e totais, viscosidade, turbidez e cor). Ao utilizar a membrana tipo fibra oca (MF e UF 50 kDa) o fluxo de permeado de cerveja malte Pilsen foi menor (MF - 46,1 L/m<sup>2</sup>h e UF -14,69 L/m<sup>2</sup>h), quando comparado a cerveja malte Red utilizando a membrana tipo espiral (MF - 282,29 L/m<sup>2</sup>h e UF 10 kDa -68,5 L/m<sup>2</sup>h), isto deve-se, a configuração das membranas e as maiores áreas da membrana de fibra oca (MF - 1,8 m<sup>2</sup> e UF 50 kDa - 2,2 m<sup>2</sup>). Além disso, a membrana tipo fibra oca de MF 10 kDa apresentou menor eficiência de remoção de sólidos (4,13%), turbidez (12%) e cor (1%) da cerveja tipo malte Pilsen, quando comparada a UF tipo espiral de 10 kDa utilizada na cerveja malte Red, isto deve-se principalmente a maior quantidade de sólidos na cerveja *in natura* Pilsen quando comparada com a cerveja *in natura* malte Red, e também, pela maior abertura dos poros (50 kDa) e a configuração da membrana. Portanto, a microfiltração e ultrafiltração aplicada nas cervejas artesanais mostraram-se um processo eficiente para a clarificação, auxiliando de maneira positiva no desenvolvimento do processo de produção e no produto final.

**Palavras-Chave:** Filtração. Cerveja. Membranas.

## ABSTRACT

Filtration is one of the most important steps in the beer production process, aiming mainly at the removal of suspended solids and turbidity, thus promoting the clarification and maintenance of the main properties of beer, ensuring greater product durability. Among the applied filtration technologies, the membrane separation process has stood out in the beverage industry, the type of membrane and the system may vary according to the industrial scale of production. In this sense, the objective of the present work was to clarify the craft beer type Red and Pilsen malt, using a microfiltration and ultrafiltration system (10 kDa spiral type and 50 kDa hollow fiber type), evaluating the permeate flows and characteristics of the beers (alcohol content, soluble and total solids, viscosity, turbidity and color). When using the hollow fiber type membrane (MF and UF 50 kDa) the permeate flow of Pilsen malt beer was lower (MF - 46.1 L / m<sup>2</sup>h and UF -14.69 L / m<sup>2</sup>h), when compared to Red malt beer using the spiral type membrane (MF - 282.29 L / m<sup>2</sup>h and UF 10 kDa -68.5 L / m<sup>2</sup>h), this is due to the configuration of the membranes and the larger areas of the hollow fiber membrane (MF - 1, 8 m<sup>2</sup> and UF 50 kDa - 2.2 m<sup>2</sup>). In addition, the MF 10 kDa hollow fiber membrane showed lower efficiency in removing solids (4.13%), turbidity (12%) and color (1%) from Pilsen malt beer, when compared to UF type spiral beer. 10 kDa used in Red malt beer, this is mainly due to the higher amount of solids in Pilsen fresh beer when compared to Red malt fresh beer, and also due to the greater pore opening (50 kDa) and the membrane configuration . Therefore, the microfiltration and ultrafiltration applied to craft beers proved to be an efficient process for clarification, helping positively in the development of the production process and in the final product.

**Keywords:** Filtration. Beer. Membranes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 - Consumo per capita mundial.....	11
Tabela 2 – Relação da porcentagem de retenção do malte em diferentes aberturas de peneira com o equipamento para realização da filtração.....	16
Tabela 3 – Temperatura e pH de atuação das enzimas.....	16
Tabela 4 - Características físico-químicas da cerveja - Malte Red e dos permeados de MF e UF de 10 kDa empregando membranas tipo espiral e da cerveja – Malte Pilsen e dos permeados de MF UF de fibra oca de 50 kDa.....	35
Tabela 5 - Parâmetros de cor (L*, a*, b*, C*, redução de cor) da cerveja - Malte Red e dos permeados de MF e UF de 10 kDa empregando membranas tipo espiral e da cerveja – Malte Pilsen e dos permeados de MF UF de fibra oca de 50 kDa.....	36
Figura 1 – Consumo per capita no Brasil ao longo dos anos.....	12
Figura 2 - Tributação sobre a cerveja.....	12
Figura 3 - Número de cervejarias com o passar dos anos.....	13
Figura 4 - Porcentagem de cervejarias em cada região do país.....	13
Figura 5 – Preparação do inóculo.....	26
Figura 6 - Unidade Piloto de separação por membranas.....	27
Figura 7 - Fluxos de permeados da cerveja - Malte Red empregando membrana de MF espiral, 0,5 bar (a), UF tipo espiral de 10 kDa (b) e para a cerveja – Malte Pilsen com membrana de MF (c) e UF de fibra oca de 50 kDa (d).....	31
Figura 8 - Comparação visual da cerveja bruta e filtrada – Malte Red.....	34
Figura 9 - Comparação visual da cerveja bruta e filtrada – Malte Pilsen.....	34
Quadro 1 – Classificação de alguns tipos de cervejas.....	15

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>08</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>10</b>
2.2 Objetivos específicos.....	10
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Mercado cervejeiro e seus segmentos .....</b>	<b>11</b>
3.1.1 Produção nacional de cervejas.....	12
3.1.2 Classificação das cervejas.....	14
<b>3.2 Processo de produção da cerveja .....</b>	<b>15</b>
3.2.1 Moagem do malte.....	15
3.2.2 Mosturação.....	16
3.2.3 Filtração.....	17
3.2.4 Fervura.....	17
3.2.5 Resfriamento e aeração.....	18
3.2.6 Fermentação.....	18
3.2.7 Maturação.....	19
3.2.8 Clarificação.....	19
3.2.8.1 Sedimentação por gravidade.....	20
3.2.8.2 Agentes clarificantes.....	20
3.2.8.3 Centrifugação.....	20
3.2.8.4 Filtração.....	21
3.2.9 Carbonatação.....	21
3.2.10 Envase.....	22
3.2.10.1 Enchedora de garrafas e latas.....	22
3.2.10.2 Embarrilamento.....	22
3.2.11 Pasteurização.....	22

3.3 Filtração empregando processo de separação por membranas.....	23
<b>4 MATERIA E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Processo de produção da cerveja artesanal.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Processo de filtração por membrans.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3 Metodologias analíticas .....</b>	<b>28</b>
4.3.1 Teor Alcólico.....	28
4.3.2 Determinação dos sólidos totais.....	28
4.3.3 Densidade.....	28
4.3.4 Viscosidade.....	28
4.3.5 Índices de cor.....	28
4.3.6 Determinação da turbidez.....	29
4.3.7 Determinação de sólidos solúveis.....	29
<b>4.4 Análise estatística.....</b>	<b>29</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>30</b>
5.1 Características físico-químicas das cervejas in natura e dos permeados da microfiltração e ultrafiltração.....	32
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma bebida produzida a partir da fermentação de cereais, sendo considerada uma das bebidas mais antigas consumidas pelo homem. Atualmente, o Brasil ocupa o terceiro lugar em produção de cerveja, ficando atrás somente da China e dos Estados Unidos (CERBRASIL, 2020). Em 2019, no Brasil foram registradas 1.209 cervejarias no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), distribuídas por 26 unidades da federação, apresentando um aumento de produção de 36% quando comparado ao ano de 2018. A maioria das cervejarias está localizada nos estados do Sul e do Sudeste: 80% ficam nessas regiões. São Paulo tem o maior número de estabelecimentos (241), seguido pelo Rio Grande do Sul (236) e por Minas Gerais (163) (ABEART, 2020).

O Brasil, além de ser um dos principais produtores de cerveja, também é considerado um grande consumidor, com valores médios por habitante de mais de 57 litros por ano (FLACSO, 2012). Assim, devido a alta demanda deste produto as cervejarias artesanais começaram a ganhar espaço.

Existem no mercado inúmeros tipos de cerveja que se diferenciam pelos ingredientes, metodologias de elaboração, além de características organolépticas. As cervejas artesanais, no entanto, são produtos que apresentam maior valor agregado e qualidade superior, produzidas por meio de formulações ou processos distintos aos utilizados em escala industrial. A produção em pequena escala possibilita produtos diferenciados aos consumidores, mais exigentes com o cuidado na seleção da matéria-prima (TOZETTO et al., 2019). Na indústria de cerveja o processo de filtração é considerado etapa de finalização do processo, onde ocorre o clareamento do produto. Neste processo visa-se eliminar partículas em suspensão, tais como leveduras, partículas coloidais, resíduos de lúpulo. A eliminação dessas partículas ocorre mediante a passagem da cerveja maturada por um meio filtrante (terra diatomácea) sem que haja alterações na qualidade do produto final, conferindo a cerveja um aspecto límpido. Qualquer falha de controle e variações durante esta etapa resulta no comprometimento da qualidade do produto final.

O uso terra diatomácea nesta etapa gera um material residual que vem se tornando um problema para as cervejarias. Assim, uma alternativa de filtração é o uso de membranas, as quais apresentam menor custo operacional e de investimento, diminuição do tempo de processamento. As membranas apresentem propriedades seletivas, capazes de remover bactérias ou levedura prejudiciais à qualidade do produto final.

Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi utilizar o processo de separação por

membranas para remoção de turbidez e material em suspensão de cerveja, como um método alternativo para clarificação para micro cervejarias.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Clarificar cervejas artesanais tipo Red Ale e Pilsen utilizando processo de separação por membranas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

a) Avaliar o fluxo de permeado das membranas do sistema piloto de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) tipo espiral 10 kDa para cerveja tipo Malte Red Ale.

b) Avaliar o fluxo de permeado das membranas do sistema piloto de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) tipo fibra oca de 50 kDa para cerveja tipo Malte Pilsen.

c) Caracterizar as cervejas *in natura* e as frações de permeados de MF e UF em termos de cor, turbidez, sólidos totais, teor alcoólico, densidade e viscosidade.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Mercado cervejeiro e seus segmentos

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cerveja (SINDICERV, 2018), o Brasil é o nono maior consumidor do produto no mundo, bebendo por ano, em média, 47 litros *per capita*. A República Checa, líder no ranking, registra o consumo de 158 litros por habitante ao ano. A Tabela 1 mostra a distribuição do consumo *per capita* mundial de cervejas.

Tabela 1 - Consumo *per capita* mundial de cervejas.

<b>País</b>	<b>Consumo (L/hab.ano)</b>
República Checa	158
Alemanha	117,7
Reino Unido	101,5
Austrália	92
Estados Unidos	84
Espanha	78,3
Japão	56
México	50
Brasil	47
França	35,5
Argentina	34
China	18

Fonte: Brewers of Europe, Alaface e Sindicerv (2018).

Embora esse consumo tenha sido incrementado nos primeiros anos de implantação do Plano Real (1994/1995), como pode ser observado na Figura 1, o nível se mantém estável desde então, especialmente porque, ao se levar em conta o baixo poder aquisitivo de boa parte de seus consumidores, o preço do produto é alto (SINDICERV 2018), com incidência de uma série de tributos (Figura 2) na cerveja.

Figura 1 - Consumo de cerveja per capita no Brasil ao longo dos anos.



Fonte: BNDES e SINDICERV (2018).

Figura 2 - Tributação sobre a cerveja.

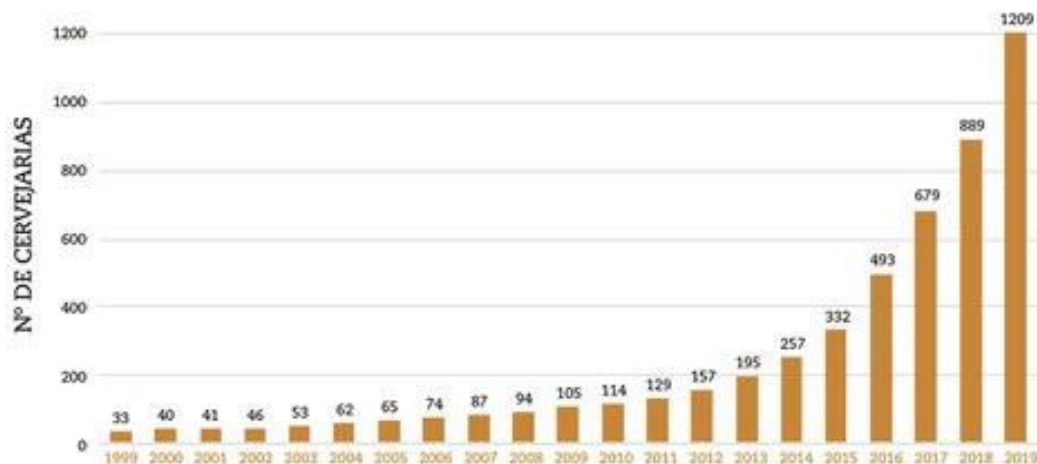


Fonte: SINDICERV (2018)

### 3.1.1 Produção nacional de cervejas

Atualmente estão registradas 1209 cervejarias no Brasil MAPA (2019). O número de estabelecimentos registrados apresenta crescimento notável na última década, crescendo ano após ano (Figura 3).

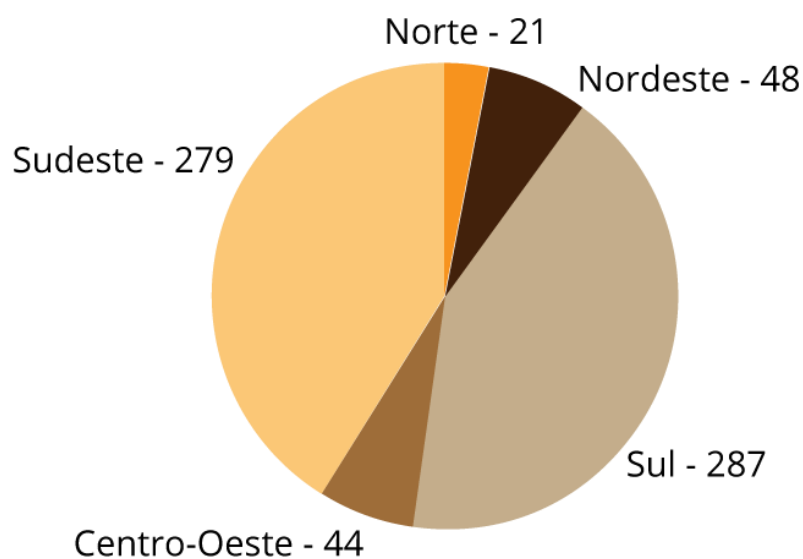
Figura 3 – Evolução do número de cervejarias no Brasil (1999 – 2019).



Fonte: MAPA (2019)

Estas cervejarias encontram-se localizadas majoritariamente nas regiões Sul e Sudeste do país, que somam 83% de todos os estabelecimentos. Importante notar que os estados da região Sul ultrapassaram recentemente os da região Sudeste no total de cervejarias, sendo a região com mais cervejarias no país. Isso evidencia a forte influência da imigração europeia na região que trouxe o hábito de consumir cerveja como um dos seus traços culturais, sobretudo os Alemães (MAPA, 2019).

Figura 4 - Porcentagem de cervejarias em cada região do Brasil.



Fonte: MAPA (2019)

As regiões do Nordeste e Centro-Oeste apareceram nos últimos anos como cenário de novas cervejarias e apresentam um crescimento rápido, bem como a região Norte, porém com uma taxa menor. Em 2019, as fábricas chegaram a 580 municípios, sendo que Sorocaba (SP) foi o município com maior crescimento do número (485%) de cervejarias entre 2017 e 2019 e Porto Alegre (RS) com o maior número de estabelecimentos. O crescimento do número de cervejarias no país, nos últimos 20 anos, tem sido constante. A média de crescimento nesse período foi de 19,6%. Nos últimos cinco anos, esse índice foi de 36,4%. Quanto aos produtos, a cerveja segue como a bebida mais registrada no país, com 27.329 rótulos, o que representa 28,5% de todos os produtos cadastrados no Mapa (95.794) e em média cada estabelecimento tem 22 registros (ABRACERVA, 2020).

### **3.1.2 Classificação das cervejas**

A cerveja de alta fermentação é aquela obtida pela ação de leveduras cervejeiras que emerge a superfície do líquido na fermentação tumultuosa. A cerveja de baixa fermentação é obtida pela ação de levedura cervejeira que se deposita no fundo da cuba durante ou após a fermentação tumultuosa. Em relação a fermentação tem-se que a cerveja de baixa fermentação e aquela obtida pela ação da levedura que se deposita no fundo da cuba, durante ou após a fermentação tumultuosa (*Saccharomyces uvarum*). A de alta fermentação e aquela obtida pela ação da levedura que emerge a superfície na fermentação tumultuosa (*Saccharomyces cerevisiae*) (REINOLD, 1997).

De acordo com seu tipo, internacionalmente conhecido, a cerveja poderá ser denominada *Pilsen, Export, Lager, Dortmunder, Munchen, Bock, Malzbier, Ale, Stour, Porter e Weissbier*. As cervejas podem ser classificadas segundo suas características peculiares, sendo que o Quadro 1 apresenta as principais características dos tipos de cervejas (REINOLD, 1997).

Quadro 1 – Classificação de alguns tipos de cervejas

<b>Cerveja</b>	<b>Origem</b>	<b>Coloração</b>	<b>Teor Alcoólico</b>	<b>Fermentação</b>
Pilsen	Alemanha	Clara	Médio	Baixa
Dortmunder	Alemanha	Clara	Médio	Baixa
Stout	Inglaterra	Escura	Alto	Geralmente Baixa
Porter	Inglaterra	Escura	Alto	Alta ou Baixa
Weissbier	Alemanha	Clara	Médio	Alta
Munchen	Alemanha	Escura	Médio	Baixa
Bock	Alemanha	Escura	Alto	Baixa
Malzebier	Alemanha	Escura	Alto	Baixa
Ale	Inglaterra	Clara e Avermelhada	Médio ou Alto	Alta
Ice	Canadá	Clara	Alto	Baixa

### **3.2 Processo de produção industrial de cerveja**

A produção de cerveja apresenta as seguintes etapas no processo.

#### **3.2.1 Moagem do malte**

Para iniciar o processo de produção, primeiramente tem-se que realizar a moagem do malte. Os objetivos desta moagem é aumentar a área superficial do grão, possibilitando a atuação enzimática e quebra do malte, separação das cascas para serem utilizadas como material filtrante, ter um rendimento máximo, ter uma boa clarificação e uma boa qualidade do mosto filtrado (BRIGGS et al, 2004).

Para determinar a granulometria final que se deseja, tem que se analisar qual será o equipamento usado para clarificação do mosto, abaixo a Tabela 2 relaciona as aberturas das peneiras de análises granulométricas, com a porcentagem em peso que cada peneira tem que reter do malte para analisar se houve uma boa moagem e cada tipo de equipamento utilizado.

Tabela 2 – Relação da porcentagem de retenção do malte em diferentes aberturas de peneira com o equipamento para realização da filtração

Abertura (mm)	Peneira	Tina filtro	Filtro Prensa com membrana	Filtro Prensa convencional
1,270	Peneira 1 (Casca)	21%	<1%	6,5%
1,010	Peneira 2 (Sêmolos grossas)	7,5%	<4%	2,5%
0,547	Peneira 3 (Sêmolos finas I)	32%	<9%	29,5%
0,253	Peneira 4 (Sêmolos finas II)	20%	>26%	35%
0,152	Peneira 5 (Farinha)	7,5%	>19%	10%
0	Peneira 6 (Pó de farinha)	15%	<41%	21,5%

Fonte: Curso de Tecnologia e Prática Cervejeira – Módulo 2 (2013)

### 3.2.2 Mosturação

Na mosturação o malte moído é misturado com água e aquecido na tina de mostura e tem como finalidade recuperar, no mosto, a maior quantidade possível de extrato. O extrato do mosto apresenta uma pequena parte de substâncias oriundas do malte (10-15%) solúvel em água, o restante (85-90%) é formado por produtos de degradação de macromoléculas pelas enzimas do malte. Desta forma as amilases convertem o amido em açúcares fermentescível (maltose principalmente) e dextrina não fermentável, as proteases produzem peptídeos e aminoácidos pela digestão das proteínas e as fosfatases liberam íon fosfato orgânico para o mosto (AQUARONE et al., 2001).

Cada enzima presente no malte só atua em uma faixa de temperatura e certo pH. A Tabela 3 mostra os valores de temperatura e pH correspondentes às atuações enzimáticas:

Tabela 3 – Temperatura e pH de atuação das enzimas no processo de mosturação da cerveja

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

Fonte: VENTURINI FILHO (2010).

Segundo Venturini Filho (2010), a escolha do tipo de mosturação ou programa de tempo/temperatura vai depender da composição e do tipo de cerveja desejado, agregando, por exemplo, o quanto de açúcar fermentescível deseja-se ou quanto de substâncias proteicas almeja-se para o corpo final da cerveja.

### 3.2.3 Filtração

Após o processo de mosturação, essa mistura precisa ser separada da parte sólida. Existem vários meios para realizar esta separação, pode ser pela tina combinada de mosturação-filtração, filtro prensa, “*strain máster*” e a tina de filtração. A mais utilizada atualmente é a tina de filtração, que consiste em um tanque com uma peneira em seu interior. Ao transferir a mistura, as cascas provenientes do malte formam uma espécie de cama no interior do tanque, auxiliando no processo de filtração do mosto (BOULTON; QUAIN, 2001).

A filtração do mosto é realizada em duas partes: a) a primeira se retira quase toda a fração líquida pelo leito filtrante, dando origem ao mosto primário; b) na segunda, são feitas lavagens com água, com a finalidade de se extrair o máximo de extrato que fica retido nos sólidos. A temperatura da água deve estar entorno de 75°C, aonde nesta temperatura a viscosidade do mosto favorece sua pronta e completa separação do resíduo, as enzimas do malte estão predominantemente inativas, o desenvolvimento bacteriano está bloqueado e não existe o risco de se extrair substâncias insolúveis das matérias-primas, principalmente os taninos da casca do malte (AQUARONE et al., 2001).

### 3.2.4 Fervura

Após o mosto filtrado, ele é submetido à fervura, que tem como finalidades, a isomerização dos lúpulos, garantir o desenvolvimento de substâncias aromáticas, desenvolvimento coloidal, inativação completa das enzimas presentes e a esterilização do mosto. A isomerização dos lúpulos é a conversão dos alfa-ácidos em isso-alfa-ácidos, responsáveis por conferir amargor à cerveja. O ponto máximo de isomerização ocorre entre 60 e 70 min de fervura, e corresponde a aproximadamente 60% dos alfa-ácidos totais. A inativação das enzimas é necessária, caso contrário, ao final do processo teríamos uma cerveja adstringente. Além disso, durante a fervura do mosto, proteínas e complexos de proteínas como os taninos, precisam ser eliminados para obter uma cerveja clarificada. Com o aumento da fervura as proteínas coagulam e precipitam no fundo da tina de fervura. Esse precipitado é denominado “trub”. Na maioria das vezes, há uma ineficiência na coagulação das proteínas, levando uma cerveja sem estabilidade coloidal. Uma maneira de remover essas proteínas é a adição de agentes clarificantes para garantir sua estabilidade (ESSLINGER, 2009).

A fervura auxilia também na remoção de substâncias voláteis que podem causar odor e sabor indesejáveis na cerveja, tais como as substâncias de enxofre, especialmente o dimetilsulfeto (DMS). Ainda, outras reações podem ocorrer, como as reações de Maillard, que ocorrem em torno de 80°C e geram novas substâncias de aroma. A de maior importância são os aldeídos desenvolvidos a partir dos aminoácidos que influenciam na estabilidade do sabor da cerveja. E por fim, a fervura ajusta o extrato, isto é necessário para garantir a constância do produto para atender os requisitos legais de comercialização da cerveja (BOULTON; QUAIN, 2001).

Após finalizar a fervura, necessita-se separar o “trub” do mosto. Esta separação é feita em uma tina de decantação, denominada “whirlpool”, por onde o mosto entra tangencialmente a tina, formando um movimento curvilíneo e a força centrípeta provocada, concentra todo o trub no centro da tina facilitando a remoção do mosto (AQUARONE et al., 2001).

### **3.2.5 Resfriamento e aeração**

O resfriamento do mosto tem como objetivo reduzir a temperatura do mosto, que esta próxima dos 100°C, para a temperatura adequada de inoculação da levedura. O mecanismo de resfriamento mais utilizado nas cervejarias são trocadores de calor à placas, pois apresentam alta eficiência, fácil manuseio para limpeza, e geram para as

cervejarias um grande volume de água quente, que podem ser usados no processo de lavagem do mosto. A aeração do mosto é essencial para o crescimento das leveduras que é realizado através do metabolismo oxidativo (respiração). Nas cervejarias a aeração é realizada com adição de ar estéril ou oxigênio na linha de resfriamento, logo após os trocadores de calor (AQUARONE et al., 2001).

### **3.2.6 Fermentação**

O mosto então resfriado e aerado e transferido para os tanques de fermentação para entrarem em contato com as leveduras. Assim, as leveduras convertem os açúcares presentes em etanol e gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Durante este processo temos também a formação de subprodutos, que têm um efeito considerável sobre o perfil do aroma e sabor da cerveja. Os teores desses subprodutos variam com os padrões de crescimento celular que são influenciados pelas condições de processo. Com isso as condições de fermentação, tais como concentração e composição do mosto, temperatura e duração do processo fermentativo sobre as características organolépticas da cerveja tem sido objetivo de estudo de vários pesquisadores (ESSLINGER, 2009).

O oxigênio fornecido na aeração, é consumido pela levedura no início do processo fermentativo, é utilizado para produzir ácidos carboxílicos insaturados e esteróis que são essenciais para a síntese da membrana celular e, conseqüentemente, para o crescimento celular, o qual ficaria restrito na ausência desse oxigênio causando uma fermentação anormal, provocando mudanças nas características da cerveja (VENTURINI FILHO, 2010).

### **3.2.7 Maturação**

Maturação também conhecida como fermentação secundária, diz respeito ao tempo de maturação da cerveja. Após a fermentação primária a temperatura é reduzida normalmente a 0°C e inicia-se a clarificação da cerveja mediante a remoção, por sedimentação, das células de levedura, de material amorfo e de componentes que causam turbidez a frio na bebida. Mesmo a esta temperatura, a fermentação ainda continua, fazendo então a saturação da cerveja com CO<sub>2</sub>. A maturação ainda melhora o sabor e aroma da cerveja, reduzindo a concentração de diacetil, acetaldeído e ácido sulfídrico, bem como o aumento do teor de éster e mantém a cerveja em seu estado reduzido,

evitando oxidações que comprometem sensorialmente a bebida (AQUARONE et al., 2001).

Após o processo fermentativo (fermentação/maturação) a cerveja ainda não está pronta para o consumo e requer vários tratamentos antes de ser engarrafada. Ela pode passar por até seis tratamentos: a) carbonatação; b) modificação de aroma e sabor; c) padronização da cor; d) estabilização contra turvação; e) clarificação; f) estabilização biológica. Os mais importantes e mais utilizados na indústria são a carbonatação, estabilização contra a turvação e a clarificação (AQUARONE et al., 2001).

### **3.2.8 Clarificação**

Após a maturação, a cerveja ainda contém leveduras suspensas, partículas coloidais devido à formação de complexos proteínas-polifenóis e outras substâncias insolúveis formadas devido às baixas temperaturas e ao baixo pH durante esta etapa. Então para se obter um produto brilhante e límpido é necessário uma etapa de clarificação. Existem quatro técnicas básicas de clarificação que podem ser utilizadas tanto individualmente como em combinação: a sedimentação por gravidade, o uso de agentes clarificantes, centrifugação e filtração (BRIGGS et al., 2004).

#### **3.2.8.1 Sedimentação por gravidade**

É o método mais simples para obtenção de uma cerveja límpida, sendo empregado antes dos filtros e das centrífugas. Este processo é feito livremente, pois com a diminuição da temperatura para iniciar a maturação a sedimentação já ocorre espontaneamente. Apesar de simples, deve ter uma certa precaução na utilização somente deste método, pois se a cerveja engarrafada apresentar uma massa de leveduras, pode ocorrer autólise das células, especialmente quando a temperatura é aumentada. Assim apenas utilizando este método, as perdas de cerveja são relativamente grandes, devido a existir uma fração de cerveja misturada com a carga de fermento presente no tanque de fermentação. (VENTURINI FILHO, 2010).

#### **3.2.8.2 Agentes clarificantes**

Embora a cerveja possa ser obtida com uma boa limpidez através dos outros processos, alcançasse melhores resultados e em tempos menores utilizando estes agentes. Devido a sua estrutura química, esses agentes possuem cargas positivas e interagem com

as células de leveduras, as quais apresentam cargas negativas e com proteínas que também estão carregadas negativamente. Os agentes clarificantes mais comuns é a cola de peixe (ictiocola ou *isinglass*), ácido tânico, silicatos, polivinilpolipirrolidona (PVP) e sílicas géis (ESSLINGER, 2009).

#### 3.2.8.3 Centrifugação

O princípio da centrifugação está baseado na lei de Stokes, que determina a velocidade de sedimentação das partículas. Possuem diversos fatores que influenciam nesta velocidade, tais como: menor viscosidade do líquido, maior diâmetro das partículas e maior diferença de densidades entre as partículas e o líquido. Existem dois tipos de centrifugas utilizadas nas cervejarias, a decantadora e a clarificadora. A clarificadora é a mais utilizada entre elas, ela consiste em um tambor vertical com vários discos empilhados, separados por espaçamentos entre 0,5 e 2 mm. Essas centrífugas podem ejetar sólidos de forma intermitente ou contínua, podendo trabalhar com uma concentração de sólidos de até 30%. Dependendo da concentração de sólidos, o fluxo para um determinado equipamento pode variar de 40 a 600 hL/h (VENTURINI FILHO, 2010).

#### 3.2.8.4 Filtração

O objetivo da filtração é preservar a cerveja, para evitar a ocorrência de alterações visíveis em longo prazo. Geralmente a filtração tem como função a remoção de materiais suspensos de cerveja e retirar potenciais formadores de turbidez. Uma importante característica da cerveja é seu brilho e clareza. Os primeiros filtros eram de celulose, mais logo foram substituídos pelos filtros de terra diatomácea. As terras diatomáceas são usadas como um agente filtrante para a clarificação da cerveja. Essas terras consistem em fósseis ou esqueletos de organismos primitivos chamados diatomáceos (algas unicelulares que contêm dióxido de silício), dos quais existem mais de 15000 tipos nos mares (ESSLINGER, 2009).

Além dos processos convencionais de filtração, recentemente alguns estudos estão sendo conduzidos empregando processo de separação por membranas, o qual será detalhado no item 3.3.

#### 3.2.9 Carbonatação

Durante a maturação, a cerveja é naturalmente carbonatada pelo CO<sub>2</sub> gerado pela atividade das leveduras e mediante a uma contrapressão de CO<sub>2</sub> de 0,8-1,0atm no tanque.

Mais as cervejarias optam por outros métodos, devido às dificuldades de controle da fermentação e do nível de CO<sub>2</sub> no produto. Esses métodos são chamados de mecânicos. Nestes casos utiliza-se CO<sub>2</sub> comprado de empresas especializadas ou recuperado na própria cervejaria a partir da geração de CO<sub>2</sub> na fermentação. Caso seja recuperado, deve ser desidratado, purificado com carvão ativo e liquefeito (AQUARONE et al., 2001).

Existem dois tipos de carbonatação que são as mais utilizadas nas cervejarias, são elas:

**Carbonatação em linha:** Aqui o CO<sub>2</sub> é injetado durante a passagem da bebida por uma tubulação. Um difusor produz pequenas bolhas de CO<sub>2</sub> (10-100 µm), que são facilmente absorvidas pela cerveja (VENTURINI FILHO, 2010).

**Carbonatação em tanque:** Nesta, o CO<sub>2</sub> é injetado na cerveja também através de um difusor, mas localizado no fundo do tanque de armazenagem, até que se atinja uma determinada contrapressão (VENTURINI FILHO, 2010).

### 3.2.10 Envase

O envase é o procedimento que demanda mais mão de obra e matéria prima. Esta operação é executada num equipamento denominado enchedora no caso de garrafas e latas ou em máquinas de embarrilamento no caso de barris (VENTURINI FILHO, 2010).

#### 3.2.10.1 Enchedora de garrafas e latas

Antes de serem cheias, as garrafas são lavadas e, no caso de garrafas retornáveis, é realizado uma limpeza com uma solução quente de soda cáustica e posterior enxaguamento com água esterilizada. As enchedoras são baseadas no princípio de carrossel rotatório. As garrafas são transportadas por esteiras e posicionadas sob os bicos de enchimento. Primeiramente, todo ar na garrafa é retirado por um sistema de vácuo, e após é aplicado uma contrapressão de CO<sub>2</sub>, depois se inicia o processo de enchimento da garrafa. Depois de cheia as garrafas são lacradas com tampas metálicas e transportadas até o pasteurizador, caso ela seja pasteurizada posteriormente. O enchimento das latas segue o mesmo princípio que o da garrafa. As latas podem ser de alumínio ou de aço inoxidável e apresentam um verniz interno para proteger a cerveja da superfície metálica (VENTURINI FILHO, 2010).

#### 3.2.10.2 Embarrilamento

Os barris são recipientes de 10, 15, 20, 25, 30, 50 ou 100 L de volume, normalmente fabricados de alumínio ou aço inoxidável com um tubo central que permite seu enchimento. No Brasil, normalmente eles são utilizados para acondicionar cerveja não pasteurizada, conhecida popularmente como “chope”. Na máquina de enchimento, primeiramente é feita uma lavagem interna, com uma aspensão de água em torno de 70°C, em alta pressão por 10 s. Após, o barril é aquecido com vapor, a cerca de 105°C durante 30 s.

Posteriormente, é injetado CO<sub>2</sub> para retirada do ar e em seguida é introduzida à cerveja (AQUARONE et al., 2001).

### 3.2.11 Pasteurização

A pasteurização tem por finalidade conferir estabilidade biológica à bebida, destruindo microrganismos que deterioram a cerveja. A cerveja apresenta características desfavoráveis para o desenvolvimento de microrganismos, porém, algumas espécies são capazes de se multiplicar na bebida, conferindo características indesejáveis. Por esse motivo, a maioria das cervejas é tratada, antes ou durante o engarrafamento, para eliminar quaisquer bactérias contaminantes (VENTURINI FILHO, 2010). Possuem dois tipos de pasteurização, são elas:

**Pasteurização flash:** Ela ocorre antes do engarrafamento da cerveja, ela circula por um trocador de calor de placas, por onde eleva rapidamente sua temperatura até 72°C. A cerveja é mantida durante 30 a 60 s, sendo em seguida resfriada e engarrafada (VENTURINI FILHO, 2010).

**Pasteurização em túnel:** Aqui a pasteurização é feita após o enchimento das garrafas. Os pasteurizadores em túnel são extensas câmaras de aquecimento por onde as garrafas ou latas são transportadas por quase uma hora. Eles operam com uma série de zonas de aquecimento por onde as garrafas ou latas são transportadas e são submetidas a um conjunto de aspersores de água até atingirem a temperatura de 60°C, onde é mantida por 20 min. Após, elas passam pelas zonas de resfriamento, onde são lançados jatos de água fria para diminuir a temperatura da cerveja (VENTURINI FILHO, 2010).

## 3.3 Filtração empregando processo de separação por membranas

Os processos de separação por membranas (PSM) são operações que utilizam membranas no fracionamento de misturas, soluções e suspensões baseado nas diferenças de tamanho, afinidade química entre os componentes da mistura e membrana, e na mobilidade destes na matriz da membrana. De modo geral, pode se dizer que os principais objetivos de qualquer PSM são a separação, a concentração e/ou a purificação de componentes presentes em solução, sendo estes alcançados devido à capacidade da membrana de transportar um determinado componente da fase de alimentação mais prontamente que outro componente presente (MULDER, 2000).

Os processos de separação com membranas surgiram na década de 1970, para complementar os processos clássicos de separação como destilação, filtração, absorção, troca iônica, centrifugação, extração por solvente, cristalização entre outros. Esta nova classe de processos passou a utilizar membranas sintéticas como barreira seletiva. Nos dias atuais, os PSM vêm sendo amplamente utilizados para diferentes aplicações, mas principalmente, como um processo alternativo aos processos de separação convencionais, tais como a destilação, centrifugação e a evaporação (HABERT et al., 2006).

Quando comparados aos diversos processos de separação convencionais usados industrialmente, os PSM apresentam inúmeras vantagens, que incluem o baixo consumo energético visto que a maioria dos processos ocorre à temperatura ambiente, podendo assim ser aplicados no fracionamento de substâncias termolábeis como as proteínas do soro; a possibilidade de operar em sistema contínuo ou em batelada; a alta seletividade da membrana; a simplicidade de operação e escalonamento (HABERT, et al., 2006; SAXENA, et al., 2009; SANTOS, et al., 2014). Devido às inúmeras vantagens apresentadas, os PSM têm sido utilizados nos mais diferentes setores da indústria química, alimentícia e farmacêutica, além da área médica.

Os PSM podem ser divididos em dois tipos: aqueles que envolvem difusão do solvente (água) e os que envolvem a difusão do soluto. Os primeiros, mais comumente utilizados industrialmente, são denominados de processos de osmose e envolvem a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI), diálise (D) e envolvem a eletrodialise (ED), a pervaporação (PV) e a permeação gasosa (PG) (MULDER, 2000).

O desempenho dos PSM pode variar de forma significativa com o decorrer do tempo, ocasionando uma diminuição do fluxo permeado e mudanças na retenção de solutos. Dois fatores comuns nos processos de separação por membranas podem

ocasionar os problemas citados são o *fouling* e a polarização por concentração (LEIDENS, 2013). Esses fenômenos dependerão do tipo de membrana e do tipo de solução que será utilizada e ocasionam a adição de resistências ao transporte da alimentação através da membrana (HABERT, et al., 2006).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Processo de Fabricação de Cerveja Artesanal

Na fabricação das cervejas artesanais foram produzidos 30 litros por batelada de cerveja tipo malte Red e Pilsen. O processo para elaboração da cerveja foi realizado de acordo com o método tradicional de fabricação de cerveja artesanal tipo pilsen, do Instituto Nacional da Cerveja (ICB, 2018). Um volume de 10 L de água mineral com pH 6,3 foi aquecido a 35°C. O malte (5000 g) foi moído em moinho manual de disco e misturado à água pré-aquecida, com pH final da empastagem próximo a 5,6. Essa mistura permaneceu a 35 °C por 10 min e em seguida, foi feito o aquecimento lento (1°C/min) até se atingir 45 °C, com repouso por mais 10 min. Em seguida, foi realizado novo processo de aquecimento lento, até 52°C, com repouso da suspensão por 10 min. Posteriormente, foi realizado novo processo de aquecimento lento, até 62°C, com repouso da suspensão por 30 min e novo aquecimento a 72°C, durante 30 min, onde o teste do lugol (HARISHA, 2006) foi realizado para confirmar o processo de sacarificação do amido, e se o resultado fosse positivo, seria necessário novo aquecimento a 72°C até a completa sacarificação. Essa suspensão passou a ser denominada de mosto.

Posteriormente, foi realizada a remoção dos sólidos com auxílio de peneira. Nos sólidos foi adicionado 3 L de água, submeteu-se ao aquecimento por 72°C, durante 10 min, filtrou-se, novamente, com o auxílio da peneira e realizou-se a lavagem do bagaço. Esse mosto (15 L) foi submetido a aquecimento até atingir a temperatura de 90°C e, transcorridos 10 min iniciais, foram adicionados a primeira porção de lúpulo tipo Nugget (10 g). Esse lúpulo tem a característica de conferir o amargor ao produto. Depois de 50 min de fervura vigorosa, foram adicionados 6 g de lúpulo tipo Perle, com o objetivo de realçar o aroma da bebida. Ao final de 80 min de fervura, o mosto foi agitado vigorosamente no sentido anti-horário. O mosto permaneceu em repouso por 20 min para formação do trub. Em seguida, foi realizado o resfriamento do mosto em câmara fria e a trasfega do mosto resfriado para o recipiente de vidro (Dorna de fermentação), tomando-se o cuidado de não arrastar o trub com o mosto. Ajustou-se o teor dos sólidos solúveis totais (15°Brix) com água mineral.

Simultaneamente, preparou-se o inóculo (*Saccharomyces uvarum*), onde uma suspensão de células foi adicionada em 100 mL de mosto esterilizado. Macerou-se o malte seco, aproximadamente 300 g, em um liquidificador, cuidando para que não ficasse com uma aparência de farinha e transferiu-se o macerado para uma panela.

Adicionou-se 300 mL de água à panela e elevou-se a temperatura do banho às condições: 35°C, durante 10 min; 45°C, durante 10 min; 52°C, durante 10 min; 62°C, durante 30 min. Após foi realizado a filtração com o auxílio de uma peneira, separando o mosto, resfriou-se o mesmo até aproximadamente 25°C e adicionou-se uma alçada da levedura *S. uvarum* e incubou-se em shaker a 100 rpm, 15°C por 24 horas. Para o processo de fermentação, o inóculo (Figura 5) foi adicionado ao mosto, o fermentador foi fechado e conectado uma mangueira plástica a um recipiente com água/solução de hipoclorito de sódio. A fermentação foi conduzida a temperatura de 10 °C por aproximadamente 5 dias.

Ao término da fermentação realizou-se o processo de filtração por membranas.

Figura 5 – Preparação do inóculo



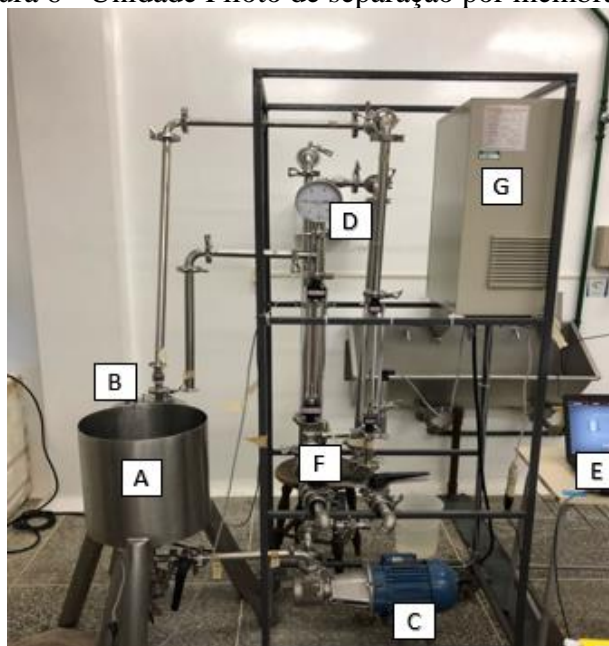
Fonte (Autor,2020)

#### 4.2 Processo de filtração por membranas

O processo de ultrafiltração foi realizado em planta piloto (Pam Membranas Seletivas) localizada no Laboratório de Tecnologia de Leites e Derivados da URI – Erechim-RS. A Figura 6 mostra a unidade de separação por membranas e a esquematização do processo

A estrutura de filtração é composta de dois tanques de aço inoxidável, o tanque A é o tanque de alimentação e recirculação com capacidade de 30 L e o tanque B é o tanque de coleta de permeado com capacidade de 12 L, com fluxo tangencial. A alimentação do sistema foi realizada manualmente em bateladas. Inicialmente, acionou-se o quadro elétrico G e ajustou-se os limites de potência da bomba no computador E. Após ajustou-se a pressão desejada (em função do tipo de membrana utilizado) na válvula de controle F e regulou-se a vazão da bomba C. A temperatura foi monitorada pelo termostato D.

Figura 6 - Unidade Piloto de separação por membranas.



Primeiramente, adicionou-se ao tanque de alimentação um volume de aproximadamente 20 L de amostra, onde circulou-se pela membrana de microfiltração – MF e o permeado da MF foi utilizado na alimentação da ultrafiltração - UF. Para a cerveja malte Pilsen empregou-se membrana microfiltração (MF) tipo espiral (KOCH MEMBRANAS), na condição de operação 12°C e 0,5 bar, com área de 1,1 m<sup>2</sup>, e ultrafiltração (UF) de 50 KDa membrana de fibra oca (PAM MEMBRANAS), com área de filtração de 2,2 m<sup>2</sup>, na condição de operação 12°C e 1,5 bar. Já para a cerveja malte *Red*, empregou-se membrana de MF espiral, área 1,1 m<sup>2</sup>, 12°C e 0,5 bar e UF espiral de 10 KDa (KOCH MEMBRANAS) com área de filtração de 1,8 m<sup>2</sup> e nas condições de operação de 12°C e 1,0 bar.

Os fluxos de permeado ( $J_p$ ) foram obtidos através de medidas volumétricas em função do tempo para as amostras das cervejas, o qual foi determinado pelo volume de permeado (L) em relação à área de permeação (m<sup>2</sup>) e o tempo de permeação (h) e expresso em (L/m<sup>2</sup>h).

Ao término de cada experimento realizou-se um procedimento de limpeza para recuperação do fluxo inicial e para evitar a contaminação das membranas. Para a limpeza do sistema de membranas foi recirculada água para remoção do residual de cerveja, até o momento em que o permeado se apresente visivelmente límpido. Após a lavagem com água utilizou-se uma solução comercial a base de alquil benzeno sulfonato de sódio e

peróxido de hidrogênio à 10 % (Marca Vanish) por 10 min recirculando seguido de enxágue.

As amostras de cerveja *in natura*, dos permeados de MF e UF foram coletadas e reservadas para avaliar os parâmetros físico-químicos: sólidos totais, teor alcoólico, sólidos solúveis totais (°Brix), turbidez, viscosidade, densidade, índices de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ).

### 4.3 Metodologias Analíticas

#### 4.3.1 Teor Alcoólico:

O teor alcoólico da cerveja foi determinado pelo método do Ebulliômetro SOLLERON-DUJARDIN (Instituto Adolf Lutz, 2005), esse método se baseia na ebulioscopia, que consiste na diferença de temperatura da água com cada amostra que se quer determinar.

#### 4.3.2 Sólidos Totais

Os sólidos totais das amostras foram determinados por método gravimétrico em estufa de recirculação (Fanem – modelo 320 - SE) a 105°C por aproximadamente 4 h e/ou até peso constante, empregando areia do mar para facilitar a transferência de calor, segundo metodologia descrita por IAL (2005).

A redução dos sólidos foi expressa em % de redução de sólidos, calculado com base no teor de sólidos totais da amostra de cerveja sem filtração (*in natura*) e da cerveja microfiltrada (MF) e/ou ultrafiltrada (UF 10 e 50kDa).

#### 4.3.3 Densidade

A densidade foi determinada utilizando densímetro digital (ANTON PAAR). Na temperatura de 20°C.

#### 4.3.4 Viscosidade

As viscosidades das amostras foram avaliadas pelo Viscosímetro – Tipo “Falling Ball” nº 2, utilizando bola de vidro.

#### 4.3.5 Índices de cor ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $C^*$ )

A determinação da cor foi realizada pelo método de Colorimetria em colorímetro (MINOLTA, CR410), operando no sistema CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), sendo que  $L^*$  indica a coordenada de luminosidade ( $L^*=0$  – preto e  $L^*=100$  – branco),  $a^*$  e  $b^*$  as coordenadas de cores responsáveis pela cromaticidade: ( $+a^*$  = vermelho e  $-a^*$  é o verde,  $+b^*$  é o amarelo e  $-b^*$  é o azul).

Os valores obtidos diretamente do colorímetro foram utilizados para cálculo da tonalidade cromática, croma  $C^*$  ( $C^*=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ). A redução da cor foi expressa em % de redução de cor  $C^*$ , calculada com base na cor  $C^*$  da amostra de cerveja sem filtração (*in natura*) e da cerveja microfiltrada (MF) e/ou ultrafiltrada (UF 10 e 50kDa).

#### 4.3.6. Determinação da turbidez

A turbidez das amostras foi determinada pelo método nefelométrico, utilizando o turbidímetro (HACH, modelo DR 870). Inicialmente, calibrou-se o aparelho de acordo com as instruções do fabricante e efetuou-se a leitura dos padrões. Quando necessário dilui-se as amostras com um ou mais volumes de água destilada. A turbidez foi expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

A redução da turbidez foi expressa em % de redução de turbidez, calculada com base na turbidez da amostra de cerveja sem filtração (*in natura*) e da cerveja microfiltrada (MF) e/ou ultrafiltrada (UF 10 e 50kDa).

#### 4.3.7. Sólidos solúveis

Foi utilizado um refratômetro tipo analógico (RHB32), sendo que o valor já é dado em graus Brix.

### 4.5. Análise Estatística

Os resultados das determinações físico-químicas foram tratados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA) e comparação das médias pelo teste de Tukey (t-student) com 5 % de significância, utilizando o software Statistica versão 7.0 (Statsoft Inc, USA).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

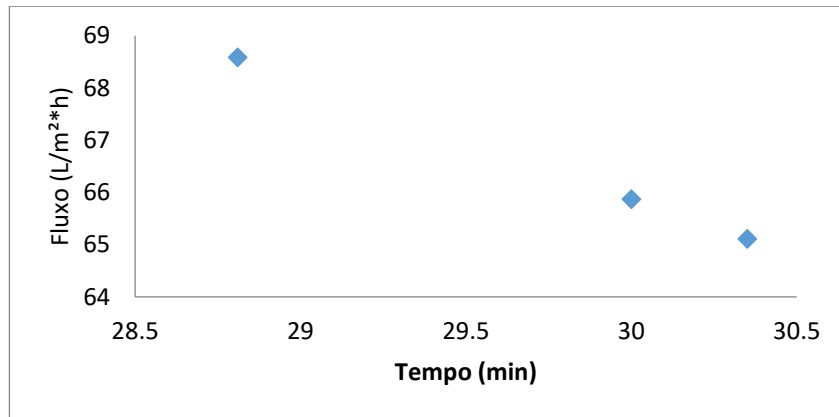
A Figura 7 apresenta os fluxos de permeados da cerveja Malte Red empregando membrana de UF tipo espiral de 10 kDa (a) e da cerveja Malte Pilsen com membrana de MF (b) e UF de fibra oca de 50 kDa (c).

O fluxo máximo da membrana MF - tipo espiral (KOCH MEMBRANAS) foi de 68,5 L/m<sup>2</sup>h, operando nas condições de 12°C e 0,5 bar e para a UF tipo espiral (KOCH MEMBRANAS) de 10 kDa, 12°C e 1,0 bar, foi de 46,1 L/m<sup>2</sup>h para a cerveja - Malte Red. O fluxo de permeado máximo obtido para a cerveja Malte Pilsen foi de 282,29 L/m<sup>2</sup>h (Figura 7 “c”) ao empregar a membrana MF tipo fibra oca (PAM MEMBRANAS), na condição de operação 12°C e 1,5 bar. No entanto, ao utilizar a membrana UF tipo fibra oca (PAM MEMBRANAS) de 50 kDa, a 12°C e 1,5 bar, o fluxo máximo obtido foi de 14,69 L/m<sup>2</sup>h para a cerveja Malte Pilsen. Ressalta-se que ao utilizar a membrana tipo fibra oca (MF e UF 50 kDa) há um fluxo de permeado de cerveja menor, quando comparado a membrana tipo fibra espiral (MF e UF 10 kDa), isto deve-se, principalmente, a configuração das membranas e as maiores áreas das membranas de fibra oca de filtração (MF – 1,8 m<sup>2</sup> e UF 50 kDa - 2,2 m<sup>2</sup>).

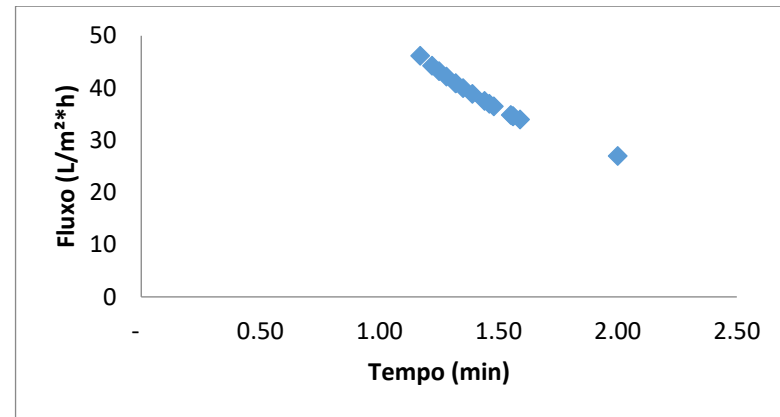
De acordo com Mello et al. (2010) a viabilidade do processo de concentração por membranas depende, em grande parte, das condições envolvidas no processo como as propriedades da membrana, afinidade membrana-soluto, temperatura da solução, pressão entre outros. E no caso específico, a composição da cerveja (tipo e concentração de malte, lúpulo, residual de levedura, etc) a ser filtrada.

A queda do fluxo da cerveja com o tempo se justifica pela presença de sólidos na corrente de alimentação, que durante o processo de UF provoca o entupimento da membrana, também, denominado de *fouling*, para a membrana MF - tipo espiral (KOCH MEMBRANAS) o tempo aproximado de permeabilidade foi de 4 minutos, em questão de ser uma membrana menos porosa e maior em relação as outras, já para a membrana UF tipo espiral (KOCH MEMBRANAS) de 10 kDa , o tempo foi de 23 minutos e a membrana UF tipo fibra oca (PAM MEMBRANAS) de 50 kDa obteve um tempo de permeabilidade aproximado de 64 minutos , isso aconteceu pois a membrana de UF tem mais poros , logo seu tempo de passagem do fluído será mais lento .

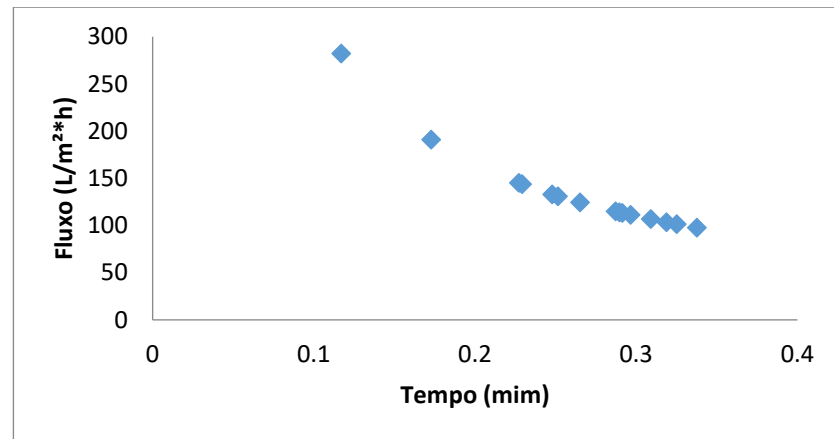
**Figura 7** - Fluxos de permeados da cerveja - Malte Red empregando membrana de MF espiral, 0,5 bar (a), UF tipo espiral de 10 kDa (b) e para a cerveja – Malte Pilsen com membrana de MF (c) e UF de fibra oca de 50 kDa (d).



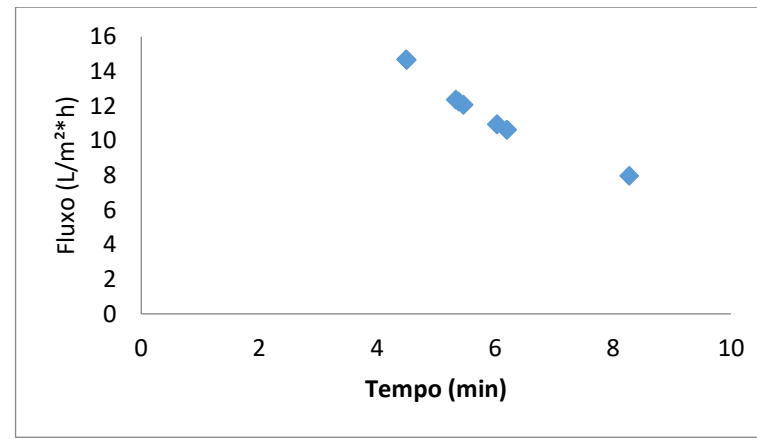
(a)



(b)



(c)



(d)

Segundo OLIVEIRA et al. (2006), no processo de ultrafiltração para clarificação de cerveja com membrana polissulfona de 100 KDa nas pressões de de 0,5 e 1,0 bar, observaram a predominância do bloqueio devido à formação de torta de filtração. Nesse tipo de bloqueio, há a formação de uma camada gel composta por proteínas e macromoléculas na superfície da membrana, aumentando sua resistência e causando uma consequente redução no fluxo de permeado.

Neta; Habert; Borges (2005) avaliaram o processo e qualidade da cerveja microfiltrada e observaram uma redução do fluxo de permeado nos primeiros minutos de filtração, indicando os efeitos de polarização de concentração. A redução contínua do fluxo permeado indicou a presença de incrustações, corroborando com o presente trabalho.

### **5.1 Características físico-químicas das cervejas *in natura* e dos permeados da microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF)**

As Tabelas 4 e 5 apresentam as características físico-químicas e os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , redução de cor) da cerveja - Malte Red e dos permeados de MF e UF de 10 kDa empregando membranas tipo espiral e da cerveja – Malte Pilsen e dos permeados de MF e UF de fibra oca de 50 kDa, respectivamente.

O teor alcoólico do permeado da cerveja malte red da UF 10 kDa e MF não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) da *in natura*, apresentando um teor médio de 2,39 °GL, o mesmo ocorreu para os permeados MF e UF 50 kDa da cerveja pilsen, no qual apresentou um teor médio de 3,18 °GL, ambas sendo classificadas como cervejas de baixa fermentação, de acordo com a legislação em vigor (BRASIL, 2019). A cerveja pilsen tem um teor alcoólico maior, isto pode ser explicado pela quantidade de sólidos solúveis entre as duas cervejas, ou seja, quando as cervejas iniciaram a fermentação, a Pilsen apresentava teor de de sólidos solúveis (15°Brix), sendo superior do malte red (12°Brix), consequentemente maior teor alcoólico.

Em relação ao teor de sólidos solúveis totais (°Brix), verifica-se que há uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) das amostras de cervejas malte Red e malte Pilsen *in natura*, MF e UF. Fato que, também, foi verificado por outros autores (SEGUENKA et al., 2014; MAGALHÃES et al., 2005). Seguenka et al. (2014) analisaram a micro e ultrafiltração na clarificação do vinho. De acordo com os autores, todas as amostras de

vinhos clarificados apresentaram redução de sólidos solúveis. O emprego da microfiltração (0,1  $\mu\text{m}$ ) reduziu de 5,90 para 5,20°Brix. Magalhães et al. (2005) analisaram a conservação da água de coco verde através de filtração com membrana. Os autores constataram que o uso de microfiltração (0,1  $\mu\text{m}$ ) promoveu uma redução de 4,2% de sólidos solúveis da bebida.

Em relação aos sólidos totais verifica-se que há diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a cerveja *in natura* e os permeados de MF e UF 10 KDa da cerveja de malte Red, demonstrando que a microfiltração produziu uma redução de 4,13% e a UF de aproximadamente 35%, em relação a *in natura*. Já para os permeados MF e UF 50 kDa da cerveja Pilsen a redução foi de aproximadamente 9 e 10%, respectivamente.

O mesmo ocorreu em relação a turbidez, sendo que o permeado de MF reduziu aproximadamente 12% e da UF 10 kDa cerca de 60 % em relação a cerveja malte Red *in natura* e 48% da MF e 83% da UF 50 kDa da cerveja malte Pilsen em relação a *in natura*

Já em relação a viscosidade os permeados de UF 10 e 50 kDa diferiram das demais amostras apresentando menor viscosidade.

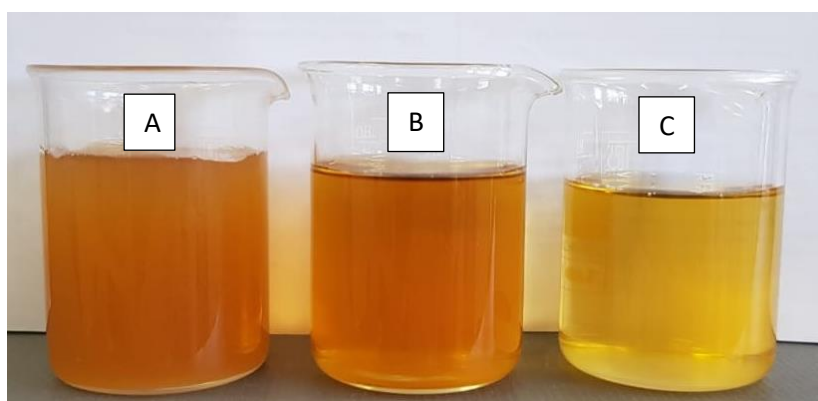
No entanto, a cerveja malte Red se difere na cor, podendo ser notado um aumento de luminosidade ( $L^*$ ) na UF 10 kDa em comparação com o permeado de MF. Porém, a cerveja *in natura* e o permeado de MF indicam uma coordena  $a^*$  negativa, ou seja, um tendência de cor verde, em comparação com a UF 10 kDa que por ter a coordena  $a^*$  positiva tende para uma cor vermelha. A coordenada  $a^*$  em conjunto com  $b^*$ , forma a cor da cerveja, assim, pode-se notar que além da cerveja *in natura* os permeados, também, tem a coordenada  $b^*$  positiva, o que significa que tendem a cor amarela, assim confirmando que teve-se uma redução de cor de aproximadamente 37% no permeado de MF e de 42% na UF 10kDa para a cerveja Red.

Em relação a cor da cerveja Pilsen (Tabela 5), os permeados de MF e UF 50 kDa tiveram uma leve mudança na luminosidade ( $L^*$ ) em comparação cerveja *in natura*, em questão da coordena  $a^*$  o permeado de MF e UF 50 kDa a coordenada foi negativa, o que indica uma tendência para cor verde, e o permeado de UF, já a *in natura* tem a coordenada positiva, onde indica uma tendência de cor vermelha. Na questão da coordenada  $b^*$ , tanto a *in natura* quanto os permeados se diferem, porem todos tem a coordenada positiva, o que indica uma cor amarela. Em relação a redução de cor para o permeado de MF foi de aproximadamente 1% e no permeado de UF 50 kDa foi aproximadamente 22%, atendendo as necessidades do processo, pois obteve-se clarificação. Isto pode ser notado

pela redução de valores entre a cerveja *in natura* e os permeados, onde a cor ( $C^*$ ), foi diminuindo conforme a passagem pelas membranas, promovendo uma clarificação de ambas as cervejas.

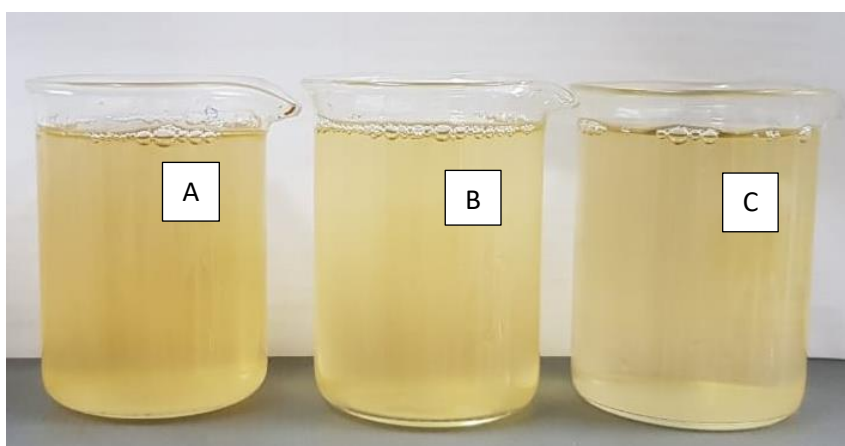
O aspecto visual da cerveja *in natura*, microfiltrada e ultrafiltrada malte Red e malte Pilsen são apresentadas nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

**Figura 8** - Aspecto visual da cerveja *in natura* e filtrada – Malte Red: A) *In natura*; B) Microfiltrada, C) Ultrafiltrada 10 kDa.



Fonte: Autor (2020).

**Figura 9** - Aspecto visual da cerveja *in natura* e filtrada – Malte Pilsen: : A) *In natura*; B) Microfiltrada, C) Ultrafiltrada 50 kDa;



Fonte: Autor (2020).

Ao comparar as membranas tipo espiral de UF 10 kDa e a membrana tipo fibrosa de UF 50 kDa, verifica-se menor eficiência de remoção de sólidos, turbidez e cor para a última membrana, devido a maior abertura dos poros e a configuração da membrana, e também, a quantidade de sólidos na cerveja *in natura* Pilsen ser superior a *in natura* Red.

Tabela 4 - Características físico-químicas da cerveja - Malte Red e dos permeados de MF e UF de 10 kDa empregando membranas tipo espiral e da cerveja – Malte Pilsen e dos permeados de MF UF de fibra oca de 50 kDa.

Amostras	Teor alcoólico (°GL)	sólidos solúveis totais (°Brix)	Sólidos totais (%)	Viscosidade (cP)	Turbidez (NTU)	Redução de sólidos (%)	Redução de Turbidez (%)
<b>Cerveja - Malte Red</b>							
<i>In natura</i>	2,37 <sup>a</sup> ±0,153	2,67 <sup>b</sup> ±0,031	2,22 <sup>a</sup> ±0,014	1,35 <sup>a</sup> ±0,005	672,67 <sup>a</sup> ±3,51		
Permeado MF	2,40 <sup>a</sup> ±0,001	2,87 <sup>a</sup> ±0,058	2,13 <sup>b</sup> ±0,005	1,33 <sup>a</sup> ±0,009	594,33 <sup>b</sup> ±1,15	4,13 <sup>b</sup> ±0,445	11,64 <sup>b</sup> ±0,610
Permeado UF 10kDa	2,40 <sup>a</sup> ±0,001	2,03 <sup>c</sup> ±0,058	1,45 <sup>c</sup> ±0,003	1,28 <sup>b</sup> ±0,007	237,00 <sup>c</sup> ±2,65	34,74 <sup>a</sup> ±0,378	60,12 <sup>a</sup> ±0,499
<b>Cerveja – Malte Pilsen</b>							
<i>In natura</i>	3,27 <sup>a</sup> ±0,153	4,82 <sup>a</sup> ±0,001	3,84 <sup>a</sup> ±0,006	1,487 <sup>a</sup> ±0,024	740, 67 <sup>a</sup> ±2,52		
Permeado MF	3,17 <sup>a</sup> ±0,252	4,59 <sup>c</sup> ±0,058	3,49 <sup>b</sup> ±0,005	1,443 <sup>ab</sup> ±0,009	387,33 <sup>b</sup> ±1,53	9,15 <sup>b</sup> ±0,189	47,70 <sup>b</sup> ±0,205
Permeado UF 50kDa	3,10 <sup>a</sup> ±0,173	4,72 <sup>b</sup> ±0,001	3,44 <sup>c</sup> ±0,012	1,412 <sup>b</sup> ±0,023	127,33 <sup>c</sup> ±1,53	10,37 <sup>a</sup> ±0,166	82,81 <sup>a</sup> ±0,188

\*médias ± desvio padrão seguidas de letras iguais/colunas indicam não haver diferença significativa á nível de 95% de confiança (Teste de Tukey/*t student*) entre a amostra in natura, permeado MF e UF.

Tabela 5 - Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , redução de cor) da cerveja - Malte Red e dos permeados de MF e UF de 10 kDa empregando membranas tipo espiral e da cerveja - Malte Pilsen e dos permeados de MF UF de fibra oca de 50 kDa.

Amostras	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	Redução cor (%)
<b>Cerveja - Malte Red</b>					
<i>In natura</i>	39,19 <sup>b</sup> ±0,030	-0,367 <sup>c</sup> ±0,006	11,66 <sup>a</sup> ±0,012	11,66 <sup>a</sup> ±0,012	
Permeado MF	37,77 <sup>c</sup> ±0,040	-0,107 <sup>b</sup> ±0,006	7,36 <sup>b</sup> ±0,006	7,36 <sup>b</sup> ±0,006	36,86 <sup>b</sup> ±0,097
Permeado UF 10kDa	40,44 <sup>a</sup> ±0,045	0,593 <sup>a</sup> ±0,006	6,74 <sup>c</sup> ±0,015	6,76 <sup>c</sup> ±0,016	42,01 <sup>a</sup> ±0,097
<b>Cerveja - Malte Pilsen</b>					
<i>In natura</i>	41,61 <sup>c</sup> ±0,020	1,00 <sup>a</sup> ±0,010	5,39 <sup>a</sup> ±0,006	5,49 <sup>a</sup> ±0,007	
Permeado MF	42,83 <sup>b</sup> ±0,010	-0,907 <sup>c</sup> ±0,021	5,35 <sup>b</sup> ±0,012	5,42 <sup>b</sup> ±0,012	1,13 <sup>b</sup> ±0,250
Permeado UF 50kDa	43,54 <sup>a</sup> ±0,026	-0,120 <sup>b</sup> ±0,026	4,26 <sup>c</sup> ±0,009	4,26 <sup>c</sup> ±0,009	22,31 <sup>a</sup> ±0,269

\*médias ± desvio padrão seguidas de letras iguais/colunas indicam não haver diferença significativa a nível de 95% de confiança (Teste de Tukey/*t student*) entre a amostra in natura, permeado MF e UF.

Existem vários tipos de turvação, todas prejudiciais ao produto acabado de acordo com a Ambev (2011). O trabalho de Mattos (2009) demonstra que a partículas em suspensão, que desviam a luz incidente, tais como as células de levedura, polissacarídeos insolúveis e, principalmente, precipitados tanino-proteicos. Ademais, o desenvolvimento de micro-organismos deteriorantes, também, contribui para a turvação da cerveja.

Observa-se que houve uma redução significativa da turbidez, sólidos e da cor das amostras, demonstrando que a MF e UF é capaz de reter as partículas em suspensão presentes na alimentação. Neta; Habert; Borges (2005) avaliaram a turbidez da cerveja antes e após a microfiltração, e constataram que houve uma redução de 98% da turbidez na amostra microfiltrada. Portanto, a redução da turbidez alcançada nas amostras MF foram de aproximadamente 12 e 48% para a cerveja malte Red e malte Pilsen, respectivamente. No entanto, atingindo reduções maiores (83%) para a cerveja malte Pilsen ultrafiltrada em membrana de fibra oca de 50kDa.

A cor da cerveja, além de ser um parâmetro indicador de qualidade para o consumidor, serve como um critério para avaliar a eficiência do processo de microfiltração e ultrafiltração, como uma medida alternativa para a clarificação da bebida e redução de turbidez da mesma. De acordo com os resultados de  $L^*$  (Tabela 3), foi possível observar que o processo de microfiltração e ultrafiltração promoveram clarificação dos produtos, uma vez que valores maiores representam maior transparência.

Portanto, a microfiltração e ultrafiltração aplicada nas cervejas mostraram-se um processo eficiente para a clarificação, assim como os estudos realizados por Neta; Habert; Borges (2005), cujo processo de microfiltração clarificou em 25% a cerveja Pilsen, tornando-a mais limpa. Cimini; Francesco; Perretti (2017) constataram que a cerveja produzida com 100% de malte, submetida à microfiltração de fluxo cruzado, resultou em uma bebida clarificada, sendo, portanto, um processo válido para as cervejarias. Oliveira et al (2012) realizaram a microfiltração de suco de maracujá em módulo tubular de aço inoxidável e em membrana de fibra oca de poliamida e observaram, também, que o módulo de fibra oca promoveu maior clarificação do suco. Marangoni (2018) avaliou a microfiltração com módulo de membrana plana (0,05  $\mu\text{m}$ ) para cerveja e verificou que apresentou redução de cor, turbidez, acidez total, sólidos solúveis, sólidos totais e aumento de pH, quando comparada com a cerveja não microfiltrada. Além disso, a microfiltração mostrou-se um processo eficaz na esterilização da bebida, garantindo a sua qualidade microbiológica.

## 6 - CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente projeto sobre a clarificação das cervejas artesanais tipo malte *Red* e Pilsen utilizando processo de separação por membranas, possibilitou avaliar o desempenho de membranas de microfiltração e ultrafiltração do tipo fibra oca e espiral. Ao comparar as membranas tipo espiral de UF 10 kDa e a membrana tipo fibra oca de UF 50 kDa, verifica-se menor eficiência de remoção de sólidos, turbidez e cor para a última membrana, devido a maior abertura dos poros e a configuração da membrana, e também, a quantidade de sólidos na cerveja *in natura* Pilsen ser superior a *in natura* Red. Observa-se que houve uma redução significativa da turbidez, sólidos e da cor das amostras, demonstrando que a MF e UF é capaz de reter a partículas em suspensão presentes na alimentação

Portanto, a microfiltração e ultrafiltração aplicada nas cervejas mostraram-se um processo eficiente para a clarificação. Assim, a utilização de filtros por membranas na etapa de filtração e clarificação da cerveja permite avaliar várias variáveis no processo, auxiliando de maneira positiva a melhora no desenvolvimento do processo de produção e no produto final.

## 7 - REFERÊNCIAS

- ABDELRASOUL, A.; DOAN, H.; LOHI, A. **Fouling in membrane filtration and remediation methods**. In: NAKAJIMA, H. Mass transfer – Advances in sustainable energy and environment oriented numerical modeling. InTech, cap. 4, 2013.
- ALMÉCIJA, M.C.; IBÁÑES, R.; GUADIX, A.; GUADIX, E.M. Effect of pH on the fractionation of whey proteins with a ceramic ultrafiltration membrane. **Journal of Membrane Science**, v. 288, p. 28-35, 2007.
- AMBEV. Programa de formação técnica cervejeiros. Jacareí: AmBev, 2011.
- ATRA, R.; VATAI, G.; BEKASSY-MOLNAR, E.; BALINT, A. Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 325-32, 2005.
- Avaliação da microfiltração como processo alternativo à pasteurização da cerveja artesanal. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Uberlândia - *Campus* de Patos de Minas, 2018.
- BLANPAIN, P., HERMIA, J., LALANDE, M. Mechanisms governing permeate flux and protein rejection in the microfiltration of beer with a cyclopore membrane. **Journal of Membrane Science**, n. 84, p. 37-51, 1993.
- BOAVENTURA, J. **Otimização do processo de cerveja**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade do Porto, Portugal, 2009, 54 f.
- BRANS, G. Design of membrane systems for fractionation of particles suspensions. PhD **Thesis**, Wageningen University, Netherlands, 2006.
- BRASIL. Decreto n. 2.314, de 4 de setembro de 1997. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, 1997.
- BRIÃO, V.B., TAVARES, C.R.G. Ultrafiltração de água de enxágue modelo da indústria de laticínios para a recuperação de nutrientes: efeito da pressão e da velocidade tangencial. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.15, n.4, p. 362-362, 2012.
- CARVALHO, B., M., S., **Curso de Produção de Cerveja**, UNICER, Julho, 1985.p 14.
- CIMINI, A.; FRANCESCO, G.; PERRETTI, G. Effect of crossflow microfiltration on the clarification and stability of beer from 100% low-b-glucan barley or malt. **Food Science and Technology**, v. 86, p. 55-61, 2017.
- CZEKAJ, P., LÓPEZ, F., GÜELL, C. Membrane fouling during microfiltration of fermented beverages. **Journal of Membrane Science**, n. 166, p. 199-212, 2000.
- FILLAUDEAU, L., BOISSIER, B., MOREAU, A., BLANPAIN-AVET, P., ERMOLAEV, S., JITAROUK, N., GOURDON, A. Investigation of rotating and vibrating filtration for clarification of rough beer. **Journal of Food Engineering**, **80**, 207-217, 2006.
- FOUST, A. S. et.al. **Princípios das Operações Unitárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 1982.
- GAN, Q., HOWELL, R. W., ENGLAND, R., BIRD, M. R., MEKECHINE, M. T. Synergetic cleaning procedure for a ceramic membrane fouled by beer microfiltration. **Journal of Membrane Science**, n. 155, p. 277-289, 1999.

GOMIDE, R. Operações Unitárias. vol. 3. São Paulo, Ed do Autor, 1980. Hough, J. S. Biotecnología de la cerveza y de la malta, Editorial Acribia, S.A.

MAGALHÃES, M. P. et. al. Conservação de água de coco verde por filtração com membrana. **Food Science and Technology**, v. 25, p.41, 2005.

MARCUSSO, E. F. As Microcervejarias no Brasil Atual: Sustentabilidade e Territorialidade. **Dissertação** (Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

MONTEIRO, A. **Curso Operador Cervejeiro**. Companhia Brasileira de Bebidas: Goiânia, 2001.

NETA, L. S. F.; HABERT, A. C. H.; BORGES, C. P. Cerveja microfiltrada: processo e qualificação. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 2, 2005. p. 130-137.

OLIVEIRA, N. A. M. Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja. **Monografia** (Especialização em Microbiologia Ambiental e Industrial). Instituto de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. 45 f.

OLIVEIRA, R. C.; INNOCENTI, T. D.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D.; MENDES, E. S. Estudo do mecanismo de *fouling* em vinho e cerveja. **In: Iniciação Científica CESUMAR**, v. 08, n.01, p.97-104 - Edição Especial, 2006

SEGUENKA, B. et. al. Clarificação de vinho tinto pelo processo de separação por membranas. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 3, p. 119-126, 2014.

TOZETTO, L. M.; NASCIMENTO, R. F. do, OLIVEIRA, M. H. de, VAN BEIK, J.; CANTERI, M. H. G. Production and physicochemical characterization of craft beer with ginger (*Zingiber officinale*). **Food Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 962-970, 2019.

Reinold, R. M.; *Manual Prático de Cervejaria*. 1.ed., Aden: São Paulo, **1997**