

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



Filtração da Cerveja: Descrição, Equipamentos e Estudos de Casos

Autor: Guilherme Breancini

Uberlândia - MG

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Filtração da Cerveja: Descrição, Equipamentos e Estudos de Casos

Guilherme Breancini

**Monografia de graduação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia como
parte dos requisitos necessários para a
aprovação na disciplina de Trabalho de
Conclusão de Curso do curso de
Engenharia Química.**

**Orientador: Prof. Dr. Ubirajara Coutinho
Filho.**

Uberlândia - MG

2018

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GUILHERME BREANCINI
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM (DATA).

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ubirajara Coutinho Filho
Orientador - FEQUI/UFU

Prof.^a Dr.^a Marina Seixas Pereira
FEQUI/UFU

Prof. Dr. Humberto Molinar Henrique
FEQUI/UFU

Dedico este trabalho ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, a todos os docentes da Faculdade de Engenharia Química e de outras Faculdades e Institutos que contribuíram com a minha formação, bem como às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses cinco anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos e colegas nesses espaços foi a melhor experiência da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por permitir que eu chegasse aonde cheguei e por me guiar ao longo dessa jornada, aos meus pais, Carlos e Marilene, pelo apoio incondicional e eterno em todas as minhas decisões, pela ajuda em situações em que me encontrava sem resposta para os dilemas que enfrentei, e por todo sacrifício e luta para que eu pudesse ter chegado até esse ponto.

Ao Prof. Dr. Ubirajara Coutinho Filho, pelo apoio, orientação ao longo do ano, para que o trabalho ficasse de acordo com o planejado, e pela amizade desenvolvida ao longo da realização do projeto.

Aos integrantes da equipe CevaCerrado, Thiago Pucci, Igor Dias e Renan Ganem, pois sem eles a paixão pelo estudo, pela produção e pelo mundo das cervejas não seria a mesma.

Ao Prof. Me. João Sperb, da Escola Superior de Cerveja e Malte – ESCM, pela ajuda prestada na realização do trabalho, ao tirar dúvidas e ao enviar material de apoio para pesquisas.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
CAPITULO 1 – MERCADO CERVEJEIRO E HISTÓRIA DA FILTRAÇÃO DE CERVEJA	9
1.1 Mercado Cervejeiro e Seus Segmentos	9
1.2 Historia da Filtração de Cerveja	14
CAPITULO 2 – FILTRAÇÃO DA CERVEJA	16
2.1 Diferentes Usos da Filtração na Indústria de Alimentos e Bebidas	16
2.2 A Importância da Filtração da Cerveja	19
2.3 Filtração.....	20
2.3.1 Tipos de Torta.....	22
2.3.2 Tipos de Operação	23
2.4 Tipos de Filtros	24
2.4.1 Filtro Prensa de Placas e Quadros	25
2.4.2 Filtro de Velas	27
2.4.3 Filtros de Membrana.....	29
2.5 Meios Filtrantes	32
CAPITULO 3 – SELEÇÃO DE SEGMENTOS E PROJETO DE SISTEMAS DE FILTRAÇÃO	36
3.1 Seleção dos Segmentos	36
3.2 Projeto De Um Sistema De Filtração Em Uma Microcervejaria Artesanal	36
3.2.1 Memorial Descritivo.....	36
3.2.2 Memorial Justificativo	37
3.2.3 Memorial de Calculo do Sistema de Filtragem	38

3.3	Projeto De Um Sistema De Filtração Em Uma Grande Cervejaria	41
3.3.1	Memorial Descritivo.....	41
3.3.2	Memorial Justificativo	42
3.3.3	Memorial de Calculo do Sistema de Filtragem	43
 CAPITULO 4 - CONCLUSÃO		48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		49

RESUMO

A filtração é uma das etapas mais importantes do processo de produção de cerveja, ela tem a função de garantir a resistência da bebida às condições de temperatura fora da cervejaria, promovendo assim a manutenção das principais propriedades da cerveja e assegurando uma maior durabilidade do produto. A filtração está presente na etapa de brassagem, onde é feita a filtração do mosto que será fermentado, na etapa pós-fermentação, onde é feita a filtração primária do mosto já fermentado, e na etapa pós-maturação, onde é feita a clarificação da cerveja. As diversas tecnologias de filtração variam de acordo com a escala industrial de produção. No presente trabalho, foi estudada a etapa de clarificação da cerveja. No estudo da filtração é apresentada a descrição da mesma, em termos da teoria da filtração, dos tipos de filtros utilizados em diferentes escalas e do dimensionamento de sistemas de filtração em duas escalas distintas escolhidas entre as diferentes escalas de produção. No projeto de um sistema de filtração, para uma na escala de produção que caracteriza uma microcervejaria, foi possível alocar um filtro para atender uma produção de 1450 hL/mês, o filtro de velas com terra de diatomáceas, cuja capacidade é de 8 hL/hora, e que se mostrou capaz de atender a demanda proposta. Já para o projeto em uma escala que caracteriza uma grande cervejaria, pode-se observar que sistema de membranas de fibra oca de poli-éster-sulfona (PES), com seis blocos de 28 módulos com capacidade de filtrar 160 hL/h de cerveja foi suficiente para atender a uma produção de mais de 570.000 hL/mês, número característico de cervejarias de grande porte.

Palavras-chave: Filtração, Cerveja, Membranas, Placas, Velas, Projeto.

ABSTRACT

Filtration is one of the most important steps in the brewing process. It has the function of guaranteeing the resistance of the beverage to the temperature conditions outside the brewery, thus promoting the maintenance of the main properties of beer and ensuring a longer product life. Filtration is present in the brewing stage, where the filtration of the must to be fermented is carried out in the post-fermentation stage, where the primary filtration of the already fermented wort is carried out, and in the post-maturation stage, where the clarification of the beer. The various filtration technologies vary according to the industrial scale of production. In the present work, the beer clarification stage was studied. In the filtration study, the description of the filtration theory is presented, in terms of the filtration theory, the types of filters used in different scales and the design of filtration systems in two different scales chosen among the different production scales. In the design of a filtration system, for a production scale that features a microbrewery, it was possible to allocate a filter to meet a production of 1450 hL / month, the diatomaceous earth candle filter, whose capacity is 8 hL / hour was able to meet the proposed demand. For the design on a scale that characterizes a large brewery, it can be observed that polyestersulfone (PES) hollow fiber membrane system, with six blocks of 28 modules capable of filtering 160 hL / h of beer, was sufficient to meet to a production of more than 570,000 hL / month, a characteristic number of large breweries.

Keywords: Filtration, Beer, Membranes, Plates, Candles, Design.

CAPITULO 1 – MERCADO CERVEJEIRO E HISTÓRIA DA FILTRAÇÃO DE CERVEJA

1.1 Mercado Cervejeiro e Seus Segmentos

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cerveja (SINDICERV), 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 classificação completa.

Tabela 1 - Consumo per capita mundial.

País	Consumo (L/hab.ano)
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 (2002).

Embora esse consumo tenha sido incrementado nos primeiros anos de implantação do Plano Real (1994/1995), como pode ser observado na Figura 1.1 abaixo, 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).



Figura 1.1 - Consumo per capita no Brasil ao longo dos anos. Fonte: BNDES e SINDICERV.

Na saída da fábrica, seu custo é um dos menores do mundo. Porém, até chegar ao consumidor final, a cerveja sofre a incidência de uma série de tributos, conforme demonstra a Figura 1.2 abaixo.

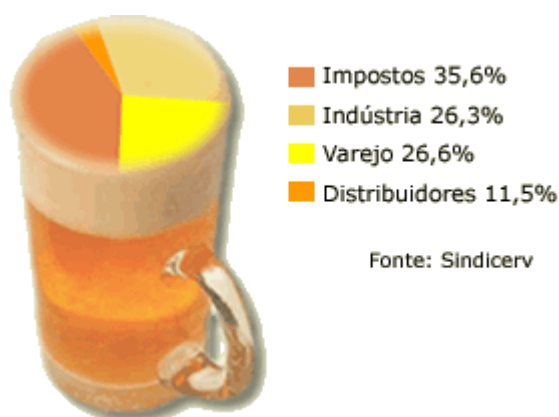


Figura 1.2 - Tributação sobre a cerveja. Fonte: SINDICERV.

Os números impressionam ainda mais quando o assunto   produção, neste quesito, o Brasil já ocupa o quarto lugar entre os maiores fabricantes de cerveja do globo, com um volume anual de cerca de 10,3 bilhões de litros. Estão   sua frente como os grandes fabricantes apenas os chineses, que atingem a marca de 35 bilhões de litros por ano, seguidos por EUA, com 23 bilhões, e Alemanha, com 10,7 bilhões. A Figura 1.3 mostra a evolução da produção brasileira ao longo do tempo.



Figura 1.3 – Produção de cerveja no mercado nacional. Fonte: BNDES e SINDICERV.

A produção mundial cervejeira se caracteriza pela existência de grandes grupos empresariais multinacionais que dominam parcelas significativas do mercado global. A Tabela 2 abaixo mostra os 4 principais grupos produtores de cerveja a nível mundial, bem

como, suas respectivas produções anuais e percentual de participação no mercado.

Tabela 2 - Quadro dos maiores grupos cervejeiros (2017).

Posição	Cervejaria	País de Origem	Produção (milhões de hectolitros)	Participação de Mercado
1	AB InBev	Bélgica	612.5	31.4%
2	Heineken	Holanda	218,0	11.2%
3	China Res. Snow Breweries	China	126.0	6.5%
4	Carlsberg	Dinamarca	113.4	5.8%

Fonte: BARTH-HAAS GROUP (adaptado).

As quatro maiores cervejarias detêm aproximadamente 55% da produção total mundial, sendo que a AB InBev detém sozinha mais de 31% da produção mundial.

Já no Brasil, a produção nacional de cerveja também se dá por quatro grandes cervejarias: AMBEV, Heineken Brasil, Schincariol e Petrópolis. As quatro empresas juntas detêm uma participação de mercado de 98,4%, restando somente 1,6% para as demais cervejarias, inclusive as microcervejarias. A AMBEV detém 70% de participação de mercado, em segundo lugar está a Schincariol com 11,6%, em terceiro a Petrópolis com 9,6% e em quarto a Heineken Brasil com 7,2%.

Segundo a ABRACERVA (2018), em nove meses, saltou de 679 para 835 o número de cervejarias artesanais independentes em operação no Brasil. O comparativo entre os dados de dezembro de 2017 e setembro de 2018 foi realizado pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). O crescimento é de 23% no período. São 169.681 produtos registrados por estas cervejarias.

De acordo com (STEIN, 2011), existem basicamente três segmentos no mercado brasileiro: o das cervejas de volume ou consumo em massa, o das cervejas *Premium*, e o das cervejas *Super Premium*. O segmento das cervejas de volume é composto pelas cervejas que apresentam os preços mais baixos e são consumidas amplamente, sendo que as classes de menor renda têm uma maior participação no consumo nesses produtos. É nesse segmento que se encontram as grandes marcas das cervejarias (Brahma, Skol, Antarctica, Nova Schin, Itaipava, Kaiser, Bavaria). Esse mercado corresponde a aproximadamente 95% do consumo total de cerveja no Brasil.

No segmento das *Premium* estão as cervejas que teoricamente possuem uma melhor qualidade em relação às cervejas de volume. O seu preço é entre 20% a 100% a mais que o preço das cervejas de massa. Nesse grupo estão cervejas como Heineken, Bohemia, Kaiser Gold, Bavaria Premium, Itaipava Premium, Brahma Extra, etc. Esse mercado corresponde a um valor entre 4 e 5% do total consumido (STEIN, 2011).

O último segmento é do das *Super Premium*, também chamadas de cervejas especiais ou *gourmet*, em que estão as cervejas de qualidade superior, que usam matérias-primas selecionadas. O preço é mais que o dobro das cervejas de volume. Esse segmento compreende a apenas 0,5% do mercado nacional, aproximadamente. Nesse grupo estão as cervejas produzidas pelas microcervejarias e as cervejas importadas (STEIN, 2011).

No Brasil e no mundo a produção de cerveja se dá em diferentes estruturas produtivas, desde a produção caseira até a produção em larga escala nas grandes cervejarias. Porém, no Brasil, não há uma formalização que distingue os diferentes segmentos industriais em que a bebida é produzida. O Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece através da portaria nº142/2012, um limite máximo da produção anual de trinta mil litros de cerveja para que uma cervejaria possa ser designada como **Artesanal**, ou seja, uma produção máxima a ser comercializada de 2.500 litros por mês.

Já em publicações americanas, encontram-se divisões mais detalhadas, que levam em conta a quantidade produzida, o local em que a cerveja é vendida e se a produção é artesanal ou não. Utilizando a classificação encontrada em Brewers Association (2011), a indústria cervejeira pode ser subdividida em empresas dos seguintes tipos:

a) Microcervejaria: É uma cervejaria que produz menos de 15.000 barris por ano (aprox. 145.000 litros por mês), sendo que no mínimo 75% de sua produção é vendida fora da fábrica. Utilizam um ou mais dos seguintes métodos para a comercialização: o sistema de três camadas (segue o caminho atacadista-varejista-consumidor), o sistema de duas camadas (segue o caminho varejista-consumidor, e a empresa atua como atacadista) e, diretamente ao consumidor, com a empresa atuando como distribuidora e/ou a venda se dá diretamente na fábrica.

A Tabela 3 abaixo mostra as principais microcervejarias brasileiras e seu volume médio de produção.

Tabela 3 - Principais Microcervejarias Nacionais.

Cervejaria	Ano de Fundação	Localização	Produção mensal (mil litros)
Amazon beer	2000	Belém - PA	130
Berggren	2015	Nova Odessa – SP	120*
Bodebrown	2009	Curitiba - PR	110
Tupiniquim	2013	Porto Alegre - RS	80
Wäls	1999	Belo Horizonte - MG	60

*antes da construção da nova unidade em 2018.

Fonte: CEREVISA 2017.

b) *Brewpub*: Trata-se de um restaurante, bar ou *pub* que produz a sua própria cerveja para consumo no local, sendo que para ser considerado um *brewpub*, no mínimo 25% da produção deve ser consumida no estabelecimento.

Brewpubs em Uberlândia - MG: Cervejaria Alienada, Cervejaria Benedith, Überbräu.

c) Produção por Contrato (terceirizadas): empresa que contrata outra para produzir a sua cerveja. Também pode ser uma cervejaria que contrata outra cervejaria para produzir cervejas adicionais. A empresa contratante gerencia as atividades de marketing, vendas e distribuição de sua cerveja, enquanto que, em geral, deixam o preparo e o envasamento para a cervejaria contratada.

d) Cervejaria Regional: É uma cervejaria que produz entre 15.000 e 6 milhões de barris por ano (entre 145 mil e 57,8 milhões de litros por mês).

O Brasil possui cervejarias regionais de destaque no mercado nacional e internacional, dentre as quais, podemos citar as cervejarias contidas na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Principais cervejarias regionais.

Cervejaria	Ano de Fundação	Localização	Produção mensal (litros por mês)
Colorado ¹	1995	Ribeirão Preto – SP	650 mil*
Eisenbahn ²	2002	Blumenau – SC	215 mil
Devassa ³	2001	Rio de Janeiro	Mais de 1 milhão
Germânia ⁴	1991	Vinhedo – SP	2 milhões

*após aquisição pela Ambev em 2015.

Fonte:

<<https://www.acidadeon.com/lazerecultura/NOT,2,2,1159936,Colorado+amplia+em+cinco+vezes+a+producao+de+cerveja.aspx>>¹

<<https://www.istoedinheiro.com.br/noticias/estilo/20070321/arte-beber-cerveja/13093>>²

<<http://mundodasmarcas.blogspot.com/2008/05/cerveja-devassa.html>>³

<<http://www.supervarejo.com.br/germania-inicia-projeto-de-expansao/>>⁴

e) Grande Cervejaria: Cervejaria que tem uma produção anual maior que 6 milhões de barris (aproximadamente 57,8 milhões de litros por mês).

Como citado anteriormente, a produção nacional de cerveja se dá por quatro grandes grupos, sendo eles, AmBev, Heineken Brasil, Schincariol (atualmente pertence ao grupo Heineken Brasil) e Grupo Petrópolis. O catálogo desses grupos inclui uma grande quantidade de rótulos, inclusive alguns dos citados acima nas categorias de microcervejarias e cervejarias regionais.

1.2 História da Filtração de Cerveja

A Filtração de cerveja é um procedimento relativamente novo, considerando a história de 6.000 anos de fabricação de cerveja. O primeiro filtro de cerveja foi apresentado em uma exposição de cerveja em Munique no ano de 1880, pelo desenvolvedor alemão Lorenz Adelbert Enzinger. O filtro foi projetado em uma configuração horizontal, com placas individuais com canais de entrada e saída, semelhantes aos modernos filtros de placa e quadro. Naquela época, o material da placa era de ferro preto; válvulas e medidores feitos de cobre e latão. O meio filtrante foi feito de folhas de papel que eram trocadas após cada filtração. (ProBrewer 2018)

A próxima geração de filtros de cerveja foi desenvolvida no início de 1900, novamente por Enzinger. Este filtro foi um projeto vertical usando taças de latão (*Enzinger Schalen*) para abrigar bolos de polpa. O bolo de polpa foi preparado a partir de fibras de

algodão misturadas com amianto. A principal vantagem da filtração de polpa foi a possibilidade de reutilizar o material para 3 a 5 lotes de filtração, reduzindo o trabalho e o tempo de inatividade. Uma vez gasto, o bolo de polpa foi removido das tigelas de latão, enxaguado e reprocessado em uma prensa para fazer novos bolos. A filtração de celulose foi a primeira tecnologia de reciclagem usada em uma cervejaria, no entanto, exigiu alto consumo de água e mão de obra. (ProBrewer 2018)

A filtração de celulose dominou a indústria cervejeira até 1930, quando o primeiro filtro de terra de diatomáceas (DE) foi comprovado nos EUA. Logo após a Segunda Guerra Mundial, as cervejarias americanas, inglesas e japonesas adotaram o processo e tornaram o padrão da indústria para o clareamento primário da cerveja.

O primeiro design para filtros DE foi baseado em um filtro de placa e estrutura usando folhas de suporte. Logo depois, a Schenk (hoje, Pall Food & Beverage) introduziu o filtro de folha horizontal e a Enzinger desenvolveu o filtro DE tipo vela. Estes três filtros, embora melhorados desde os primeiros modelos, continuam sendo as plataformas mais comuns para filtração primária em cervejarias. Avanços recentes na tecnologia de filtração de cerveja são baseados em sistemas de membrana de fluxo cruzado, que eliminam o uso de DE como um meio de filtração. Os impulsionadores desse movimento livre de DE são principalmente os riscos para a saúde e a logística do manuseio de DE, além de aumentar a conscientização sobre o descarte de resíduos sólidos, o consumo de água e a eficiência da produção. (ProBrewer 2018)

CAPITULO 2 – FILTRAÇÃO DA CERVEJA

2.1 Diferentes Usos da Filtração na Indústria de Alimentos e Bebidas

As indústrias de transformação englobam diversos setores, como alimentos e bebidas, produtos químicos, metalurgia, veículos automotores, papel e celulose, plásticos e borrachas, entre outros. Nas indústrias de alimentos e bebidas, a filtração aparece na produção de suco de frutas, óleos vegetais, leite e derivados, entre outros produtos. Ao se fabricar produtos alimentícios em grande escala, normalmente são necessárias diversas operações unitárias, tais como moagem, cristalização, lixiviação e filtração, dentre outras. MEIO FILTRANTE (2008).

As aplicações da filtração no segmento de alimentos e bebidas são muito amplas e diversificadas e vão desde as mais simples até as mais complexas, podendo ser filtração total/completa, ou apenas parcial. Seu objetivo é manter o produto adequado para consumo por maior tempo possível nas gôndolas dos supermercados. Além disso, aumentam o valor nutricional dos alimentos, garantem o controle microbiológico e asseguram a qualidade e a padronização dos produtos. O avanço tecnológico no processo de produção, ao contrário do que se pensa, requer menos uso de filtros, que são um dos pontos mais estudados hoje na hora de elaborar alimentos e bebidas. MEIO FILTRANTE (2008).

De modo geral, a filtração pode ser definida como a separação de uma mistura heterogênea contendo um sólido e um líquido, fazendo com que o sólido fique retido num meio poroso e o líquido passe através desse meio. A força motriz do processo é uma diferença de pressão através desse meio. Os processos de filtração são classificados em função da maneira de como esse gradiente de pressão é imposto: gravidade, vácuo, forças centrífugas ou aplicando pressão diretamente. MEIO FILTRANTE (2008).

Nas indústrias de alimentos e bebidas, a filtração aparece na produção de suco de frutas, óleos vegetais, vinho, cerveja e em muitos outros. Nestes setores, durante as etapas de filtração, normalmente o líquido é a fração que mais interessa, com valor comercial, enquanto que o sólido é o de menor importância, ou muitas vezes é até indesejável. Dentro ainda do segmento alimentício e de bebidas, a filtração frequentemente é realizada através de filtros

prensa, filtros rotativos ou por meio de membranas. MEIO FILTRANTE (2008).

Analizando o ramo de bebidas, a cerveja é obtida por fermentação alcoólica da infusão de uma mistura de lúpulo e malte de cevada ou outros cereais germinados ou não, em água, podendo ser adicionados hidratos de carbono, gás carbônico e outros produtos compatíveis com o consumo humano. Na produção de cerveja, depois da maceração do malte, o mosto resultante é separado em filtro prensa. A grande presença de células de leveduras e de partículas de proteínas coaguladas em suspensão na cerveja, após a maturação, faz com que seja necessária a operação de filtração, pois a presença dessas substâncias em suspensão torna a cerveja turva, impedindo que a mesma apresente uma característica brilhante e clara. MEIO FILTRANTE (2008).

Essa filtração também é realizada em filtro prensa, na presença de terra de diatomáceas para favorecer o clareamento. Ainda do ramo de bebidas, durante a produção de refrigerantes, a purificação do xarope também é feita num filtro prensa, onde ficam retidas as impurezas presentes em suspensão. Também é utilizado o equipamento na produção de suco de frutas, que permite a separação do bagaço e da polpa desses vegetais. MEIO FILTRANTE (2008).

Os filtros rotativos a vácuo são os mais populares na família dos filtros que utilizam pressão abaixo da atmosférica. Eles são basicamente constituídos por um tambor rotativo que gira com velocidades entre 1 rpm e 10 rpm e ficam com sua extremidade inferior imersa num reservatório contendo a mistura heterogênea a ser separada. O cilindro é perfurado, recoberto com um elemento filtrante e, através desses furos, faz-se vácuo, de modo que o líquido tende a ir para a parte interna do tambor. Concomitantemente, o sólido fica retido na parte externa do elemento filtrante e forma a torta, que é separada ao final de uma revolução do cilindro, por meio de um raspador. Esses tipos de filtros são bastante comuns na indústria de açúcar e álcool no Brasil, sendo empregados na etapa de clarificação do caldo de cana. MEIO FILTRANTE (2008).

Como exemplo do uso de filtros rotativos em indústrias de alimentos, tem-se a produção da fécula de mandioca, na qual a fécula refinada segue para o filtro visando a separação parcial da umidade e, posteriormente, sofre um processo de secagem final. Por

operar de forma contínua, o uso de filtros rotativos a vácuo é mais frequente do que o uso de filtros prensa. O emprego de filtração por membranas ganha bastante espaço em aplicações na indústria de alimentos e bebidas. A capacidade de separação desse método, em temperatura ambiente e sem provocar mudança de fase, pode superar em termos de custo os processos tradicionais de filtros prensa e de filtros rotativos. MEIO FILTRANTE (2008).

A filtração por membranas pode ser convencional, no qual o fluido escoar perpendicularmente à membrana (*crossflow*) ou tangencialmente, quando o fluido escoar paralelamente à membrana. As tecnologias incluídas dentro da filtração por membranas são: MEIO FILTRANTE (2008)

a) Osmose reversa: Nesse método uma pressão hidráulica é aplicada numa solução e essa pressão acaba sendo maior do que a própria pressão osmótica da solução, fazendo com que as moléculas de água e o solvente da solução se difundam através da membrana. As pressões típicas de operação estão entre 2500 kPa e 6800 kPa. Esse tipo de processo é usado para soluções que contêm uma concentração muito baixa de soluto e, caracteristicamente, é empregada para tratamento de água.

b) Nanofiltração: Em soluções contendo uma mistura de espécies iônicas, íons monovalentes tendem a passar pela membrana, enquanto os íons de carga mais elevada não conseguem permear pela mesma. Isso provoca uma diferença de potencial químico entre as soluções, fazendo com que as pressões necessárias para separação sejam menores do que na osmose reversa. Nesse caso, as pressões ficam entre 700 kPa e 4000 kPa.

c) Ultrafiltração: Nessa situação, os poros das membranas são maiores do que na osmose reversa e na nanofiltração. Desse modo, moléculas pequenas conseguem passar pela membrana enquanto que moléculas maiores ficam retidas. As pressões de trabalho mais uma vez são menores, ficando entre 100 kPa e 1000 kPa. Esse processo tem se tornado cada vez mais comum na indústria de laticínios, para fracionamento do leite.

d) Microfiltração: Os poros das membranas usadas nesse processo são maiores do que os poros das membranas utilizadas para ultrafiltração. Com poros de até 2 μm , consegue-se trabalhar com pressões de 50 kPa até 600 kPa. Independentemente do tamanho dos poros

utilizados na filtração por membranas, o potencial de uso em indústrias de alimentos e bebidas é grande. Existem exemplos de aplicação para clarificação de suco de frutas; concentração de proteínas encontradas em soja, canola e clara de ovos; retirada de álcool de cervejas e vinhos; produção de gelatinas; clarificação de maltodextrina e frutose, dentre outros.

2.2 A Importância da Filtração da Cerveja

A produção de cervejas não filtradas certamente é o principal diferencial da fabricação artesanal em relação à produção em grande escala. A cerveja não filtrada tem propriedades de sabor inconfundíveis, um alto teor de substâncias benéficas para o corpo humano, espuma suave de fermento vivo e cheiro de malte e lúpulo.

No entanto, se a produção for destinada para o mercado consumidor, a cerveja não filtrada é bastante inadequada. A cerveja cheia de fermento vivo é muito sensível à mudança de temperatura e sua distribuição fora da cervejaria, durante a qual geralmente não é possível fornecer um ambiente com uma temperatura constante entre 2 °C e 5 °C leva à mudanças rápidas nas características sensoriais do produto.

Pelas razões acima mencionadas, antes da distribuição de cerveja, é necessário garantir sua maior resistência às influências externas e prolongar a duração da cerveja. Por isso, é necessário livrar-se de leveduras vivas, interrompendo assim os processos de fermentação na cerveja e desacelerando consideravelmente mudanças em suas propriedades sensoriais, mesmo que as regras para seu transporte, distribuição e armazenamento não sejam rigorosamente seguidas. Em outras palavras, é necessário tornar o produto durável e resistente às mudanças no ambiente. A cerveja, embora não possua fermento vivo após a filtração, ainda mantém seu sabor e variedade de substâncias nutritivas.

Ao escolher a tecnologia de filtração, deve-se ter em mente o objetivo desejado. Se o objetivo é aumentar significativamente a resistência da cerveja contra influências externas e prolongar a vida da bebida para distribuição em barris, é necessário usar filtração primária de alta qualidade em um filtro de placa, filtro de vela diatomácea ou filtro de fluxo cruzado.

Uma má filtrabilidade traz consigo algumas desvantagens, como por exemplo, o elevado consumo de água, energia e elementos auxiliares de filtração, além de riscos microbiológicos. MEIO FILTRANTE (2011). O primeiro processo de filtração começa na água que será usada para se misturar ao restante do produto. Entre os principais filtros utilizados estão os decoloradores em aço inox (padrão sanitário) e filtros polidores. TECH FILTER (2018).

No caso de cervejas vendidas em garrafas, o objetivo é alcançado apenas por filtração primária e secundária. A filtração secundária (usando microfiltração) é realizada no microfiltro extrafino, placa ou vela. Com isso, obtêm-se na prática os mesmos resultados que a pasteurização da cerveja, mas sem danos térmicos à bebida.

2.3 Filtração

A filtração é uma das aplicações mais comuns do escoamento de fluidos através de leitos compactos. A operação industrial é análoga às filtrações realizadas em um laboratório que utilizam papel de filtro e funil. O termo filtração pode ser utilizado para processos de separação dos sólidos de suspensões líquidas e, também para separação de partículas sólidas de gases, como por exemplo, a separação das poeiras arrastadas pelos gases utilizando tecidos. O objetivo da operação é separar mecanicamente as partículas sólidas de uma suspensão líquida com o auxílio de um leito poroso. Quando se força a suspensão através do leito, o sólido da suspensão fica retido sobre o meio filtrante, formando um depósito que se denomina torta e cuja espessura vai aumentando no decorrer da operação. O líquido que passa através do leito é chamado de filtrado. Em princípio a filtração compete com a decantação, a centrifugação e a prensagem. (FOUST, A. S. et.al. 1982).

Seu campo específico é:

- A separação de sólidos relativamente puros de suspensões diluídas;
- A clarificação total (e às vezes até o branqueamento simultâneo) de produtos líquidos encerrando pouco sólido;
- A eliminação total do líquido de uma lama já espessada.

A filtração industrial difere da filtração de laboratório somente no volume de material operado e na necessidade de ser realizada a baixo custo. Assim para se ter uma produção razoável, com um filtro de dimensões moderadas, deve-se aumentar a queda de pressão, ou diminuir a resistência ao escoamento, a fim de aumentar a vazão. A maioria dos equipamentos industriais opera mediante a diminuição da resistência ao escoamento, fazendo com que a área filtrante seja a maior possível, sem que as dimensões globais do filtro aumentem proporcionalmente. (FOUST, A. S. et.al. 1982). A escolha do filtro depende em grande parte da economia do processo, porém as vantagens econômicas são variáveis de acordo com o seguinte:

- Viscosidade, densidade e reatividade química do fluido;
- Dimensões da partícula sólida, tendência à floculação e deformabilidade;
- Concentração da suspensão de alimentação;
- Quantidade do material que deve ser operado;
- Valores absolutos e relativos dos produtos líquido e sólido;
- Grau de separação que se deseja realizar;
- Custos relativos da mão-de-obra, do capital e da energia;

Um filtro funciona como indicado na figura abaixo. Há um suporte do meio filtrante sobre o qual vai se depositando a torta à medida que a suspensão passa através do filtro. GOMIDE, R. (1980). A força propulsora da operação varia de um modelo de filtro para outro, podendo ser:

- Gradiente de pressão, como pode ser visto na Figura 2.1
- Vácuo;
- Força centrífuga.



Figura 2.1 – Princípio do funcionamento de um filtro. Fonte:

<https://www.ggte.unicamp.br/ocw/sites/ocw/files/cursos/CienciasExatas/EQ651/apostilas/Capitulo_III.pdf>

Em muitas situações o meio filtrante é previamente recoberto com um material inerte que se destina a reter os sólidos contaminantes da suspensão, isto consiste o pré-revestimento.

O sólido empregado é denominado auxiliar de filtração, ou ainda, coadjuvante de filtração.

Os auxiliares de filtração são bastante utilizados para acelerar a filtração ou ainda para possibilitar a coleta mais completa das partículas mais finas da suspensão. Estes coadjuvantes são sólidos finamente divididos, com estrutura rígida, que formam tortas abertas, não compressíveis. Portanto, outra função do auxiliar de filtração é diminuir a compressibilidade da torta. Ele desempenha o papel de “esqueleto” da torta. A adição tem por finalidade impedir a compactação da torta que vai se formando durante a filtração, mantendo-a porosa durante todo o ciclo. (Clarilub 2018)

Alguns auxiliares de filtração utilizados nas cervejarias:

- *Fibroxccl 10, Fibroxccl UNI, Fibrosteril* – patentes da AEB®;
- *FoamMax* (espuma), *Isomax EAA* (antioxidante), *Divergan F*** (estabilizante coloidal) – patente da Prozyn®;

** Desenvolvido em parceria com a BASF®;

2.3.1 Tipos de Torta

As características da torta produzida variam de uma operação para outra. Sólidos cristalinos formam tortas abertas que facilitam o escoamento do filtrado. Já os precipitados gelatinosos, como os hidróxidos de ferro e alumínio, produzem tortas pouco permeáveis. De um modo geral o tipo de torta depende:

- Da natureza do sólido;
- Da granulometria e da forma das partículas;
- Do modo como a filtração é conduzida;
- Do grau de heterogeneidade do sólido;

Uma torta com uma dada espessura oferece uma resistência bem definida ao escoamento do filtrado. Quando a vazão de filtrado aumenta, também a resistência aumenta e, como o escoamento no interior da torta é laminar, a queda de pressão deve ser em princípio, proporcional à velocidade. Se a vazão dobrar, a queda de pressão ficará duas vezes maior.

Algumas tortas cristalinas comportam-se dessa forma. Outras, porém, acarretam quedas de pressão que aumentam mais rapidamente com a vazão e, assim sendo, quando se duplica a vazão, a queda de pressão resulta mais do que o dobro. É evidente, neste segundo caso, que a resistência da torta ao escoamento do filtrado aumenta com a pressão. Tortas deste tipo denominam-se compressíveis, em contraste com as outras, que são incompressíveis.

Uma torta compressível comporta-se como uma esponja. Pressionada, a esponja oferece maior resistência ao escoamento de líquidos pelo seu interior porque os canais fecham-se e alguns até deixam de existir. É evidente, portanto, que a filtração de uma suspensão que produz torta compressível é mais difícil do que se a torta for incompressível. Como foi dito anteriormente, uma das funções do auxiliar de filtração é diminuir a compressibilidade da torta, sendo que ele desempenha o papel de “esqueleto” da torta.

Portanto, a torta é compressível quando a resistência específica, ou permeabilidade, é função da diferença de pressão através da mesma. A reversibilidade da torta quanto à compressão está relacionada e atribuída à elasticidade das partículas, enquanto na torta filtrante inelástica a maior resistência ao escoamento se deve ao maior grau de empacotamento das partículas formadoras da torta filtrante. A resistência da torta inelástica é correspondente ao valor da maior pressão aplicada. Logo, em processos com esse tipo de torta formada, a pressão nunca deve exceder um máximo permitido.

2.3.2 Tipos de Operação

Embora o mecanismo seja sempre o mesmo, uma filtração pode visar objetivos bem diferentes. Um *strainer*, por exemplo, visa reter escamas de ferrugem, fios, etc., enquanto que certos filtros têm por finalidade clarificar do modo mais perfeito possível, certos líquidos, como águas e bebidas. Nestes exemplos o sólido é o refugo da operação, mas em outras filtrações ele constitui o produto, como no caso da filtração de cristais, pigmentos e outros produtos sólidos valiosos. O filtro funciona para produzir torta que na maioria das vezes é lavada e drenada para purificar e separar os sólidos no estado mais seco possível. Há também situações nas quais, tanto o sólido quanto o filtrado são produtos, sendo a nitidez da separação um requisito da operação. Em outros casos, uma separação parcial já é satisfatória. Neste caso o filtro é um espessador e sua função é produzir uma lama espessa a partir de uma suspensão.

No geral, quando o sólido na suspensão a filtrar for menos que 0,1% a operação poderá ser considerada como clarificação. Quando a concentração superar bastante este valor a operação poderá ser vista como uma extração: do sólido, quando este for o produto, do líquido ou de ambos. GOMIDE, R. (1980)

2.4 Tipos de Filtros

Diversos são os fatores que devem ser considerados para especificar um filtro. Em primeiro lugar estão os fatores associados com a suspensão: vazão, temperatura, tipo e concentração dos sólidos, granulometria, heterogeneidade e forma das partículas. Vêm depois as características da torta: quantidade, compressibilidade, valor unitário, propriedades físico-químicas, uniformidade e estado de pureza desejado. Há os fatores associados com o filtrado: vazão, viscosidade, temperatura, pressão de vapor e grau de clarificação desejado. E finalmente o problema dos materiais de construção.

A seleção é feita dentre os diversos modelos existentes na praça, com todos estes fatores em mente, muito embora alguns sejam dominantes em certos casos, como a escala de operação ou a facilidade de remoção da torta, a perfeição da lavagem ou a economia de mão de obra. O tipo mais indicado para uma dada operação é aquele que, além de satisfazer aos requisitos de operação, também satisfaz quanto ao custo total de operação. GOMIDE, R. (1980).

A aplicação das técnicas de filtração varia de acordo com cada empresa. Existem vários métodos a serem utilizados. Entre os principais filtros estão os de placas horizontais, os de vela (cartucho) e o de membrana, este considerado o mais moderno. MEIO FILTRANTE (2011)

A classificação dos diversos modelos pode ser feita com base nos seguintes critérios GOMIDE, R. (1980):

- Força propulsora: gravidade, pressão (com ar ou bomba), vácuo, vácuo-pressão e força centrífuga.
- Material que constitui o meio filtrante: areia, tela metálica, tecido, meio poroso rígido, papel.

- Função: "strainers", clarificadores, filtros para torta e espessadores.
- Detalhes construtivos: filtros de areia, placas e quadros, lâminas e rotativos.
- Regime de operação: de batelada e contínuos.

2.4.1 Filtro Prensa de Placas e Quadros

O princípio de funcionamento de um filtro-prensa pode ser entendido facilmente com base nas operações dos funis de Gooch e de Buchner de laboratório. A diferença é que no filtro-prensa várias câmaras são justapostas e em geral a filtração não é realizada a vácuo, mas sob a ação de uma pressão exercida sobre a suspensão no interior das câmaras. A suspensão é bombeada diretamente para os compartimentos do filtro onde a torta é recolhida. Um filtro-prensa é fornecido sob a forma de uma série de placas que são apertadas firmemente umas contra as outras, com uma lona sobre cada lado de cada placa, conforme mostra a Figura 2.2 abaixo. Vem daí a denominação filtro-prensa de placas. Quando as placas são planas os compartimentos de alimentação da torta são formados por meio de quadros que separam as diversas placas. Este tipo é chamado filtro-prensa de placas e quadros. GOMIDE, R. (1980)

Neste tipo de filtro as placas são quadradas, com faces planas e bordas levemente ressaltadas. Entre duas placas sucessivas da prensa há um quadro que nada mais é do que um espaçador das placas. De cada lado de um quadro há uma lona que encosta na placa correspondente. Assim sendo, as câmaras onde será formada a torta ficam delimitadas pelas lonas. A superfície das placas apresenta a mesma textura já descrita. A estrutura de suporte do conjunto tem barras laterais que servem de suporte para as placas e os quadros. O aperto do conjunto é feito por meio de um parafuso ou sistema hidráulico. GOMIDE, R. (1980)



Figura 2.2 - Filtro prensa de placas e quadros. Fonte: <www.czechminibreweries.com/pt/production/brewery-components/preparing-beer-for-sale/beer-filtration/plate-filters/>

A Figura 2.3 mostra uma placa e um quadro vistos em perspectiva. A placa é identificada por um botão na face externa e, o quadro, por dois botões. Num dos cantos superiores de cada quadro há um furo circular que se comunica com a parte interna dos quadros. As placas também apresentam um furo na mesma posição. Quando a prensa é montada, estes furos formam um canal de escoamento da suspensão através do qual se alimenta a suspensão no interior de cada quadro.

O filtrado atravessa as lonas colocadas de cada lado dos quadros e passa para as placas, sobre cuja superfície escoar até chegar aos furos de saída no canto inferior oposto ao canal de entrada da suspensão nos quadros. As lonas têm furos na posição correspondente aos canais. A saída de filtrado pode ser feita através de uma torneira existente em cada placa, ou por um canal idêntico ao de alimentação da suspensão formado pela justaposição de furos circulares que se comunicam com a saída das placas. GOMIDE, R. (1980).

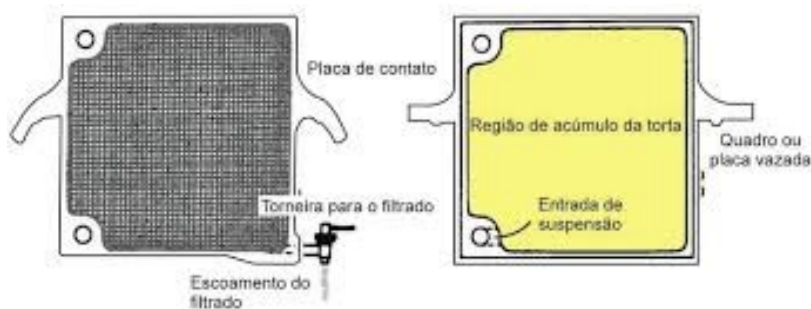


Figura 2.3 - Placas e quadros. Fonte:

<http://livresaber.sead.ufscar.br:8080/jspui/bitstream/123456789/2774/1/TS_Marlei_SeparacoesMecanicas.pdf>

A filtração através de um filtro de placas é a maneira mais barata e fácil de remover o fermento vivo na maioria das cervejas. É usado em uma produção de tamanho pequeno a médio, para o qual o custo é um parâmetro de decisão primário. Os filtros de placas são feitos de aço inoxidável ou plástico, portanto, resistem, até certo ponto, a substâncias agressivas. Durante a passagem da cerveja através da inserção, as impurezas contidas são capturadas, e diminui gradualmente a taxa de fluxo nas inserções até obter um filtrado limpo.

O filtro de placas é móvel e está equipado com medidores de pressão de controle, válvulas de saída de ar e torneiras de fluxo, em latão cromado ou aço inoxidável. O filtro permite uma filtragem contínua, ou seja, pode realizar filtragem dupla com grau de pureza diferente usando dois tipos de inserções em uma passagem pelo corpo do filtro. É uma maneira conveniente, especialmente em termos de menor carga de trabalho e facilidade de operação. CZECHMINIBREWRIES (2018).

a) Vantagens:

- Baixo custo;
- Facilidade de operação;
- Filtração primária e secundária;

b) Desvantagens:

- Maior custo de componentes (cartuchos de filtro), pois possuem determinada validade;
- Necessário remover o filtro para limpeza e substituição dos elementos filtrantes;
- O custo da mão de obra de operação, montagem e desmontagem é elevado;

2.4.2 Filtro de Velas

O filtro de vela é um tipo de filtro de pressão que é usado predominantemente para clarificação de cerveja que foi fermentada, embora com outras aplicações como filtração estéril ou filtração de mosto. O nome vem da forma do elemento filtrante, que é um cilindro longo e fino que lembra uma vela. O tipo mais antigo de filtro de velas foi desenvolvido por Wilhelm Berkefeld, da Alemanha, na década de 1890, para a purificação da água. Para a indústria cervejeira, filtros de vela foram desenvolvidos nas décadas de 1950 e 1960. Eles continuam populares hoje em dia. As velas são montadas dentro de um recipiente de pressão cilíndrico que recebe cerveja não filtrada.

A própria vela é o septo que contém o meio de filtração, que pode ser terra de diatomáceas, perlita, celulose ou outros materiais, durante a separação sólido-líquido. As velas em si não realizam nenhuma filtração, é o meio de filtração que reveste a vela que faz a filtração real. Mais comumente, as velas são fabricadas de metal, quase exclusivamente de aço inoxidável ou de cerâmica, embora outros materiais sejam possíveis. As primeiras velas eram compostas de arruelas empilhadas com pequenas covinhas para criar um espaço entre elas, permitindo a passagem de líquido, hoje as velas são feitas de cunha ou *v-wire*, conforme a Figura 2.4 abaixo, e têm uma precisão muito maior do que os tipos mais antigos. A cerveja não filtrada passa do lado de fora da vela, através do bolo do filtro para o centro da vela. KUNZE (1996).



Figura 2.4 - Vela de filtração. Fonte: <<http://eshop.czechminibreweries.com/pt/product/daf2/>>.

O filtro de velas é a solução mais comum para uma filtração em uma produção de escala média a grande, sendo caracterizado pela alta eficiência de filtração. O meio filtrante mais utilizado é terra de diatomácea, dependendo da composição da camada de filtro, podem ser alcançados diferentes graus de pureza e fluxo de filtrado. A dosagem de terra de diatomáceas em curso é dada através de uma bomba de dosagem, que mantém o filtro ainda suficientemente permeável. Isso permite atingir um alto desempenho de capacidade. A limpeza (regeneração) do filtro é muito fácil e rápida, não sendo necessária a desmontagem do equipamento. O desempenho do filtro depende principalmente dos parâmetros do produto filtrado, como, viscosidade, quantidade e natureza das substâncias contidas no produto filtrado, sobre o tipo de material de filtração, sobre a superfície de filtração total e sobre a queda de pressão. CZECHMINIBREWERIES (2018)



Figura 2.5 - Filtro de velas. Fonte: <www.abgbrew.com/abg_student/handouts/Beer_Filtration_2014.pdf>

a) Vantagens do filtro de velas com terra diatomácea:

- Filtração de alta eficiência;
- O pequeno custo do meio filtrante (terra diatomácea);
- Filtração primária e secundária;
- Desempenho de filtração de fluxo estável - não diminui devido ao entupimento da camada de filtro;
- Limpeza rápida e fácil do filtro (sem remover o dispositivo);
- A possibilidade de operação automática;

b) Desvantagens do filtro de velas com terra de diatomácea:

- O custo mais alto do equipamento;
- A necessidade de eliminação ecológica da terra de diatomáceas utilizada;

2.4.3 Filtros de Membrana

O uso de filtros de membrana, difundidos na microbiologia desde a Segunda Guerra Mundial, tem sido aplicados à fabricação de cerveja desde o início dos anos 1950. HAAS (1956). Os processos de separação por membranas (PSM) são empregados na indústria alimentícia como uma alternativa aos processos convencionais de filtração, clarificação, concentração e purificação. A microfiltração (MF) e a ultrafiltração (UF), podem, por exemplo, combinar a filtração, a clarificação e a higienização em uma única etapa.

Seu uso na indústria cervejeira apresenta outras vantagens como a eliminação do meio de filtração (terra de diatomáceas ou *Kieselguhr*), a redução de perdas durante a filtração convencional e a substituição da pasteurização. Estas vantagens resultam em uma melhor qualidade do produto final. NETA et. al. (2005).

A princípio, o emprego dos PSM foi visto como uma mistura de interesse e desconfiança, já que os princípios da ciência de separação por membrana eram totalmente exóticos a sua época, principalmente quando comparados aos processos convencionais existentes nas indústrias, CHERYAN (1995). Os sistemas de microfiltração são tidos como uma alternativa econômica, pois apresentam um menor custo operacional e de investimento, diminuição do tempo de processamento e são capazes de garantir a estabilidade físico-

química e microbiológica da cerveja. Isto é viável devido às propriedades seletivas das membranas, que são capazes de remover qualquer tipo de bactéria ou levedura prejudicial à qualidade do produto final. BLANPAIN (1993), CHERYAN (1995). Membranas de fibras ocas feitas de poli-éter-sulfona (PES) tem provado serem superiores a qualquer alternativa em filtração de cerveja. Elas têm grande afinidade com a cerveja, levando à maior vazão por metro quadrado de filtração. MEIO FILTRANTE (2015).



Figura 2.6 - Feixe de membranas microporosas de geometria cilíndrica do tipo fibra oca. Fonte: <http://bjft.ital.sp.gov.br/artigos/brazilianjournal/ed_especial/23.pdf>.

Outra vantagem é que neste processo não há mudanças de temperatura (processo de filtração a frio), não afetando as características organolépticas da cerveja, disponibilizando um produto de ótima qualidade. Nestes casos o enchimento asséptico torna-se obrigatório. Equipamentos de pasteurização ocupam muito espaço, além de requerer um enorme consumo de energia elétrica, vapor, água e de necessitar de paradas constantes para a manutenção. A substituição do sistema de pasteurização por um sistema de microfiltração pode acarretar em uma bebida de melhor qualidade, maior economia de energia e água, redução na quantidade de efluente gerado e de quebra de garrafas durante a pasteurização.

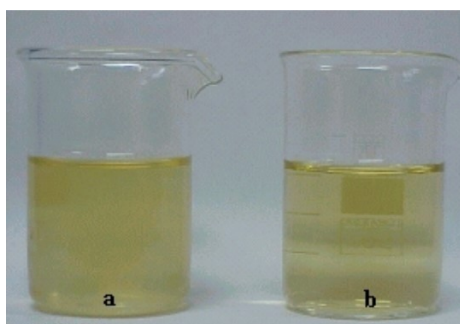


Figura 2.7 - Cerveja pilsen. (a) Cerveja maturada; (b) Cerveja clarificada por microfiltração. Fonte: <http://bjft.ital.sp.gov.br/artigos/brazilianjournal/ed_especial/23.pdf>.

Os principais inconvenientes técnicos que têm dificultado a aceitação do emprego da microfiltração estão relacionados à formação de incrustações na superfície da membrana, resultando em fluxos permeados menores, assim como a problemas relacionados com a retenção de proteínas e compostos ligados ao aroma, BLANPAIN (1993), BURRELL (1994),

GAN (1999), CZEKAJ (2000), TAYLOR (2001).

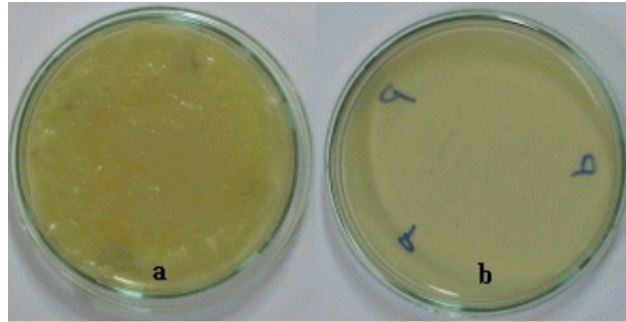


Figura 2.8 - Análise microbiológica. (a) cerveja maturada, (b) cerveja microfiltrada. Fonte <http://bjft.ital.sp.gov.br/artigos//brazilianjournal/ed_especial/23.pdf>.

Para um maior controle da formação de incrustações tem sido ressaltada a necessidade do desenvolvimento de membranas de microfiltração com elevada densidade de poros e estreita distribuição do tamanho de poros, morfologia anisotrópica, característica hidrofílica para redução da interação com a membrana com os solutos presentes na corrente de alimentação, além de novos módulos de permeação com promotores de turbulência, e novos procedimentos operacionais, ou seja, maior controle da diferença de pressão através da membrana durante o processo, VAN DER HORST (1990). Todos esses cuidados são fundamentais para a obtenção de excelentes padrões de filtrabilidade da cerveja, e que resulte em um filtrado microbiologicamente estável e ausência de perdas de compostos que dão qualidade ao produto final, BURRELL (1994), REED (1998).



Figura 2.9 - Sistema de membranas de fibra oca de PES desenvolvido pelas empresas Pall e Gea Westfalia. Fonte: <<http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?id=713&link=ultima&fase=C&retorno=b>>.



Figura 2.10 - Sistema de membranas de fibra oca de PES desenvolvido pela empresa Pentair.

Fonte: <<http://www.meiofiltrante.com.br/internas.asp?id=18394&link=noticias>>

2.5 Meios Filtrantes

Os meios filtrantes mais comuns são as terras infusórias, como, terra fuller, areia fina, diatomita (*kieselguhr*), polpa de celulose, perlita, carvão ativo, etc. A quantidade a empregar varia com uma série de fatores. Como regra recomenda-se 1 a 2 kg de meio filtrante por kg de contaminante, mas há uma quantidade ótima. Quantidades menores aumentam o ciclo, porque o meio filtrante entope, enquanto que maiores quantidades contribuem para aumentar a perda de carga através da torta sem remover o contaminante. GOMIDE, R. (1980).

a) Terra de Diatomáceas: A diatomita, ou *kieselguhr*, é uma rocha sedimentar, proveniente dos fósseis de algas microscópicas, que possui uma das maiores porosidades entre as substâncias filtrantes encontradas na natureza. A terra diatomácea para filtração chega a ter mais de 90% de porosidade, isso quer dizer que, quase o total de sua superfície funciona como um filtro natural. Seu uso é bastante comum em filtragens industriais, principalmente, no processo de filtração de bebidas, como cerveja, vinho e água potável, mas também para alguns tipos de óleos e solventes. A filtração feita por diatomita se destaca por ser bastante eficiente para fins de clarificação e de purificação de líquidos, já que separa resíduos sólidos e microorganismos do líquido de forma natural. FNM-FILTRANS (2018)

O processo, usado há décadas por cervejarias do mundo todo, apresenta alguns aspectos negativos com relação ao meio ambiente: como as partículas de terras diatomáceas são utilizadas em grandes quantidades, a demanda mundial e o consumo para a filtração da cerveja variam aproximadamente de 220.000 toneladas por ano. Como as partículas de terras

diatomáceas são comumente utilizadas como um material de único uso, tal material é classificado como um recurso limitado e, portanto, não representa uma solução de filtragem sustentável. MEIO FILTRANTE (2015).

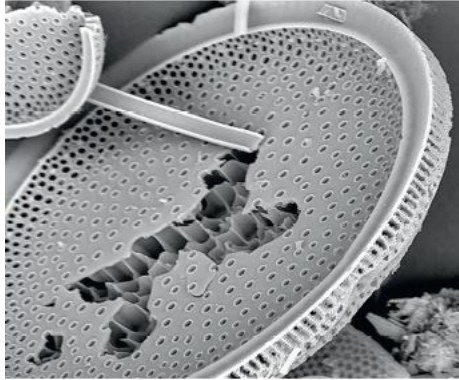


Figura 2.11 - Microestrutura da diatomita. Fonte: <http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?id=1046&link=ultima&fase=C&retorno=b>.

b) Perlita: A perlita é uma pedra vulcânica amorfa que quando submetida a temperaturas acima de 850 °C atinge uma expansão de até 20 vezes seu volume original, resultando em um produto de baixa densidade. Por sua composição, o mineral perlita é inerte, não perecível e não dá nenhum sabor, cor ou odor ao produto filtrado. Graças à geometria e rigidez de suas partículas, a perlita é um eficiente meio de filtração, com altos índices de espaços vazios (canais) que possibilitam a passagem rápida de líquidos com alto coeficiente de retenção de partículas suspensas no meio. Como resultado, obtém-se ciclos de filtração otimizados, com menor quantidade de material. Suas características físicas resultam ainda em um processo de alta resistência, o que evita o desprendimento e/ou a fissuração da massa filtrante. BIOTECNOLÓGIA EM ALIMENTOS

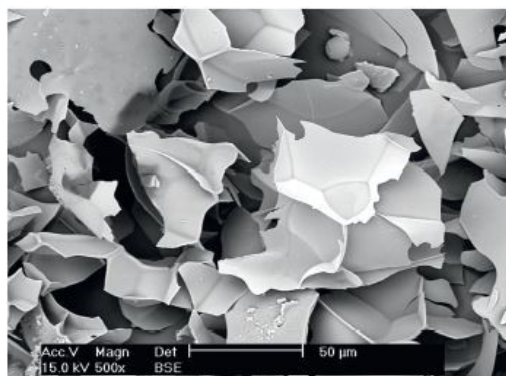


Figura 2.12 - Microestrutura da perlita expandida Fonte: <http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?id=1046&link=ultima&fase=C&retorno=b>.

c) Fibra de Celulose: É a substância orgânica mais abundante na natureza e é o principal componente das membranas celulares dos vegetais. O material celulósico obtido da celulose “in natura”, é submetido a processos de purificação, descoramento e branqueamento.

Em seguida é seco e fragmentado para a obtenção de vários comprimentos de fibra (classificação).

Aplicação na filtração:

- Pode-se utilizar com outros meios filtrantes na formação de camadas de sustentação;
- Utilizada na fabricação de placas filtrantes em combinação com algodão, terra diatomácea e materiais de adsorção;
- Coadjuvante de filtração junto com a terra de diatomácea. Comprimento e diâmetro das fibras: 100 – 250 μ e 18 μ , respectivamente.

Fibras de celulose são renováveis e ambientalmente corretas, elas são completamente biodegradáveis, neutras em sabor, fisiologicamente e higienicamente saudáveis e, portanto, ideal para aplicações em alimentos sensíveis.

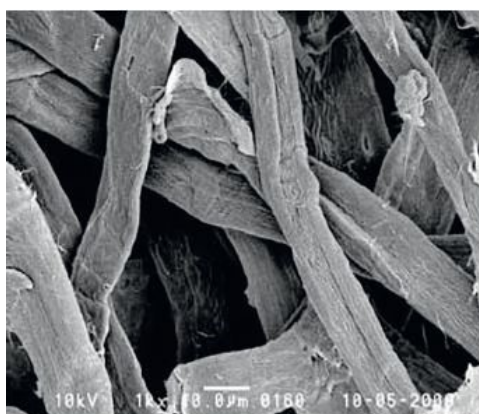


Figura 2.13 - Microestrutura da fibra de celulose.

Fonte: <<http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?id=1046&link=ultima&fase=C&retorno=b>>.

d) *Crosspure*[®]: Produzido pela BASF, o *Crosspure*[®] é um polímero sintético inovador, regenerável que consiste em 70% de poliestireno e 30% Polivinilpirrolidona (PVPP), que se combinam de estabilização e de filtração em uma única etapa. *Crosspure*[®] pode adsorver polifenóis e reter leveduras, proteínas, substituindo *kieselguhr* e PVPP como meio de filtração e estabilização. Uma análise de ecoeficiência validada por duas organizações de certificação da Alemanha resume os atributos de desempenho que tornam o *Crosspure*[®] superior ao *kieselguhr*, listando benefícios como praticamente 100% de prevenção de resíduos e reduções significativas no consumo de energia e emissões. Os custos de ciclo de vida são 20% mais baixos, e os riscos de saúde relacionados com a exposição durante a manipulação dos resíduos do *kieselguhr* são eliminados. O *Crosspure*[®] pode ser utilizado em linhas de filtragem existentes com apenas pequenas adaptações necessárias.

MEIO FILTRANTE (2015)

A utilização de hidróxido de sódio e enzimas permite a limpeza do polímero solubilizando o material sólido. Assim, o material limpo retorna para o tanque de dosagem e pode ser utilizado para o novo ciclo de filtragem. Entretanto, o produto não só reduz os custos de filtração da cerveja, mas também ajuda a diminuir as emissões de resíduos e água: Usando o *Crosspure*[®], é possível reduzir os resíduos sólidos em até 75% em relação à filtração com terras diatomáceas; as emissões de água podem ser reduzidas em 20%. O *Crosspure*[®] está sendo utilizado na Alemanha e na China há vários anos. Em 2012, o polímero veio para o Brasil e está atualmente sendo testado em uma cervejaria de médio porte. Os testes também estão sendo executados nos EUA, Canadá, Rússia, Colômbia e países da Ásia. MEIO FILTRANTE (2015).

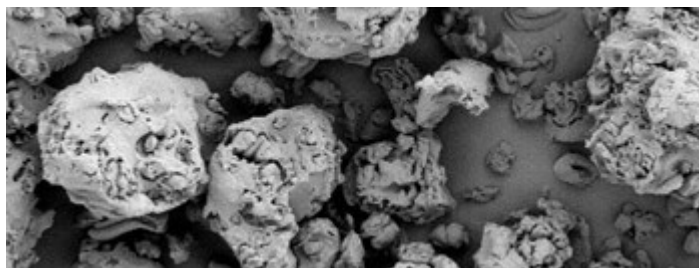


Figura 2.14 - Estrutura do *crosspure*[®]. Fonte:
<http://www.crosspure.basf.com/web/global/crosspure/en_GB/about_crosspure/index>

CAPITULO 3 – SELEÇÃO DE SEGMENTOS E PROJETO DE SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

3.1 Seleção dos Segmentos

Os segmentos escolhidos para análise e projeto de sistemas de filtração foram o de microcervejarias artesanais e de cervejarias de grande porte. A escolha do primeiro segmento se deve ao seu franco crescimento nos últimos anos, o Brasil já conta com mais de 800 microcervejarias em operação e em constante aperfeiçoamento, portanto, a qualidade exigida pelos consumidores também aumenta constantemente. Um sistema de filtração adequado garante uma vida qualidade maior a bebida, fazendo com que ela mantenha suas características mais acentuadas por mais tempo.

A escolha pelo segmento das grandes cervejarias se deve pelo fato do Brasil ser o quarto maior produtor de cerveja do mundo, possuindo varias unidades dos principais grupos produtores de cerveja mundialmente conhecidos, como AB Inbev (Ambev) e Heineken, Grupo Petrópolis, etc. A tendência é que o numero de grandes cervejarias no Brasil aumente, e para isso é necessário se manter por dentro das principais tecnologias para o segmento, incluindo as novas tecnologias de filtração.

3.2 Projeto De Um Sistema De Filtração Em Uma Microcervejaria Artesanal

3.2.1 Memorial Descritivo

a) Introdução

Este memorial se aplica ao sistema de filtração de cerveja em uma microcervejaria artesanal para atender uma capacidade de produção de 145,000 litros por mês.

b) Histórico

O numero de cervejarias artesanais cresce consideravelmente a cada ano, bem como as exigências dos consumidores por um produto com uma qualidade cada vez maior. Voltadas para um público mais sofisticado, as cervejas artesanais trabalham com produtos diferenciados, além de um enfoque maior no processo de produção. Enquanto uma grande indústria jamais faria uma cerveja para atender a um público limitado, é justamente neste nicho que as microcervejarias artesanais buscam atuar. O uso de equipamentos modernos sem perder a essência de uma produção artesanal é o grande desafio que as microcervejarias enfrentam.

3.2.2 Memorial Justificativo

Como citado anteriormente, o limite máximo de produção em uma cervejaria artesanal é de 2500 litros por mês. Tal limite máximo de produção estabelecido é algo passível de maiores discussões uma vez que parte das cervejarias artesanais fabrica uma quantidade mensal maior que a estipulada e em algumas delas a produção de até mesmo somente um mês pode vir a ultrapassar o limite anual.

O sistema proposto para a filtração da cerveja é composto pela tina de filtração, responsável pela filtração do mosto antes da fermentação, a tina de filtração é composta por um fundo falso, onde o bagaço fica retido, formando um meio filtrante para o mosto. O líquido que fica retido entre o fundo falso e o fundo da tina, chamado de primeiro mosto, é bombeado novamente para a tina de filtração para ser refiltrado, pois ainda possui partículas sólidas. Essa recirculação do mosto é feita até que o mosto fique menos turbido e sem impurezas perceptíveis, para depois ser transferido para a caldeira de fervura. A torta resultante ainda é lavada com água quente, em torno de 78°C, para serem extraídos mais facilmente os açúcares ainda presentes entre as cascas e para a inativação de enzimas, obtendo-se, assim, o segundo mosto. (KUNZE e WAINWRIGHT, 1996).



Figura 3.1 - Tina de filtração Fonte: <www.sbtt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc>.

A segunda parte da filtração, após a maturação da cerveja, é feita em filtros de velas utilizando terra de diatomáceas (*kieselguhr*) como meio filtrante, semelhante ao da Figura 3.2 abaixo.

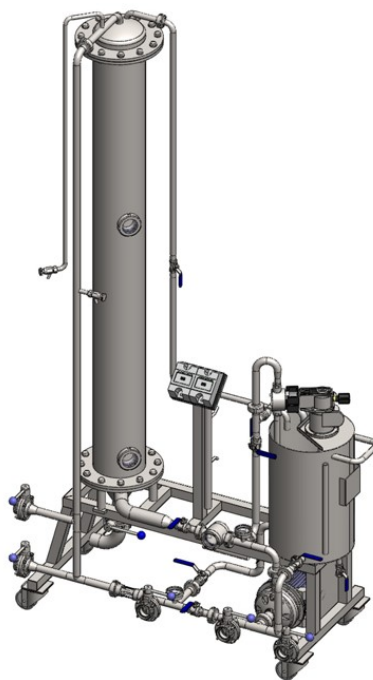


Figura 3.2 – Sistema de filtro de velas. Fonte: <<http://eshop.czechminibreweries.com/product/daf1/>>

3.2.3 Memorial de Calculo do Sistema de Filtragem

a) Considerações de Projeto

- | | |
|------------------------------|---------------|
| • Cerveja a ser filtrada: | 145,000 L/mês |
| • Dias de trabalho por mês: | 23 dias |
| • Horas trabalhadas por dia: | 16 horas |

b) Vazões de Projeto

$$Q_{hora} = 145,000 \frac{\text{Litros}}{\text{mês}} \times \frac{1 \text{ mês}}{23 \text{ dias}} \times \frac{1 \text{ dia}}{16 \text{ horas}}$$

$$Q_{hora} = 394,02 \frac{\text{Litros}}{\text{hora}}$$

Portanto, deve ser escolhido um filtro que tenha uma capacidade superior a 394,02 litros/hora, por fatores de segurança e já prevendo uma possível expansão na produtividade, será escolhido um filtro com uma capacidade consideravelmente superior.

c) Escolha do Filtro

O catalogo da fabricante DAF conta com vários modelos de filtros de vela, conforme a Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Catalogo de modelos de filtros.

Modelo	Capacidade (L/h)
DAF1	800
DAF2	1600
DAF3	2200
DAF5	4000
DAF8	6400

Fonte: <www.czechminibreweries.com/production/brewery-components/preparing-beer-for-sale/beer-filtration/candle-diatomaceous-earth-beer-filters/>

Foi escolhido o filtro DAF1, por ter uma capacidade que atende a demanda da cervejaria e ainda suporta futuros aumentos de produção. Cada modelo tem seus parâmetros específicos de operação, porém o parâmetro usado para a escolha do filtro foi a capacidade de filtração, não se optou por escolher modelos com uma capacidade maior por questões de custo e de espaço disponível para instalação. O modelo é mostrado em detalhes na Figura 3.3 abaixo. O catalogo do fabricante mostra que o custo de aquisição de um filtro de velas com capacidade para 800 L/h esta na faixa de US\$ 11000 a 13000.

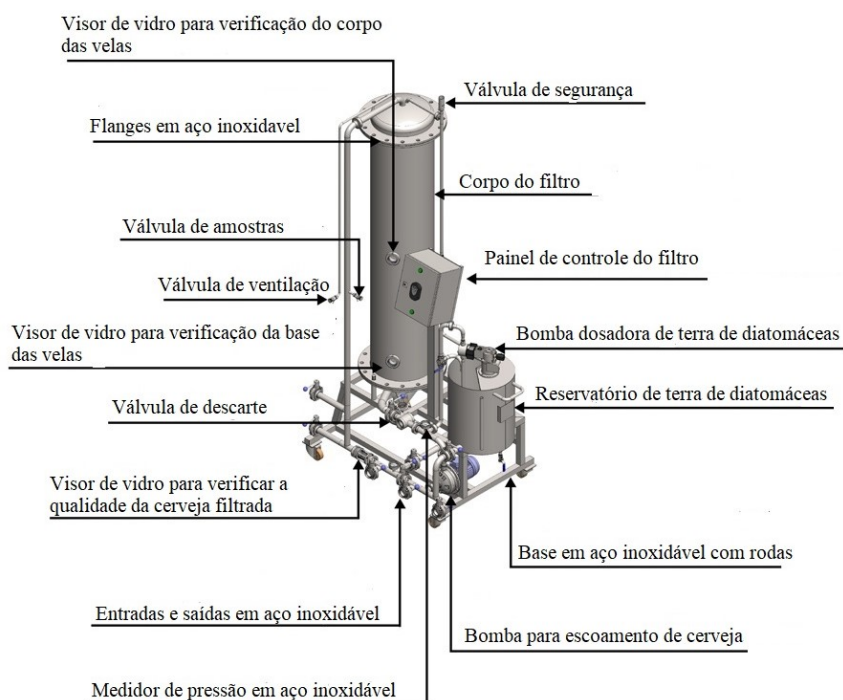


Figura 3.3- Detalhamento do filtro escolhido. Fonte: <<http://eshop.czechminibreweries.com/product/daf1/>> Adaptado.

d) Parâmetros de operação do filtro

- Área de filtração da vela: 1,0 m²
- Área de filtração com terra de diatomácea: 1,2 m²
- Capacidade do corpo do filtro: 42 L
- Volume do tanque de terra de diatomácea: 20,5 L
- Pressão máxima de operação: 6 bar
- Temperatura máxima de operação: 80 °C
- Temperatura mínima de funcionamento: 0 °C
- Quantidade de lote de terra diatomácea: 6,3 kg
- Máxima capacidade para um ciclo de filtragem:
 - Dosagem de terra diatomácea 100 g: 550 L
 - Dosagem de terra diatomácea 150 g: 360 L
- Altura: 1650 mm
- Comprimento: 800 mm
- Largura: 800 mm
- Peso: 240 kg
- Material de construção: AISI304

e) Escolha da Bomba de Circulação

O fabricante do filtro recomenda o uso de uma bomba centrífuga EBARA CD 120/20 em aço inoxidável AISI304 com potência de 2 HP, semelhante a da Figura 3.4 abaixo.



Figura 3.4 – Bomba centrífuga EBARA CD 120/20. Fonte: <<https://www.completepumpsupplies.co.uk/ebara-cde-12020-end-suction-pump>>.

f) Limpeza do Filtro

O enxague das velas é realizado facilmente através do refluxo da água através do filtro, sem a necessidade de desmontar o sistema. O bolo de filtração é expelido do alojamento do filtro e, em seguida, é empurrado para fora da vela por ar comprimido, tudo feito pela abertura e fechamento das válvulas.

3.3 Projeto De Um Sistema De Filtração Em Uma Grande Cervejaria

3.3.1 Memorial Descritivo

a) Introdução

Este memorial se aplica ao sistema de filtração de cerveja em uma grande cervejaria para atender uma capacidade de produção de 57,8 milhões de litros por mês.

b) Histórico

Diferentemente das cervejas artesanais, as cervejas comerciais são produzidas com ingredientes menos refinados, como exemplo, o malte, que muitas vezes é substituído por outro cereal como trigo, milho ou arroz, em contraste com as artesanais que são 100% malte,

ou puro malte, como são conhecidas no mercado. As cervejas comerciais são também chamadas de cervejas de volume, pois são produzidas em grande escala visando atender nichos de mercado mais abrangentes, como a classe C e D.

3.3.2 Memorial Justificativo

As grandes cervejarias produzem cerveja 24 horas por dia, através de grandes equipamentos com grandes capacidades para atender as demandas do mercado, em se tratando da filtração, as técnicas variam de acordo com cada empresa. Existem vários métodos a serem utilizados. Entre os principais filtros estão os de placas horizontais, os de cartucho e o de membrana, este ultimo, considerado o mais moderno.

Como citado em tópicos anteriores, as grandes cervejarias são aquelas que produzem mais 57 milhões de litros de cerveja por mês. No processo de produção, a etapa de filtração esta presente em duas partes, a filtração do mosto, onde são usadas tinas de filtração, com volume suficiente para acomodar a produção da fabrica e na filtragem da cerveja já maturada são os filtros de membrana.

Dentre os principais fornecedores de sistemas de membrana, pode-se destacar a alemã **GEA Westfalia Separator** e a americana **Pall Food and Beverages**, dois grupos pioneiros e referência no segmento de bebidas e alimentos. Uma parceria feita entre os dois grupos resultou no desenvolvimento de um sistema de filtração com membranas de fibra oca de poli-ester-sulfona (PES), livre do uso de terra de diatomáceas.

O processo ocorre de acordo com a Figura 3.5 abaixo, a cerveja maturada é pré-clarificada com uma centrífuga de alta eficiência, o que garante um tratamento suave de coloides e uma captação mínima de oxigênio. A levedura é separada da cerveja e descarregada com uma alta porcentagem de sólidos secos. O uso de centrifugas também elimina a necessidade do uso de um tanque de armazenamento de levedura retida.

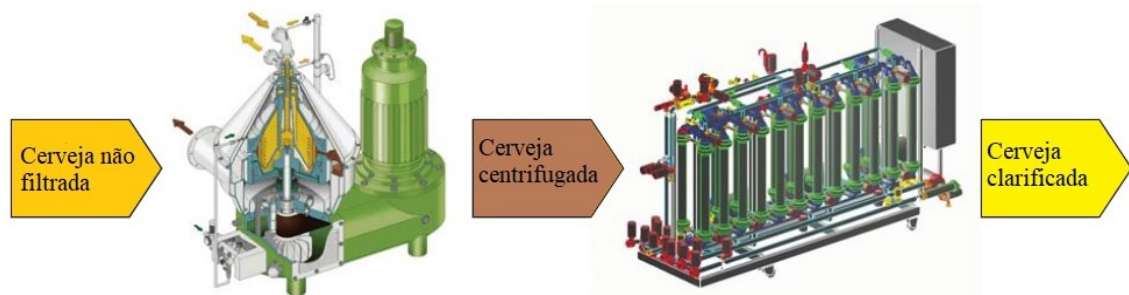


Figura 3.5 - Fluxograma de funcionamento do sistema. Fonte: <www.shop.pall.com/us/en/food-beverage/beer-corporate-/clarification/profi-membrane-system-for-de-free-clarification-of-beer-zidgri78lkm> Adaptado

A filtração fina da cerveja na unidade de membrana é contínua, devido a blocos de membrana que alternam na filtração e limpeza. Esse design garante a disponibilidade constante do filtro e menor dimensionamento do sistema, reduzindo os custos de capital e operacional. Cada bloco de membranas é composto de 20 a 28 módulos variando de acordo com a quantidade e cerveja a ser filtrada. As membranas são de fibra oca de poli-éster-sulfona (PES).

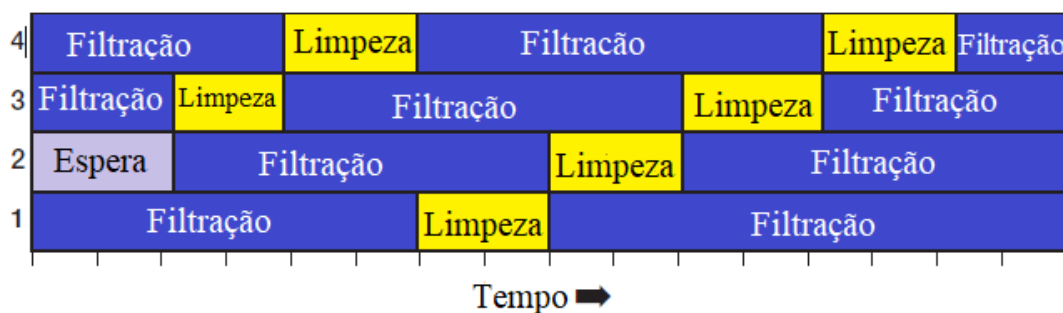


Figura 3.6 - Sistema em operação contínua. Fonte:< <https://shop.pall.com/us/en/food-beverage/beer-corporate-/clarification/profi-membrane-system-for-de-free-clarification-of-beer-zidgri78lkm>> Adaptado

3.3.3 Memorial de Calculo do Sistema de Filtragem

a) Considerações de Projeto

- Cerveja a ser filtrada: 57,8 milhões L/mês
- Dias de trabalho por mês: 30 dias
- Horas trabalhadas por dia: 24 horas

b) Vazões de Projeto

$$Q_{hora} = 57,8 \times 10^6 \frac{\text{Litros}}{\text{mês}} \times \frac{1 \text{ mês}}{30 \text{ dias}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ horas}}$$

$$Q_{hora} = 80277,78 \frac{\text{Litros}}{\text{hora}}$$

Portanto, é necessário escolher um sistema de membranas que seja capaz de filtrar mais de 80 mil litros de cerveja por hora, por fatores de segurança e prevendo um possível aumento de produção, será escolhido um sistema com uma flexibilidade maior.

c) Escolha do Sistema de Membranas

A literatura carece de detalhamento técnico sobre diversos sistemas de filtração com membranas, deste modo, considerou-se para análise o sistema de membranas de fibra oca de poli-éster-sulfona (PES), da *Pall Food and Beverages*, dotado de uma centrífuga da *GEA Westfalia Separator*, o sistema é semelhante ao mostrado na Figura 3.7 abaixo.



Figura 3.7 – Sistema de membranas de fibra oca de PES instalado. Fonte: <www.shop.pall.com/us/en/food-beverage/beer-corporate-/clarification/profi-membrane-system-for-de-free-clarification-of-beer-zidgri78lkm>.

d) Parâmetros de Operação do Sistema

- Área de filtração por módulo: 12 m²
- Capacidade para sistema de 1 bloco com 20 módulos: 120 hL/h

- Capacidade para sistema de 1 bloco com 28 módulos: 160 hL/h
- Taxa de filtração: 1,0 hL/h.m²
- Pressão de operação: até 6 bar

e) Dimensionamento do Sistema

- Considerando um sistema com 20 módulos

$$N_{blocos} = 80277,78 \frac{Litros}{hora} \times \frac{1 hora}{120 hLitro} \times \frac{1 hLitro}{100 Litros}$$

$$N_{blocos} \cong 7 blocos$$

Portanto, são necessários 7 blocos com 20 módulos para atender a capacidade de produção da cervejaria em questao.

- Considerando um sistema com 28 módulos

$$N_{blocos} = 80277,78 \frac{Litros}{hora} \times \frac{1 hora}{160 hLitro} \times \frac{1 hLitro}{100 Litros}$$

$$N_{blocos} \cong 6 blocos$$

Portanto, são necessários 6 blocos com 28 módulos para atender a capacidade de produção da cervejaria em questao. Ambas as opções são válidas, porém a escolha por usar 28 módulos terá um custo maior do que a opção com 20 módulos, visto que são necessários 8 módulos a mais.

Catálogos de diversos fabricantes mostram que o custo médio de cada módulo esta na faixa de US\$ 1000 a 1300, para um módulo com taxa de filtração próxima a 1,0 hL/h.m². Portanto o custo de um sistema de 6 blocos com 28 módulos é na faixa de US\$ 168.000 a 218.400, aproximadamente. Já o custo de um sistema de 7 blocos com 20 módulos é na faixa de US\$ 140.000 a 182.000. Em termos de *layout* e distribuição dos equipamentos dentro da cervejaria, uma opção com numero par de módulos pode ser mais viável em termos de otimização do espaço. A Figura 3.8 abaixo mostra um esquema de layout para um processo de filtração com membranas.

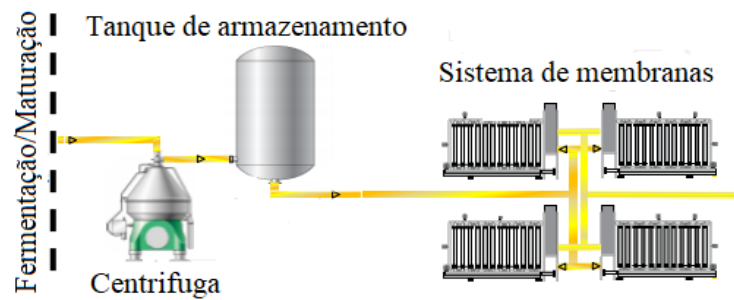


Figura 3.8 - Fluxograma de uma unidade de filtração com membranas. Fonte: <suomenpanimomestariyhdistys.org/seminar2016/13%20Continuous%20processing%20PALL.pdf> Adaptado

f) Escolha da Bomba de Circulação

Para bombear a cerveja para dentro dos módulos é necessário o uso de uma bomba apropriada para um sistema de membranas, utilizam-se bombas do tipo centrífuga feitas em aço inoxidável com capacidade para bombear 170 hL/h de cerveja, semelhante a da Figura 3.9 abaixo. Também pode ser usada outra bomba centrífuga de outros fornecedores que possuam as mesmas especificações, como a CRN 15-12 da Grundfos, empresa dinamarquesa referencia em sistemas bombeamento.



Figura 3.9 - Bomba para o sistema de membrana Fonte: <<https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?custid=GMA&productnumber=96501968&qcid=421666139>>.

g) Parâmetros da Bomba

- Capacidade de bombeamento: 170 hL/h
- Pressão máxima de operação: 25 bar
- Faixa de temperaturas de operação: -20 °C a 120 °C

h) Limpeza do Sistema

A limpeza do sistema é feita após cada ciclo de filtração, conforme a Figura 3.6, e possui um tempo bem definido. A limpeza é feita sem a utilização de cloro, apenas se utilizando de produtos químicos simples como NaOH e tem um baixo consumo de água.

CAPITULO 4 - CONCLUSÃO

A filtração é uma das etapas mais importantes no processo de produção da cerveja, ela garante a resistência da bebida às condições ambientes, garante a estabilidade microbiológica e físico-química, garante a manutenção das propriedades de cor, sabor, aroma e espuma.

Existem basicamente três tipos de equipamentos de filtração, que podem ser usados nas cervejarias: os filtros de placas e quadros, os filtros de velas e os filtros de membrana. Cada um possui suas vantagens e desvantagens e existem situações em que podem ser usados em conjunto sendo que a escolha por algum deles depende do tamanho da cervejaria, do que se espera da filtração e principalmente do custo de capital e do custo operacional envolvido em cada equipamento.

O trabalho fez uma análise de dois segmentos da indústria cervejeira, o das microcervejarias, que são aquelas que produzem ao menos 1450 hL/mês de cerveja, e o das grandes cervejarias, responsáveis por uma produção de mais de 570.000 hL/mês. Ao se fazer um estudo em cada um desses segmentos foi possível determinar o tipo de filtro que melhor se adequa às condições de cada segmento, o filtro de velas mostrou-se capaz de atender a demanda de uma microcervejaria e tornar o processo mais eficiente a um custo que está dentro dos padrões de uma microcervejaria.

Já para as grandes cervejarias o sistema de filtração por membranas foi o escolhido, devido a sua maior eficiência e sustentabilidade, a principal vantagem das membranas é a eliminação do uso de terra de diatomáceas, gerando uma economia de recursos relacionados ao descarte e tratamento da terra residual, além dos perigos causados pelo manuseio da mesma.

Por fim, vale ressaltar que novas tecnologias em filtração estão sendo estudadas desenvolvidas constantemente, para atender a todos os segmentos da indústria cervejeira, de modo a tornar o processo mais eficiente e sustentável. A tendência é que os desenvolvedores apostem nos sistemas de membranas de micro e ultrafiltração, por já terem sua eficiência e sustentabilidade comprovadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<<http://www.czechminibreweries.com/pt/production/brewery-components/preparing-beer-for-sale/beer-filtration/plate-filters/>>.

<<http://www.probrewer.com/library/filtration/history-of-beer-filtration/>>.

<<http://www.sindicerv.com.br/index.php#>>.

<<http://www.techfilter.com.br/industria-de-bebidas>>.

<<https://www.probrewer.com/library/filtration/history-of-beer-filtration/>>

<<http://www.clarilub.com.br/noticia/auxiliares-de-filtracao.html>>

<<https://www.acidadeon.com/lazerecultura/NOT,2,2,1159936,Colorado+amplia+em+cinco+vazes+a+producao+de+cerveja.aspx>>

<<https://www.istoedinheiro.com.br/noticias/estilo/20070321/arte-beber-cerveja/13093>>

<<http://mundodasmarcas.blogspot.com/2008/05/cerveja-devassa.html>>

<<http://www.supervarejo.com.br/germania-inicia-projeto-de-expansao/>>

ABRACERVA. Noticias. Disponível em:

<<http://abracerva.com.br/2018/10/04/numero-de-cervejarias-artesanais-no-brasil-ja-cresceu-23-em-2018/>>.

BARTH-HAAS GROUP. News & Reports. The Barth Report Hops. Base de dados.

Disponível em:

<<https://www.barthhaasgroup.com/images/mediacenter/downloads/pdfs/412/barth-bericht20172018en.pdf>>.

BLANPAIN, P., HERMIA, J., LALANDE, M. Mechanisms governing permeate flux and protein rejection in the microfiltration of beer with a cyclopore membrane. J. Membrane Sci, n. 84, p. 37-51, 1993.

BREWERS ASSOCIATION. Market Segments. Disponível em:

<<http://www.brewersassociation.org/pages/business-tools/craft-brewing-statistics/market-segments>>.

BURRELL, K.J. REED, R.J.R. Crossflow microfiltration of beer: Laboratory-Scale studies on the effect of pore size. Filtration & Separation. p. 399-405, 1994.

CHERYAN, M., ALVAREZ, J.R. Food and beverage industry application. In: NOBLE, R.D., STERN, S. A. (Ed). Membrane Separations Technology. Principles and Applications. Elsevier Science. 1995.

CEREVISA. Noticias de Microcervejaria. Disponível em:

<<https://www.cervesia.com.br/noticias/not%C3%ADcias-de-microcervejaria/2428-as-10->

principais-cervejarias-especiais-do-brasil.html>

CZEKAJ, P., LÓPEZ, F., GÜELL, C. Membrane fouling during microfiltration of fermented beverages. J. Membrane Sci, n. 166, p. 199-212, 2000.

CONCERVEJA. Recirculação do mosto. Disponível em:

<<https://concerveja.com.br/recirculacao/>>.

Dossiê Técnico. Produção de Cerveja. Disponível em:

<<http://www.sbtrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc>>.

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. J. Membrane Sci, n. 155, p. 277-289, 1999.

GOMIDE, R. Operações Unitárias. vol. 3. São Paulo, Ed do Autor, 1980.

HAAS, G. J. Wallerstein Lab. Commun. 19(64):7, 1956.

KUNZE, W. Beer filtration: In *Technology brewing and malting*, 7th ed., 401–416. Trans. by T. Wainwright. Berlin: VLB Berlin, 1996.

KUNZE, Wolfgang; WAINWRIGHT, Trevor. Technology brewing and malting. 1996.

NETA, L, S, F; HABERT, A, C; BORGES, C, P, Cerveja Microfiltrada: Processo e Qualidade. Braz. J. Food Technol., 5º SIPAL, março, 2005

REED, R. Current and future roles of membrane in brewing. Membrane Technology. v. 1998, n. 101, p. 5-8, 1998.

REINOLD, M.R. A Filtração da Cerveja. Cervesia Tecnologia Cervejeira.

<www.cervesia.com.br>.

REVISTA MEIO FILTRANTE. Santo André, L3ppm, 2001, edição Nº 51.

REVISTA MEIO FILTRANTE. Santo André, L3ppm, 2008, Edição nº 35.

REVISTA MEIO FILTRANTE. Santo André, L3ppm, 2011, edição Nº 51.

REVISTA MEIO FILTRANTE. Santo André, L3ppm, 2015.

<<http://www.fnm-filtrans.com.br/diatomita-filtracao>>.

REVISTA MEIO FILTRANTE. Santo André, L3ppm, 2015, Edição nº 73

<<https://www.biotecsul.com.br/produtos/agentes-filtrantes>>.

STEIN, Marcelo. Importador brasileiro aposta na segmentação das cervejas. Terra. Entrevista concedida a Carlos Alberto Barbosa. Disponível em:

<<http://vidaestilo.terra.com.br/homem/interna/0,,OI4097750-EI14236,00-Importador+brasileiro+aposta+na+segmentacao+das+cervejas.html>>.

TAYLOR, M., FARADAY, D.B.F., O'SHAUGHNESSY, C.L., UNDERWOOD, B.O., REED, R.J.R. Quantitative determination of fouling layer composition in the microfiltration beer. Separation and Purification technology. n. 22-23, p. 133-142, 2001.

VAN DER HORST, H.C., HANEMAAIJER, J.H. Cross-flow microfiltration in the food industry. State of the art. Dessalination. n. 77, p. 235-258, 1990.