

## Preparação de membrana cerâmica a base de argila chocobofo e resíduos industriais

### Preparation of ceramic membrane based on chocobofo clay and industrial waste

Edilânia Silva do Carmo<sup>1\*</sup>, Ana Beatriz de França Silva Araújo<sup>1</sup>, Meiry Glauca Freire Rodrigues<sup>1</sup>

---

#### RESUMO

Os processos de separação que envolvem as membranas cerâmicas têm apresentado elevado potencial de aplicações em diversos setores industriais. Neste trabalho foram produzidas membranas cerâmicas via compactação a seco uniaxial utilizando matéria-prima de baixo custo e baixa temperatura de sinterização (650 °C) com o objetivo de reduzir o custo de preparação. As membranas foram preparadas a partir da argila chocobofo, concentrado de magnesita e resíduo de granito. As matérias primas foram caracterizadas por difração de raios X, Espectrofotometria de Raios X, Energia Dispersiva e análise termogravimétrica. Foram realizados testes de resistência mecânica, porosidade e por DRX das membranas cerâmicas de baixo custo. O comportamento da membrana foi avaliado por medidas de fluxo de água pura em sistema de escala de bancada, utilizando um módulo de aço inox nas seguintes condições: Pressão 1, 2 e 3 bar, Temperatura de 25 °C e tempo de 60 minutos. As imagens obtidas por MEV da membrana mostraram que o método utilizado para a síntese da membrana de baixo custo foi eficaz, uma vez que mostrou a formação de uma superfície homogênea sem fissuras ou defeitos na superfície da membrana.

**Palavras-chave:** Argila Chocobofo; Resíduo de granito; Membrana cerâmica; Concentrado de magnesita; Sustentabilidade;

---

#### ABSTRACT

The separation processes involving ceramic membranes have shown high potential for applications in various industrial sectors. In this work, ceramic membranes were produced via uniaxial dry compaction using low cost raw material and low sintering temperature (650 °C) in order to reduce the preparation cost. Membranes were prepared from chocobofo clay, magnesite concentrate and granite residue. The raw materials were characterized by X-Ray Diffraction, X-Ray Spectrophotometry, Energy Dispersive and thermogravimetric analysis. Mechanical strength, porosity and XRD tests of low cost ceramic membranes were performed. The membrane behavior was evaluated by pure water flow measurements in a bench scale system, using a stainless steel module under the following conditions: Pressure 1, 2 and 3 bar, Temperature of 25 °C and time of 60 minutes. The images obtained by SEM of the membrane showed that the method used for the synthesis of the low-cost membrane was effective, since it showed the formation of a homogeneous surface without cracks or defects on the membrane surface.

**Keywords:** Chocobofo clay; Granite waste; Ceramic membrane; magnesite concentrate; Sustainability;

---

<sup>1</sup> Instituição de afiliação 1. Universidade Federal de Campina Grande  
\*E-mail: edilania.carmo@eq.ufcg.edu.br

## INTRODUÇÃO

A valorização de materiais cerâmicos naturais para as aplicações industriais, como a tecnologia de membranas, é de extrema importância devido aos óbvios benefícios econômicos. Atualmente, sob o efeito combinado da concorrência industrial e dos novos constrangimentos relacionados com a proteção ambiental, os pesquisadores estão se concentrando no desenvolvimento de novas membranas cerâmicas baseadas em matérias-primas de baixo custo. Vários estudos têm sido realizados nos últimos anos no desenvolvimento de membranas cerâmicas a partir de matérias-primas de baixo custo (MANNI et al., 2020, BELGADA et al. 2021).

O Brasil é um dos países do mundo com vastas reservas de matérias-primas cerâmicas, como argila. Muitos estudos já foram publicados sobre a valorização dessa matéria-primas em muitas áreas da tecnologia, como membranas cerâmicas (Boulkrinat et al., 2020; Bouzerara et al., 2015; Medjemem et al., 2016).

De acordo com o Sumário Mineral Brasileiro (Lima & Neves 2016), as reservas dessas substâncias registradas no Brasil foram 34.916.000 t de Bentonita.

A reutilização do resíduo do granito, mostra-se como uma alternativa de menor impacto ambiental e de interesse econômico. Dentro deste contexto, as membranas possuem um papel cada vez mais importante no enfrentamento desse desafio (LIMA et al 2014).

Na área de tecnologia de separação, as membranas são de extrema importância, 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 baixo impacto ambiental (COLLE et al., 2011; ELOMARI et al., 2015).

O Laboratório de Desenvolvimento de Novos Materiais/UFCG 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; BARBOSA; RODRIGUES, 2019; BARBOSA; DO CARMO; RODRIGUES, 2019; SILVA et al., 2017; SILVA et al., 2020; DO CARMO et

al., 2020; BARBOSA et al., 2020; SILVA et al., 2021; Silva et al., 2021; BARBOSA; BARBOSA; RODRIGUES, 2021).

Portanto, processos menos onerosos devem 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, uma vez que são encontrados em abundância e com excelentes características adsorventes.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo utilizar matérias-primas de baixo custo, como argila chocobofo, concentrado de magnesita e resíduo de granito na produção das membranas cerâmicas de baixo custo.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os experimentos foram desenvolvidos 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), Paraíba, Brasil.

### *Materiais*

As matérias-primas utilizadas nessa pesquisa foram a argila chocobofo proveniente da empresa BENTONISA – Bentonita do Nordeste S.A., situada no município de Boa Vista, estado da Paraíba, o concentrado de magnesita fornecido pela empresa RHI Magnesita, situada no município de Brumado, estado da Bahia e o resíduo de granito foi cedido pela Marmoraria São José, situada na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba.

Na Figura 1 estão apresentadas as imagens das matérias-primas.

**Figura 1** - Imagens das matérias-primas: a) argila chocobofo; b) concentrado de magnesita; c) resíduo de granito.



Fonte: Própria (2022)

### *Preparação da Membrana cerâmica de baixo custo*

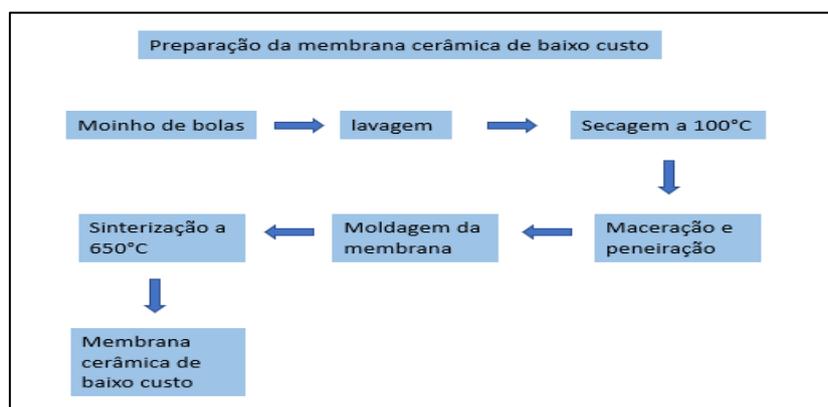
Foram utilizados argila chocobofo, concentrado de magnesita e resíduo de granito em diferentes proporções. Após as misturas os referidos materiais foram colocados num moinho de bolas durante 2 horas para homogeneização. Após esse tempo, as bolas cerâmicas foram lavadas com água destilada para retirada dos materiais, e submetidos ao processo de secagem em estufa a 100 °C até total remoção da água. A etapa subsequente foi a maceração e o peneiramento (ABNT# 150). Então, foram pesadas 3,5 gramas desta massa e colocada num molde de aço inoxidável para etapa seguinte que é a prensagem uniaxial a seco. A membrana cerâmica plana em forma de disco foi produzida, com 22 mm de diâmetro e 4 mm de espessura.

### *Processo de secagem e sinterização*

A membrana cerâmica plana em forma de disco foi submetida ao processo de secagem em estufa durante 24 horas com temperatura de 100 °C. Após a secagem, a referida membranas foi conduzida a sinterização em forno mufla com temperatura de 650 °C sob uma taxa de aquecimento de 5°C.min<sup>-1</sup> durante 2 horas.

O diagrama de preparação da membrana é mostrado na Figura 2.

**Figura 2** - Diagrama de produção da membrana cerâmica de baixo custo.



Fonte: Própria (2022)

### *Caracterização*

*Difratometria de raios x (DRX)* - Neste trabalho foi usado o método de medição 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 CuK  $\alpha$ , tensão de 40 KV, corrente de 30 mA., tamanho do passo de 0,0 20 ( $2\theta$ ) e tempo por passo de 1 s, com velocidade de varredura de 2 ° ( $2\theta$ ) /min, com ângulo  $2\theta$  percorrido de 2 a 50°.

*Determinação da Porosidade Aparente* - A determinação da porosidade aparente foi determinada pelo método de imersão, que é baseado no princípio de Arquimedes, utilizando água como fluido, conforme ASTM C 20 (2000). A determinação foi realizada com o auxílio de uma balança analítica.

O ensaio foi realizado utilizando trélicas 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.

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

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

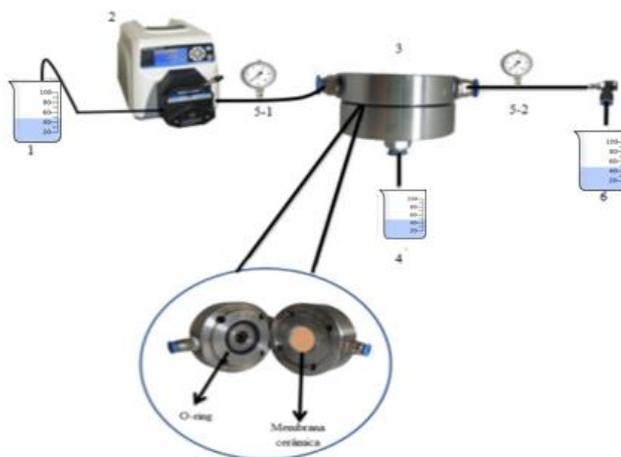
*Resistência mecânica* - A resistência mecânica da membrana cerâmica foi de acordo com a norma técnica ASTM C158 numa máquina de teste universal (Instron 1000 KN EMIC). O teste de compressão foi utilizado para avaliar a resistência à tração do suporte cerâmico. Análises Térmicas - As curvas termogravimétricas (TG), e térmica diferencial (DTA) foram obtidas em um equipamento modelo DTG-60H da marca Shimadzu em atmosfera de ar, a uma taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> e temperatura máxima de 1000 °C.

*Microscopia Eletrônica de varredura* - A análise é utilizada para avaliação da morfologia e tamanho de cristais utilizando o microscópio ZEISS EVO MA10 e metalização com ouro. O procedimento de preparação dos materiais para análise de pó consistiu na deposição de uma pequena quantidade do sólido fixada na porta amostra e dispersa com acetona P.A. Em seguida, foi depositada uma fina camada de ouro (metalização) para melhorar a condução da amostra.

### **Medidas de fluxo de água**

Na Figura 3 está apresentado o sistema utilizado para medições de fluxo de água pura através da membrana cerâmica em função do tempo. Um módulo de aço inoxidável foi usado nos experimentos. A área efetiva da membrana no módulo foi de 3,79.10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>. Os experimentos foram realizados a temperatura de 25 °C.

**Figura 3** - Sistema de permeação utilizado para avaliação da permeabilidade da membrana cerâmica.



Fonte: Própria (2022)

O sistema é constituído por um tanque de alimentação (Becker de 500 ml) (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).

A solução utilizada nos experimentos foi o solvente puro (água destilada). Os testes foram conduzidos em três pressões diferentes (1, 2 e 3 bar). O permeado foi recolhido a cada 10 minutos e o tempo total do processo foi de 60 minutos.

## RESULTADOS

A caracterização química e mineralógica de resíduos é um instrumento importante e fundamental, pois é possível ter uma nova visão de resíduos industriais; que deixam de ser sinônimo de periculosidade à saúde humana e ao meio ambiente e passam a ser sinônimo de matéria-prima. Vistos como matéria-prima, os resíduos apresentam vantagens para o meio ambiente, pois os recursos naturais são escassos e já dão sinais de exaustão e vantagem para a indústria geradora, que pode recuperá-los ou comercializá-los.

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química a partir da Espectrofotometria de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX), para as matérias-primas.

**Tabela 1** - Composição química das matérias-primas.

<b>Componentes</b>	<b>Argila chocobofe (%)</b>	<b>Concentrado de magnesita (%)</b>	<b>Resíduo de granito (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	71,79	0,26	46,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,25	0,06	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,23	0,38	16,94
K <sub>2</sub> O	2,18	-	8,32
CaO	1,05	0,88	24,85
MgO	-	98,32	
TiO <sub>2</sub>	-	-	2,02
Outros			1,59
Total			

Fonte: Própria (2022)

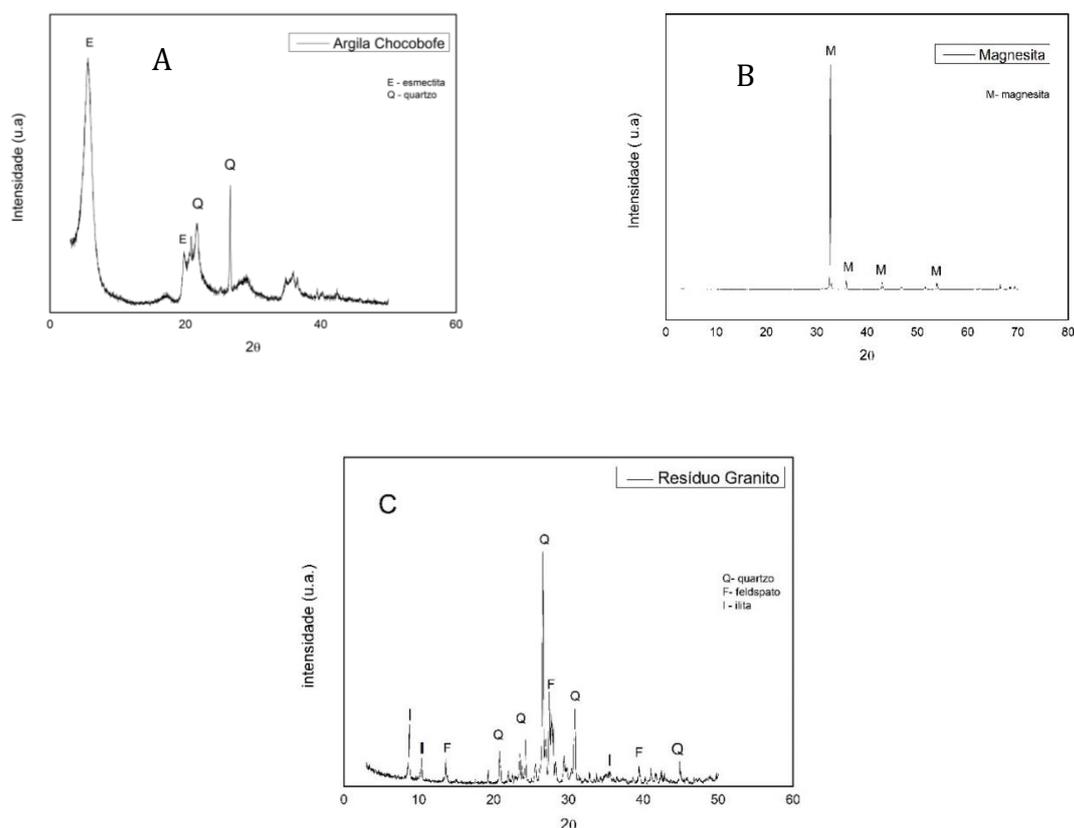
A análise de composição química da argila Chocobofe evidencia a presença de óxidos de silício (SiO<sub>2</sub>) e alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) como principais constituintes dos minerais das argilas, totalizando percentagem acima de 84 %, além da presença dos óxidos de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), potássio (K<sub>2</sub>O), cálcio (CaO) e magnésio (MgO), característicos dos argilominerais nas suas formas naturais. A presença do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em quantidade significativa nas amostras (14,25 %) resulta, na sua maior parte, do Al que está combinado na estrutura como cátion trocável, derivado dos minerais argilosos presentes nas amostras (SOUZA SANTOS, 1992). O teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> também se encontra em quantidade significativa na argila Chocobofe, provando que são ricas em ferro. De acordo com a análise da composição química a argila pode ser classificada como uma bentonita policatiônica, devido à presença dos cátions Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> que são relevantes para o processo de adsorção. Esse tipo de argila é frequentemente a mais encontrada no Brasil (VIEIRA et al., 2010). O magnésio, o cálcio e o potássio, estão presentes na amostra, geralmente, como óxidos de cátions trocáveis, adequados para o processo de adsorção (BERTAGNOLLI et al., 2011)

A partir dos resultados obtidos por FRX, pode ser visto claramente que ao concentrado de magnesita é composto principalmente de MgO e pequenas quantidades de outros óxidos como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO e CaO, que são inferiores a 2 %. Estes resultados se assemelham com os valores encontrados na literatura (GARCIA et al., 2008).

Pode ser visto claramente que o resíduo de granito é composto principalmente de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Foi possível observar ainda teores significativos de  $\text{K}_2\text{O}$  (8,32 %) e  $\text{TiO}_2$  (2,02 %). A sílica é derivada principalmente do quartzo presente na rocha granítica do feldspat (MZES et al., 2007).

Na Figuras 4 (A), (B) e (C) estão apresentados os difratogramas das matérias-primas.

**Figura 4** - Difratograma de raios X: (A) argila chocobofo; (B) Concentrado de Magnesita; (C) Resíduo de granito.



Fonte: Própria (2022)

O difratograma da argila chocobofo é mostrado na Figura 4A. O espaçamento interplanar  $d(001)$  - 15,61 Å correspondendo às reflexões 001 da esmectita. Outras reflexões são observadas que correspondem ao quartzo. As linhas cristalinas notáveis no padrão de difração da argila chocobofo são idênticas àsquelas registradas no arquivo de dados de raios-X [S-Smectite (JCPDS 00-013-0135), Q-Quartz (JCPDS 01-078-2315)] para a fase identificação

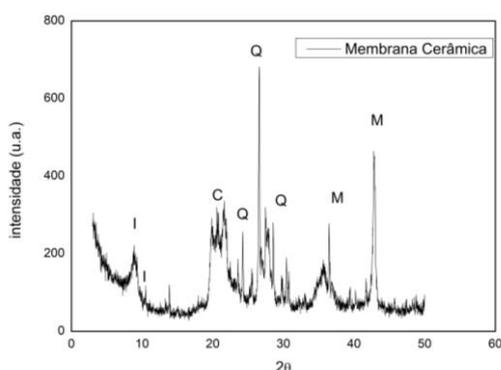
Pode ser observado (Figura 4B), que os picos de difração do produto correspondem ao óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ , JCPDS 00-045-0946), e nenhuma outra

impureza é detectada, indicando que o produto obtido é MgO, ou seja, o concentrado de magnesita usado neste trabalho apresenta um alto grau de pureza.

Verifica-se (Figura 4C) os picos característicos de quartzo, feldspato e ilita, identificados de acordo com as fichas padrões JCPDS 01.086.1628, JCPDS 00.010.0393 e JCPDS 00.026.0911, respectivamente.

A Figura 5 apresenta o difratograma de raio X da membrana cerâmica após a sinterização com temperatura de 650 °C.

**Figura 5** - Difratograma de raios X da membrana cerâmica



Fonte: Própria (2022)

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de resistência mecânica, diâmetro de poros e fluxo de água obtidos para a membrana cerâmica.

**Tabela 2** - Resultados das propriedades da membrana: porosidade, diâmetro de poros, resistência mecânica.

Membrana	T sint. (°C)	Porosidade (%)	Diâmetro de poros (µm)	Resistência Mecânica (MPa)	Referências
Argila chocobofo + Concentrado de magnesita + resíduo de granito	650	39,00	0,37	0,55	Este trabalho
Argila bofo + Magnesita + Amido	650	65,64	0,09	1,78	ARAÚJO, 2021
Argila Betonita + Quartzo + Resíduo de Granito	750	17,76	-	0,06	LIMA, 2014
Argila bofo + Amido	650	60,00	2,30	13,87	DO CARMO, et al., 2019
Argila + Amido	950	35,80	-	14,00	ELOMARI, et al., 2017

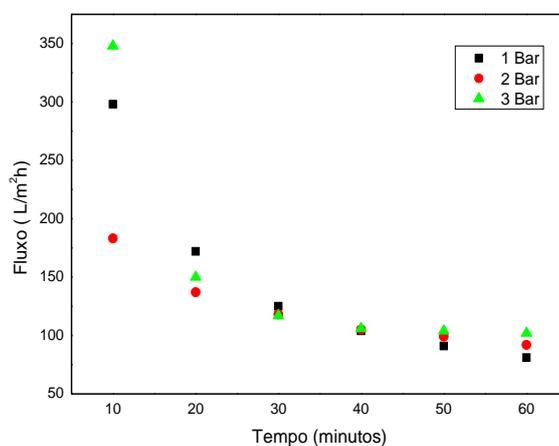
A temperatura de sinterização utilizada neste trabalho (650 °C) é inferior as temperaturas de sinterização encontradas na literatura (LIMA, 2014; ELOMARI, et al., 2017), portanto é uma otimização, em termos de custos energéticos.

Ao comparar o valor da porosidade da membrana produzida com a literatura (ELOMARI, et al., 2017) está próximo, porém o valor da resistência mecânica da membrana cerâmica produzida foi de 0,55 Mpa, sendo muito inferior aos encontrados na literatura (VASANTH, PUGAZHENTHI, e UPPALURI, 2011). Sobretudo porque a temperatura de sinterização neste trabalho (650 °C) é inferior a temperatura estudada na literatura (superior a 900 °C).

### Medidas de Fluxos de água

As curvas de fluxo de água destilada pura para a membrana de baixo custo estão apresentadas na Figura 6.

**Figura 1-** Fluxo de água pura como função do tempo sob diferentes pressões (1, 2 e 3 bar) durante 60 minutos cada a Temperatura de 25 °C.

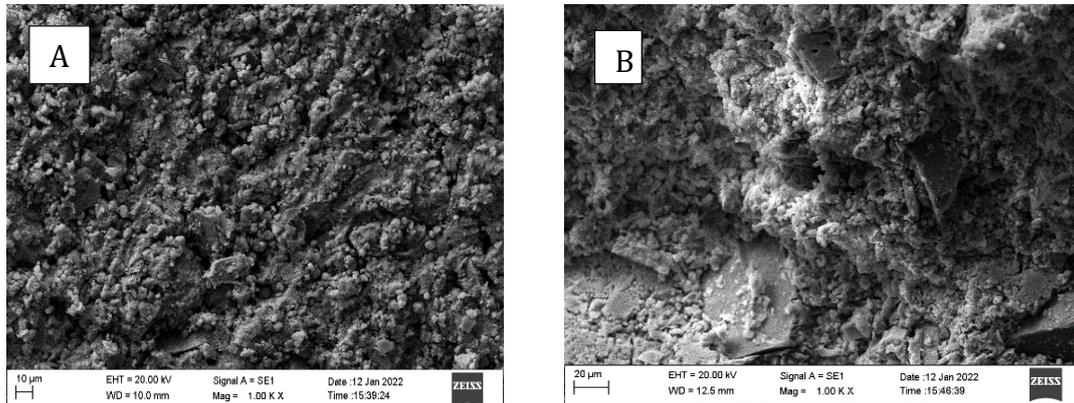


A partir da Figura 6 constatou-se que a membrana cerâmica de baixo custo apresentou fluxo de  $300 \text{ L.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  para a pressão de 1 bar,  $170 \text{ L.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  para a pressão de 2 bar e  $350 \text{ L.h}^{-1}\text{m}^{-2}$  para a pressão de 3 bar. No início do processo (20 minutos) é possível verificar uma redução no fluxo de água, visto que nos primeiros 20 minutos caracteriza-se como a hidratação da superfície da membrana. Também é observada uma flutuação no fluxo. As curvas apresentadas na Figura 7 indica que a estabilidade inicia por volta de 40 minutos.

A caracterização microestrutural no que diz respeito à morfologia e distribuição do tamanho dos poros é essencial para entender o efeito da composição inicial da matéria-prima nas propriedades da membrana.

Na Figura 7 estão apresentadas as imagens obtidas a partir da microscopia eletrônica de varredura da membrana cerâmica.

**Figura 72**– Imagens da membrana cerâmica: (A) Imagem da superfície da membrana; (B) Imagem do corte transversal da membrana



Fonte: Própria (2022)

Através das imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura pode-se perceber que a superfície é relativamente heterogênea, onde é possível visualizar claramente as partículas referentes ao rejeito do granito na superfície da membrana.

As micrografias ilustradas apresentam ausência de fissuras ou trincas na estrutura da membrana sendo compatíveis com as micrografias apresentadas por Lira et al (2017).

## CONCLUSÃO

Baseado nos resultados, conclui-se que é viável a utilização de matérias primas simples e de baixo custo, como a argila chocobofo e resíduos industriais como o resíduo de granito e o concentrado de magnesita para fabricação de membrana cerâmica.

Portanto é possível afirmar que membranas confeccionadas a partir do uso das matérias-primas regionais e sinterizadas na temperatura de 650 °C são promissoras para o processo de fabricação de membranas cerâmicas de baixo-custo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem todo o apoio do Laboratório de Desenvolvimento de Novos Materiais, fundamental para a elaboração deste trabalho. A (FAPESQ/PB), a (Capes) pela bolsa de doutorado concedida e ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A.B.F.S.; DO 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. Influence of the methodology on the formation of zeolite membranes MCM-22 for the oil/water emulsion separation. **Cerâmica**, v.65, p. 531-540, 2019.

BARBOSA, A.S.; BARBOSA, A.S, RODRIGUES, M.G.F. Study of the influence of the aluminum source (acetate or sulfate) on the synthesis of the ceramic membrane and applications of emulsion oil water: use and reuse **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, e75101321023, 2021.

BARBOSA, A.S.; BARBOSA, A.S.; RODRIGUES, M.G.F. Synthesis of zeolite membrane (NaY/alumina): Effect of precursor of ceramic support and 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 **Congreso Argentino de Catálisis, X Congreso de Catalisis del Mercosur**, Santa Fé, Argentina, 2019.

BARBOSA, T.L.A.; SILVA, F.M.M.; BARBOSA, A.S.; Erivaldo Genuíno Lima .Meiry Gláucia Freire Rodrigues. Synthesis and application of a composite NaA zeolite/gamma-alumina membrane for oil-water separation process. **Cerâmica**. v. 66, p. 137-144, 2020.

BELGADA, A.; ACHIOU, B.; YOUNSSI, A.S.; CHARIK, Z.F.; OUAMMOU, M.; CODY, A.J.; BENHIDA, R.; KHALESS, K. Low-cost ceramic microfiltration membrane made from natural phosphate for pretreatment of raw seawater for desalination. **Journal of the European Ceramic Society**. v.41. p 1613-1621, 2021.

BERTAGNOLLI, C.; KLEINÜBING, S. J.; DA SILVA, M. G. C. Preparation and characterization of a Brazilian bentonite clay for removal of copper in porous beds. **Applied Clay Science**, v. 53, p. 73–79, 2011.

BOULKRINAT, F. BOUZERARA, A. HARABI, K. HARROUCHE, S. STELITANO, F. RUSSO, F. GALIANO, A. FIGOLI, Synthesis and characterization of ultrafiltration ceramic membranes used

in the separation of macromolecular proteins, **Journal of the European Ceramic Society** v. 40, p. 5967–5973, 2020.

BOUZERARA, F.; BOULANACER, S.; HARABI, A. Shaping of microfiltration (MF) ZrO<sub>2</sub> membranes using a centrifugal casting method. **Ceramic International**. v. 41, p. 5159–5163, 2015.

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.

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.

DO CARMO, E.S.; SILVA, L.R.B.; BARBOSA, T.L.A.; RODRIGUES, M.G.F. Produção de membranas cerâmicas de baixo custo: influência da temperatura de sinterização. **In Tecnologia, investigação, sustentabilidade e os desafios do século XXI**. P. 812–826, 2020.

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

GARCIA, L.R.; BRANDÃO, P.R.G.; LIMA, R.M.F. (eds.). **Rochas e Minerais Industriais - CETEM**, p.490-511, 2008.

GARDOLINSK, J. E., MARTINS FILHO, H. P., WYPYCH, F. Comportamento térmico da caulinita hidratada. **Química Nova**, Vol. 26, No. 1, 30-35, 2003.

HELLER- KALLAI, L. Thermally modified clay minerals. **Handbook of clay science**. V.1, chapter 7.2, 2006.

HUSSIN, F.; AROUA, K.M.; DAUAD, W.A.M.W. Textural characteristics, surface chemistry and activation of bleaching earth: A review. **Chemical Engineering Journal**. v.170, p. 90-106, 2011.

LIMA, R.C.O.; LIRA, H.L.; NEVES, G.A.; SILVA, M.C.; FRANÇA, K.B. Use of ceramic membrane for indigo separation in effluent from textile industry. **Materials Science Forum**, v. 798-799, p. 537-541, 2014.

- LIMA, T.M. & NEVES, C.A.R. (coords.). **Sumário Mineral**. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 35, P. 135, 2015. ISSN: 01012053
- MANNI, A.; ACHIOU, B.; KARIM, A.; HARRATI, A.; SADIK, C.; OUAMMOU, M.; ALAMI, S.; YOUNSSI.; EL BOUARI, A. New low-cost ceramic microfiltration membrane made from natural magnesite for industrial wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 8, p. 103906, 2020.
- MEDJEMEM, N.; HARABI, A.; BOUZERARA, F.; FOUGHALI, L.; BOUDAIRA, B.; GUECHI, A.; BRIHI, N.; Elaboration and Characterization of low-cost ceramics microfiltration membranes applied to the sterilization of plant tissue culture media. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**. v. 59, p. 79–85, 2016.
- MENEZES, R. R.; ALMEIDA, R. R.; SANTANA, L. N. L.; NEVES, G. A. Neves, LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C. Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. In: **Revista Cerâmica**. v. 53, 2007.
- NAZAROVA, E.; ALIMOVA, D.S.; MIKHAYLOV, V.I.; KRIVOSHAPKINA, E.F.; KRIVOSHAPKIN, P.V. Macroporous ceramic filters from mineral raw materials for machine oils filtration. **Ceramic International**. v. 45, 2019. 8767–8773, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.01.201>
- SILVA, F.M.N.; LIMA, E.G.; BARBOSA, T.L.A.; RODRIGUES, M.G.F. Development of MOR Zeolite Membranes Supported on  $\gamma$ -alumina and  $\alpha$ -alumina obtained from the decomposition of aluminum sulphate. In: Proceedings of the 13th International Conference Catalysis Membrane Reactors; ICCMR, **Houston**, 2017.
- SILVA, R.L.B.; SILVA, F.A.S.; BARBOSA, T.L.A.; Rodrigues, M.G.F. Membrana cerâmica de baixo custo para tratamento de efluentes oleosos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, e253101321071, 2021.
- 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.

VIEIRA, M.G.A.; ALMEIDA NETO, A.F.; GIMENES, M.L.; DA SILVA, M.G.C.  
Removal of nickel on Bofe bentonite calcined clay in porous bed. **Journal of Hazardous Materials**, v. 176, p. 109–118, 2010.

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. **Ceramics International**, v. 40 (4), p. 5299-5305, 2014.

*Recebido em: 21/08/2022*

*Aprovado em: 23/09/2022*

*Publicado em: 29/09/2022*