

# MODIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COM Ag e Cu PARA UTILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

F.S.ARAKAWA<sup>1</sup>, Q.L.SHIMABUKU<sup>1</sup>, N.U.YAMAGUCHI<sup>1</sup>, R.D.GOMES<sup>1</sup>, F.P. CAMACHO<sup>1</sup>,  
L.O.R.MORETI<sup>1</sup>, M.R.BUENO<sup>1</sup>, T.R.T. SANTOS<sup>1</sup>, C. SILVEIRA<sup>1</sup>, O.A.A. SANTOS<sup>1</sup>,  
R.BERGAMASCO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: flaviasayuri@gmail.com

**RESUMO** – O carvão ativado foi modificado com Ag e Cu com capacidade antibacteriana para utilização no tratamento de água. O processo de modificação do carvão ativado foi realizado com a impregnação de soluções aquosas de  $\text{AgNO}_3$  e  $\text{Cu}_2\text{SO}_4$  em diferentes concentrações ( $\text{C/Ag}_{0,5\%}\text{Cu}_{1\%}$ ,  $\text{C/Ag}_{0,5\%}\text{Cu}_{2\%}$ ), seguido da impregnação a vácuo. A influência da impregnação de Ag e Cu no carvão ativado foi verificada através de técnicas de caracterização. A caracterização textural foi realizada através das isotermas de adsorção/dessorção de  $\text{N}_2$ , área superficial BET, distribuição do tamanho e volume de poros. A caracterização estrutural foi realizada por Difractometria de Raio-X (DRX) para identificar as fases cristalográficas no carvão ativado. Os meios filtrantes foram avaliados em relação à eficiência de redução de bactérias *Escherichia coli* da água. A eficiência bacteriológica dos meios filtrantes com C/Ag-Cu foi superior a 3 log de redução de bactérias, melhorando a qualidade bacteriológica da água destinada ao consumo humano.

## 1. INTRODUÇÃO

Carvão ativado é um material de base carbonácea que contém uma estrutura de poros interna bem desenvolvida. A alta área superficial, grande porosidade, a estrutura de poros bem desenvolvida consistindo de micro, meso e macroporos, assim como os grupos funcionais presentes na superfície do carvão ativado fazem dele um material versátil com inúmeras aplicações em diversas áreas, principalmente nos processos ambientais. (BHATNAGAR *et al.*, 2013).

Adsorção com carvão ativado vem sendo reconhecida como uma eficiente tecnologia de controle para o tratamento da água, pois possui uma grande capacidade adsorvente para remover o sabor e o odor da água, eliminar contaminantes orgânicos e inorgânicos (HAMDAOUI, NAFFRECHOW, 2007; CHENG, DASTGHEIB, KARANFIL, 2005). Porém, a capacidade de adsorção do carvão ativado para remover algumas espécies de poluentes, como os micro-organismos, pode ser impulsionada pela modificação com químicos adequados, melhorando as propriedades existentes do carvão ativado e proporcionando um sinergismo entre os químicos e o carvão. (HENNING, SCHÄFER, 1993).

Pequenas quantidades de metais ou traços de elementos metálicos atuam como agentes bactericidas no crescimento microbiano. O efeito antibacteriano dos íons metálicos tem sido atribuído ao seu pequeno tamanho e de superfície elevada em relação ao seu volume, o que lhes permite interagir próximos às membranas das bactérias. (MORONES *et al.*, 2005). Íons metálicos com atividade antibacteriana podem ser imobilizados e incorporados em superfícies, os quais podem encontrar aplicações em várias áreas como, área médica, área de processamento de alimentos, catálise e tratamento de água. (RUPARELIA *et al.*, 2008).

Diversos estudos em relação à atividade antimicrobiana, particularmente a prata, têm sido reportados (ZHAO *et al.*, 2013, BANDYOPADHYAYA; SIVAIAH; SHANKAR, 2008, MAIOLI *et al.* 2009. Entretanto, estudos vêm sendo desenvolvidos sobre a capacidade antimicrobiana de outros metais, dentre eles os íons cobre, que têm sido utilizados como algicidas e considerado um metal tóxico para bactérias heterotróficas em meio aquoso. (YOON *et al.* 2007). Para aumentar o efeito oligodinâmico, o cobre podem se combinar com a prata, resultando em um efeito sinérgico de desinfecção nas células bacterianas. Os íons cobre carregado positivamente distorcem a parede celular pela ligação a grupos de carga negativa e permitindo que íons prata entrem na célula, este por sua vez liga-se com o DNA, RNA, enzimas e proteínas celulares, causando lesão celular e morte (HAMBIDGE, 2001).

Uma potencial aplicação dos materiais antimicrobianos é a sua utilização para complementar os processos convencionais de tratamento de água (SHANNON *et al.* 2008). Sistemas descentralizados podem ser utilizados como aparatos domésticos de tratamento ou pós-tratamento de água, e são especialmente úteis em áreas sem fornecimento de água tratada, ou até mesmo quando o sistema de tratamento existente não garante água em quantidade/qualidade suficiente. (PETER-VARBANETS *et al.* 2009).

O presente trabalho teve como objetivo a modificação do carvão ativado a partir da impregnação de Ag e Cu, com caráter antimicrobiano, e avaliação da atividade bacteriológica em processos de tratamento de água.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Preparação do Carvão Ativado Granular Impregnado com Ag e Cu**

Carvão ativado granular (CAG) de coco de dendê, produzido pela Bahiacarbon (Bahia, Brasil) foi modificado utilizando a técnica de impregnação com soluções aquosas dos sais metálicos  $\text{AgNO}_3$  e  $\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . O cobre e a prata foram impregnados no CAG em duas concentrações diferentes: C/ $\text{Ag}_{0,5\%}\text{Cu}_{2\%}$ , C/ $\text{Ag}_{0,5\%}\text{Cu}_{1\%}$  (m/m). Em um evaporador rotativo, as amostras foram mantidas sob mistura (20 rpm) a  $T=60^\circ\text{C}/24$  h. Em seguida, as amostras foram submetidas ao método de impregnação a vácuo a  $T=80^\circ\text{C}/30$  min. As amostras de foram secas em estufa na temperatura de  $80^\circ\text{C}/24$  h. Posteriormente, as amostras foram submetidas a um tratamento térmico em forno mufla a temperatura de  $350^\circ\text{C}/5$  h.

## 2.2. Caracterização Textural

A caracterização textural do carvão ativado granular sem modificação (CAG) e das amostras de carvão ativado modificado (C/Ag-Cu) foi realizada em um sistema de sorção de gases (Modelo Autosorb Nova 1200 Series, Marca Quantachrome). Das isotermas de adsorção/dessorção de N<sub>2</sub> a 77K foram obtidas propriedades como área superficial BET ( $S_{BET}$ ) calculada usando a equação BET (Brunauer-Emmett-Teller) (BRUNAUER, EMMETT, TELLER *et al.*, 1968), área ( $S_m$ ) e volume de microporos ( $V_m$ ) determinada através do método de t de Halsey (HALSEY, 1948) e a distribuição do tamanho de poros foi analisada pelo método DA (Dubinin-Astakhov) (DUBININ, RADUSHKEVICH, 1947).

## 2.3. Caracterização Estrutural

A caracterização estrutural foi realizada em difratômetro de raios-X (Modelo D6000, Marca Shimadzu) através de análises de difração de raios-X (DRX). Os difratogramas de raios-X das amostras foram obtidos com ângulos de difração variando na faixa dos valores de  $2\theta$  entre 20° a 80° a uma taxa de 2°/min, com radiação monocromática Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 0.15418$  nm).

## 2.4. Experimentos da Atividade Bacteriológica do C/Ag-Cu

Os testes experimentais foram realizados em sistemas de purificação de água para uso doméstico. As amostras de C/Ag-Cu foram colocadas em cartuchos cilíndricos (90x72 mm), contendo uma massa de 150 g. Os testes com os filtros de CAG/Cu-Ag foram realizados em duplicata e conforme a Norma Brasileira ABNT NBR 16098 (ABNT, 2012), na condição de inicial (5%) e na final (95%) da sua vida útil do filtro, estipulando um volume de filtração de 600 L. Os testes de eficiência bacteriológica dos filtros com C/Ag-Cu foram avaliados por meio da percolação de água sintética preparada com a bactéria *Escherichia coli* (ATCC 11229) a uma concentração inicial de aproximadamente 10<sup>5</sup>–10<sup>6</sup> UFC/100mL na água, sendo esta concentração inicial estabelecida pela ABNT NBR 16098/2012 como critério para avaliação de eficiência bacteriológica. As análises das amostras de água foram realizadas utilizando a técnica da membrana filtrante conforme descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

# 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Caracterização Textural

As isotermas de adsorção e dessorção de N<sub>2</sub> a 77 K e a análise da distribuição de tamanho de poros pelo método DA (Dubinin-Astakhov) do carvão ativado sem impregnação (CAG) e das amostras C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> estão mostradas na Figura 1.

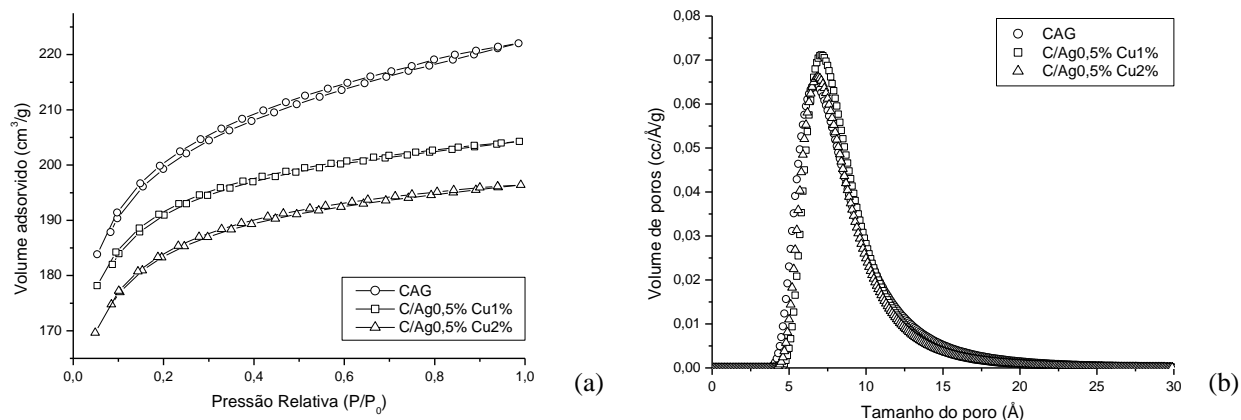


Figura 1 – Isotermas de adsorção e dessorção de N<sub>2</sub> a 77 K (a). Distribuição do tamanho de poros (b)

As isotermas de adsorção e dessorção das amostras de CAG, C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> mostradas da Figura 1a, apresentaram curvas do tipo I segundo a classificação BET é característica de sólidos microporosos. Resultados semelhantes foram reportados por Aygün, Duman (2003); El-Hendawi *et al.* (2008) e Maroto-Valer *et al.* (2004). A Figura 1b, mostraram que as curvas de distribuição do tamanho das amostras CAG, C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> foram semelhantes. O carvão ativado sem impregnação (CAG) apresentou grande quantidade de poros na faixa entre 4,7 a 12,8 Å e as amostras C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> apresentaram poros na faixa entre 4,0 a 13,4 Å. Portanto, a distribuição de poros é predominantemente de sólidos microporosos, possuindo tamanho de poros inferior a 20 Å, conforme a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) (SING *et al.*, 1985).

As informações sobre os parâmetros texturais das amostras CAG, C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros texturais das amostras CAG, C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub>

Amostra	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	S <sub>m</sub> (m <sup>2</sup> /g)	V <sub>p</sub> (cm <sup>3</sup> /g)	V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> /g)	D <sub>p</sub> (Å)
CAG	575	416	0,34	0,32	12,0
C/Ag <sub>0,5%</sub> Cu <sub>1%</sub>	543	422	0,32	0,24	11,6
C/Ag <sub>0,5%</sub> Cu <sub>2%</sub>	520	404	0,30	0,23	11,6

De acordo com os dados obtidos na Tabela 1, nas amostras modificadas houve uma redução da S<sub>BET</sub> quando comparada com o carvão ativado sem impregnação (CAG) com S<sub>BET</sub> (575 m<sup>2</sup>/g), isto provavelmente ocorreu devido à incorporação de metais na sua estrutura que alterou a estrutura de poros do carvão. As impregnações com metais no CAG aumentaram a área de microporos, S<sub>m</sub>. No carvão CAG a S<sub>m</sub> foi de 72,34% da S<sub>BET</sub> e para as outras amostras C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> (77,69%) e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> (77,71%). Este aumento na área de microporos possivelmente pode ser devido à impregnação a vácuo, que segundo Yang; Qiu (2010), o efeito da pressão no sistema contribui para o desenvolvimento da área superficial e dos poros do carvão ativado. Em todos os meios porosos houve a redução do volume total do poro, V<sub>p</sub>, para a amostra C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> (11,76 %) e na amostra C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> (5,88 %). Este fenômeno pode ser

justificado devido à obstrução parcial dos poros do carvão original diminuindo assim seu volume e área superficial, resultante da interação entre os metais adicionados e o carvão ativado (GOSCIANSKA *et al.*, 2012). De acordo com os valores de  $D_p$  das amostras analisadas, observou-se que possuem poros com diâmetro inferior a 20 Å, ou seja, as amostras são predominantemente microporosas.

### 3.2 Caracterização Estrutural

As fases cristalográficas da microestrutura das amostras CAG, C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> foram determinadas através dos difratogramas de raios-X e estão mostradas na Figura 3.

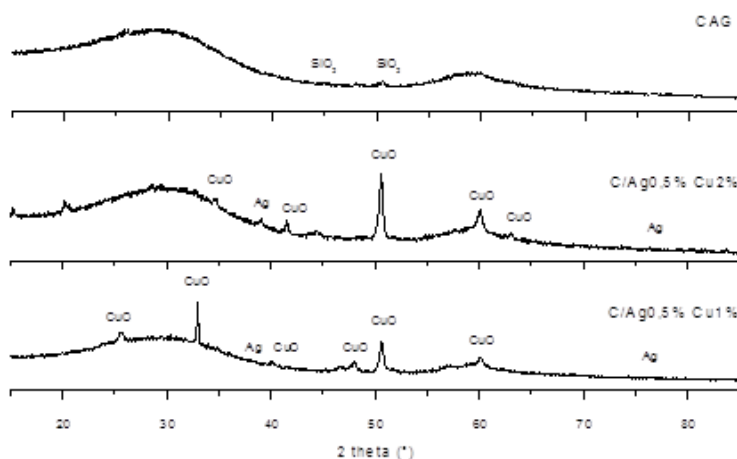


Figura 3 - Difratogramas de raios-X do CAG, C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub>

O difratograma do carvão ativado sem impregnação de metais (CAG) indicou a presença de planos de carbono e carbono grafite localizados em ângulos de  $2\theta$  próximos a 25,43° e 59,63°, respectivamente. Observa-se a formação da cristobalita, com pequeno pico centrado em  $2\theta$  de 50°, devido a cristalização do SiO<sub>2</sub> presente na composição do carvão ativado. As fases cristalográficas de SiO<sub>2</sub> também foram reportadas por Zainudin *et al.* (2005) presentes no carvão de casca de coco de dendê.

Nos difratogramas dos carvões impregnados com metais foram encontrados planos com interferência da prata e do cobre, indicando que a impregnação alterou a estrutura basal do carvão ativado original. A prata impregnada no carvão foi convertida totalmente na forma metálica na etapa de tratamento térmico a 350°C. Os mesmos picos de prata estreitos correspondentes a planos de prata metálica também foi encontrado nos valores de  $2\theta$  próximo a 38,1° e 77,6° por Srinivasan, Shankar, Bandyopadhyaya (2013). O cobre foi identificado na forma de óxidos de cobre, e não ocorrendo a conversão em cobre metálico. Os resultados obtidos foram coerentes ao encontrado por Lam; Hu (2003), onde os picos correspondentes aos valores de  $2\theta$  de 35,4°, 42,3°, 61,4° e 66,2° corresponde a fase de óxido cúprico (CuO).

### 3.3. Experimentos de Atividade Bacteriológica dos filtros com C/Ag-Cu

As eficiências de redução de bactérias *Escherichia coli* da água foi avaliada nos filtros com CAG e com C/Ag-Cu na condição inicial e com 95% da vida útil dos filtros e estão mostradas na Tabela 2, em termos de redução em log. A concentração inicial de *Escherichia coli* utilizada nos ensaios variou entre  $2,70 \times 10^6$  a  $8,80 \times 10^6$  UFC/100 mL, aproximadamente 6 log.

Tabela 2 – Eficiência bacteriológica em relação à redução de bactérias *Escherichia coli* da água das amostras de C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub> e C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>2%</sub> em comparação com a amostra CAG.

Filtro	Condição inicial (log)	Condição de 95% (log)	Critério de eficiência bacteriológica NBR 16098/2012
CAG	0,08	0,09	Redução mínima de 2 log
C/Ag <sub>0,5%</sub> Cu <sub>1%</sub>	5,31	4,46	
C/Ag <sub>0,5%</sub> Cu <sub>2%</sub>	6,85	3,97	

A eficiência de redução de bactérias *Escherichia coli* da água foi consideravelmente superior nos filtros com as amostras de carvão ativado impregnado com C/Ag-Cu quando comparada à eficiência do filtro com carvão ativado sem impregnação, CAG. Apesar da diminuição da concentração de Cu impregnada no carvão ativado (C/Ag<sub>0,5%</sub>Cu<sub>1%</sub>) a eficiência bacteriológica dos filtros testados na condição inicial (5% da vida útil) e na condição final (95% da vida útil) alcançaram uma redução de bactérias *Escherichia coli* superior de a 2 log, limite mínimo estabelecido pela ABNT 16098/2012, sendo considerados eficientes em relação ao critério de eficiência bacteriológica. A elevada eficiência bacteriológica obtida nas amostras modificadas (CAG/Ag-Cu) pode ser explicada devido à potencialização do efeito oligodinâmico da ação sinérgica da prata e cobre. As reduções bacteriológicas na condição de 95% da vida útil dos filtros mostraram uma menor eficiência em relação à condição inicial. Essas menores reduções segundo Mpenyana-Monyatsi *et al.* (2012) e Zhao *et al.* (2013) provavelmente deve-se a menor quantidade de metais presentes no carvão durante a percolação dos 570 L de água de abastecimento, ocasionada pela lixiviação da prata e cobre fracamente adsorvidos na superfície do carvão.

## 4. CONCLUSÃO

As características texturais do carvão ativado original foram modificadas após o processo de impregnação de metais em solução aquosa e subsequente evaporação a vácuo. Houve a obstrução parcial dos poros, diminuição do volume e da área superficial e o aumento da microporosidade. Em relação às características texturais, após as impregnação observou-se a presença de Ag na forma metálica (Ag<sup>0</sup>) e óxido de cobre (CuO) na superfície do carvão ativado. Os filtros com C/Ag-Cu mostrou elevada atividade bacteriológica em relação à redução de *Escherichia coli* da água (> 2 log), proporcionando uma melhoria na qualidade microbiológica da água. A aplicação destes meios porosos em filtros domésticos pode ser sugerida como uma



possível alternativa no tratamento de água para o problema enfrentado pela população que não possuem acesso à água potável.

## 5. REFERÊNCIAS

- ABNT – NBR 16098: Aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano – Requisitos e Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, setembro, 2012. 34 p.
- APHA - American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st, Centennial Edition, Washington, 2005.
- AYGÜN, Y.S.; DUMAN, I. Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties, *Microporous Mesoporous Mater.*, v.66, p. 189-195, 2003.
- BANDYOPADHYAYA R.; SIVAIHA M.V.; SHANKAR, P.A. Silver embedded granular activated carbon as an antibacterial medium for water purification. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, v. 83, p.1177-1180, 2008.
- BHATNAGAR, A.; HOGLAND, W.; MARQUES, M.; SILLANPÄ, M. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chem. Eng. J.*, v. 219, p. 499-511, 2013.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.*, v.60, p.309-319, 1938.
- CHENG, H.; DASTGHEIB, S.A.; KARANFIL, T. Adsorption of dissolved natural organic matter by modified activated carbons, *Water Res.*, v.39, p.2281-2290, 2005.
- DUBININ, M.M.; RADUSHKEVICH, L.V. Doklad Akademii Nauk, SSSR, v. 55, ep. 331, 1947.
- GOSCIANSKA, J.; NOWAK, I.; NOWICKI, P.; PIETRZAK, R. The influence of silver on the physicochemical and catalytic properties of activated carbons. *Chem. Eng. J.*, v. 189-190, p. 422-430, 2012.
- HALSEY G.D. Physical adsorption on non-uniform surfaces. *J.Chem. Phys.*, v.16, p.931-937, 1948.
- HAMBIDGE, A. Reviewing efficacy of alternative water treatment techniques. *Health Estate*, v.55, p.23-25, 2001.
- HAMDAOUI, O.; NAFFRECHOW, E. Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorofenols onto granular activated carbon. Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters. *J. Hazard. Mater.*, v.147, p.381-394, 2007.
- HENNING, K.-D.; SCHÄFER, S. Impregnated activated carbon for environmental protection. *Gas Sep. Purif.*, v.7, p.235-240, 1993.
- LAM, F.L.Y.; HU, X. A new system design for the preparation of copper/activated carbon catalyst by metal-organic chemical vapor deposition method. *Chem. Eng. Sci.*, v.58, p.687-695, 2003.
- MAIOLI, C.; BESTETTI, A.; MAURI, A.; POZZATO, C.; PARONI, R. Removal of radioisotopes in solution and bactericidal/bacteriostatic sterilising power an activated carbon and metal silver filters. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, v. 27, p.49-53, 2009.

- MAROTO-VALER, M. M.; DRANCA, I.; LUPASCU, T.; NASTAS, R. Effect of adsorbate polarity on thermodesorption profiles from oxidized and metal-impregnated activated carbons. *Carbon*, v.42, p.2655-2659, 2004.
- MORONES J.R.; ELECHIGUERRA, J.L.; CAMACHO, A.; HOLT, K.; KOURI, J.B.; RAMIREZ, J.T. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnol.*, v.6, p.2346–2353, 2005.
- MPENYANA-MONYATSI, L.; MTHOMBENI, N. H.; ONYANGO, M. S.; MOMBA, MAGGY N. B. Cost-effective filter materials coated with silver nanoparticles for the removal of pathogenic bacteria in groundwater. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v.9, p.244-271, 2012.
- PETER-VARBANETS, M.; ZURBRÜGG C.; SWARTZ, C.; PRONK, W. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Res.*, v. 43, p. 245–265, 2009.
- RUPARELIA, J.P.; CHATTERJEE, A.K.; DUTTAGUPTA, S.P.; MUKHERJI, S. Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. *Acta Biomater.*, v.4, p.707-716, 2008.
- SHANNON, M.; BOHN, P.W.; ELIMELECH, M.; GEORGIADIS, J.G.; MARINAS, B.J.; MAYES, A.M. Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, v. 452, p.301–310, 2008.
- SING, K. S. W. REPORTING PHYSISORPTION DATA FOR GAS/SOLID SYSTEMS with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity. *Pure Appl. Chem.*, v.54, p.2201-2218, 1982.
- SRINIVASAN, N. R., SHANKAR, P. A., BANDYOPADHYAYA, R. Plasma treated activated carbon impregnated with silver nanoparticles for improved antibacterial effect in water disinfection, *Carbon*, v.57, p.1-10, 2013.
- YANG, J.; QIU, K. Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal, *Chem. Eng. J.*, v.165, p.209-217, 2010.
- YOON, K-Y.; BYEON, J.H.; PARK, J-H.; HWANG, J. Susceptibility constants of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* to silver and copper nanoparticles. *Sci. Environ.*, v.373, p.572–575, 2007.
- ZAINUDIN, N.F.; LEE, K.T.; KAMARUDDIN, A.H.; BHATIA, S.; MOHAMED, A.R. Study of adsorbent prepared from oil palm ash (OPA) for flue gas desulfurization. *Sep. Purific. Technol.*, v.45, p.50-60, 2005.
- ZHAO, Y.; WANG, Z-Q.; ZHAO, X.; LI, W.; LIU, S-X. Antibacterial action of silver-doped activated carbon prepared by vacuum impregnation, *Appl. Surf. Sci.*, v.266, 67-72, 2013.