

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILTROS CERÂMICOS A BASE DE ZIRCÔNIA E PRATA SUPORTADAS EM ARGILA MONTMORILONITA K10

Data de submissão: 26/04/2023

Data de aceite: 02/06/2024

Eduardo Rodrigues Ericeira

Programa de Pós-graduação em Química
Instituto Federal do Maranhão
Campus Monte Castelo
São Luís – MA
<http://lattes.cnpq.br/4011002832869859>

Luciana Tenório de Moraes

Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Materiais
Instituto Federal do Maranhão
Campus Monte Castelo
São Luís – MA
<http://lattes.cnpq.br/8958606409514199>

Antônio Ernandes Macedo Paiva

Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Materiais
Departamento de Mecânica e Materiais
Instituto Federal do Maranhão
Campus Monte Castelo
São Luís – MA.
<http://lattes.cnpq.br/7791391599480330>

Marcelo Mozinho Oliveira

Programa de Pós-graduação em Química
Departamento Acadêmico de Química
Instituto Federal do Maranhão
Campus Monte Castelo
São Luís – MA.
<http://lattes.cnpq.br/2390627324215152>

RESUMO: A utilização de água contaminada e a falta de saneamento básico, provocam muitas doenças podendo levar a morte aqueles que a consomem, além de que estas condições precárias agravam ainda mais o empobrecimento de muitos países. Uma das soluções para amenizar a contaminação da água para consumo humano é a utilização de filtros cerâmicos. Este trabalho teve como objetivo produzir filtros cerâmicos a base de argila montmorilonita K10 impregnada com óxido de zircônio dopados com prata nas concentrações de 0,25 % e 0,5 %mol. Os filtros cerâmicos foram produzidos pelo método da réplica utilizando uma esponja polimérica e uma barbotina de Argila Montmorilonita K 10. Após a impregnação, o material foi submetido ao tratamento térmico a fim de eliminar o polímero e obter uma estrutura cerâmica porosa e rígida. A caracterização da morfologia do filtro cerâmico ocorreu por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), da esponja polimérica por meio da Análise Termogravimétrica (TGA) e das resinas por Difração de Raios X (DRX) e Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS). Para verificar a eficiência do material sintetizado, contaminou-se a água com bactérias *Staphylococcus Aureus* e

Escherichia Coli e montou-se um sistema de filtragem para coletar a água após a passagem no filtro produzido. As análises por MEV para o filtro sintetizado mostraram uma morfologia porosa, resultante da estrutura da esponja polimérica e após a impregnação com as resinas, um material menos poroso. Os difratogramas mostraram a formação de fases monoclinica e tetragonal para o ZrO_2 e para prata, cúbica. A análise térmica da esponja mostrou perdas de massa acima de 200 °C, referente a decomposição de material orgânico. Dos 3 tipos de filtros cerâmicos sintetizados os melhores resultados, foi do filtro cerâmico impregnado com a resina de zircônio dopada com prata na concentração de 0,5 %mol (Zr*-Ag 0,5 %) e tratado nas temperaturas de 500 a 800 °C.

PALAVRAS-CHAVE: Filtro cerâmico, zircônio, prata, bactericida, água.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CERAMIC FILTERS BASED ON ZIRCONIA AND SILVER SUPPORTED ON MONTMORILLONITE CLAY K10

ABSTRACT: The use of contaminated water and the lack of basic sanitation, cause many diseases that can lead to the death of those who consume it, in addition to these precarious conditions further exacerbating the impoverishment of many countries. One of the solutions to minimize the contamination of water for human consumption is the use of ceramic filters. This work aimed to produce ceramic filters based on montmorillonite clay K10 impregnated with zirconium oxide doped with silver in concentrations of 0.25% and 0.5% mol. The ceramic filters were produced by the replica method using a polymeric sponge and a slip of Montmorillonite Clay K 10. After impregnation, the material was subjected to heat treatment in order to eliminate the polymer and obtain a porous and rigid ceramic structure. The characterization of the morphology of the ceramic filter was performed using Scanning Electron Microscopy (SEM), the polymeric sponge using Thermogravimetric Analysis (TGA) and the resins by X-Ray Diffraction (XRD) and Energy Dispersion Spectroscopy (EDS). To verify the efficiency of the synthesized material, the water was contaminated with *Staphylococcus Aureus* and *Escherichia Coli* bacteria and a filtering system was set up to collect the water after passing through the produced filter. SEM analyzes for the synthesized filter showed a porous morphology, resulting from the structure of the polymeric sponge and, after impregnation with resins, a less porous material. The diffractograms showed the formation of monoclinic and tetragonal phases for ZrO_2 and for silver, cubic. The thermal analysis of the sponge showed mass loss above 200 °C, referring to the decomposition of organic material. Of the 3 types of ceramic filters synthesized, the best results were obtained from the ceramic filter impregnated with zirconium resin doped with silver at a concentration of 0.5 mol % (Zr*-Ag 0.5 %) and treated at temperatures from 500 to 800 °C.

KEYWORDS: Ceramic filter, zirconium, silver, bactericidal, water.

1. INTRODUÇÃO

Os filtros cerâmicos porosos produzidos com óxidos cerâmicos sintéticos e refratários, tais como alumina, zircônia, titânio e sílica possuem custos elevados se forem utilizados em processos em que não requeiram altas temperaturas, pois os custos das matérias-primas refratárias são elevadas e inviabilizam sua utilização em filtros cerâmicos

para a filtração em processos de baixas temperaturas. Dessa forma, as matérias-primas naturais tais como a apatita, argila caulinita e dolomita possuem grandes atrativos para serem utilizados como substrato cerâmico de filtros porosos para aplicações que não requeira elevadas temperaturas. Por possuírem baixo custo, nos últimos anos a utilização desses materiais tem atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores (HRISTOV *et al.*, 2012).

Na avaliação do desempenho de um filtro cerâmico, o controle da porosidade é essencial. O aumento da porosidade desse material comumente diminui a resistência mecânica, ao mesmo tempo que a permeabilidade aumenta. Dessa forma, a implementação de uma técnica capaz de modificar a estrutura celular dos filtros cerâmicos, através da variação da porosidade e do tamanho de poro, é necessário para adequar às suas propriedades com sua finalidade de aplicação (SALVINI; INNOCENTINI; PANDOLFELLI, 2002).

Uma das técnicas utilizadas na produção de cerâmicas porosas é o método da réplica pela esponja polimérica e até hoje, é largamente utilizado na indústria cerâmica para fabricação de filtros cerâmicos empregados na filtração de metais fundidos e gases a altas temperaturas. Tal fato é devido ao baixo custo requerido por este método, simplicidade e flexibilidade do processamento (HUANCA; NUNES, 2016).

O método da réplica tem como desvantagem o aparecimento de trincas e pequenas fissuras nos filamentos da estrutura reticulada, provenientes do processo de decomposição do material orgânico. Estes defeitos ocasionam a redução das propriedades mecânicas. Alguns procedimentos são adotados para evitar os defeitos na estrutura cerâmica, tais como: a utilização de aditivos para melhorar a impregnação da suspensão na esponja, a manipulação de uma segunda etapa para preencher as fissuras e inserção de fibras ou compostos reativos para reforçar a estrutura do material (NANGREJO *et al.*, 2000; PU *et al.*, 2004).

Na produção de filtros cerâmicos, geralmente utiliza-se a argila vermelha. Entretanto, a argila montmorilonita vem também despertando grande interesse na produção desses filtros para as mais diversas aplicações de filtração, considerando que já é utilizada em aplicações como adsorvente, clarificantes, entre outros. Essa argila bentonítica quando modificada com um tratamento ácido, produz a argila montmorilonita K10, que possui grande área superficial (BRAIBANTE; BRAIBANTE, 2014).

O desenvolvimento de filtros cerâmicos impregnados com prata, como agente bactericida tem sido estudado a fim de eliminar as bactérias causadoras de doenças relacionadas à água. Rosário *et al.* (2019) estudaram a modificação superficial de filtros cerâmicos utilizando o 3- aminopropiltriétoxissilano (APTES) e o ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) como agentes ancoradores para melhorar a impregnação da prata, a eficiência e durabilidade dos filtros. Observaram que, a atividade bactericida dos substratos, com respeito a análise de filtração de amostras de água contaminadas com *Escherichia*

coli, apresentaram a ausência deste coliforme na análise da água contaminada com esse patógeno.

A zircônia é também considerada um material adequado como agente bactericida para a obtenção de membranas cerâmicas, sendo que os dois parâmetros principais a serem considerados são a sua forma e o menor tamanho das suas partículas (BURGGRAFF, 1996).

Na saúde pública, compostos de zircônio e fósforo têm sido estudados ou utilizados no controle da poluição na recuperação de veneno e bactérias de água contaminada. Os materiais cerâmicos à base de zircônia (ZrO₂) quando estabilizada, possuem propriedades importantes como estabilidade química, biocompatibilidade e baixa toxicidade (LEE et al. 2010).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver filtros cerâmicos a base de zircônia e prata suportados por argila Montmorilonita K10 para desinfecção de água.

2. METODOLOGIA

Uma suspensão aquosa da argila Montmorilonita K 10 (Aldrich, área superficial: 250 m².g⁻¹) foi preparada a uma concentração de 50% em massa. Para o ajuste da viscosidade, a suspensão aquosa foi defloculada até o ponto de mínima viscosidade utilizando um defloculante a base de Poliacrilato de Sódio (DARVAN 7). O acompanhamento da viscosidade em função do teor de defloculante adicionado foi realizado em um viscosímetro Brookfield, modelo Ultra DV3, a temperatura ambiente e utilizou-se uma rotação de 60 rpm no spindle de medida.

Como substrato polimérico para formar a estrutura do filtro cerâmico, uma esponja de poliuretano comercial foi dividida em corpos de prova de 2 cm x 2 cm. Estes corpos de prova foram impregnados com a barbotina da argila, seguida da passagem destas por uma calandra manual (abertura entre cilindros de aproximadamente de 20% da espessura das amostras). Após a impregnação, o compósito foi seco por 24 horas a temperatura ambiente. Em seguida, o material foi levado a um forno mufla e submetido ao seguinte processo de tratamento térmico: (I) a um patamar de 280 °C por 2 horas e a uma razão de aquecimento de 1 °C min⁻¹, de forma a eliminar a esponja polimérica e (II) sinterização em 1050 °C por 1 hora, a uma razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹, para a obtenção do filtro cerâmico.

O citrato de zircônio foi preparado a partir de 0,3 mol do butóxido de zircônio (IV) (Aldrich, 80%) e 1,02 mol de ácido cítrico (Synth, 99,5%) na proporção 1:3 para a formação do quelato. Em seguida aqueceu-se a solução a 80 °C com agitação constante até a obtenção da resina de citrato de zircônio. O citrato de prata foi preparado a partir de 0,043 mol do nitrato de prata (METALMS, 63.5%) e 0,13 mol de ácido cítrico na mesma proporção do butóxido de zircônio IV, seguindo o mesmo procedimento.

A resina de zircônio e prata foi preparada a partir da mistura do citrato de zircônio com o citrato de prata, na proporção 60/40 em %mol do citrato de zircônio e prata com etilenoglicol (Synth, 99%). O material foi submetido a uma pré-calcinação a 250 °C, visando à eliminação do precursor polimérico. Após esse tratamento, o material foi desaglomerado em um almofariz de ágata e em seguida tratado termicamente a 450, 500, 600, 700 e 800 °C, com o objetivo de verificar a evolução das fases.

Para impregnação dos filtros cerâmicos, os mesmos foram imersos nas resinas obtidas por 20 minutos, e em seguida o material foi colocado em uma estufa a 80 °C por 30 minutos. O material então foi submetido ao tratamento térmico nas temperaturas de 500, 600, 700 e 800 °C.

As análises por raios X foram realizadas em um difratômetro SHIMADZU modelo XRD-6100, com geometria Theta/Theta e detector de radiação monocromática $K\alpha$ ($\lambda = 1,540598 \text{ \AA}$) do tubo de cobre. Os registros foram coletados nas seguintes condições: voltagem (45 kV) e corrente (40 mA); intervalo angular 10° a 70° (2θ) com um passo de 0,02° (2θ) com um tempo de contagem de 0,8 segundos. Para identificação das fases cristalinas utilizou-se o software High Score Plus versão 3.0 e a base de dados com fichas cristalográficas JCPDS.

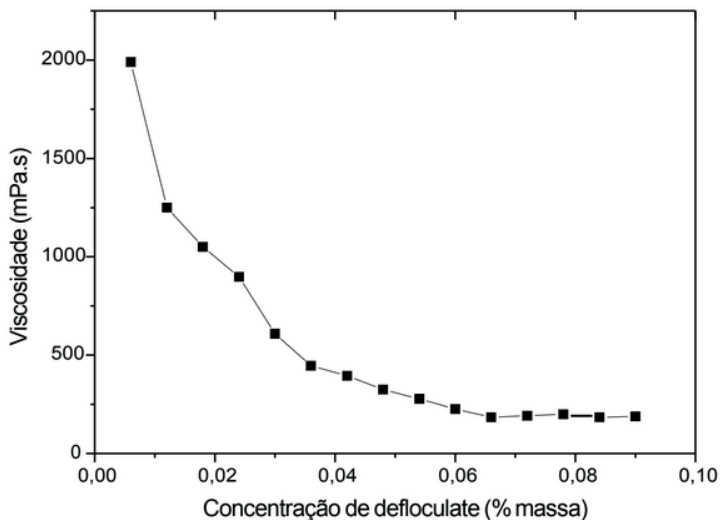
As micrografias foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) com canhão de emissão por campo (FEG), marca FEI, modelo Quanta FEG 250, com tensão de aceleração de 1 a 30 kV, equipado com EDS de SDD (Silicon drift detectors), marca Ametek, modelo HX-1001, detector Apollo X-SDD.

Para a análise bacteriológica, realizou-se a técnica de plaqueamento em profundidade (Pour Plate) em meio Ágar Padrão para Contagem (PCA) (Synth, model L A0066.08.AG). Para esse procedimento pipetou-se 1 mL de cada filtração numa placa de Petri esterilizada, adicionou-se a cada placa 20 mL de Ágar Padrão para Contagem (PCA) e incubaram-se as placas a 35 °C por 48 horas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o comportamento da viscosidade em relação ao defloculante. Por meio do gráfico, obteve-se um valor mínimo de viscosidade de 184 mPa s, a uma concentração de 0,066 % em massa de poliácrlato de sódio. Essa concentração foi utilizada para a preparação da suspensão cerâmica, pois a partir desse ponto, a viscosidade se mantém constante, o que permite uma distribuição uniforme de sólidos na esponja polimérica.

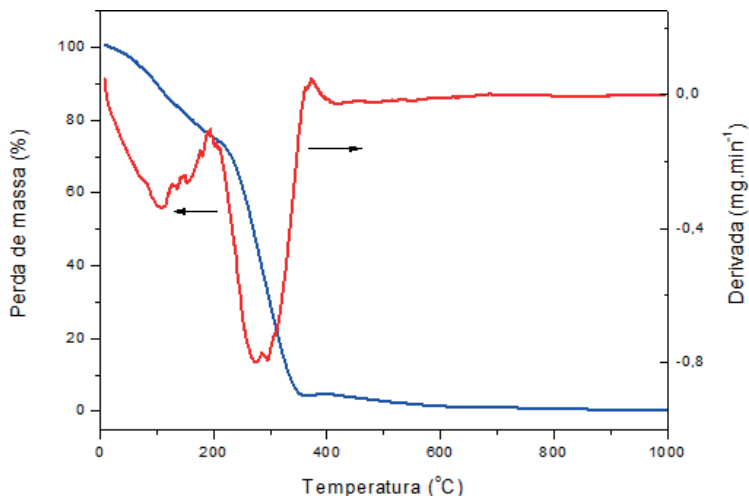
Figura 1 – Curva da viscosidade em função da concentração de defloculante na suspensão de 50% em argila Montmorilonita K10.



Fonte: Próprio autor

A fim de verificar a temperatura de degradação do polímero, utilizou-se a técnica de termogravimetria (TG). Essa caracterização foi importante para o ciclo térmico de tratamento do polímero impregnado pela suspensão cerâmica, para evitar o colapso da estrutura cerâmica. A Figura 2 mostra a curva referente à análise termogravimétrica da esponja polimérica de poliuretano.

Figura 2 – Curva da Análise Termogravimétrica (TG) e da Derivada da Análise Termogravimétrica (DTG) da esponja polimérica.

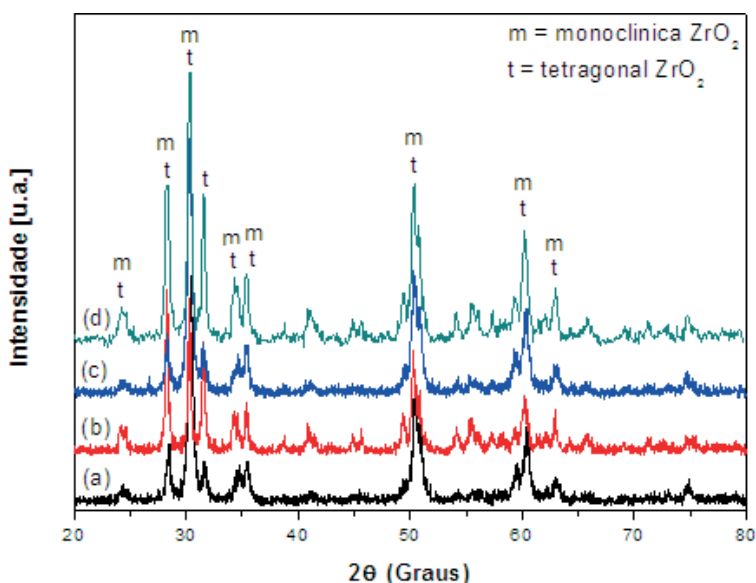


Fonte: Próprio autor

Por meio da Figura 2 é possível observar duas perdas de massa, a primeira entre 25 a 230 °C associada à perda de umidade e massa da estrutura do material polimérico e a segunda entre 230 a 370 °C, referente a degradação do polímero, devido à perda de carbonos e de diversos compostos orgânicos presentes na estrutura polimérica, o que está de acordo com Silveira, Escobar e Quintero (2007).

O xerogel obtido a partir da calcinação da resina polimérica, foi submetido ao tratamento térmico em temperaturas de 500 a 880 °C, a fim de verificar a evolução das fases. Os difratogramas de raios X do ZrO_2 sintetizado, podem ser observados na Figura 3.

Figura 3 – Difratogramas de raios X do ZrO_2 calcinado a: (a) 500 °C, (b) 600 °C, (c) 700 °C e (d) 800 °C.

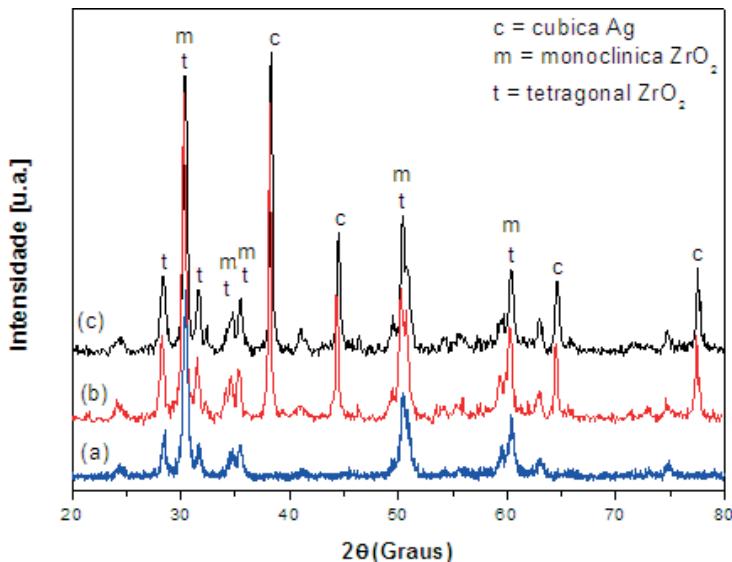


Fonte: Próprio autor

Pode-se observar por meio dos difratogramas da Figura 3, a presença das fases ZrO_2 tetragonal e monoclinica, independente da temperatura de tratamento, e que está de acordo com a literatura (NAMAVAR et al., 2007; KUMAR; GHOSHAL; PUGAZHENTHI, 2015 e LI; ZHAO, 2016). Os picos principais da fase monoclinica (m - ZrO_2) (JCPDS 37-1484) em 2θ e seus respectivos planos, encontram-se em 28,17° (1 1); 31,46° (1 1 1); 34,16° (2 0 0); 50,16° (0 2 2), respectivamente. Para a fase tetragonal (t - ZrO_2) (JCPDS 50-1089): 30,27° (0 1 1); 35,25° (1 1 0); 50,37° (1 1 2); 60,20° (1 2 1), respectivamente.

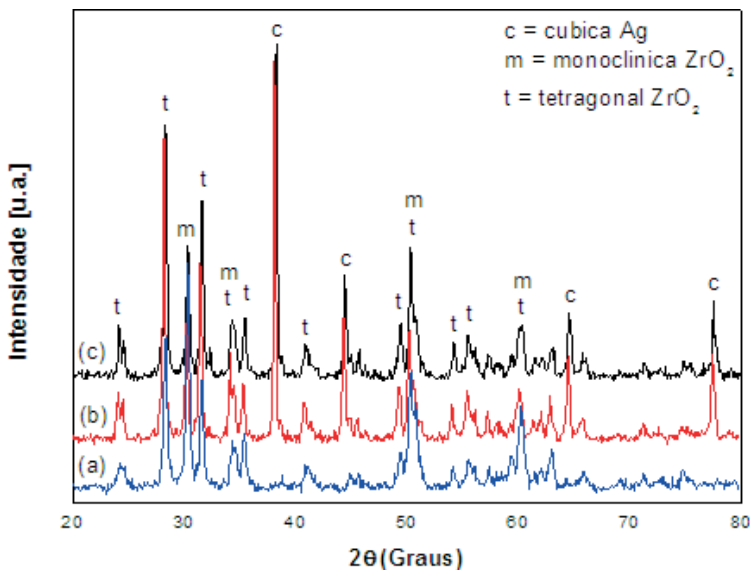
Na incorporação da prata à zircônia, não foi observado nova fase no material tratado termicamente, como se pode observar nos difratogramas da Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Difratomogramas de raios X: (a) ZrO_2 puro, (b) ZrO_2 dopado com Ag 0,25 %mol e (c) ZrO_2 dopado com Ag 0,5 %mol, calcinados a 500 °C.



Fonte: Próprio autor

Figura 5 – Difratomogramas de Raios X: (a) ZrO_2 puro, (b) ZrO_2 dopado com Ag 0,25 %mol e (c) ZrO_2 dopado com Ag 0,5 %mol, calcinados a 800 °C.

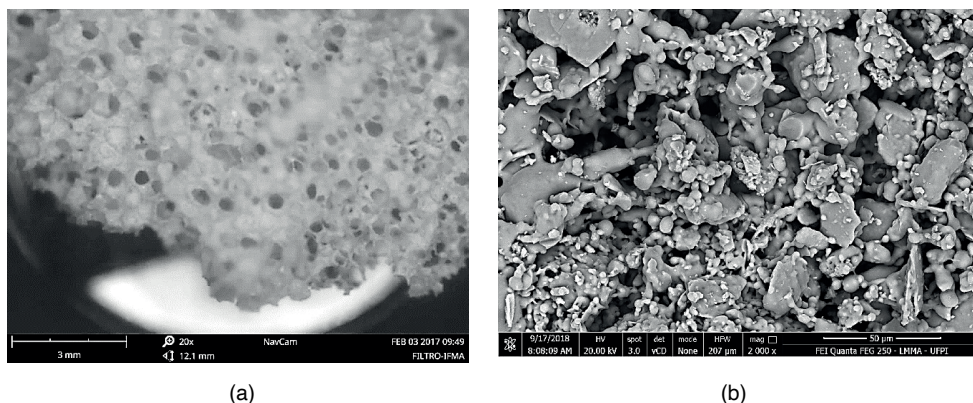


Fonte: Próprio autor

Para o material tratado a 600 e 700 °C, os padrões de difração foram semelhantes aos das Figuras 4 e 5. O pico máximo para a fase cúbica da prata está situado a 38° correspondente ao plano (1 1 1), segundo a ficha JCPDS 87- 0597.

A fim de verificar a morfologia dos filtros antes e após a impregnação das resinas, foi utilizada as análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A Figura 6 (a) mostra a macrografia, no modo ótico, do filtro cerâmico após a sinterização e a Figura 6 (b) mostra a ampliação de uma região do filtro cerâmico e que se pode observar a porosidade da microestrutura do material obtido.

Figura 6 – (a) macrografia material sinterizado e (b) ampliação do filtro cerâmico.

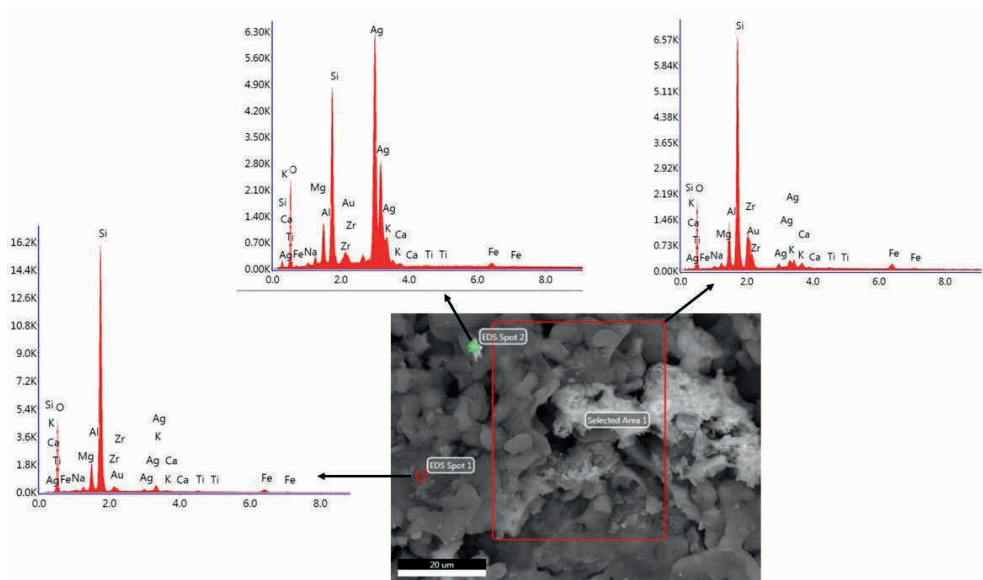


Fonte: Próprio autor

Observa-se, por meio da Figura 6, uma estrutura bastante porosa, propícia para aplicação como filtro cerâmico.

Quando impregnado com as resinas de zircônia e prata, a morfologia dos filtros sofre uma alteração, com a diminuição dos poros e deposição da prata em certas regiões do filtro, conforme pode ser observado na Figura 7 e por meio da análise de EDS.

Figura 7 – Análise por EDS do filtro cerâmico tratado termicamente a 800 °C do ZrO₂ dopado com Ag 0,5 %mol.

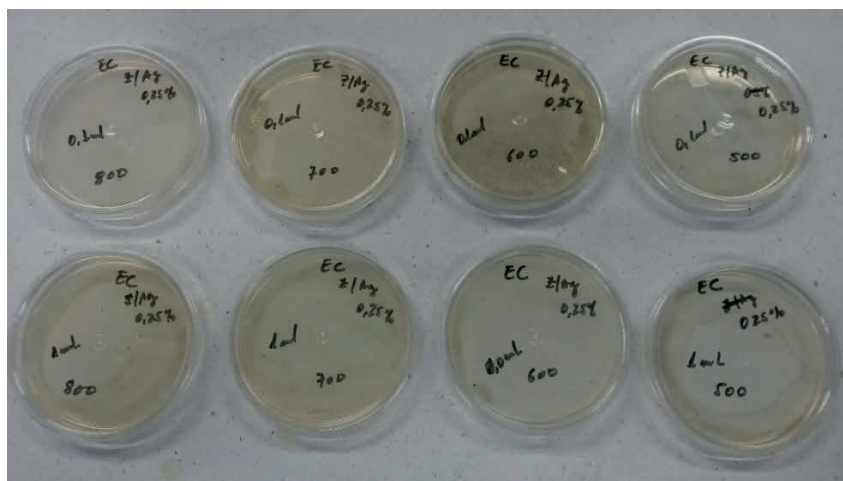


Fonte: Próprio autor

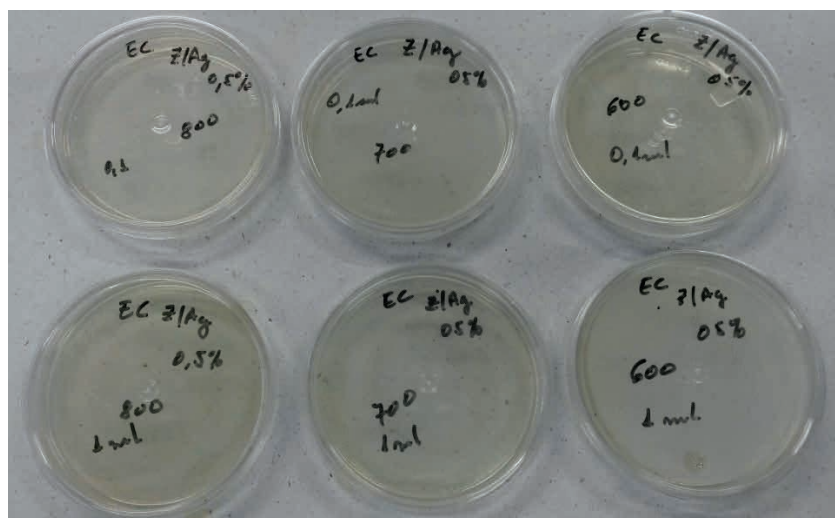
Para verificar a eficiência do filtro sintetizado, contaminaram-se amostras de água com as bactérias *Staphylococcus Aureus* e *Escherichia Coli*, e após a contaminação, realizou-se sua filtragem utilizando os filtros produzidos. Para esta análise foram utilizados três sistemas de filtragem: filtro cerâmico impregnado com a resina de zircônio (Zr* 100%); resina de zircônio dopada com prata na concentração de 0,25 %mol (Zr*-Ag 0,25%) e resina de zircônio dopada com prata na concentração de 0,5 % mol (Zr*-Ag 0,5%).

A Figura 8 mostra as análises microbiológicas da água após passar pelo filtro de composições 0,25 e 0,50 %mol de prata.

Figura 8 – (a) Placas para análise microbiológica da água do filtro zircônio dopada com prata na concentração de 0,5 % (Zr⁺-Ag 0,5%) e (b) na concentração de 0,25 % (Zr⁺-Ag 0,25%), para *Escherichia Coli*.



(a)



(b)

Fonte: Próprio autor

As Tabelas 1 e 2 mostram os resultados da análise bacteriológica obtidas após a passagem da água pelos filtros cerâmicos. Tais análises foram realizadas qualitativamente e a representação (-) significa que não houve eliminação de 100% das bactérias analisadas, enquanto o sinal (+) ocorreu total eliminação.

Tabela 1 – Resultados da análise bacteriológica da água contaminada com *Staphylococcus Aureus* após a utilização dos filtros cerâmicos.

Composição das resinas dos filtros cerâmicos(%mol)	Temperatura de tratamento térmico dos Filtros Cerâmicos (°C)			
	500	600	700	800
Zr* 100	-	-	-	-
Zr*-Ag 0,25	-	-	-	-
Zr*-Ag 0,5	+	+	+	+

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 2 – Resultados da análise bacteriológica da água contaminada com *Escherichia Coli* após a utilização dos filtros cerâmicos.

Composição das resinas dos filtros cerâmicos (%mol)	Temperatura de tratamento térmico dos Filtros Cerâmicos (°C)			
	500	600	700	800
Zr* 100	-	-	-	-
Zr*-Ag 0,25	-	-	-	-
Zr*-Ag 0,5	+	+	+	+

Fonte: Próprio Autor.

De acordo com os resultados observados nas Tabelas 1 e 2, as bactérias de *Staphylococcus Aureus* e *Escherichia Coli* não foram eliminadas totalmente nos filtros cerâmicos impregnados com a resina de zircônio (Zr* 100 %), o que mostra a ineficiência no tratamento da água contaminada com essas bactérias, independente da temperatura de tratamento. O mesmo foi observado com o filtro contendo a resina de zircônio dopada com prata na concentração de 0,25 %mol (Zr*-Ag 0,25 %). Para concentração de 0,5 %mol de prata, observou-se a completa eliminação das bactérias independentemente da temperatura de tratamento.

O fato da maior concentração ser mais eficiente, está ligado ao tamanho da partícula e sua distribuição no filtro cerâmico. Esse metal em pequenas concentrações é altamente letal para as bactérias, e dependendo da concentração poderá inibir ou destruir esses organismos (RODRIGUES, 2012). O efeito bactericida da prata está relacionado a interação das nanopartículas contendo os íons de Ag⁺ a parede bacteriana e / ou a inserção dos íons no interior das células (LALUEZA, 2011). A eliminação das bactérias *Staphylococcus Aureus* e *Escherichia Coli* ocorre devido a ação catalítica do íon prata, onde este destrói a membrana plasmática causando danos à respiração celular das bactérias e permeabilidade. Além disso, ao se ligarem ao enxofre e fósforo presentes no DNA das bactérias, impedem sua divisão celular (MORONES et al., 2005).

4. CONCLUSÃO

Por meio método da réplica foi possível obter filtros cerâmicos a base de argila Montmorilonita K10. A análise de TG mostrou uma grande perda de massa do material polimérico no intervalo de temperatura que varia entre 230 a 350 °C, a qual está relacionada a eliminação de carbonos e outros compostos orgânicos do material. Por meio das análises por DRX observaram-se picos característicos das fases t-ZrO₂ (zircônia tetragonal) e m-ZrO₂ (zircônia monoclinica) independente da temperatura de tratamento térmico, e da fase cúbica da prata, para as amostras dopadas com esse metal. Por meio da análise por MEV dos filtros cerâmicos, foi possível observar uma morfologia porosas e as análises por EDS corroboraram a presença da prata no filtro cerâmico. O filtro de maior eficácia quanto a eliminação das bactérias *Staphylococcus Aureus E. Coli* foi o dopado com 0,5 mol% de prata, devido a maior distribuição desse metal na estrutura cerâmica.

REFERÊNCIAS

BRAIBANTE, H. T. S.; BRAIBANTE, M. E. F. A versatilidade do K-10, como suporte sólido, em reações orgânicas. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, v. 36, Edição especial, p. 724-731, 2014.

BURGGRAFF, A. J.; COT, L. **Fundamentals of Inorganic Science and Technology**, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 1996.

CABALA, G. V. E.; ACCHAR, W. Silver Nanoparticle Surface Functionalized Alumina Filters for Disinfection of Potable Water. **Materials Today: Proceedings**, v. 2, p. 321-330, 2015.

HRISTOV, P.; YOLEVA, A.; DJAMBAZOV, St.; CHUKOVSKA, I.; DIMITROV, D. Preparation and characterization of porous ceramic membranes for micro- filtration from natural zeolite. **Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy**, v. 47, n. 4, p.476-480, 2012.

HUANCA, K. Z.; NUNES, A. B. A. Obtenção de espumas cerâmicas a partir de resíduo da terra diatomácea e ignimbrita pelo método de réplica. **Cerâmica**, v. 62, n. 362, p.110-114, 2016.

KUMAR, R. V.; GHOSHAL, A. K.; PUGAZHENTHI, G. Fabrication of zirconia composite membrane by in-situ hydrothermal technique and its application in separation of methyl Orange. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 121, p. 73-79, 2015.

LALUEZA, P.; MONZO, M.; ARRUEBO, M.; SANTAMARIA, J. Antibacterial action of Ag-containing MFI zeolite at low Ag loadings. **Chemical Communication**, n. 47, p 680–682, 2011.

LEE, J. D. **Química Inorgânica Não Tão Concisa**. São Paulo – SP: Edgard Blücher, 2001.

LI, W.; ZHAO, Z. Hierarchically structured tetragonal zirconia as a promising support for robust Ni based catalysts for dry reforming of methane. **RSC Advances**, n. 6, v. 77, p. 72942-72951, 2016.

MORONES, J.R.; ELECHIGUERRA, J.L.; CAMACHO, A.; RAMIREZ, J.T. The bacterial effect of silver nanoparticles. **Nanotechnology**, v. 16, p. 2346-2353, 2005.

NAMAVAR, F.; WANG, G.; CHEUNG, C. L.; SABIRANOV, R. F.; ZENG, X. C.; MEI, W.; BAI, J.; BREWER, J. R.; HAIDER, H.; GARVIN, K. L. Thermal stability of nanostructurally stabilized zirconium oxide. **Nanotechnology**, v. 10, n. 41, 415702, 2007.

NANGREJO, M. R.; BAO X. J.; EDIRISINGHE, M. J. Preparation of Silicon carbide–Silicon Nitride Composite Foams from Pre-Ceramic Polymers. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 20, n. 11, p.1777–1785, 2000.

PU, X.; LIU, X.; QIU, F.; HUANG, L. Novel Method to Optimize the Structure of Reticulated Porous Ceramics. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 87, n. 7, p. 1392–1394, 2004.

RODRIGUES, E. N. L.; MIRANDA, E. J. P.; OLIVEIRA, M. M. Silver-Doped Zirconia Nanoparticles as Possible Bactericide in Water Filters. **Materials Science Forum** (Online), v. 798-799, p. 69-74, 2014.

ROSÁRIO, J. A. do; MACHADO, G. R.; SILVA, J. M. M.; SOUZA, H. J. de; HOTZA, D.; BOSCHI, A. O. Ancoragem da prata em substratos cerâmicos para tratamento de água de consumo. **Cerâmica**, v. 65, n. 376, p. 541-546, 2019.

SALVINI, V. R.; INNOCENTINI, M. D. M.; PANDOLFELLI, V. C. Influência das condições de processamento cerâmico na resistência mecânica e na permeabilidade dos filtros de Al₂O₃-SiC. **Cerâmica**, v. 48, n. 307, p.121-125, 2002.

SILVEIRA, C. B., ESCOBAR, J. A.; QUINTERO, M. W. Decomposição térmica de espumas de poliuretano para fabricação de vitrocerâmica celular de Li₂O- ZrO₂-SiO₂-Al₂O₃ (LZSA). **Química Nova**, v. 30, n. 5, p.1104-1107, 2007.