

 10.46943/VII.CONAPESC.2022.01.037

# MEMBRANA CERÂMICA DE BAIXO CUSTO À BASE DE ARGILA E CONCENTRADO DE MAGNÉSIO PARA REMOÇÃO DO CORANTE RODAMINA B

## TATIANE MARIA DO NASCIMENTO

Mestranda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, [tatiane.nascimento@aluno.uepb.edu.br](mailto:tatiane.nascimento@aluno.uepb.edu.br) ;

## ANA BEATRIZ DE FRANÇA SILVA ARAÚJO

Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [beatriz.franca@eq.ufcg.edu.br](mailto:beatriz.franca@eq.ufcg.edu.br);

## EDILÂNIA SILVA DO CARMO

Doutoranda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [edilania.carmo@eq.ufcg.edu.br](mailto:edilania.carmo@eq.ufcg.edu.br);

## MEIRY GLAUCIA FREIRE RODRIGUES

Professora orientadora: Doutora, Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [meiry.freire@eq.ufcg.edu.br](mailto:meiry.freire@eq.ufcg.edu.br) ;

## RESUMO

As técnicas de separação por membranas vêm ganhando notoriedade para serem aplicadas no tratamento de efluentes, frente a outras técnicas essa se caracteriza por ter fácil adaptação a diferentes condições de operação. Visando a redução de custos, a aplicação de materiais mais econômicos ou subprodutos na síntese dessas membranas vêm ganhando grande destaque nos últimos anos. É nesse cenário que surgem os estudos das tecnologias de separação por membranas baseadas em materiais de baixo custo, neste caso específico uma argila brasileira. As indústrias têxteis são apontadas como um dos segmentos responsáveis pelo consumo desenfreado de água e conseqüentemente geram efluentes contaminados que serão, na maioria

das vezes, descartados de forma inadequada. Em sua maioria são contaminados por corantes que não se fixaram adequadamente nos tecidos e por isso precisam passar por um tratamento para que possam ser descartados de forma adequada na natureza seguindo as regulamentações dos órgãos ambientais. Este trabalho teve como objetivo central produzir membranas de baixo custo a partir de matérias primas brasileiras encontradas abundantemente em nosso país. Em seguida avaliar a aplicabilidade no tratamento de efluentes têxteis. A membrana de baixo custo foi preparada pelo método de compactação a seco uniaxial. Tanto a argila bofe quanto a membrana cerâmica de baixo custo foram caracterizadas por difração de raios X (DRX). Testes de Porosidade e permeação com água pura também foram utilizadas para caracterizar as membranas. Utilizando as condições operacionais de 25  $\mu$  e pressão de 1, 2 e 3 bar, o conteúdo de água pura permeada atingiu um fluxo na maior pressão de 137,46 L/m<sup>2</sup> h. A membrana apresentou resultado de remoção para o corante Rodamina B superior a 95 %, evidenciando o processo de separação por membrana cerâmica de baixo custo como uma tecnologia alternativa para o tratamento de corantes têxteis.

**Palavras-chave:** Argila Bofe, Concentrado de Magnésio, Membranas Cerâmicas, Tratamento de Efluentes, Corante Rodamina.

## INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (Abit), apesar da pandemia e do aumento de custos, a indústria têxtil e de confecção registrou crescimento de 20% em 2021, o que representa um faturamento de 194 bilhões de reais. A produção dos têxteis aumentou 12,1 %, a das confecções, 15,1 %, e o varejo de roupas, 16,9 (Abit,2022). No entanto, o alto número de produtividade industrial está ligado de forma diretamente proporcional ao alto fluxo de efluentes têxteis liberados no processo industrial.

Tem-se por efluente o termo utilizado para designar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades e processos. Quando associado a indústrias têxteis, os resíduos que persistem nas águas utilizadas no processo industrial são comumente chamados de efluentes têxteis, uma vez que não possuem mais as propriedades originárias da água podendo apresentar inclusive alteração de cor. Existem algumas regulamentações definidas por um órgão que realiza a fiscalização de tais efluentes distinguindo os padrões necessários para o descarte efetuada de maneira adequada. O órgão em evidência é o CONAMA com resolução nº430 de 13/05/2013. (CONAMA, 2011)

Dentre as formas de realizar o tratamento de efluentes industriais os processos se dão em três maneiras principais: físicos, biológicos e químicos. Nos processos físicos ocorrem por meio de decantação, graduação, peneiramento, filtração entre outros. Quando ocorre a utilização de processos biológicos a remoção dos sólidos é realizada por meio da aceleração dos processos da natureza utilizando organismos biológicos. O tratamento de efluentes por meio de processos químicos são os que utilizam agentes de coagulação, neutralização de pH, oxidação ou floculação, entre outros, para agilizar o tratamento, esse processo consegue remover os tóxicos por meio de reações químicas.

Uma parte essencial nas atividades presente na indústria têxtil é a etapa de tingimento dos fios, quanto aos corantes mais utilizados para esse fim destacam-se os reativos que a partir do grupo eletrofílico é capaz de formar ligações covalentes com grupos hidroxilas das fibras celulósicas.

Nesse contexto, a indústria têxtil possui um processo de produção que consome mais água do que qualquer outra indústria e como consequência gera um elevado volume de efluente que em decorrência das etapas produtivas contém uma grande concentração de produtos químicos como ácidos, surfactantes, corantes, entre outros (Holkar, 2016).

Da mesma forma, processos industriais que utilizam grandes volumes de água contribuem significativamente com a contaminação dos corpos d'água,

principalmente pela ausência de sistemas de tratamento para os grandes volumes de efluentes líquidos produzidos. Dentro deste contexto, uma importante parcela do processo de contaminação pode ser atribuída às atividades das refinarias de petróleo, indústrias químicas, têxteis e papelarias. (FREIRE, 2000)

Os Efluentes Industriais – oriundos dos mais diversificados processos de industrialização; tem sido, historicamente, um importante fator de degradação ambiental. O despejo de efluentes industriais, tanto nos corpos d’água quanto na rede de esgoto a ser tratada, sem o devido tratamento prévio, provoca sérios problemas sanitários e ambientais. Os principais poluentes de origem industrial são os compostos orgânicos e inorgânicos, especialmente os metais pesados. (ARCHELA, 2003)

A contaminação química da água a partir de uma ampla gama de poluentes orgânicos e inorgânicos, tais como metais tóxicos, BTEX, HPA’s, ânions, entre outros, desencadeou a necessidade de desenvolver tecnologias no intuito de remover esses poluentes encontrados em resíduos líquidos e gasosos. Essas substâncias, encontradas em quantidades traço, geralmente oferecem resistência a métodos de degradação biológica ou não são removidos efetivamente por métodos de tratamento físico-químicos. (NASCIMENTO et. al., 2014)

Os corantes são resíduos de indústrias de papel, têxteis, plástico e gráficas, e a presença destes compostos em águas de abastecimento e efluentes é prejudicial à biota aquática devido seus produtos de degradação estarem relacionados à toxicidade e mutação desta biota, além de possuírem propriedades recalcitrantes e serem visualmente indesejáveis nos corpos d’água (Yanan et al., 2011; Mezohegyi et al., 2012;)

A Rodamina B (RB) consiste em um corante amplamente utilizado no tingimento de pedras semipreciosas, é um corante catiônico pertencente à família dos compostos orgânicos xantenos (estrutura básica) sendo sua fórmula molecular (C<sub>28</sub>H<sub>31</sub>N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Cl), altamente luminescente com emissão no intervalo de comprimento de onda de 580 – 600 nm, devido a sua propriedade espectroscópica tem sido utilizado como sensores para matéria orgânica, gases, ânions e cátions. (SOUZA et. al, 2020).

Para que haja uma remoção eficiente de corantes no tratamento de águas residuais são utilizados vários métodos e dentre eles se encontra a utilização de separação por membrana pode ser considerada uma técnica ligada a química verde e muito eficiente, pois a separação é baseada no mecanismo de peneiramento, fato que torna os processos de membrana relativamente mais adequados para a maioria das águas residuais industriais (CAO, X. et al, 2020).

Este processo conta também com a eficiência econômica pois os processos de membrana são reconhecidos como técnicas relativamente econômicas, principalmente devido à baixa demanda de reagentes químicos além do baixo consumo de energia (ACHIOU, B. et al., 2017). As membranas de baixo custo são muito utilizadas por vários pesquisadores pesquisadores com o uso de argilas de baixo custo, como argila in natura, argila marroquina, argila tunisiana, argila sepiolita, argila argelina, dolomita e caulim (MESTRE et al 2019).

O processo que ocorre ao final da fabricação de membranas e de outras estruturas à base de materiais cerâmicos é chamado de sinterização. A temperatura de sinterização tem influencia direta na escolha desse material, uma vez que são mais baixas se comparado com os materiais de óxido de metal – alumina, sílica, zircônia, entre outros – e tem também um bom desempenho de fluxo para tratar grandes volumes de efluentes líquidos (HOFS et al., 2011).

De modo geral, a temperatura de sinterização utilizada corresponde a um valor excedente a dois terços da temperatura de fusão do material. Esta temperatura é suficiente para que ocorra a difusão dos átomos, para o caso de sinterização em estado sólido, ou o fluxo através de um líquido presente na estrutura do material cerâmico, no caso da sinterização em fase líquida. ( LI, 2007).

Além da temperatura de sinterização a percentagem utilizada na composição da membrana influencia diretamente nas propriedades da mesma, podendo obter variações de porosidade e de resistência mecânica, e como consequência os fluxos de passagem podem ser reduzidos e a membrana pode ser romper com mais facilidade.

A maioria das membranas cerâmicas são produzidas por óxidos, como por exemplo, óxido de alumínio, de zircônia e de titânio. Esses óxidos são materiais nobres que encarecem a produção da membrana. Porém, a literatura tem reportado resultados satisfatórios para a aplicação a que se destina a membrana fabricada com argilas. (SILVA, 2014)

Dentre as opções de matéria prima no que se refere a argilas, a argila esmectita se destaca por ser uma das mais baratas disponíveis no Brasil. A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecida com água, certa plasticidade; quimicamente, as argilas são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio; (SOUZA SANTOS, 1992).

Este trabalho tem por objetivo geral a sinterização de membranas de baixo custo a partir da argila brasileira do grupo Esmectita da classificação Bofe e em seguida avaliar sua eficiência no processo de remoção do corante Rodamina B.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Desenvolvimento de Novos Materiais (LABNOV), localizado na Unidade Acadêmica de Engenharia Química, no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande (UAEQ/CCT/UFCG).

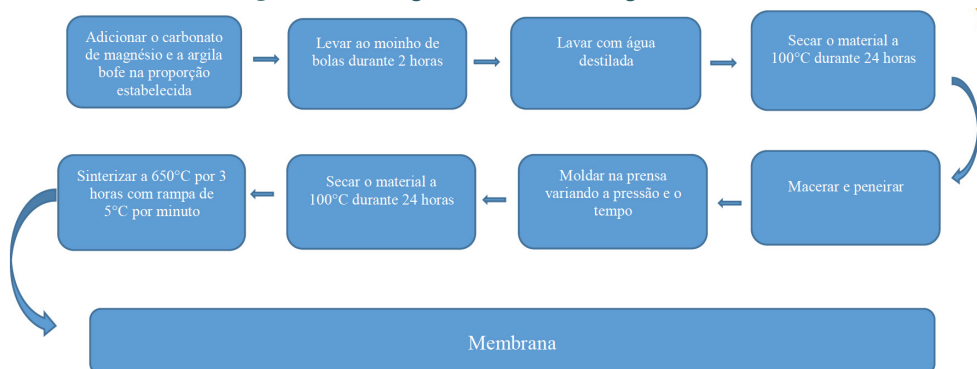
A matéria – prima utilizada foi a argila bofe in natura, fornecida pela empresa Betonisa – Bentonita do Nordeste S.A., situada no município de Boa Vista, Paraíba, Brasil, amido de milho e Carbonato de magnésio fornecida pela empresa RHI MAGNESITA S.A. seguindo uma proporção arbitrária. Não foram realizados procedimentos anteriores para preparar a matéria prima antes do processo de produção das membranas. A matéria-prima foi utilizada sem purificação adicional. Para a preparação das membranas a argila bofe in natura foi misturada com o carbonato de magnésio em uma proporção de 65% de argila bofe, 20% magnesita, 10% amido e 5% caulim, sem que fosse feito nenhum procedimento anteriormente na argila, a mistura foi conduzida ao moinho de bolas por um período de 2 horas.

As bolas foram lavadas com água destilada a fim de obter maior aproveitamento do material. Em seguida submetidos a secagem à 100 °C por um período de 24 horas. Em seguida foi necessário macerar e peneirar, novamente utilizando uma peneira de 150 mesh. Para cada membrana foi utilizado 3 gramas da etapa anterior, essa quantidade foi então prensada em um molde para produção de membranas em disco, que ao final do processo tem 4 mm de espessura e 22 mm de diâmetro, por 2,5 toneladas e 1 minuto. Essas membranas são secas a 100 °C por 24 horas para retirar a umidade nela presente. Por fim as membranas foram sinterizadas à 650 °C durante 3 horas em um forno mufla com rampa de aquecimento de 5 °C/min. Ao fim desse processo as membranas são submetidas aos processos de caracterização. Segue abaixo através do fluxograma detalhado na fig.1 o procedimento metodológico.

Adicionar o carbonato de magnésio e a argila bofe na proporção estabelecida

Sinterizar a 650°C por 3 horas com rampa de 5°C por minuto

Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: O autor (2022).

O aparelho utilizado na difração de raios X (DRX) é da marca Shimadzu XRD-6000 com radiação  $\text{CuK}\alpha$ , tensão de 40 KV, corrente de 30 mA, tamanho do passo de  $0,020\ 2\theta$  e tempo por passo de 1 s, com velocidade de varredura de  $2^\circ(2\theta) / \text{min}$ , com ângulo  $2\theta$  percorrido de  $2$  a  $50^\circ$ . Onde uma amostra é compactada em um suporte e em seguida realiza-se a incidência de raios X.

O corante Rodamina foi utilizado nas seguintes condições: Concentração inicial da solução de 12,51 mg/L, Temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e pressão de 2 bar. O projeto foi avaliado durante um período de 60 minutos. A determinação dos fluxos e o coeficiente de rejeição foram obtidos através das Equação 1 e 2, respectivamente:

$$J = \frac{v}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

$$\% R = \left( \frac{c_t - c}{c_t} \right) * 100 \quad (2)$$

Na análise de resistência mecânica foram utilizadas as seguintes especificações, força aplicada de 13,79 N e uma célula de carga de 22KgF a uma distância de 15 mm e velocidade de 0,5 mm/min. A partir dos resultados obtidos na caracterização torna-se possível calcular também o raio de poros da membrana. A equação utilizada é a equação de Guerout-Elford-Ferry:

$$r = \sqrt{\frac{(2,9 - 1,75\varepsilon) 8\eta h Q}{\varepsilon A \Delta P t}} \quad (3)$$

$$J = \frac{Q}{At} \quad (4)$$

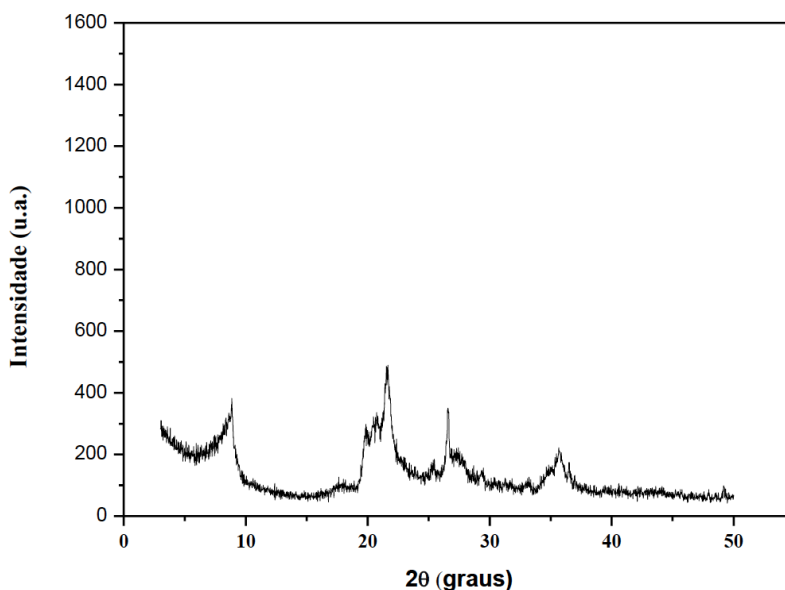
O que fornece a equação (3),

$$r = \sqrt{\frac{(2,9-1,75\varepsilon)8\eta h}{\varepsilon \Delta P} * J} \quad (5)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A DRX para a membrana formada revelou a confirmação dos picos característicos referente a argila bofe como constituinte dessa membrana. A qual pode ser observada ao comparar a fig.2 correspondente ao resultado da DRX e a fig.3 correspondente ao DRX da argila Bofe in natura segundo a literatura.

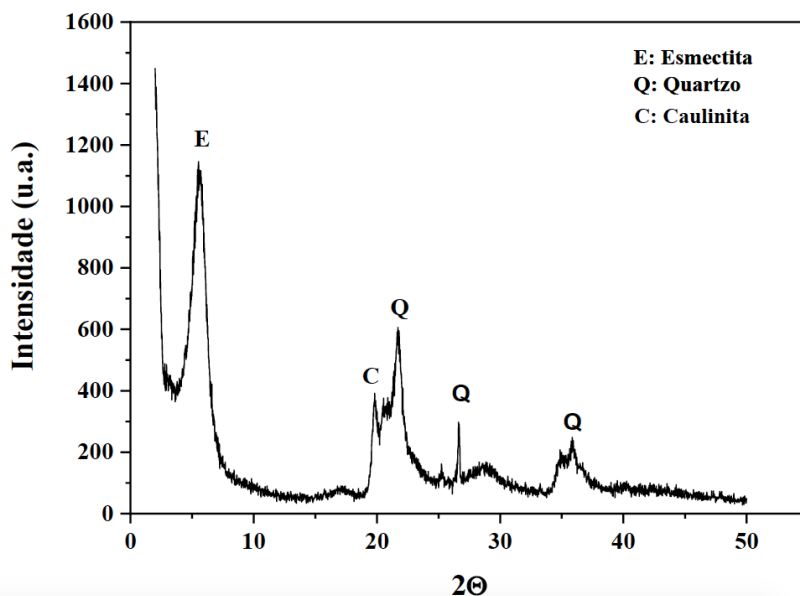
**Figura 2-** Difratoograma da membrana sintetizada



**Fonte:** Autor (2022).



**Figura 3** – Difratoograma Argila Bofe in natura



**Fonte:** CUNHA;MOTA;RODRIGUES (2014).

A partir dos resultados obtidos de caracterização pôde-se perceber na análise de difração de raios X, que a argila Bofe é formada basicamente pelo argilomineral esmectita. CUNHA; MOTA;RODRIGUES (2014). Ao realizar a comparação, pode-se depreender que a argila bofe in natura é a matéria prima deste trabalho por apresentar os picos associados ao grupo da esmectita (E) que aparece em aproximadamente 5,6 ° e corresponde ao espaçamento basal (d001) de 17,5 Å equivalente à 1,75 nm, que é característico de uma montmorilonita hidratada. Observam-se também outros picos que são referentes a mineral não esmectítico como o quartzo que se apresenta como impureza. (CHOY et al., 1997; SHEM, 2001; SOUZA, MOTA e RODRIGUES, 2012).

Ainda em relação a comparação do difratograma da argila Bofe in natura com o difratograma da membrana sinterizada, observamos os mesmos picos característicos de esmectita, quartzo e caulinita, indicando que a maior parte da membrana, é constituída da argila em questão.

A tabela 1 nos mostra as propriedades da membrana seguindo as condições em que foram sintetizadas.

**Tabela 1** – Propriedades da membrana de baixo custo: porosidade e diâmetro de poros

Membrana	Tsint. (°C)	Porosidade (%)	Diâmetro de poros (µm)	Referências
Argila bofe + Magnesita + Amido + Caulim	650	48,24	0,069	Este trabalho

**Fonte:** Autor (2022).

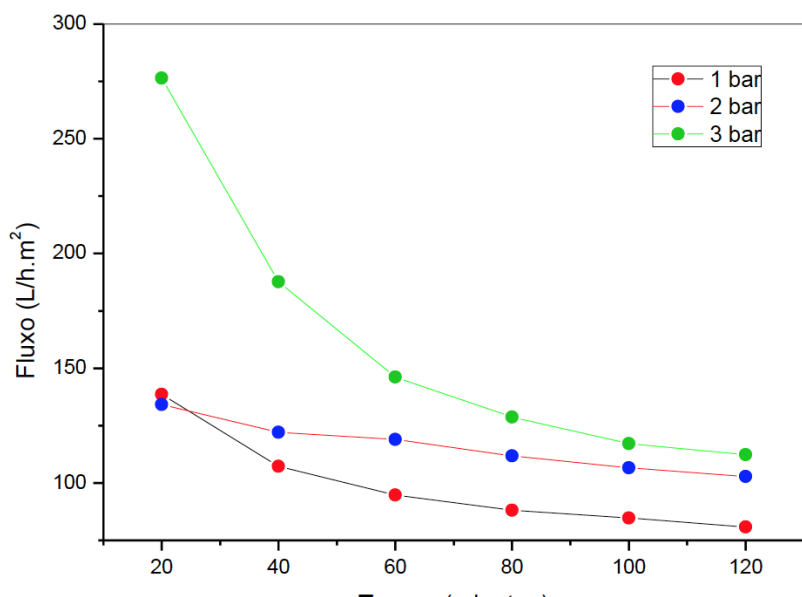
Analisando os dados que foram tabelados, verifica-se que as condições de preparação da membrana quanto a sua composição, método de preparação e sinterização são essenciais para determinar as características e propriedades da membrana formada. É importante também levar em consideração que os valores de porosidade e diâmetro dos poros foram elevados devido a presença do amido que atua como um agente formador de poros.

A presença de poros em cerâmicas é decorrente das condições de processamento empregadas e pode ter consequências positivas ou não em relação ao desempenho desses materiais. (VASCONCELOS, 1997). Em relação ao comportamento mecânico, embora a porosidade controlada seja essencial para as funções como membranas, a presença de poros comumente implica em diminuição da resistência mecânica e módulo elástico. (PRADO,2014).

Para averiguar as propriedades da membrana, primeiro é realizado a passagem de um fluxo de água destilada pela mesma a fim de se obter os dados de porosidade e as propriedades características da membrana formada. O teste foi realizado nas três variações de pressão a 1 bar, 2 bar e 3 bar durante o mesmo período de sinterização de 3 horas.

O fluxo de água na pressão de 1 bar apresentou um fluxo médio de 91,46 L/h.m<sup>2</sup>. Ao utilizar o fluxo de água na pressão 2 bar, o fluxo médio obtido foi de 115,45 L/h.m<sup>2</sup> e ao realizar o fluxo de água na pressão 3 bar foi alcançado um fluxo médio de 137,46 L/h.m<sup>2</sup>. As curvas de fluxo de água destilada pura para a membrana de baixo custo estão apresentadas na fig.4 levando em conta as condições experimentais.

**Figura 4-** Fluxo de água em função do tempo. Condições experimentais: Submetido a variação de pressão de 1, 2 e 3 bar durante 120 minutos cada a temperatura de 25°C.



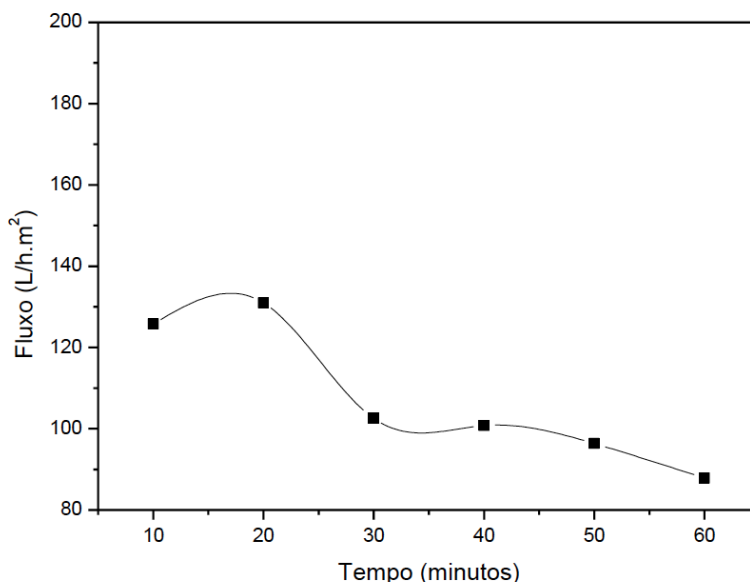
**Fonte:** Autor (2022).

Após verificado as propriedades da membrana através da passagem do fluxo de água destilada de acordo com a variação da pressão, foi determinada a pressão ideal para ser utilizada no processo de remoção do corante, o fluxo tratado neste trabalho foi realizado na pressão de 2 bar.

Para averiguar qual a pressão a ser utilizada é verificado em qual das mesmas apresentou o melhor fluxo em L/h.m<sup>2</sup>. Observando os fluxos médios, identificamos que na pressão de 3 bar foi obtido o melhor resultado, no entanto, nessa pressão a membrana rachou indicando que não é vantajoso trabalhar em uma pressão tão alta que não preserve as propriedades da membrana, devido isto a pressão utilizada no fluxo do corante foi de 2 bar que resultou no segundo melhor resultado de fluxo sem interferir nas propriedades da membrana.

Ao realizar a passagem do fluxo do corante Rodamina B pela membrana sinterizada, na pressão 2 bar, foi alcançado um fluxo médio de 101,64 L/h.m<sup>2</sup>. A sequência dos fluxos na pressão determinada está apresentada na fig. 5.

**Figura 5:** Fluxo do corante a 2 bar na membrana.



**Fonte:** Autor (2022).

Para encontrar o valor mais adequado de remoção de corante foi realizado em seis pontos distintos a passagem de fluxo do corante pela membrana e encontrado uma média em relação a porcentagem de remoção, segundo o qual foi constatado uma eficiência média de 97% de remoção do corante, o que podemos observar na tabela 2.

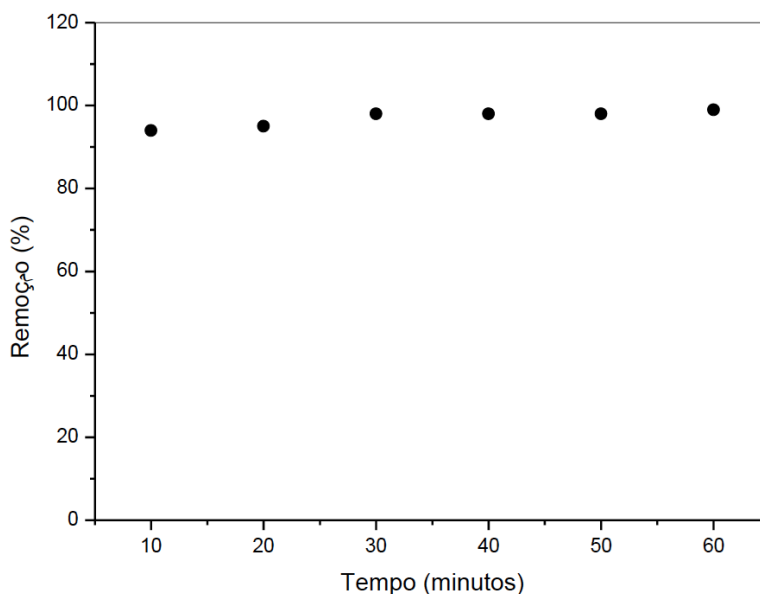
**Tabela 2:** Eficiência na remoção do corante na pressão de 2 bar

	Concentração (mg/L)	Remoção (%)
<b>Solução</b>	12,51	-
<b>Ponto 01</b>	0,690	94
<b>Ponto 02</b>	0,650	95
<b>Ponto 03</b>	0,300	98
<b>Ponto 04</b>	0,230	98
<b>Ponto 05</b>	0,210	98
<b>Ponto 06</b>	0,150	99
<b>Média</b>		97,029

**Fonte:** Autor (2022).

Podemos podemos averiguar o resultado da remoção do corante ao plotar o gráfico de Remoção X Tempo, na figura 5 .

**Gráfico 5:** Eficiência na remoção do corante na pressão de 2 bar



**Fonte:** Autor (2022).

A sinterização de uma membrana a 650 °C é de uma grande eficiência econômica fazendo com que esta membrana que já é de baixo custo devido a argila Bofe utilizada em sua produção possuir um baixo valor de mercado devido sua abundância, tenha seu custo ainda mais reduzido devido o fator temperatura que otimiza o processo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultado obtidos com a análise do DRX da membrana pôde-se perceber que a membrana sinterizada é composta pela argila Bofe e possui a Esmectita como base de sua formação, além de quartzo e caulinita.

Para os resultados relacionados á remoção do corante Rodamina B, foi identificado um fluxo médio de 101,64 L/h.m<sup>2</sup> , na pressão 2 Bar e alcançando um percentagem média de remoção de 97%, mostrando um resultado eficiente de remoção e alcançando os objetivos pretendidos do trabalho.

Com base nos resultados apresentados conclui-se que a utilização da argila Bofe como matéria-prima na sinterização da membrana de baixo custo produzida pode ser utilizada no tratamento de efluentes industriais e águas residuais e se mostra promissora como adsorvente no tratamento de efluentes sintéticos.

## REFERÊNCIAS

ACHIOU, B.; ELOMARI, H.; BOUAZIZI, A.; KARIM, A.; OUAMMOU, M.; ALBIZANE, A.; BENNAZHA, J. ALAMI YOUNSSI, S.; AMRANI, I.E. EL. **Manufacturing of tubular ceramic microfiltration membrane based on natural pozzolan for pretreatment of seawater desalination**, Desalination, v. 419, p. 181-187, 2017.

ARCHELA, Edson et. al. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos**. Geografia, v. 12, n. 1. Londrina, 2003.

CAO, X.; YAN, Y.; ZHOU, F.; SUN, S. **Tailoring nanofiltration membranes for effective removing dye intermediates in complex dye-wastewater**, Journal of Membrane Science, v. 595, p. 117476, 2020.

CUNHA, R.S.S.; MOTA, J.D.; RODRIGUES, M.G.F. **Remoção de substâncias tóxicas (Pb<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup>) em água utilizando a argila esmectítica bofe natural como adsorvente**. 58<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Cerâmica 18 a 21 de maio de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 maio de 2011.

FREIRE, Renato et al. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas**. Química nova, São Paulo, agosto de 2000.

HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B.A. **Critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches**. Elsevier, v. 182, 351-366, 2016.

HOFS, B.; OGIER, J.; VRIES, D.; BEERENDONK, E. F.; CORNELISSEN, E. R. **Comparison of ceramic and polymeric membrane permeability and fouling using surface water.** Separation and Purification Technology, v. 79, p. 365–374, 2011.

LI, K. **Ceramic Membranes for Separation and Reaction.** Department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College London, UK, John e Wiley & Sons, Ltd, p.306, 2007.

LOPES, Thiago Santos De Almeida et al.. **Biorreatores de membrana aplicados ao tratamento de efluentes: características e aspectos importantes.** Ciência se faz com pesquisa. Campina Grande: Realize Editora, 2021. p. 315-331

MESTRE, S.; GOZALBO, A.; LORENTE-AYZA, M. M.; SÁNCHEZ, E. **Low-cost ceramic membranes: A research opportunity for industrial application.** Journal of the European Ceramic Society, v. 22, p. 175-187, 2019.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira et. al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Editora UFC, Fortaleza, 2014.

Novello, D. **Indústria têxtil e de confecção registra crescimento de 20% e fatura 194 bilhões de reais em 2021.** Fashion Network. São Paulo, 2 de fev. de 2022.

PRADO, G.G.; **Projeto e Caracterização de Membranas Cerâmicas utilizando microfibras como precursoras de porosidade.** Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Projeto Mecânico- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

**Perfil do setor.** Abit têxtil e confecção, São Paulo, fevereiro de 2022.

SILVA M. C.; LIRA H. L.; SILVA F. N.; FREITAS N. L. **Utilização de Matéria-prima Natural de Baixo Custo na Obtenção de Membrana Cerâmica Assimétrica Tubular para Aplicação em Processos de Microfiltração.** Cerâmica Industrial, 19 de agosto, 2014.

SOUZA et.al. **Incorporação de Rodamina B em membrana de poliamida pelo método de adsorção.** Quim. Nova, Vol. 44, No. 2, 154-160, 2021. Campinas – SP,

Brasil, Recebido em 04/08/2020; aceito em 19/10/2020; publicado na web em 11/11/2020.

SOUZA R. S.; MOTA, J. D.; RODRIGUES, M. G. F. **Synthesis and characterization of organophilic clay bofe using quaternary ammonium salt dodigen.** IPMM 7th International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials, Foz do Iguaçu, Brazil, 2012.

SOUZA SANTOS, P. **Ciência e Tecnologia de Argilas.** 2a Ed; São Paulo: Edgard Blücher. v. 2, 1992.

YANAN, D.; YANLEI, S.; WENJUAN, C.; JINMING, P.; YAN, Z.; ZHONGYI, J. **Ultrafiltration Enhanced with Activated Carbon Adsorption for Efficient Dye Removal from Aqueous Solution.** Chinese Journal of Chemical Engineering, v. 19, pg. 863-869, 2011