

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

RENATO ABRAHAN SADDAN GUARDIA ORTIZ

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA MEMBRANA DE VIDRO
RECICLADO PELO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO
PRODUZIDA NO CÂMPUS PONTA GROSSA DA UTFPR, EM
DIFERENTES SISTEMAS QUÍMICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

RENATO ABRAHAN SADDAN GUARDIA ORTIZ

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA MEMBRANA DE VIDRO
RECICLADO PELO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO
PRODUZIDA NO CÂMPUS PONTA GROSSA DA UTFPR, EM
DIFERENTES SISTEMAS QUÍMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Professor Doutor Matheus Pereira Postigo

Co-orientadora: Professora Ma. Heliety Rodrigues Borges
Barreto

PONTA GROSSA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA MEMBRANA DE VIDRO RECICLADO PELO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO PRODUZIDA NO CÂMPUS PONTA GROSSA DA UTFPR, EM DIFERENTES SISTEMAS QUÍMICOS

por
Renato Abrahan Saddam Guardia Ortiz

Monografia apresentada no dia 21 de março de 2017 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Cesar Arthur Martins Chornobai
(UTFPR)

Profa. Dra. Maria Regina Parise
(UTFPR)

Profa. Dra. Matheus Pereira Postigo
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

* A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso *

RESUMO

Ortiz, Renato A.S.G.; **Análise de eficiência da membrana de vidro reciclado pelo processo de sinterização produzida no Câmpus Ponta Grossa da UTFPR, em diferentes sistemas químicos.**2018. 50 fls. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

O seguinte trabalho busca demonstrar em que tipos de sistemas químicos a membrana de vidro reciclado, produzida no Câmpus Ponta Grossa da UTFPR, pode ser aplicada, motivado por uma busca de opções de reciclagem do vidro, onde a mesma tenha utilidade em laboratório. Para isso, foi desenvolvido um aparato de filtração adequado para o encaixe da membrana, bem como realizadas algumas alterações do método produtivo anterior, a fim de observar se há uma melhora na seletividade da mesma.

Após a reprodução dos procedimentos, foi necessário o desenvolvimento de um aparato para suportar a membrana, que tem 1,8 cm de diâmetro e 0,2 cm de espessura, utilizando materiais de fácil obtenção e baixo custo, sendo facilmente reproduzível em qualquer local. Adaptado o processo, realizaram-se testes com a finalidade de caracterização das membranas, envolvendo a densidade, a capacidade de absorção de água e também testes de capacidade de vazão, para cada tipo de membrana onde foram variados o tamanho da fase não sinterizável para a seleção do tamanho dos poros formados. Terminados os testes foi possível a realização de uma filtração utilizando um sistema particulado com café em pó, demonstrando que é possível realizar o processo de separação de misturas com eficiência.

Palavras-chave: Membrana. Aparato de filtração. Caracterização.

ABSTRACT

Ortiz, Renato A.S.G.; **Efficiency Analysis of the recycled glass membrane by the sintering process produced in Ponta Grossa Campus of UTFPR, in different chemical systems.** 2018. 50 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

The following work aims for demonstrating in which chemical systems the recycled glass membrane, made at Ponta Grossa campus of UTFPR, can be applied, motivated by a search of options of recycling of the glass, where it is useful in the laboratory. For that, a suitable filtration device that fits the membrane was developed as well as some modifications in a previous method were carried out, in order to observe possible improvements in its selectivity.

After reproducing the procedures, it was necessary to develop a device capable of holding the membrane, which has 1.8 cm of diameter and 0.2 cm of thickness, by using easy-to-get, low cost materials, being easily reproducible at any place. After process adaptation, tests were performed to characterize the membranes, including their density, water absorption capability also flow rate tests for each membrane type, where the non sinterable phase size was varied for selecting the size of formed pores. Once finished the tests, it was possible to perform a filtration using a coffee powder particulated system, showing it is possible to do a mixture separation process with efficiency.

Keywords: Membrane. Filtration device. Characterization

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diferentes tipos de membranas sintéticas quanto a sua morfologia em uma representação esquemática	13
Figura 2 – Esquema de uma separação por membrana do tipo com fluxo tangencial..	15
Figura 3 – Etapas de produção da membrana pela técnica de preenchimento	22
Figura 4 – Esquema do sistema para adaptação da membrana	25
Figura 5 – Sistema utilizado para filtração simples	26
Figura 6 – Bomba de vácuo EXIPUMP 805246	27
Figura 7 – Sistema de filtração acoplado ao kitassato	27
Figura 8 – Membrana produzida com sal Mesh 150 após lixamento	33
Figura 9 – Membrana produzida com sal Mesh 250 após lixamento	34
Figura 10 – Sistema completo com Tubo Falcon	37
Figura 11 – Tampa do Tubo Falcon com imã de neodímio	38
Figura 12 – Representação esquemática da tampa do Tubo Falcon	38
Figura 13 – Anéis de vedação compactados	39
Figura 14 – Sistema completamente separado, disposto em ordem	39
Figura 15 – Sistema com pó de café e água	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre os tipos de filtração	16
Tabela 2 – Distribuição do tamanho das partículas do pó de vidro	28
Tabela 3 – Dados das amostras, sinterizadas para o caso I	29
Tabela 4 – Dados comparativos antes e depois do processo de fervura para o caso I	29
Tabela 5 – Dados de massa para cálculo da porosidade aparente e absorção de água	30
Tabela 6 – Dados das amostras antes da sinterização, para o caso II, com sal selecionado em peneira de 150 Mesh	31
Tabela 7 – Dados das amostras antes da sinterização para o caso II com sal Mesh 150	32
Tabela 8 – Dados das amostras sinterizadas para o caso II de Mesh 150 de NaCl	32
Tabela 9 – Dados das amostras sinterizadas para o caso II de Mesh 250 de NaCl	33
Tabela 10 – Dados comparativo, antes e depois do processo de fervura para o caso II, com partículas selecionadas em peneiras de 150 Mesh	35
Tabela 11 – Dados comparativo, antes e depois do processo de fervura para o caso II, com partículas selecionadas em peneiras de 250 Mesh	35
Tabela 12 – Porosidade aparente e absorção de água para o caso II, membranas de vidro produzidas com a seleção de partículas em peneiras 150 Mesh	36
Tabela 13 – Porosidade aparente e absorção de água para caso II, membranas de vidro produzidas com a seleção das partículas em peneiras de 250 Mesh	36
Tabela 14 – Tempo de vazão de água das membranas de vidro	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro comparativo dos processos de caracterização de membranas 20

LISTA DE ABREVIATURAS

μm	micrômetros
mm	milímetros
g	gramas
MPa	megapascal
min	minuto
rpm	rotações por minuto
Å	Angstron
N	Newton

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

MEV	Microscopia eletrônica de varredura
°C	Graus Celsius
Au	Ouro
Pt	Platina
NaCl	Cloreto de Sódio
SiO ₂	Sílica / Dióxido de Silício
Na ₂ O	Óxido de Sódio
CaO	Óxido de Cálcio
MgO	Óxido de Magnésio
P	Fósforo
Al	Alumínio
%	por cento
<i>Pa</i>	Porosidade aparente (%)
<i>Pu</i>	Peso de amostra úmida (N)
<i>Ps</i>	Peso amostra seca (N)
<i>Pi</i>	Peso da amostra quando imersa em água (N)
<i>tr</i>	Taxa média de massa removida depois da fervura (g)
<i>t</i>	Taxa de massa de sal relativo à massa de pó de vidro (g)
<i>g</i>	Gravidade (m/s ²)
<i>mu</i>	Massa úmida (g)
<i>ms</i>	Massa seca (g)
<i>mi</i>	Massa imersa (g)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 Objetivo Geral	8
1.1.2 Objetivos específicos	9
1.2 JUSTIFICATIVA	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 MEMBRANA	9
2.2 MECANISMOS DE FILTRAÇÃO E FORÇAS MOTRIZES APLICADAS	11
2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E ESTRUTURAIS DA MEMBRANA	12
2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS	15
2.5 MICROFILTRAÇÃO	16
2.6 CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS	18
2.6.1 Caracterização de membranas porosas.....	18
2.6.2 Porosimetria	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	21
3.2 MÉTODOS	22
3.2.1 Confeção da membrana de vidro	22
3.2.2 Aplicação da membrana de vidro	24
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1PROCESSAMENTO PÓ DE VIDRO	28
4.2 DEFINIÇÕES DA MEMBRANA PARA O CASO I	29
4.3 PRODUÇÃO DA MEMBRANA PARA O CASO II	30
4.3.1 Preparação do Pó de vidro para Prensagem	30
4.3.2 Compactação da mistura de pó de vidro e NaCl para o Caso II.....	31
4.3.3 Sinterização das membranas do Caso II.....	32
4.3.4 Remoção do NaCl das Membranas do Caso II	34
4.3.5 Caraterização para o Caso II	36
4.3.5.1 Análise da porosidade aparente e absorção de água	36
4.3.5.2 Análise de eficiência das membranas	37
4.3.5.2.1 Sistemas de filtração	37
4.3.5.2.2 Comparações entre as vazões das membranas	40
4.3.5.2.3 Sistemas analisados	41
4.4 PERSPECTVAS FUTURAS	42
5.CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

Por meio de inovações que se desenrolaram através do tempo, o homem adquiriu e introduziu em seu dia a dia inúmeros conhecimentos e recursos para facilitar sua vida, mas o processo produtivo gera um grande problema ambiental: os resíduos e subprodutos.

A percepção e entendimento atuais da escassez de recursos na natureza associados com o alto emprego dos mesmos em processos industriais que geram resíduos evidencia que o não tratamento correto dos mesmos prejudica a sociedade e o meio ambiente. Assim, surgiram novas formas de aproveitamento de resíduos numa escala nunca antes vista.

Resíduos como papel, plásticos, vidros, metais e até orgânicos (originários de animais e vegetais), reciclados e reutilizados mitigam o consumo de recursos, diminuindo assim o impacto causado na natureza, que será poupada para gerações futuras.

No Brasil, a política nacional de resíduos sólidos, vigente desde 2010, e que abrange as comunidades empresarial, civil e demais instituições, como prefeituras, determina uma redução de produção de resíduos e reciclagem e reaproveitamento dos sólidos gerados. Porém, existem muitos empecilhos para que a lei seja cumprida à risca, principalmente pela falta de cultura relacionada à reciclagem no país.

Segundo dados de 2016, do Compromisso Empresarial Para Reciclagem (Cempre), mesmo com todos os esforços e um aumento de 138% da reciclagem de resíduos sólidos nos últimos seis anos, apenas 18% dos 5570 municípios brasileiros tem uma gestão adequada que segue corretamente a política nacional de resíduos sólidos (CEMPRE,2016).

Em países da União Europeia, como Suíça, Áustria, Alemanha e Holanda, os índices de reciclagem do lixo chegaram a 35% do total produzido no bloco econômico europeu no ano de 2016. A meta é que até em 2020 a reciclagem no bloco atinja um percentual de 50% do total de lixo produzido (EXAME,2016).

Assim, uma enorme variedade de materiais pode ser muito prejudicial à natureza, caso estes sejam descartados de forma inadequada. Dentre estes está o vidro, que se reciclado, pode ter 100% de aproveitamento em massa; entretanto, se jogado na natureza possui um tempo indefinido de deterioração.

Existem algumas aplicações descritas para o próprio vidro em grão, que pode ser utilizado na produção de cimento e ainda para limpar a água e diminuir sua turbidez em pequenas comunidades, em substituição à areia.

Motivado por aumentar as opções de reciclagem de vidro, foi desenvolvido na Câmpus Ponta Grossa da UTFPR um projeto para reaproveitar o vidro do tipo sodocálcico (vidro comum), para que por meio de processos simples de reciclagem seja obtida uma membrana porosa com utilidade em laboratório.

A reciclagem leva a uma membrana que pode funcionar como qualquer outra, separando uma fase sólida presente em um fluido, podendo ser vantajoso captar tanto o sólido como o líquido, com o auxílio de uma bomba de vácuo que auxilia a criar uma pressão negativa para que o fluido permeie a membrana, mas a mesma retenha o sólido que é desejável separar.

Neste cenário, nota-se outra questão: em que tipos de sistemas químicos a membrana pode ser utilizada e para quais adversidades industriais seria adequada?

Estudos já desenvolvidos na UTFPR de Ponta Grossa conseguiram inovar e obter um protótipo de membrana e até mesmo caracterizá-lo, todavia não determinaram seu uso.

A ideia, portanto, é dar continuidade ao trabalho desenvolvido, aproveitando sua prova de conceito e incrementando a aplicabilidade das membranas. Através de medidas experimentais simples pretende-se controlar a seletividade da membrana. Além disso, a fim de estudar sua aplicação será necessária a criação de um sistema adequado às membranas produzidas. Com o baixo custo associado à simplicidade na produção, as membranas podem ser facilmente empregadas em processos de filtração laboratoriais e/ou industriais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência da membrana de vidro reciclado pelo processo de sinterização, produzida no Câmpus Ponta Grossa da UTFPR, em diferentes sistemas químicos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Preparar membranas a partir do protocolo pré-estabelecido, variando-se a porosidade das mesmas.
- Desenvolver um sistema de filtração simples capaz de comportar a membrana e realizar filtração a vácuo.
- Preparar sistemas químicos, do tipo fluído-sólido, de diferentes composições e concentrações onde a membrana estará inserida e exercendo sua função de separação.
- Contabilizar a massa inicial e retida durante o processo de microfiltração.
- Indicar para quais sistemas químicos a membrana de vidro é mais eficaz para ser utilizada.

1.2 JUSTIFICATIVA

Visto que houve o reaproveitamento do vidro do tipo sodo-cálcico por meio da confecção das membranas por meio do processo de sinterização, surge a necessidade de identificar, para que tipos de filtração a membrana pode realizar. Dessa maneira, o presente trabalho pretende evoluir com a pesquisa já iniciada por SOLTOVSKI e MAMORU (2016), ambos alunos da UTFPR, que lograram êxito na confecção da membrana, porém não dispôs de tempo hábil para encontrar um sistema adequado para encaixe da membrana, muito menos para definir as condições de uso e em que tipo de sistemas sua utilização pode ser favorável.

Essa necessidade surge principalmente para identificar que tipo de problemas químicos e físicos poderiam ser resolvidos pelo uso da membrana, podendo assim garantir o trabalho e eficiência da mesma em determinadas condições.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MEMBRANA

Por definição, membrana, é considerada uma barreira, que retém, parcial ou totalmente, a passagem de uma ou mais fases em sua superfície (MULDER, 1991).

O mecanismo de atuação da membrana, baseia-se na ideia de que as partículas da solução têm diferentes tamanhos e conseqüentemente, algumas podem ou não, permear a membrana. A separação ocorre graças a retenção da

membrana e com o auxílio de uma força motriz, que promove o deslocamento da solução sobre a membrana (NOBLE; STERN, 1995).

Até a década de 50, as membranas eram utilizadas apenas para testes laboratoriais, nas quais as primeiras a serem descobertas foram as membranas biológicas, que conseguiam retirar contaminantes da água, com o uso de pouca energia. Perseguiu-se por toda essa década a síntese de membranas que tinham maior seletividade e maior fluxo de água. Para Haber *et al.* (2006) a situação manteve-se até que Reid e Breton (1953) propuseram uma membrana constituída de acetato de celulose, que se utilizada em um processo de osmose reversa, conseguia realizar a retenção de sais. Os mesmos autores ainda afirmam que Loeb e Sourirajan (1960-62), melhoraram a membrana, permitindo um maior fluxo de água e uma seletividade maior, retendo uma maior quantidade de sais em menos tempo

Durante a Segunda Guerra Mundial, foi-se descoberto que as membranas, além de sais, poderiam retirar da água macromoléculas e até eliminar microrganismos, com a simples seleção do tamanho de poros. Assim foram utilizadas muitas membranas com o fim de abastecer as tropas em combate (NOBLE; STERN, 1995).

Em 1980, as membranas passaram a ser utilizadas no tratamento de águas municipais, com o intuito de melhorar a qualidade de água reduzindo o uso de produtos químicos, tornando o processo mais natural. Os avanços na área de produção das membranas, aumentaram demasiado desde então, buscando aumentar a seletividade da membrana e até melhoramentos nos processos de aplicações de forças no sistema (NOBLE; STERN, 1995).

Atualmente, além de se buscar uma maior seletividade das membranas e melhora nos processos de filtração, também se buscam novos materiais que podem ser aproveitados para a produção de membranas. Há então uma busca pelo tratamento da água, com maior naturalidade e menor uso de químicos (NOBLE; STERN, 1995).

De acordo com Habert; *et al.* (2006), existem diversos tipos de separação por membranas que são considerados promissores no mercado. Dentre eles estão os processos de microfiltração, ultrafiltração, osmose inversa, evaporação osmótica, pervaporação e atualmente até a nanofiltração. A diferença entre estes processos consiste principalmente no tamanho dos poros e na fase da água que é apresentada. A exemplo disso pode ser citado que a microfiltração, ultrafiltração e

nanofiltração diferem essencialmente no tamanho dos poros, atuando sempre no processo com a água no estado líquido

Ainda segundo os autores, a evaporação osmótica e pervaporação, diferem principalmente pelo tipo de pressão que é aplicado ao sistema. Na evaporação osmótica são aplicadas altas pressões sobre o sistema, enquanto que na pervaporação, o sistema funciona a vácuo. Nestes casos, a água sofre alterações no seu estafo físico, graças a aplicação de pressões

As membranas atualmente são muito associadas a processos de osmose reversa, com a finalidade de dessalinização da água do mar, pela escassez da mesma. As membranas de ultra e microfiltração são muito conhecidas na indústria de bebidas, principalmente pelo seu poder de atuação na concentração de sucos e retirada de elementos indesejáveis no mesmo, que dão aparência e sabor indesejados no produto final. Inúmeras outras aplicações podem ser citadas, mas a finalidade será comprovar que as membranas têm uma grande utilização em produtos consumidos atualmente (NOBLE; STERN, 1995).

2.2 MECANISMOS DE FILTRAÇÃO E FORÇAS MOTRIZES APLICADAS

As membranas podem ser caracterizadas pelo seu poder de seleção e separação de partículas na solução apresentada a ela. Dessa maneira, chama-se seletividade de uma membrana, a sua capacidade de permeação e separação (BHAVE, RAMESH;1991).

A seletividade ocorre pelos seguintes mecanismos (SANTOS,1999):

- a) Exclusão pelo tamanho de partículas ou de moléculas em relação ao tamanho dos poros da membrana, as maiores, em relação aos poros, ficam retidas e as menores permeiam a membrana.
- b) Separação pela diferente difusividade ou permeabilidade do meio onde está o soluto, ocasionando assim o fluxo díspar do componente pela membrana.
- c) Seleção por diferentes densidades elétricas ou iônicas dependendo, portanto, de membranas carregadas eletricamente, para que haja repulsão ou atração dos íons ou partículas desejadas.
- d) Seleção por adsorção devido ao grande potencial de área que a membrana tem em relação ao meio em que está inserida.

A força motriz, força que promove o escoamento do sistema que permeia a membrana (SANTOS,1999), pode ter diferentes naturezas, que devem ser

analisados caso a caso, para a maximizar o rendimento do sistema e melhorar o processo. Na maioria dos casos são utilizados gradiente de pressão, mas existem outras naturezas da força, como campos elétricos e até potenciais químicos, que promovem a difusão de partículas.

O mecanismo essencial para a separação eficiente de um sistema, além da membrana, é a escolha adequada da força motriz e como aplica-la corretamente sobre o sistema. Assim como citado em SANTOS, 1999:

- a) Processos como os de osmose reversa, microfiltração e ultrafiltração dependem essencialmente do gradiente de pressão do sistema, dessa forma o processo somente depende do tamanho da partícula e da permeação, ou não, das partículas pelo sistema.
- b) Em casos como na diálise, uma mistura contendo partículas com diferentes massas moleculares e concentrações, a força motriz geralmente utilizada é a de aproveitamento da diferença de potencial químico, baseando a separação principalmente na diferença de difusividade das espécies químicas pela membrana.
- c) A força motriz, no caso da eletrodialise, é o gradiente elétrico, dependendo diretamente da densidade de carga elétrica das espécies.

Existem também modelos de sistemas que utilizam mais de um tipo de força motriz, aumentando a velocidade da separação dos componentes da mistura.

Assim, além da própria membrana, é necessário adaptar o sistema completo para a realização de uma filtração eficiente. É isso que se busca neste trabalho, encontrar para que tipos de sistema a membrana se adequa, principalmente pelo tamanho de seus poros (entre 10-20 μm), além de propor melhorias no processo de confecção das mesmas.

2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E ESTRUTURAIS DA MEMBRANA

As membranas podem ser classificadas de duas formas (BHAVE; RAMESH, 1991; SANTOS, 1999; ZAHID, 1993):

- a) Orgânicas: constituídas de polímeros orgânicos, com algumas limitações em determinadas aplicações, como altas temperaturas, variações substanciais de pH, pressão, ação de alguns solventes e até mesmo ataques de microrganismos.

- b) Inorgânicas: em sua maioria são compostas por óxidos, como sílica e alumina e até carbono, com diversos meios de produção, dentre eles a pirólise (para membranas feitas a partir do carbono) e da mesma forma, utilizando altas temperaturas para atingir o ponto de fusão do material para molda-lo da forma desejada, como é o caso da sílica.

Morfologicamente as membranas podem ser classificadas de acordo com sua estrutura (HABERT et al;2006):

- a) Simétricas: membranas com estruturas homogêneas ao longo de um eixo transversal, geralmente ocasionado pelo tipo de material e estrutura química, que os elementos que a constituem oferecem.
- b) Assimétricas: a membrana apresenta irregularidades nas microestruturas, com decréscimo do tamanho da membrana ao longo do eixo transversal.

Ainda morfologicamente as membranas podem ser divididas em outros dois grandes grupos: porosas e densas. Considerando, dessa forma, a existência e distribuição de poros ou não, para determinar que tamanho de partículas permeia ou não a membrana. Deve ser considerado, portanto, a superfície de contato entre a membrana e a mistura que se deseja separar, para determinar se a membrana é eficaz ou não para cada caso (HABERT et al; 2006). A Figura 1, a seguir, ilustra os diferentes tipos de membranas sintéticas quanto a sua morfologia,

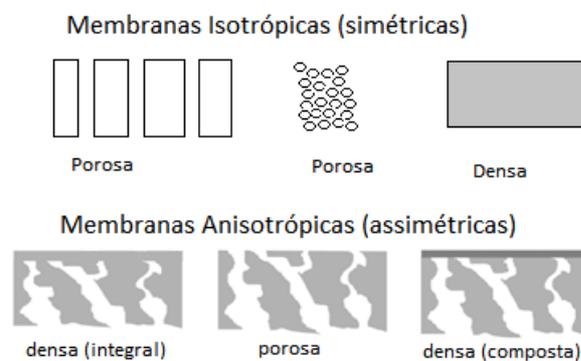


Figura 1: Diferentes tipos de membranas sintéticas quanto a sua morfologia em uma representação esquemática

Fonte: Adaptado de HABERT et al ;,2006.

As membranas porosas e densas diferem além da sua morfologia (presença ou não de poros) no mecanismo de separação. As membranas com a presença de poros realizam a separação pela diferença do tamanho de poros com relação ao tamanho das partículas presentes na solução. Dessa forma, as partículas maiores que os poros ficam retidas na parte superior da membrana, enquanto as menores a

permeiam até o outro lado. As membranas densas têm outro mecanismo de separação. Baseiam-se na velocidade difusiva da partícula pela membrana. Enquanto algumas partículas tem uma grande afinidade com a membrana, outras tem pouca ou não a tem e dessa forma a partícula que tem maior afinidade se move com maior velocidade e o demais pouco permeiam ou não permeiam a membrana (muitas vezes sendo necessário que as espécies do sistema sejam antagônicas, ou seja, uma tenha afinidade pela membrana e a outra não (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

A constituição da membrana também é um aspecto muito importante a ser visualizado para entender as funções e propriedades da membrana, afim de preparar sistemas que não danifiquem a membrana e para potencializar a eficiência do processo de separação. Dessa maneira até o material da membrana indica se a mesma é eficiente para um dado sistema. Outras características também devem ser levadas em consideração, para elaboração de um sistema adequado para a separação da mistura. Pontos como estabilidade mecânica, térmica, a permeabilidade e a seletividade da membrana também devem ser levadas em conta. A figura 2 ilustra uma filtração tangencial, que toma em conta dois fatores muito importante: fluxo e seletividade. O fluxo é essencialmente a vazão da mistura que permeia a membrana, enquanto que a seletividade pode ser descrita com o coeficiente de rejeição R , determinando assim a quantidade permeada e a retida de solvente e soluto. O parâmetro leva em conta a quantidade de material retido e permeado pela membrana. Assim, podemos calcular o valor de R por meio da equação (1), a seguir:

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_a} \quad (1)$$

Onde, C_p é a concentração de permeado e C_a a concentração da corrente de alimentação (MELO, 2005; SCOTT, HUGHES, 1996).

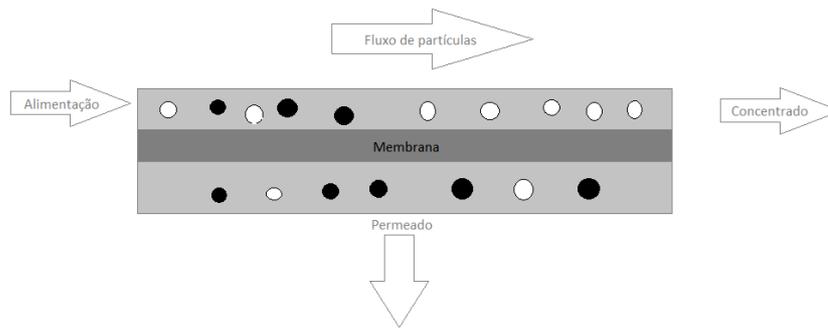


Figura 2: Esquema de uma separação por membrana do tipo com fluxo tangencial.

Fonte: Adaptado de MELO,2005.

A título de explicação, denomina-se o líquido que é filtrado ou purificado como permeado.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

Existem três tipos principais de passagem pelas membranas: transporte passivo, transporte ativo e facilitado por um mediador. O transporte passivo ocorre sem adição de energia ao sistema, impulsionado por uma diferença de alguma variável do processo entre as soluções separadas pela membrana. Assim o sistema tenta entrar em equilíbrio naturalmente. O transporte ativo acontece quando o fluxo desejado é o contrário do transporte passivo, ou seja, não ocorre naturalmente, sendo que para isso necessita-se uma adição de energia ao sistema. Sendo assim, o transporte mediado é aquele onde um facilitador atua sobre o sistema integrado na estrutura da membrana (KAUSHIK, 2008).

Existem, portanto, os processos de separação industrial que podem ser classificados quanto a força motriz que atua no sistema, sendo alguns dos exemplos abaixo mais utilizados industrialmente:

- Processos ativos utilizam geralmente pressão sobre o sistema com a finalidade de promover o processo inverso ao transporte passivo. Esses processos são componentes essenciais em separações como a osmose reversa, ultrafiltração, microfiltração, nanofiltração e separação de gases.
- Processos passivos decorrem por gradiente de concentração, aproveitando-se dos efeitos difusivos das partículas, muito utilizados em processos de diálise.

- Processos passivos feitos através de potencial elétrico como as eletrodialises (KAUSHIK, 2008).

As membranas citadas que se utilizam da pressão como força motriz são do tipo porosas. O tamanho de seus poros influencia na classificação, do tipo de filtração e conseqüentemente que tamanho de partículas a membrana será capaz de reter na sua superfície. A tabela 1 mostra os diferentes tamanhos de partículas que cada processo de separação por membrana é capaz de reter (KAUSHIK, 2008).

Tabela 1–Relação entre os tipos de filtração

Processo	Osiose Reversa	Nanofiltração	Ultrafiltração	Microfiltração
Tamanho de particular retida (µm)	0,0001	0,0001-0,001	0,001-0,1	0,1-10

Fonte: (KAUSHIK, 2008).

Atualmente os processos utilizados, se comparados aos métodos clássicos, tem uma capacidade menor de purificação, entretanto já existem métodos onde a combinação de métodos clássicos com processos atuais se mostrou de grande valor para a melhoria da eficiência dos processos (HABERT *et al*;2006).

2.5 MICROFILTRAÇÃO

Atualmente, existem diversos trabalhos em relação a novas membranas e seus usos, tanto em escala laboratorial quanto industrial. Neste caso a pesquisa refere-se a microfiltração, que depende essencialmente do tamanho do poro de tamanho 0,1 a 10 µm(HABERT; et al, 2006).

As membranas para microfiltração em sua maioria são membranas inorgânicas, produzidas principalmente com sais e óxidos.

Processos que envolvem a microfiltração são muito facilmente encontrados na indústria alimentícia, dentre os quais podem ser citadas o processo de clarificação e sanitização do suco de maracujá (PAULA; *et al* 2004) e no processo de microfiltração do soro de leite de búfala (LIRA; *et al*,2009).

Assim, nestes dois casos foi utilizado o processo de microfiltração, com o uso de membranas, no primeiro caso do tipo tubular e no segundo caso de cerâmica, para retirar tanto, macromoléculas (como gorduras e proteínas) como também microrganismos que estavam presentes no produto final, mas eram inaceitáveis para

consumo humano. Além disso no caso do suco de maracujá, foi empregado para clarificar o mesmo, dando uma aceitação maior para o público, pois tinha uma aparência mais agradável para o consumidor (LIRA; *et al*/2009; PAULA; *et al*,2004).

Mostra-se aqui a importância do processo de microfiltração, principalmente utilizado com moléculas grandes, ou macromoléculas, geralmente compostos orgânicos que formam grandes cadeias e conseqüentemente grandes o suficiente para serem retidas no poro da membrana.

Já existem casos de produção de membranas a partir do vidro reciclado (ASSIS,2006), da mesma forma como o projeto desenvolvido no Câmpus Ponta Grossa da UTFPR foi produzido, variando a quantidade de sal presente na constituição da membrana. Alguns aspectos devem ser ressaltados, como os tamanhos dos poros que foram formados que foi de aproximadamente 2 μ m na proporção de 30% de NaCl de constituição e ainda que a quantidade de sal apropriada para essa formação de poros está entre 20-25 % de cloreto de sódio, pois há formação de poros na membrana sem comprometer a estabilidade mecânica da mesma após a sinterização, obtendo-se assim um resultado melhor em relação à filtração da membrana (ASSIS,2006).

Ressalta-se também que quanto maior a presença de sal na constituição menor é a resistência mecânica da membrana, sendo assim há de se operar cuidadosamente com a mesma, tanto para evitar quebras como para evitar uma abertura dos poros que pode ocorrer com altas pressões (ASSIS,2006).

Outro problema apresentado pelo mesmo autor é distribuição irregular e conectividade dos poros, o que acarretaria em problemas no processo de filtragem, já que com a irregularidade dos tamanhos dos poros, pode haver o problema de passagem de partículas indesejadas por meio da membrana. Esse tamanho irregular deve-se ao método de produção da membrana que é feito pelo seu aquecimento em forno juntamente com sal, entretanto, pode haver formação de bolhas de gás no interior da membrana e no estágio final da sinterização, pode haver um crescimento do tamanho do poro gerado pelo sal, acarretando assim em formações irregulares de poros (ASSIS,2006).

Essa irregularidade provoca também a tortuosidade da membrana que conseqüentemente afeta o tempo de residência e o contato da membrana com o meio a ser separado, gerando assim problemas no uso e separação dos meios, pois não há contato tempo o suficiente com os poros na membrana (ASSIS,2006).

Além disso outro ponto a ser observado e levado em consideração são os sistemas em que as membranas serão utilizadas para realizar o trabalho de separação. As membranas do tipo sodo-cálcico têm em sua constituição tanto potássio como sódio, duas substâncias que são solúveis em água, formando íons de potássio e sódio que podem ocasionar substituições iônicas caso o meio que se deseja separar tem afinidade para a troca iônica com o potássio e o sódio, pela presença de íons dos mesmos. A ideia proposta para esse problema é a de operar de maneira contínua, onde há a passagem do sistema pela membrana, sem que haja um acúmulo para que assim, somente no início da passagem do fluido que tem afinidade eletrônica pelos íons, não ataque a membrana completamente, evitando um tempo de contato maior (ASSIS,2006).

Assim como pode ser observado, existem estudos nessa área, mas a indústria ainda carece de membranas para diversas aplicações ou até desejam reduzir custos no consumo das mesmas, por isso além de saber e determinar a composição da membrana e o processo em que é utilizada, é necessário saber para que sistemas ela tem efeito.

2.6 CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS

A etapa de caracterização de membranas é muito importante, pois é ela quem ditará para que tipo de sistemas a membrana conseguirá realizar uma separação adequada, determinando assim em que processo ela pode ser adequada.

Em membranas porosas, a caracterização irá demonstrar dentre outras coisas qual o limite mínimo do tamanho de partícula que a membrana conseguirá reter. Deve-se buscar também um material, para a confecção da membrana, que não influencie na capacidade de seletividade da mesma (HABERT; *et al* 2006). Já para as membranas densas, é essencial que a escolha do material influencie na seletividade, pois é ele que dará condições de afinidade e consequentemente de difusividade de uma partícula até o outro lado da membrana.

2.6.1 Caracterização de membranas porosas

Três pontos são de suma importância para a caracterização de membranas porosas: porosidade superficial, tamanho e distribuição de poros.

A irregularidade dos poros é um problema para sua caracterização, uma vez que se deseja saber qual a forma e a geometria dos mesmos. Entretanto, existem modelos que aproximam as dimensões dos poros a formas cilíndricas, que facilitam os cálculos de dimensão e volume.

A existência de poros não é suficiente para que se realize uma filtração adequada, sendo necessário que eles estejam interligados, permitindo assim a passagem do permeado (fase que está sendo purificada). Soma-se a essas características a porosidade da superfície, que é um fator importante e reflete diretamente no valor de fluxo permeado. No caso da microfiltração, tem-se porosidade superficial de 5 a 50% (HABERT; *et al*,2006).

Determina-se a morfologia de uma membrana por métodos tanto diretos quanto indiretos. Os métodos diretos mais utilizados são os de observação ótica, sendo uma delas e a mais utilizada, a microscopia eletrônica de varredura, que infelizmente só observa uma pequena faixa de tamanho de poros, pois existem poros muito pequenos que não podem ser identificados, sendo considerado uma análise qualitativa. Os métodos indiretos determinam principalmente o tamanho e densidade de poros, sendo assim considerados uma análise quantitativa (HABERT; *et al*,2006).

O quadro 1, lista os principais métodos de determinação de morfologia da membrana, diretos e indiretos:

Método	Princípio	Tamanho de poros	Limitações	Vantagens
Microscopia eletrônica	Observação	> 500 Å	Boa definição para poros > que 500 Å	DTP (Distribuição Tamanho de poros)
Porosimetria de mercúrio	Equilíbrio, Pressão e tensão superficial	7,5 µm a 20 Å	Pressões elevadas e anisotropia	Rapidez, DTP
Adsorção e dessorção de gás	Condensação capilar/tensão superficial	500 a 15 Å	Equilíbrio lento e anisotropia	Determina a DTP
Termoporometria	Abaixamento da temperatura de fusão	1500 a 15 Å	Interação Líquido/polímero e anisotropia	Não há secagem e compressão
Permeabilidade	Escoamento de um fluido	ampla	Só valores médios podem ser obtidos	Equipamento simples e rapidez
Ponto de Bolha	Tensão Superficial		Poros > 1000 Å	Rapidez
Permeação gás-líquido	Desobstrução do poro quando $p_{ext.} > \sigma \sup.$	> 300 Å	Não é sensível para poros pequenos	Determina poro máximo e DTP
Perporometria	Condensação capilar/perm. de gases	300 a 20 Å	Interação penetrante / polímero	Determina DTP
Rejeição parcial de solutos	Relação entre retenção e tamanho de poros	ampla	Relação MM / tamanho e deformação molécula	Determina DTP

Quadro 1–Quadro comparativo dos processos de caracterização de membranas

Fonte: (HABERT *et al*; 2006).

Os métodos escolhidos variam para os diferentes tipos de membranas a serem estudados.

2.6.2 Porosimetria

Os poros devem ser analisados com a finalidade de observar e tentar entender com a membrana irá se comportar no processo em relação ao tamanho das partículas que irá reter no sistema.

A análise de densidade aparente é uma das mais simples e eficazes para determinação da presença de poros no sistema, sendo descrita pela equação (2), conforme RICHESON, 1992:

$$Pa = \frac{Pu - Ps}{Pu - Pi} \times 100 \quad (2)$$

Fornecendo dessa maneira um percentual volumétrico de porosidade da amostra.

Com os seguintes termos da equação:

- Pa é a porosidade
- Pu é o peso da amostra úmida, previamente em repouso em um recipiente com água;
- Ps é o peso da amostra seca;
- Pi é o peso da amostra quando imersa em água.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os materiais utilizados para a análise da eficiência da membrana, serão os comumente utilizados em práticas de filtração simples e à vácuo, adaptados a alguns instrumentos. O mesmo pode se afirmar quanto, à confecção da membrana.

É importante frisar que alguns desses materiais foram adaptados com a finalidade de desenvolver um sistema adequado para o uso da membrana. Dessa forma é possível destacar os materiais utilizados abaixo:

- Balança
- Suporte universal
- Proveta (adaptada)
- Pisseta
- Tubo Falcon

- Trompa de vácuo
- Bomba de vácuo EXIPUMP 805246
- Alonga de Borracha
- Béqueres de 300 mL
- Bagueta com ponteira de borracha
- NaCl sólido (P.A)
- Garrafas de vidro do tipo sodo-cálcico
- Anéis de vedação
- Ímãs de neodímio
- Kitassato
- Moinho de Bolas Servitech CT 240/A
- Mesa vibratória Vibrotech CT-025
- Prensa manual Servitech modelo CT 320;
- Forno Quimis 318D24;

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Confeção da membrana de vidro

O processo completo de produção das membranas de vidro sinterizado pode ser resumido da seguinte forma, na figura 3 a seguir:

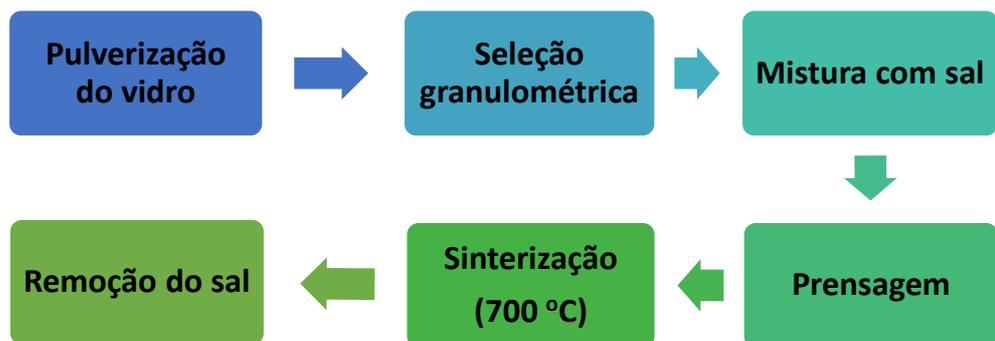


Figura 3: Etapas de produção da membrana pela técnica de preenchimento
Fonte: Autoria própria (2017).

Foi-se utilizado o pó de vidro do tipo sodo-cálcico, proveniente de garrafas de vidro que seriam descartadas.

Realizou-se a lavagem e secagem das garrafas, com posterior quebra das mesmas manualmente, até que se obtivesse um tamanho adequado de partículas para trituração no moinho de bolas. Realizada essa etapa, transferiu-se o sistema

particulado para o mesmo para fazer uma moagem a partículas ainda menores. As bolas utilizadas para esta moagem eram compostas de alumina.

Para o funcionamento do moinho de bolas ser adequado o mesmo deve trabalhar com um volume de 20% de bolas de alumina, e 30% de volume em amostra e rotação de 36 rpm, observando a cada 2 horas se o sistema está com um tamanho aceitável para a realização de peneiramento.

A seleção do tamanho das partículas foi realizada com uma mesa vibratória em que foram acopladas peneiras com diferentes aberturas. Esta mesa vibratória está disponível no Laboratório de Ensaios de Materiais da UTFPR- Câmpus Ponta Grossa. A partir desse equipamento o pó de vidro moído no moinho de bolas é peneirado e assim selecionando o tamanho de partículas desejado.

Para as membranas produzidas neste trabalho, foram utilizados os peneiramentos de 32, 80, 100, 170, 200 e 270Mesh.

Para garantir a regularidade do tamanho dos poros, foi realizado um peneiramento do cloreto de sódio, com peneiras de: 80, 115, 150, 170, 250 e 325Mesh.

Foi adicionada uma fase não sinterizável como agente formador de poros no pó de vidro. A fase não sinterizável foi o cloreto de sódio (NaCl) adicionado a uma proporção de 25% relativo ao pó de vidro. Após a adição do sal ao pó de vidro selecionada pela peneira de 100 Mesh de tamanho de poro, duas granulometrias diferentes de NaCl, com 150 e 250 Mesh foram misturadas para então realizar homogeneização mecânica. Uma quantidade de 1,5 g da mistura do pó foi pesada e compactada para a formação de pastilhas na prensa manual, localizada no laboratório de ensaios de materiais do curso de engenharia mecânica da UTFPR – Câmpus Ponta Grossa.

A espessura da membrana é definida nesse processo e se a mesma terá ou não trincas na sua estrutura. A mistura continha 25% em massa de NaCl e foram compactadas a uma pressão de 108 Mpa.

As amostras foram aquecidas até a temperatura de sinterização do vidro, entre 700 e 750 °C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, mantendo-as por aproximadamente 1h nesta temperatura. Após sinterizadas, as amostras foram resfriadas no próprio forno até a temperatura ambiente e posteriormente dispostas para pesagem e análise morfológica. Através do método aplicado por Soltovski e Mamoru (2016), cada amostra foi fervida num volume de 250 ml de água destilada durante um período de 4h. Esse período de tempo foi dividido em duas etapas de

2h, sendo necessária a completa secagem das amostras entre as fervuras. A retirada do sal presente na membrana de vidro resulta na formação dos poros.

A eficiência da remoção do sal também foi quantificada pela seguinte através da equação (3):

$$\varepsilon = \frac{tr}{t} \times 100 \quad (3)$$

Em que,

tr = taxa média de massa removida depois da fervura.

t = taxa de massa de sal adicionada relativo à massa de pó de vidro.

3.2.2 Aplicação da membrana de vidro

Obteve-se inicialmente a porosidade aparente e a absorção de água, sendo determinado a sua massa úmida, massa seca e massa imersa. A determinação da massa úmida da amostra foi feita pela imersão durante 24h para inundar os poros sendo posteriormente seca superficialmente com pano úmido e finalmente medida. A massa imersa foi determinada medindo-se a massa da amostra quando imersa em água.

A porosidade aparente é definida pela equação (2) definida por RICHERSON, 1992, anteriormente demonstrada. Como mediu-se valores de massa, manipulou-se a equação (2) da seguinte forma para facilitar o cálculo somente envolvendo a massa da membrana:

$$Pa = \frac{mu \times g - ms \times g}{mu \times g - mi \times g} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

mu = massa úmida (g);

g = gravidade (m/s^2);

ms = massa seca (g);

mi = massa imersa (g).

O que nos leva a,

$$Pa = \frac{mu-ms}{mu-mi} \times 100 \quad (5)$$

A absorção de água é o ganho de massa ao absorver o máximo de água e então fazendo seu percentual, podendo calcular com a seguinte equação (6):

$$AA = \frac{mu-mi}{ms} \times 100 \quad (6)$$

Montou-se, um aparato para microfiltração adaptando o sistema à membrana, que tem 1,8 cm de diâmetro e 0,2 cm de espessura, como mostra a Figura 4. Dessa forma, adaptou-se uma proveta, perfurando seu fundo. A membrana de vidro foi acoplada na tampa, com dois anéis de vedação (um acima e um abaixo) e mais um anel em torno da mesma, para reduzir caminhos preferencias que podem ser gerados. A Figura 4 ilustra o sistema, esquematicamente:

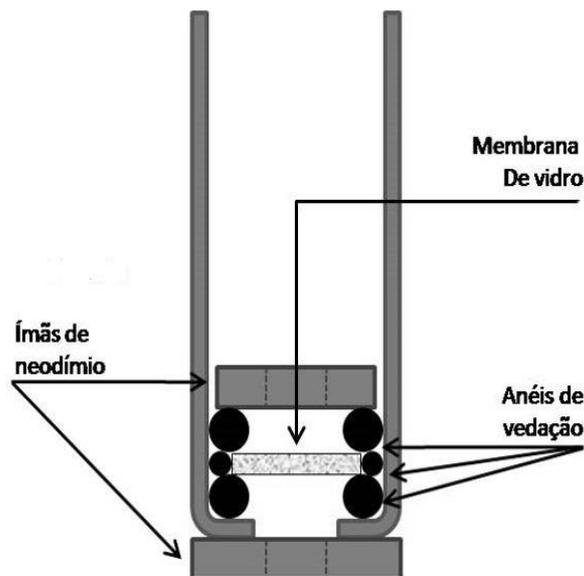


Figura 4: Esquema do sistema para adaptação da membrana.
Fonte: Autoria Própria (2017).

A fim de conferir uma maior estabilidade ao sistema, possibilitando maior compressão dos anéis de vedação contra a membrana de vidro, mantendo-a fixa durante o escoamento da fase líquida, foram acoplados ímãs de neodímio, um acima da membrana e outro, sobre a tampa, fora do sistema.

Elaborou-se a determinação da vazão das membranas com o intuito de observar quanto a membrana filtrante consegue permear em um período de tempo, sem considerar se haverá ou não o entupimento da mesma num processo de separação normal, dada a importância da vazão na definição do tempo que levará

para se obter uma quantidade de produto purificado, qualquer que seja o volume do sistema a ser purificado.

Para definir a melhor aplicação da membrana foram montadas filtrações simples e a vácuo, analisando o comportamento da membrana em diferentes sistemas preparados para testes.

Inicialmente foi preparada uma solução em um béquer, com a massa dos componentes previamente pesada, para posterior cálculo de rendimento.

Sendo que o cálculo de rendimento de retenção será dado pela equação (1), definida da seguinte forma por MELHO, 2005 e SCOTT et al, 1996.

As concentrações foram obtidas por meio do método gravimétrico, isto é, por meio da pesagem das partículas retidas sobre a membrana e das que permearam a mesma, após a secagem.

A força motriz imposta para a filtração simples é a própria gravidade, ao ser utilizado o mesmo já descrito para a determinação da vazão, acoplado na entrada de uma proveta, promoveu-se a passagem da solução pela membrana. O esquema é demonstrado na Figura 5.



Figura 5 – Sistema utilizado para a filtração simples.

Fonte: Autoria própria (2017).

O procedimento de filtração a vácuo, mais complexo que o de filtração simples, foi realizado com o sistema previamente mostrado na figura 5 adicionando-se sob ele o kitassato e entre eles um anel de vedação, para que fosse gerado

vácuo dentro do recipiente. Neste caso, realizando-se a microfiltração com duas forças motrizes, a gravidade e o vácuo, aumentando assim o poder de sucção do sistema.

A bomba de vácuo (Figura 6) foi ligada ao kitassato por meio de uma mangueira.

Filtrou-se a solução, inserindo a mesma no sistema onde a membrana estava acoplada. Ao final do processo, foi possível realizar a secagem e então pesagem dos sólidos retidos e permeados pela membrana.

A Figura 6 mostra o sistema de filtração a vácuo, enquanto que a Figura 7 mostra o sistema de filtração acoplado ao kitassato:



Figura 6- Bomba de vácuo EXIPUMP 805246.

Fonte: Autoria própria (2017).



Figura 7 - Sistema de filtração acoplado ao kitassato.

Fonte: Autoria própria (2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROCESSAMENTO DO PÓ DE VIDRO

Serão descritos e analisados os resultados obtidos com as membranas já produzidas no trabalho de Soltovski e Mamoru (2016), chamado de caso I, e utilizadas para verificar em que sistemas químicos podem ser aplicadas e, para o caso II, definido como os experimentos realizados com as novas membranas que foram produzidas neste trabalho, melhorando o tamanho e regularidade de seus poros, analisadas passo a passo, para demonstrar se a mudança no seu preparo resultou em qualidade de poros e estrutura mais eficientes.

Os resultados do caso I são importantes para comparação com as membranas produzidas neste trabalho. Ressalta-se que estas membranas foram produzidas em um trabalho anterior e gentilmente cedidas para os testes do sistema de filtração. Sua finalidade prévia era testar a viabilidade do método de produção, e apresentam alta qualidade estrutural e visual, sendo assim incorporadas a este trabalho mediante consentimento dos autores Soltovski e Mamoru.

Os resultados previamente obtidos do caso I, serão dispostos separadamente dos resultados do caso II; entretanto, em relação as comparações de filtração e capacidade de vazão, estarão apresentadas conjuntamente.

Para o pó de vidro produzido neste trabalho de pesquisa, a distribuição de partículas de vidro, peneiradas após o processo de moagem, é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição do tamanho das partículas do pó de vidro

Mesh	Massa de pó (g)	% de pó da amostra
32	5,77	4,95
80	6,37	5,46
100	61,39	52,67
170	18,46	15,83
200	13,68	11,74
270	7,68	6,59
Fundo	3,22	2,76
Total	116,57	

Fonte: Autoria própria (2017).

A escolha das peneiras foi fundamental para padronizar o tamanho das partículas a serem utilizadas na confecção da membrana de vidro. Pela maior quantidade de pó de vidro obtida, foi selecionada a peneira de Mesh 100.

4.2 DEFINIÇÕES DA MEMBRANA PARA O CASO I

Utilizando-se das partículas retidas na peneira de 100Mesh, foi adicionado NaCl com partículas menores que 75 μ m em uma quantidade de 20% em massa, sendo essa proporção utilizada pois há uma redução comprovada das trincas formadas da membrana após a sinterização, vale ressaltar que o método aqui realizado foi o método de SOLTovski e MAMORU (2016).

Feita a adição do sal ao pó de vidro, a mistura foi homogeneizada manualmente em um recipiente. Utilizou-se nas membranas do caso I, uma pressão de compactação de 108 MPa, que garantiu uma compactação adequada do pó de vidro.

Após a compactação, as membranas foram dispostas em um tijolo refratário a fim de serem levadas ao forno. As membranas foram mantidas por uma hora no forno a uma temperatura de 700° C, e ao ser finalizada a etapa de aquecimento, as membranas foram caracterizadas. Dessa forma produzidas cinco membranas, obtendo as médias na Tabela 3:

Tabela 3-Dados das amostras, sinterizadas para o caso I.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa (g)	Espessura (mm)	Volume (mm³)	Densidade (g/cm³)
108	Média	1,44	2,66	842,77	1,71

Fonte: Soltovski e Mamoru (2016)

Houve então a retirada de sal de cinco amostras para então se determinar qual a massa de sal que foi retirada da membrana, obtendo os seguintes valores médios na Tabela 4.

Tabela 4- Dados comparativos antes e depois do processo de fervura para o caso I

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa antes da fervura (g)	Massa depois da fervura (g)	Diferença das massas	Porcentagem de massa removida (%)
108	Média	1,43	1,16	0,26	18,46

Fonte: Soltovski e Mamoru (2016)

Utilizando os dados referentes às porcentagens de massa removida e considerando que todas as amostras continham exatamente 20% de cloreto de

sódio em suas estruturas, foi calculada a eficiência deste processo de eliminação com período de fervura de 4h. Para isso, utilizou-se a equação (3).

Portanto, comparando com a quantidade de sal estimada inicialmente, que era de 20% em massa, a média obtida foi de 18,46 %, portanto uma eficiência de 92,3% de proximidade e que se manteve durante o processo.

Os valores que possibilitam o cálculo da densidade aparente e absorção de água, massa úmida, massa imersa e massa seca, além do cálculo da absorção de água, estão todos dispostos na tabela abaixo, dispondo os valores médios obtidos, dispostos na Tabela 5:

Tabela 5 – Dados de massa para cálculo da porosidade aparente e absorção de água.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa úmida (g)	Porosidade aparente (%)	Absorção de água (%)
	Média	1,16	0,60	1,24	12,50	6,89

Fonte: Soltovski e Mamoru (2016)

A membrana comprovadamente tem uma capacidade de retenção de partículas e baixa absorção de água.

4.3 PRODUÇÃO DA MEMBRANA PARA O CASO II

4.3.1 Preparação do Pó de vidro para Prensagem

Algumas melhorias foram pensadas com relação a produção para aumentar a seletividade da membrana que será produzida. Como já identificado pelo trabalho de Soltovski e Mamoru (2016), o tamanho das partículas do vidro pouco influenciam na confecção da membrana, já que na etapa de sinterização o vidro funde e se mantém num estado aparente de líquido ultraviscoso. Entretanto, para uma melhora no tamanho e distribuição dos poros, é possível selecionar uma fase não sinterizável mais homogênea, o que pode acarretar numa melhora na membrana. Misturou-se então duas granulometrias diferentes de cloreto de sódio, previamente peneirados, com os Mesh de 150 e 250. Os tamanhos de partículas de sal escolhidos foram os de Mesh 150 e 250, isso pela grande quantidade de amostra apresentada após o peneiramento.

Dessa forma o tamanho de partícula do pó de vidro desta etapa foi aquele selecionado pela peneira de 100 Mesh. Foi escolhida a faixa de retenção, com

partículas aproximadamente de 147 μm (retidas na peneira de 100 Mesh). Baseando-se no trabalho de Soltovski e Mamoru (2016), que concluiu que o tamanho do pó de vidro pouco influencia na confecção da membrana, já que de qualquer forma, o vidro funde-se na temperatura de 700 °C. Sendo assim seu tamanho era de aproximadamente 148 μm em uma proporção de 25% de massa de sal.

As misturas foram homogeneizadas utilizando-se o moinho de bolas de alumina, para uma melhor eficácia do processo de mistura.

4.3.2 Compactação da mistura de pó de vidro e NaCl para o Caso II

Como também constatado no trabalho de Soltovski e Mamoru (2016) a pressão de compactação pouco influencia no volume e na densidade da membrana, mas influencia na possível delaminação extrema. Assim decidiu-se aplicar sobre o pó de vidro e NaCl a pressão de 108 MPa.

Foram compactadas 5 amostras da mistura sólida, realizando-se a medição quanto a massa, espessura, volume e densidade, para as membranas com NaCl selecionado em peneiras de 150 Mesh.

Os dados das amostras antes da sinterização para o Caso II estão expressos na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados das amostras antes da sinterização, para o Caso II, com sal selecionado em peneira de 150 Mesh.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa	Espessura	Volume	Densidade
		(g)	(mm)	(mm ³)	(g/cm ³)
108	1	1,34	2,83	898,41	1,49
	2	1,35	2,85	904,76	1,49
	3	1,28	2,69	853,96	1,50
	4	1,36	2,87	911,10	1,49
	5	1,34	2,83	898,41	1,49
	Média	1,33	2,81	893,328	1,49

Fonte: Autoria própria (2017).

Na Tabela 7 são apresentados os resultados das amostras antes da fusão, para o Caso II, com NaCl selecionado em peneiras de 250 Mesh:

Tabela 7– Dados das amostras antes da sinterização para o Caso II com sal Mesh 250.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa (g)	Espessura (mm)	Volume (mm ³)	Densidade (g/cm ³)
108	1	1,38	2,88	914,28	1,51
	2	1,36	2,86	907,93	1,50
	3	1,33	2,81	892,06	1,49
	Média	1,36	2,85	904,76	1,50

Fonte: Autoria Própria (2017).

Dessa forma é possível observar as densidades médias para as duas misturas.

4.3.3 Sinterização das membranas do Caso II

O forno foi mantido a uma temperatura de 700 °C, levando aproximadamente 60 minutos para atingir essa temperatura, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, e atingindo a temperatura desejada, o forno foi mantido por durante 1h na temperatura e então desligado.

Logo após a sinterização, as amostras foram identificadas e analisadas, originando os dados da Tabela 8.

Tabela 8- Dados das amostras sinterizadas para o Caso II de Mesh 150 de NaCl.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa (g)	Espessura (mm)	Volume (mm ³)	Densidade (g/cm ³)
108	1	1,28	2,55	882,53	1,45
	2	1,31	2,59	857,14	1,53
	3	1,21	2,49	866,66	1,40
	4	1,29	2,56	831,74	1,55
	5	1,29	2,57	895,23	1,44
	Média	1,28	2,55	866,66	1,47

Fonte: Autoria própria (2017).

As amostras com granulometria de 250 Mesh tiveram seus resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9- Dados das amostras sinterizadas para o Caso II de Mesh 250 de NaCl.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação			Espessura (mm)	Volume (mm ³)	Densidade (g/cm ³)
		Massa	(g)			
108	1	1,29		2,58	819,04	1,58
	2	1,30		2,60	825,39	1,58
	3	1,28		2,56	812,69	1,58
	Média	1,29		2,58	819,04	1,58

Fonte: Aatoria própria (2017).

Identifica-se, portanto, uma queda de volume devido à fusão do pó de vidro e uma queda da densidade, devido à queda do volume dos dois tipos de amostra (150 e 250 Mesh). Além disso, verifica-se uma densidade maior nas membranas de 250 Mesh, em relação as de 150 Mesh, devido à compactação da mistura preparada de pó de vidro e NaCl.

Ressalta-se que, após a sinterização, foi necessário lixar a membrana que se formou por apresentar-se muito irregular, em ambos os casos (150 e 250 Mesh).

Além disso, pôde-se perceber que a membrana apresentou algumas más formações que resultaram em rachaduras. A Figura 8 e a Figura 9 ilustram esse problema, que, entretanto, não afetou a qualidade da mesma, pois não se formaram caminhos preferenciais laterais nas pontas.



Figura 8 – Membrana produzida com sal Mesh 150 após lixamento.

Fonte: Aatoria própria (2017)



Figura 9 – Membrana produzida com sal Mesh 250 após lixamento.

Fonte: Aatoria própria (2017).

Destaca-se que a membrana seca teve uma maior resistência a quedas, fato este que demonstra que suas partículas estavam melhor compactadas.

4.3.4 Remoção do NaCl das Membranas do Caso II

Realizou-se a fervura das membranas de vidro, cujas misturas de pó de vidro e NaCl, foram selecionadas tanto em peneira de 150 Mesh quanto aquelas selecionadas em peneiras de 250 Mesh. A massa antes e depois foi pesada para posterior análise de massa de sal removida no processo. Além de identificar se o método foi efetivo, foi analisado se a distribuição de NaCl, para determinar se a massa presente na amostra estava de acordo com a colocada antes da mistura. Assim, a Tabela 10 apresenta as massas das membranas de vidro produzidas com a seleção das partículas em peneiras de 150 Mesh, antes e depois da remoção de sal:

Tabela 10 - Dados comparativos antes e depois do processo de fervura para o Caso II, com partículas selecionadas em peneiras de 150 Mesh.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa antes da fervura (g)	Massa depois da fervura (g)	Diferença das massas	Porcentagem da massa removida (%)
108	1	1,28	1,02	0,26	20,31
	2	1,31	0,98	0,33	25,19
	3	1,21	0,91	0,30	24,79
	4	1,29	1,12	0,17	13,18
	5	1,29	1,07	0,22	17,05
	Média	1,28	1,02	0,26	20,11

Fonte: Autoria própria (2017).

Para o caso da membrana produzida com partículas selecionadas em peneiras de 250 Mesh, os dados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Dados comparativos antes e depois do processo de fervura para o Caso II, com partículas selecionadas em peneiras de 250 Mesh.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa antes da fervura (g)	Massa depois da fervura (g)	Diferença das massas	Porcentagem da massa removida (%)
108	1	1,29	0,99	0,30	23,26
	2	1,30	1,02	0,28	21,54
	3	1,28	1,01	0,27	21,09
	Média	1,29	1,01	0,28	21,96

Fonte: Autoria própria (2017).

Observando os dados referentes a porcentagem, dos dois tipos de peneiras, é possível identificar que a quantidade de sal presente na membrana é muito aproximada ao início do processo, isso quer dizer que a distribuição de sal estava adequada. Ainda foi calculada a eficiência do processo de eliminação com o período de fervura, que foi de 4h. Para isso utilizou-se a equação (3).

As eficiências do processo calculadas foram de 80,5% e 87,9% para as peneiras de 150 e 250 Mesh, respectivamente.

Verifica-se, portanto, que a taxa de remoção de massa de sal foi efetiva, tanto para uma granulometria menor ou maior. Isso indica, que a possível compactação de grãos menores, de pó e sal, não influencia na remoção do Cloreto de Sódio.

4.3.5 Caracterização das membranas para o Caso II.

4.3.5.1 Análise de porosidade aparente e absorção de água.

Os valores que possibilitam o cálculo da densidade aparente e absorção de água, massa úmida, massa imersa e massa seca, além do cálculo da absorção de água, das membranas de vidro produzidas com a seleção das partículas em peneiras de 150 Mesh, estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12 – Porosidade aparente e absorção de água para Caso II, membranas de vidro produzidas com a seleção das partículas em peneiras de 150Mesh.

Membrana	Identificação	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa úmida (g)	Porosidade Aparente (%)	Absorção de água (%)
CASO II Mesh 150	1	1,12	0,72	1,28	28,57	50,00
	2	1,01	0,63	1,12	22,45	48,51
	3	1,24	0,58	1,50	28,26	74,19
	4	0,97	0,48	1,11	22,22	64,95
	5	1,14	0,51	1,29	19,23	68,42
	Média	1,10	0,58	1,26	24,15	61,22

Fonte: Autoria própria (2017).

Os valores das mesmas grandezas, obtidos para as membranas de vidro produzidas com a seleção das partículas em peneiras de 250 Mesh, estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13 – Porosidade aparente e absorção de água para Caso II, membranas de vidro produzidas com a seleção das partículas em peneiras de 250 Mesh

Membrana	Identificação	Massa seca (g)	Massa imersa (g)	Massa úmida (g)	Porosidade Aparente (%)	Absorção de água (%)
CASO II Mesh 250	1	0,99	0,39	1,20	25,93	81,82
	2	1,01	0,43	1,21	25,64	77,23
	3	1,02	0,41	1,22	24,69	79,41
	Média	1,01	0,41	1,21	25,42	79,49

Fonte: Autoria própria (2017).

A porosidade das membranas atingiu aproximadamente 25%, maior que as membranas do Caso I. Isso implica que, para uma filtração, existem muito mais poros na membrana que podem ser utilizados para filtrar. A absorção de água, nas membranas de vidro obtidas nas condições descritas para o caso II é bem maior que

a do Caso I, sendo assim perde-se um pouco da água no sistema, mas a filtração é realizada com maior eficiência.

4.3.5.2 Análise de eficiência das membranas.

4.3.5.2.1 Sistema de filtração.

Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema adaptado ao tamanho da membrana. Se comparada a outras membranas de seu tipo, as membranas produzidas no Câmpus Ponta Grossa da UTFPR são muito pequenas, tendo uma medida de aproximadamente 20 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. Dessa forma o sistema deveria comportar a membrana e permitir que uma microfiltração fosse realizada.

A montagem do um sistema, adapta um tubo Falcon, cortando-se sua parte afunilada e fazendo um furo na tampa, a fim de instalar ali a membrana. Com isso, é fácil colocar a membrana no lugar para a filtração e o tubo Falcon é um material que resiste a impactos mais elevados do que sistemas de vidro, devido a sua composição. Podendo ser observado o sistema completo na Figura 10.



Figura 10 - Sistema completo com tubo Falcon.

Fonte: Autoria própria (2017).

Para manter a membrana em seu devido lugar foram adicionados ímãs de neodímio, ímãs com grande poder de atração, prendeu-se então a membrana, colocando um ímã na parte interior da tampa e outro na parte exterior, com a membrana no meio. Na Figura 11 há o esquema do Tubo Falcon com a presença do ímã de neodímio:



Figura 11 –Tampa do tubo Falcon com o ímã de neodímio

Fonte: A autoria própria (2017).

Para melhor entender a ordem, a Figura 12, tem a representação esquemática da tampa do tubo Falcon com o ímã de neodímio.

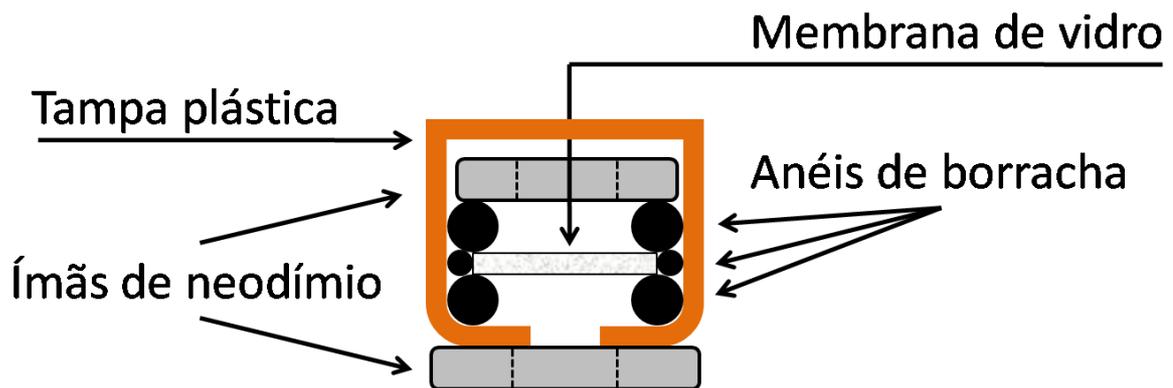


Figura 12 –Representação esquemática da tampa do tubo Falcon com o ímã de neodímio

Fonte: A autoria própria (2017).

Entretanto, a membrana iria ser muito compactada pelos ímãs e poderia quebrar. A solução proposta foi a colocar anéis de vedação antes, depois e em volta da membrana, para evitar a quebra e também possíveis caminhos preferenciais durante a filtração. Os anéis são demonstrados na Figura 13.



Figura 13- Anéis de vedação compactados.

Fonte: Autoria própria (2017).

Para realizar as microfiltrações e aumentar o poder de vazão da membrana, foi adaptado o sistema a um kitassato, para utilização da bomba de vácuo com uma vazão de ar de 37 L/min, que ajuda na diminuição de pressão dentro do kitassato, promovendo uma maior permeação de solução pela membrana, pois o sistema tenta entrar em equilíbrio com a pressão atmosférica.

A seguir, o sistema completamente separado, na Figura 14.



Figura 14- Sistema completamente separado, disposto em ordem.

Fonte: Autoria própria (2017).

4.3.5.2.2 Comparações entre as vazões das membranas.

As membranas de vidro, mesmo sendo idealizadas para realização de microfiltração a vácuo, também conseguem realizar uma microfiltração simples, ou seja, somente com a ação gravitacional. Entretanto, para fins de avanços mais rápidos nos estudos dos sistemas, apenas prosseguiu-se com microfiltrações à vácuo.

A medida de vazões para efeitos simples, ou seja, com a força motriz gravitacional, é muito importante para determinar qual a capacidade da membrana e comparar se entre elas, os poros estão mais seletivos ou não. Assim procedeu-se a medida de tempos de vazão, com diferentes quantidades de água para identificar qual a mais seletiva e qual a que permite uma maior vazão de água ou solução.

Os tempos medidos estão dispostos na Tabela 14.

Tabela 14 – Tempo de vazão de água das membranas de vidro.

Membrana	Quantidade de água (ml)	Tempo de filtração 1 (s)	Tempo de filtração 2 (s)	Tempo de filtração 3 (s)	Vazão de água 1 (L/hora)	Vazão de água 2 (L/hora)	Vazão de água 3 (L/hora)
CASO I	5	23	28	22	0,783	0,643	0,818
	10	48	53	45	0,75	0,679	0,8
	25	105	101	104	0,857	0,891	0,865
	50	193	191	189	0,933	0,942	0,952
	100	410	403	401	0,878	0,893	0,898
	Média					0,84	0,81
Caso II Mesh 250	5	554	561	548	0,032	0,032	0,033
	10	774	771	765	0,047	0,047	0,047
	25	1318	1390	1320	0,068	0,065	0,068
	50	1674	1643	1701	0,108	0,11	0,106
	100	2983	2901	3010	0,121	0,124	0,12
	Média					0,075	0,075
Caso II Mesh 150	5	248	233	255	0,073	0,077	0,071
	10	363	371	388	0,099	0,097	0,093
	25	728	753	714	0,124	0,12	0,126
	50	1267	1288	1232	0,142	0,14	0,146
	100	1793	1808	1740	0,201	0,199	0,207
	Média					0,128	0,127

Fonte: Autoria própria (2017)

Dessa forma é possível visualizar que as membranas do Caso II com 150 e 250Mesh tem uma vazão menor que a do Caso I. Isso ocorre, como já pensado no início, que a seleção granulométrica da fase não sinterizável influencia no tamanho de poros e conseqüentemente na seletividade da membrana e na vazão da mesma. Ainda não é algo completamente conclusivo, esperando-se que a realização da

microfiltração, demonstre uma maior retenção de partículas por parte das membranas do Caso II em relação as membranas do Caso I.

4.3.5.2.3 Sistemas analisados

Os sistemas que foram propostos inicialmente, deveriam ter uma alta massa molecular, ou tamanhos de partículas superiores aos poros presentes das membranas. Como no trabalho anterior (SOLTOVSKI; MAMORU, 2016) as estimativas eram de poros entre 10 μm e 20 μm , as membranas do Caso II provavelmente tem poros de tamanho menor ou igual aos apresentados no Caso I, mas é necessário ressaltar que neste trabalho não foi feito MEV para determinar o tamanho de poros das membranas do Caso II. Dessa maneira, selecionou-se um sistema com adição de pó de café à água, pois além de ter partículas grandes, o sistema tinha partículas facilmente identificáveis a olho nu.

O sistema montado para observação foi preparado diluindo-se aproximadamente 0,1 g de café em 50 ml de água destilada. O mesmo foi preparado e colocado em contato com as membranas, obtendo-se em todos os casos situações como ilustra a Figura 15 abaixo demonstra.



Figura 15 – Sistema com pó de café e água.

Fonte: Autoria própria (2017).

Para este sistema, houve sucesso na retenção de partículas maiores, mas para partículas como extratos e demais produtos em água, a membrana não foi

efetiva. Dessa filtração, um valor de 87% de massa foi retido sobre a membrana do Caso I, comprovado por gravimetria, enquanto o restante permeou a membrana ou foi perdida em preparo. Sistemas com maior quantidade de café para 50 ml foram testados, com problemas de filtração. Isso ocorreu principalmente pela saturação da região de contato da membrana com a suspensão. Dessa forma a membrana tem limitações para sistemas com altas concentrações, principalmente pelo entupimento dos poros apresentados.

Dois outros sistemas foram testados contra a membrana, porém sem sucesso satisfatório. O primeiro, composto por areia lavada em suspensão aquosa, levou a um acúmulo da mesma em torno dos anéis de vedação. Devido à massa considerável de cada partícula, bem como seu formato irregular, observou-se que o vácuo produzido pela bomba levava a danos aos anéis de vedação na forma de escoriações. Com o tempo, estes seriam prejudicados e o sistema poderia apresentar vazamentos. Além disso, assim que alguns grãos de areia conseguiram vencer a vedação, caminhos preferenciais eram criados, deixando o fluxo de permear a membrana.

O segundo sistema era composto por uma solução de albumina de ovo. Sua finalidade era testar a possível capacidade da membrana de reter macromoléculas. Esta solução, preparada previamente possuía partículas não dissolvidas, que foram totalmente retidas. Contudo, testes realizados com reagente de biureto (resultados não mostrados) revelaram praticamente a mesma concentração de albumina no permeado e na solução original. Este resultado sugere que mesmo sendo uma molécula de alta massa molecular e conseqüentemente de grandes dimensões, a albumina ainda é menor que os poros gerados. Por outro lado, este resultado foi de grande interesse para o projeto cedente da solução, visto que a membrana tornou a solução livre de partículas, tarefa anteriormente realizada por filtração em papel, a um alto custo de tempo.

4.4 PERSPECTIVAS FUTURAS

Destaca-se como perspectivas e sugestões para projetos futuros o sucesso do uso da membrana através de um sistema simples, porém eficiente de acoplamento da mesma através de anéis de borracha e imãs. Além de complementar os trabalhos anteriores, este trabalho possibilitou a expansão do conceito da membrana de vidro reciclado, tornando seu uso mais acessível e factível

em laboratórios que necessitem de um sistema de filtração de baixo custo. O uso de sal de cozinha no lugar do NaCl de grau analítico poderá reduzir ainda mais este custo.

A seleção granulométrica da fase não sinterizável mostrou-se altamente eficiente, sugerindo que membranas cada vez mais seletivas poderão ser criadas, bastando apenas o tratamento correto do sal (moagem e peneiramento).

Outros projetos dentro da UTFPR já fazem uso da membrana para tarefas diversas, a exemplo da clarificação da solução de albumina e a criação de um dispositivo secante para instrumentos musicais e eletrônicos, onde a membrana atua como barreira seletiva, permitindo a entrada de água, mas não a saída de um agente secante no interior de um tubo.

Assim, a microfiltração com a membrana e o aparato de filtração acabou sendo incorporado como procedimento a novas pesquisas, tornando-se um meio para chegar ao fim de uma outra pesquisa, abrindo portas para novas descobertas científicas.

Os aprendizados com a confecção dessa nova membrana serão utilizados nesses e em outros projetos, tanto como agente dessecante como a utilização da membrana e do aparato de filtração para a purificação de suspensões e soluções.

Finalmente destaca-se a abertura de um novo conceito de reaproveitamento de vidro, que será levado a empresas, escolas e outros centros de pesquisa, como uma forma inteligente de se retirar do ambiente um rejeito com alto tempo de degradação e ao mesmo tempo aproveitando suas características físico-químicas para uma demanda tão comum em laboratórios como a filtração.

5. CONCLUSÕES

Além de se buscar analisar a que tipos de sistemas a membrana se adapta, também desejou-se observar se no preparo da membrana era possível ter uma seletividade maior, por meio de uma seleção granulométrica da fase não sinterizável.

O que se pôde observar com os resultados apresentados é que a membrana se comportou de forma adequada em sistemas com micropartículas, atingindo o objetivo de separação de duas fases, uma sólida e uma líquida.

A membrana apresenta duas limitações. Uma delas já esperada, que era a de separação de tamanho de partículas, haveria um ponto, em que não seria mais

possível separar duas fases, pelo tamanho de poros da membrana. A segunda limitação se dá pelo fato da membrana de vidro ser incapaz de separar sistemas com altas concentrações, principalmente pela região de contato apresentada pela membrana com os seus poros.

Outro fato que merece destaque, neste trabalho, foi a capacidade de tornar a membrana mais seletiva, simplesmente realizando uma seleção granulométrica da fase não sinterizável, no caso NaCl. O procedimento adicionado, reduziu a vazão e conseqüentemente o aumentou o tempo de contato entre a solução e membrana. Isso ocorre principalmente pelo tamanho dos poros das membranas do Caso II.

Dessa forma a seleção granulométrica e análise da eficiência foram eficazes demonstrados no trabalho, sendo que se melhorou o processo de produção e identificou-se alguns casos práticos onde a membrana pode ser aplicada.

REFERÊNCIAS

1. **15 PAÍSES QUE DÃO LIÇÃO EM RECICLAGEM DE LIXO.** Disponível em:<<https://exame.abril.com.br/mundo/15-paises-que-dao-licao-em-reciclagem-de-lixo/>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2018.
2. ASSIS, Odílio B.G. **O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração.** Embrapa Instrumentação Agropecuária. Cerâmica 52, p. 105-113. S.Carlos, SP: 2006.BHAVE, Ramesh; Inorganic Membranes Synthesis, Characteristics And Applications. Van Nostrand Reinhold, USA, 1991.
3. HABERT, Alberto Cláudio; BORGES, Cristiano Piacsek; NOBREGA, Ronaldo. **Processos de separação por membranas.** Rio de Janeiro: E-papers Serviços editoriais, 2006.
4. KAUSHIK,N. **Membrane separation processes.** Vallabh Vidhyanagar, India: Prentice-Hall of India Private, New Delhi. 2008.
5. LIRA, Hércules de Lucena; SILVA, Maria Cristina Delgado da; VASCONCELOS, Maria Raphaella dos Santos; LIRA, Helio de Lucena; LOPEZ, Ana Maria Queijeiro. **Microfiltração do soro de leite de búfala utilizando membranas cerâmicas como alternativa ao processo de pasteurização.** Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/cta/v29n1/v29n1a06.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2017.
6. PAULA, Breno de; MORAES, Ingrid V. M.; CASTILHO, Carolina C.; GOMES, Flávia Dos Santos; MATTA, Virgínia Martins Da; CABRAL, Lourdes Maria Corrêa. **Melhoria na eficiência da clarificação de suco de maracujá pela combinação dos processos de microfiltração e enzimático.** B.CEPPA. v.22, n. 2, p. 311-324. Curitiba, PR: 2004.
7. MELO Jr, Priamo Albuquerque (Editor). **Fronteiras da Engenharia Química I.** Rio de Janeiro: E-papers Serviços editoriais, 2005.
8. MULDER, J.; **Basic Principles of Membrane Technology:** Kluwer Academic, 1991.
9. NOBLE, Richard D.; STERN, S. Alexander (Ed.). **Membrane Separation Technology: Principles and Applications.** Amsterdam: Elsevier, 1995.
10. RICHERSON, David W. **Modern Ceramic Engineering: properties, processing and use in desing.** Second Edition. New York: Marcel Dekker Inc, 1992.
11. **RADIOGRAFANDO A COLETA SELETIVA.** CEMPRE. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclosft/id/8>>. Acesso em: 19 abril de 2017.

12. SANTOS, L. R. B. dos. **Membranas para ultrafiltração a base de dióxido de estranho preparado pelo processo de sol-gel.** 1999. 217 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 1999
13. SARDELLA, Antônio; MATEUS, Edegar. **Curso de Química:** Ed.Ática, São Paulo/SP, 1995.
14. SCOTT, K; HUGHES; R. **Industrial Membrane Separation Technology:** Springer Netherlands, 1996.
15. SHAW, Duncan J.; **Introdução à Química dos Coloides e Superfícies:** Editora da Universidade de São Paulo, 1975.
16. SOLTOVSKI, Ramon; MAMORU, Willian. **Produção de membrana filtrante de vidro reciclado pelo processo de sinterização com posterior caracterização.** Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
17. ZAHID, A. **Reverse osmosis: membrane technology, water chemistry and industry applications.** London: Chapman & Hall, 1993.