

## MEMBRANAS CERÂMICAS DE BAIXO CUSTO: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO NA ARGILA CHOCOBOFE

Edilânia Silva do Carmo <sup>1</sup>  
Juliana Araújo Marques França <sup>2</sup>  
Meiry Glauca Freire Rodrigues <sup>3</sup>

### RESUMO

Um dos maiores desafios da sociedade moderna é a qualidade da água. As membranas possuem um papel cada vez mais importante no enfrentamento desse desafio. Os principais motivos do avanço da tecnologia de separação por membranas estão no fato de que essas membranas trabalham com o uso relativamente baixo de energia. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi produzir membranas de baixo custo, utilizando matéria-prima de baixo custo (argila chocobofe) utilizando as argilas sem calcinar e calcinada. Além disso, a utilização da baixa temperatura de sinterização (650 °C) com a finalidade de reduzir o custo de preparação. As membranas cerâmicas foram produzidas, via compactação a seco uniaxial com diâmetro de 22 mm e 4 mm de espessura. Para a produção da membrana cerâmica designada MAN, foi utilizada a argila chocobofe sem calcinar. A argila chocobofe em sua forma natural passou por um tratamento térmico sob temperatura de 350 °C com o objetivo de analisar a influência da argila tratada termicamente nas características da membrana cerâmica. A produção da membrana cerâmica nomeada MAT, foi utilizada a argila chocobofe calcinada a 350 °C. A argila foi caracterizada por difração de raios X e espectrofotometria de raios X por energia dispersiva. As membranas foram caracterizadas por DRX, Resistência Mecânica, Porosidade e medidas de Fluxo de Água Pura. A estabilidade térmica é uma propriedade importante da argila que deve ser considerada, neste sentido investigar as modificações após o tratamento térmico é importante. A influência da calcinação na argila chocobofe teve uma influência negativa na resistência mecânica da membrana, uma vez que a partir dos resultados, observou-se que a resistência mecânica da membrana cerâmica MAN (15,4 MPa) foi superior a resistência mecânica da membrana cerâmica MAT (8,4 MPa).

**Palavras-chave:** Membrana cerâmica, baixo-custo, argila chocobofe, tratamento térmico, sinterização a baixa temperatura.

---

<sup>1</sup> 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);

<sup>2</sup> Doutoranda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina grande - UFCG, [Julianamarquesquimica@gmail.com](mailto:Julianamarquesquimica@gmail.com);

<sup>3</sup> 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)

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, pesquisas estão sendo desenvolvidas para obtenção de membranas de baixo custo, eficientes e economicamente viáveis para aplicabilidade em inúmeros setores industriais (ELOMARI et al 2016).

A membrana cerâmica de baixo custo geralmente consiste de um suporte simétrico, aplicado no processo de microfiltração em alguns casos, os suportes servem como um substrato no qual uma ou mais camadas são aplicadas, cuja composição pode ser também com base em matérias-primas de baixo custo (argilas, feldspatos, etc., ou até mesmo resíduos) ou em matérias-primas normalmente usadas para obter camadas seletivas (alumina, titânia, zircônia, etc.). Na literatura é possível encontrar uma grande variedade de matéria prima de baixo custo que pode ser aplicada na obtenção de membranas cerâmicas, dentre elas estão as argilas e o caulim (BELIBI et al., 2015; ELOMARI et al., 2015; JANA et al., 2010). Algumas membranas preparadas com argilas apresentam desvantagens, como baixa porosidade, poros de tamanhos pequenos ou alta retração de sinterização, como resultado da existência de minerais ou impurezas em sua composição (MESTRE et al., 2019).

As membranas são de extrema importância para a tecnologia de separação, uma vez que são processos rentáveis quando otimizados, dispensam a utilização de produtos químicos, operam à temperatura ambiente, são relativamente simples, possuem fácil utilização e podem ser aplicados na separação de ambas as misturas de líquidos e gases (ZAWRAH et al., 2014). Com isso, estão sendo cada vez mais usadas em muitos setores econômicos, pois além dessas características, possuem estabilidade química e térmica, resistência mecânica, vida longa e pouco impacto da poluição no meio ambiente (COLLE et al., 2011; ELOMARI et al., 2015).

O Laboratório de Desenvolvimento de Novos Materiais/UFMG tem desenvolvido diversos trabalhos sobre a produção de membranas e em particular, membranas a partir de fontes alternativas, conforme divulgado na literatura (BARBOSA; BARBOSA; RODRIGUES, 2018; BARBOSA; DO CARMO; RODRIGUES, 2019; SILVA et al., 2017; SILVA et al., 2020; DO CARMO et al., 2020).

Portanto, processos de baixo custo deve ser investigados para realizar o tratamento de efluentes, uma vez que se trata de uma prática acessível e sustentável. As argilas são uma possível fonte de materiais de baixo custo e com excelentes características adsorventes.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo investigar a influência de calcinação da argila chocobofo na produção das membranas cerâmicas utilizando matéria prima de baixo custo.

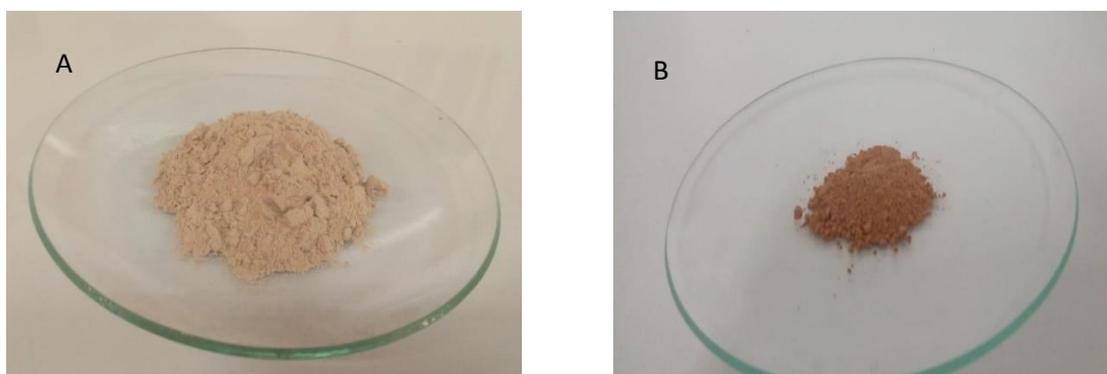
## MATERIAIS E MÉTODOS

A argila chocobofo foi fornecida pela empresa BENTONISA, Bentonita do Nordeste S.A., situada no município de Boa Vista, estado da Paraíba, Brasil

### *Ativação térmica da argila chocobofo*

A Figura 1 mostra a argila chocobofo in natura (1A) e ativada termicamente (1B)

**Figura 1.** Argila chocobofo in natura (A) e ativada termicamente a 350°C (B)



Fonte: Própria (2021)

A argila foi passada em peneira ABNT# 150 e em seguida foi submetida a ativação térmica em forno mufla nas seguintes condições: temperatura de 350 °C com taxa de aquecimento de 5 °C.min<sup>-1</sup>, tempo de 1 hora, massa de 10 g.

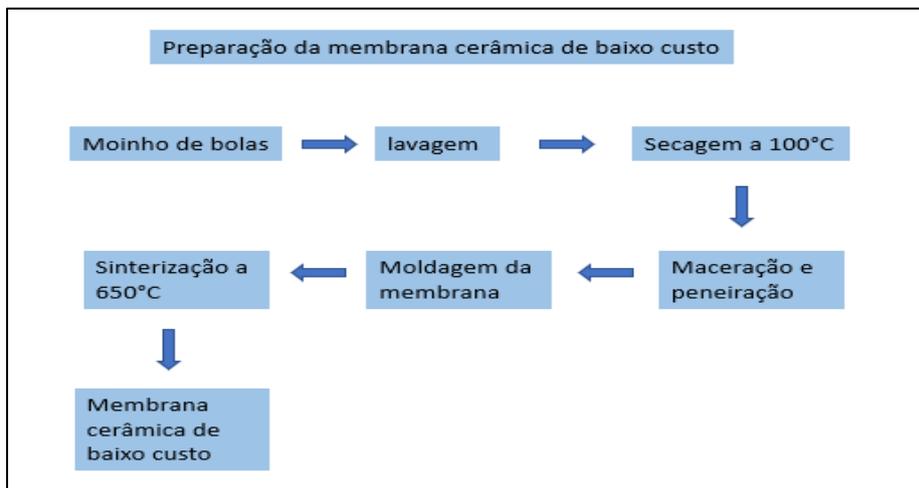
### *Preparação da membrana cerâmica*

A argila *in natura* chocobofo juntamente com amido de milho industrializado foi conduzida a um moinho de bolas durante 1 hora para sua homogeneização. Após esse tempo, as bolas foram lavadas com água destilada para retirada dos materiais, e em seguida a amostra foi conduzida para secagem em estufa a 100 °C até total remoção da água. Após o processo de secagem o sólido foi macerado e passado por uma peneira ABNT# 150. Por fim, a amostra foi pesada e colocada em um molde de aço inoxidável e prensado com 5 toneladas por 2 minutos dando origem a membrana plana tendo configuração na forma de disco com 22 mm de diâmetro e 4 mm de espessura. A membrana foi sinterizada em forno mufla a 650 °C sob uma taxa de aquecimento de 5 °C.min<sup>-1</sup> durante 1 hora. Essa membrana produzida foi nomeada MAN.

O mesmo procedimento foi realizado utilizando a argila ativada termicamente a 350 °C. Essa membrana produzida foi designada MAT.

A Figura 2 apresenta um diagrama sobre o processo de produção da membrana cerâmica de baixo custo.

**Figura 2.** Diagrama do processo de produção de membrana cerâmica de baixo custo.



Fonte: Própria (2021)

## Caracterização Difração de raios X

Neste trabalho foi utilizado o método de varredura que consiste na incidência dos raios X sobre a amostra em forma de pó, compactada sobre um suporte. O aparelho utilizado 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 em  $2\theta$  e tempo por passo de 1,0 s, com velocidade de varredura de  $2^\circ(2\theta)/\text{min}$ , com ângulo  $2\theta$  percorrido de 2 a  $50^\circ$ .

## Porosidade

A porosidade foi determinada de acordo com os “Métodos padrão de teste do desempenho do sorvente de porosidade” (ASTM C 20 (2000)).

O ensaio foi realizado utilizando réplicas para cada formulação. Após a obtenção da massa seca, imersa e úmida, dos corpos cerâmicos, foi possível calcular a porosidade aparente utilizando a Equação 1 abaixo.

$$PA = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:  $M_u$  = massa úmida;  $M_s$  = massa seca;  $M_i$  = massa imersa

## Resistência mecânica

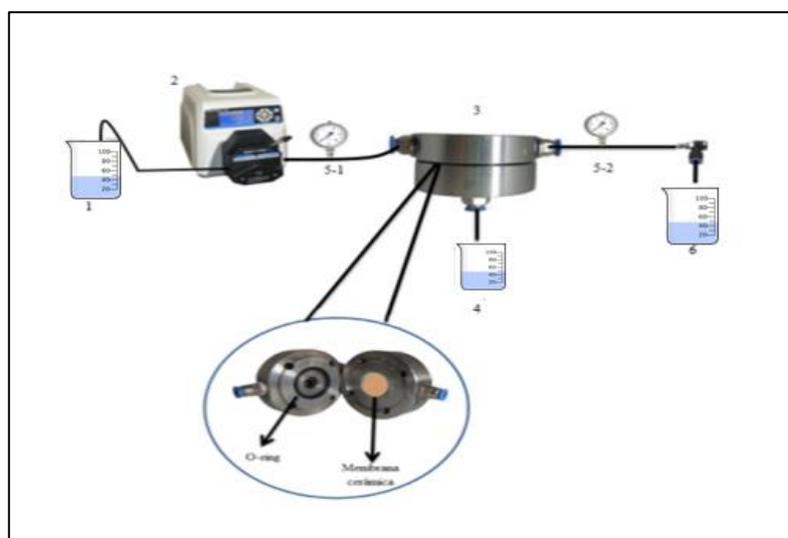
Um ensaio de compressão diametral foi usado para avaliar a resistência à tração da membrana cerâmica de baixo custo. Uma dimensão de amostra de 22 mm x 4 mm (diâmetro

xespessura) foi usada para garantir que as amostras foram testadas em condições de tensão plana.

### Medidas de fluxo de água

A Figura 3 apresenta o sistema utilizado para medições de fluxo de água pura através das membranas cerâmicas em função do tempo. Um módulo de aço inoxidável foi usado nos experimentos. A área efetiva da membrana no módulo foi de  $3,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ . Os experimentos foram realizados a temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Figura 3.** Sistema utilizado para medições de fluxo.



**Fonte:** Própria (2021)

O sistema é constituído por um tanque de alimentação (Becker de 500ml) (1), uma bomba peristáltica- Cole Parmer (bomba de alimentação) (2), dois manômetros (5-1 e 5-2), um módulo de aço inoxidável (3), reservatório para o permeado (Erlenmeyer 125 ml) (4) e reservatório do concentrado (6).

## REFERENCIAL TEÓRICO

Durante as últimas décadas, as aplicações das membranas cerâmicas aumentaram devido às suas excelentes propriedades químicas, térmicas e estabilidade mecânica e maior eficiência de separação (BENITO et al., 2005; VASANTH et al., 2013). No futuro próximo, a exploração de novos tipos de materiais cerâmicos e técnicas de fabricação simples poderia desempenhar um papel significativo para a preparação de membranas de baixo custo. A membrana cerâmica a base de alumina para aplicação industrial é limitada devido ao maior custo e alta temperatura de sinterização (YANG 1998). Portanto, as membranas cerâmicas de

baixo custo à base de argila seriam ainda aplicáveis as indústrias. Muitos pesquisadores usaram argilas de baixo custo, como argila in natura, argila marroquina, argila tunisiana, argila sepiolita, argila argelina, dolomita e caulim (BELIBI et al 2015., BENITO et al 2005., BEJJAOUI et al 2010., MESTRE et al., 2019).

A argila esmectítica é uma das matérias-primas mais baratas da membrana, disponível 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).

Os processos de separação por membranas são muito usados na indústria química, substituindo as técnicas convencionais de separação (destilação, centrifugação, etc.) por apresentarem vantagens como, baixo consumo de energia, vida útil longa, ocupação de pouco espaço físico e facilidade de limpeza (BHAVE, 1991 e BODDEKER, 1995).

Em função das aplicações a que se destinam as membranas apresentam diferentes morfologias. De um modo geral, as membranas podem ser classificadas em duas grandes categorias: densas e porosas. As características da superfície da membrana que estão em contato com a solução a ser separada é que vão definir a utilização de uma membrana densa ou porosa (HABERT et al., 1997).

As membranas são consideradas densas quando o transporte dos componentes envolve uma etapa de dissolução e difusão através do material que constitui a membrana. A membrana é denominada porosa quando o transporte dos permeantes ocorre preferencialmente em uma fase fluida contínua, que preenche os poros da membrana (HABERT *et al.*, 1997).

Geralmente, uma membrana cerâmica tem uma assimetria estrutura composta por três camadas: A camada externa forma um suporte macroporoso e fornece uma alta resistência mecânica para a membrana fabricada. O segundo é a camada interna garantindo a separação. A camada intermediária liga as camadas internas e externas (LI, 2007).

A necessidade da utilização de materiais de baixo custo com ótimos desempenhos fez com que fossem realizados cada vez mais estudos como objetivo de selecionar matérias-primas de qualidade e adequadas para a utilização necessária. Tendo em vista, a crescente necessidade do desenvolvimento de processos de separação cada vez mais eficazes, as indústrias também passaram a buscar por alternativas economicamente viáveis, eficientes e sustentáveis, para o descarte adequado de seus efluentes que é rigorosamente controlado pelas Legislações Ambientais vigentes, devido ao forte impacto que causam ao meio ambiente (ANP).

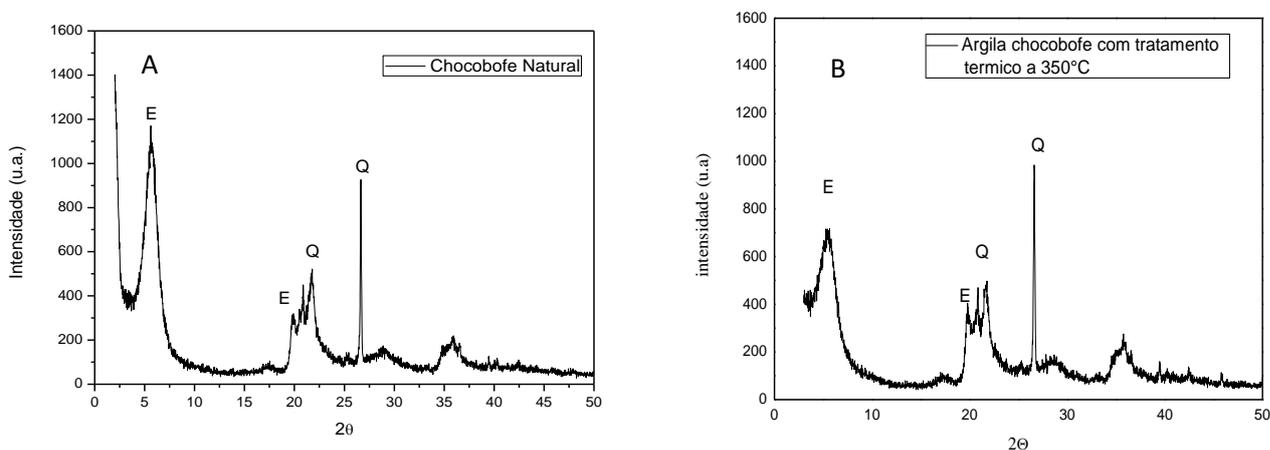
A pesquisa baseia-se no desenvolvimento de um produto de baixo custo. Membranas de

materiais naturais, como argilas, que são abundantes e que necessitam de uma temperatura de sinterização mais baixa em comparação com os materiais convencionais, tais como óxido de metal (alumina, sílica, zircônia, etc.) e possuem alto desempenho de fluxo tratando grandes volumes de efluentes líquidos (BOUZAZI et al., 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

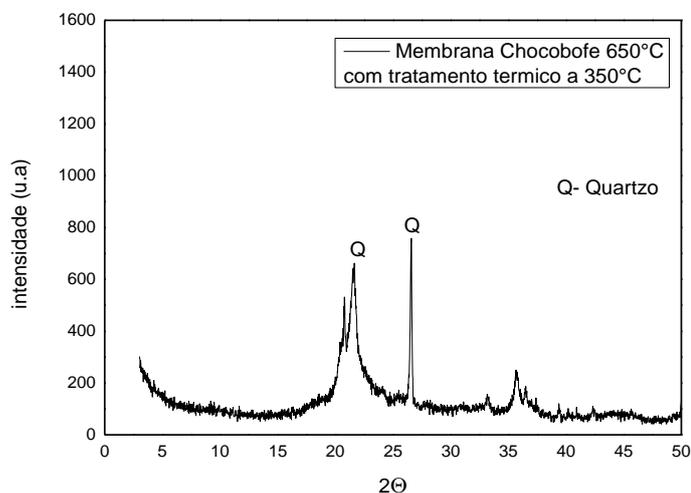
As Figuras 4 e 5 apresentam os difratogramas de raios X das argilas in natura e ativada termicamente a 350 °C, respectivamente.

**Figura 4.** Difratogramas da argila chocobofo in natura (A) e da argila chocobofo ativada termicamente a 350 °C (B).



Fonte: Própria (2022)

**Figura 5.** Difratograma da Membrana chocobofo sinterizada a 650 °C.



Fonte: Própria (2022)

O difratograma da argila in natura apresenta picos os picos característicos da Esmectita (E) e do quartzo (Q).

Modificações estruturais foram obtidas após a ativação térmica da argila como pode ser evidenciado pela análise do difratograma (Figura 3 B). Os picos correspondentes ao quartzo não são alterados em todos os padrões de DRX, o que confirma a estabilidade térmica da fase.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados de porosidade e resistência mecânica das membranas cerâmicas de baixo custo em conjunto com os resultados encontrados na literatura.

**Tabela 1** – Propriedades das membranas de baixo custo: porosidade e resistência mecânica.

	T <sub>tratamento da argila</sub> (°C)	T <sub>sinterização da membrana</sub> (°C)	Porosidade (%)	Resistência Mecânica (MPa)	Referências
MAN	Sem calcinação	650	60,00	15,4	Este trabalho
MAT	350	650	64,70	8,40	Este trabalho
Argila bofe + Amido	-	650	60,00	13,87	DO CARMO et al., 2019
Argila bofe + Magnesita + Amido	-	650	65,64	1,78	ARAÚJO E RODRIGUES, 2021

Investigando os resultados obtidos para as membranas cerâmicas produzidas neste trabalho e comparando com valores obtidos na literatura evidencia-se que as condições de preparação das membranas (composição, método de preparação, sinterização) são fatores de extrema importância.

Uma das observações que pode ser apontada desses resultados é que o tratamento térmico da argila (350 °C) permite aumentar a porosidade da membrana cerâmica de baixo custo. Pode-se destacar que as membranas cerâmicas produzidas neste estudo são porosas, pois segundo GUZMAN, 2003 as membranas porosas são frequentemente compreendidas como materiais com porosidade acima de 30 %.

Os valores encontrados das porosidades das membranas cerâmicas estão dentro do esperado e estão em concordância com outros trabalhos da literatura (DO CARMO et al., 2019; ARAÚJO E RODRIGUES, 2021).

Ao comparar o valor da porosidade da membrana cerâmica MAN (60,00 %) constata-se que é inferior ao valor da porosidade da membrana cerâmica MAT (64,70 %).

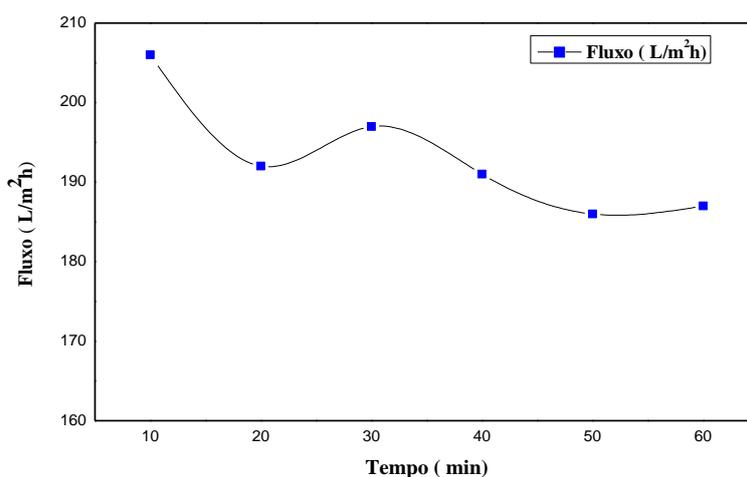
É bem conhecido na literatura (ZHANG et al 2018), que a porosidade afeta negativamente a resistência mecânica. Pode-se concluir que, a resistência mecânica das membranas cerâmicas diminui quando os valores de porosidade aumenta, pois esses dois parâmetros são inversamente proporcionais (Xavier, 2018).

O valor obtido da resistência mecânica da membrana cerâmica MAN (15,4 Mpa) é superior ao valor encontrado para a membrana cerâmica MAT (8,40 Mpa), o que evidencia um efeito negativo da calcinação da argila antes da produção da membrana.

### Medidas de Fluxo de água

A curva de fluxo de água destilada pura para a membrana cerâmica de baixo custo está apresentada na Figura 6.

**Figura 6.** Fluxo de água em função do tempo. Condições experimentais: Submetido a pressão de 2 bar durante 60 minutos a temperatura de 25 °C.



Fonte: Própria (2022)

A partir da Figura 6 é possível identificar que o fluxo de água da membrana tem um comportamento decrescente na pressão utilizada (2 bar).

Através do Fluxo do permeado foi possível avaliar o fluxo de água na membrana com o tempo, verificando-se que o maior valor do fluxo foi de 206,608 L/m<sup>2</sup>.h nos primeiros 10 minutos da análise e após 50 minutos obteve-se 187,00 L/m<sup>2</sup>.h. Mantendo-se praticamente constante durante todo o processo. O que justifica o valor do fluxo de água, pois a porosidade e a resistência mecânica influenciam diretamente no fluxo do permeado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos resultados, conclui-se que é viável a utilização de matérias primas simples e de baixo custo, como a argila chocobofo para fabricação de membrana cerâmica pelo método de prensagem uniaxial com temperatura de sinterização de 650 °C.

Foi investigado a influência de calcinação da argila chocobofo (temperatura de tratamento térmico de 350 °C) na produção das membranas cerâmicas e concluiu-se que a calcinação prévia a preparação da membrana cerâmica proporciona um efeito negativo para a resistência mecânica da membrana.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem Fundação de Apoio à(FAPESQ/PB) e a (Capes) pela bolsa concedida.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. B. F. S.; RODRIGUES, M.G. F. Preparação de membranas de baixo custo utilizando matérias primas brasileiras para serem aplicadas no controle da poluição Ambiental. **XVIII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande**, Campina Grande, 2021.

ARAÚJO, A. B. F. S.; CARMO, E. S.; CUNHA, R. S. S.; SILVA, F. A. S.; BARBOSA, T. L. A.; RODRIGUES, M.G. F. Batch and continuous of oil removal using organoclay and low-cost ceramic membrane. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, e215101522542, 2021.

BARBOSA, A.S.; BARBOSA, A.S.; RODRIGUES, M.G.F. Membranes: Synthesis by Secondary by Method and Application in Treatment of Oily Effluents. *Materials Science Forum*. 958, (2019) 23. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.958.23>

BARBOSA, A.S.; BARBOSA, A.S.; RODRIGUES, M.G.F. Synthesis of zeolite membrane (NaY/alumina): Effect of precursor of ceramic supportand its application in the process of oil-water separation. **Separation and Purification Technology**, v. 200 p. 141-154, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.02.001>

BARBOSA, T.L.A.; DO CARMO, E.S.; RODRIGUES, M.G.F., Desenvolvimento de membrana de baixo custo a partir de argila brasileira para tratamento de efluentes oleosos e reuso, **XXI Congresso Argentino de Catálisis, X Congresso de Catalisis del Mercosur**, Santa Fé, Argentina, 2019.

BENITO, J.M.A.; RUBIO, F.; RODRIGUEZ, M.A. Preparation and characterization of tubular ceramic membranes for treatment of oil emulsions, **Journal of the European ceramic Society**. v.25, p.1895-1903, 2005.

BONCZEK, J.L.; HARRIS, W.G.; KIZZA, P.N. Monolayer to Bilayer Transitional Arrangements of Hexadecyltrimethyl ammonium Cations on Na-Montmorillonite. **Clays and Clay Minerals**, v.50, p.11, 2002.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, Nova Iorque, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

CAGLAR, B.; AFSIN, B.; TABAK, A.; EREN, E. Characterization of the cation exchanged bentonites by XRPD, ATR, DTA/TG analyses and BET measurement. **Chemical Engineering Journal**, v. 149, p. 242–248, 2009.

CHOY, J. H.; KWAK, S. Y.; HAN, Y. S.; KIM, B. W. New organo-montmorillonite complexes with hydrophobic and hydrophilic functions. **Materials Letters**, v. 33, p. 143-147, 1997.

COLLE, R.D.; FORTULAN, C.A.; FONTES, S.R. Manufacture and characterization of ultra and microfiltration ceramic membranes by isostatic pressing. **Ceramics International**, v. 37, p. 1161-1168, 2011.

ELOMARI, H.; ACHIOU, B.; OUAMMOU, M.; ALBIZANE, A.; BENNAZHA, J.; ALAMIYOUNSSI, S.; ELAMRANI, I. **Desalination and Water Treatment**. v.57, p. 20298-20306, 2015.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de Separação por Membranas. Rio de Janeiro: **E-papers**, p.180. 2006.

GUERRA, D. J. L.; MELLO, I.; RESENDE, R.; SILVA, R. Application as absorbents of natural and functionalized Brazilian bentonite in  $Pb^{2+}$  adsorption: Equilibrium, kinetic, pH, and thermodynamic effects. **Water Resources and Industry** v. 4 p. 32–50, 2013.

GUIMARÃES, A. M. F.; CIMINELLI, V. S. T.; VASCONCELOS, W. L. Smectite organo functionalized with Thiol Groups for Adsorption of Heavy Metals Ions, **Applied Clays Science**, v. 42, p. 410 – 414, 2009.

GOMES, C. F. Argilas: o que são e para que servem. 1ª edição, **Fundação Calouste Gulbenkian**, Lisboa, 457p., 1988.

I. Ya. Guzman, CERTAIN PRINCIPLES OF FORMATION OF POROUS CERAMIC STRUCTURES. PROPERTIES AND APPLICATIONS (A REVIEW). **Glass and Ceramics**, Vol. 60, Nos. 9 – 10, 2003.

KOLTUNIEWICZ, A.B.; FIELD, R.W.; ARNOT, T.C. Cross-flow and dead-end microfiltration of oil-water emulsion. I. Experimental study and analysis of flux decline, **Journal of Membrane Science**, v.102, p.193-207, 1995.

LI, K. Ceramic Membranes for Separation and Reaction, **John Wiley & Sons**, Inc, Chichester, 2007.

LI, W.; XING, W.; XU, N. Modeling of relationship between water permeability and microstructure parameters of ceramic membranes. **Desalination**, v. 192, p. 340-345, 2006.

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.

NANDI, B. K.; UPPALURI, R.; PURKAIT, M. K. Identification of optimal membrane morphological parameters during microfiltration of mosam bjuice using low cost ceramic membranes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 214-223, 2011.

PARMA, S.; CHOWDHURY, P. Preparation and characterization of microfiltration ceramic membrane for oily waste water treatment. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 3, p. 725-730, 2014.

PUGAZHENTHI, G.; SACHAN, S.; KISHORE, N.; KUMAR, A. Separation of chromium(VI) using modified ultrafiltration charged carbon membrane and its mathematical modeling. **Journal of Membrane Science**, v.254 p.229 –239, 2005.

RODRIGUES M. G. F. Physical and catalytic characterization of smectites from Boa-Vista, Paraíba, Brazil. **Cerâmica**, v. 49, p. 146-150, 2003.

SHANNON, M.A.; BOHN, P.W.; ELIMELECH, M.; GEORGIADIS, J.G.; MARIÑAS, B.J.; MAYES, A.M. Science and technology for water purification in the coming decades, **Nature**, v. 45, p. 301-309, 2008.

SILVA, A.A.; MELO, K.S.; MAIA, J.B.N., Estudo do potencial de separação água/óleo de membranas cerâmicas tubulares de alumina através da análise das medidas de fluxo e turbidez. In: 2º Congresso Brasileiro de P&D em **Petróleo & Gás**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.

SOUZA SANTOS, P. Ciência e Tecnologia de Argilas, v. 1, 2ª Ed., Ed. **Edgard Blucher**. v. 2, 3, 1992.

VASANTH, D.; PUGAZHENTHI, G.; UPPALURI, R. Fabrication and properties of low-cost ceramic microfiltration membranes for separation of oil and bacteria its solution, **Journal of Membrane Science**. v. 379 p. 154-163, 2011.

XAVIER, L.A.; OLIVEIRA, T.V.; KLITZKE, W.; MARIANO, A.B.; EIRASE, D.; VIEIRA, R.B. Influence of thermally modified clays and inexpensive pore-generating and strength improving agents on the properties of porous ceramic membrane. *Applied Clay Science* 168 (2019) 260–268

ZAWRAH, M. F.; KHATTAB, R. M.; GIRGIS, L.G.; SHEREEFY, E. E. E.; SAWAN, S. E. Effect of CTAB as a foaming agent on the properties of alumina ceramic membranes. **Ceramic International**, v. 40 (4), p. 5299-5305, 2014.

ZHANG, J.; YAN, X.; HU, X.; FENG, R.; ZHOU, M. Direct carbonization of Zn/Co zeolitic imidazolate frameworks for efficient adsorption of Rhodamine B. **Chemical Engineering Journal**, v. 347, p. 640-647, 2018.