

# PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COM PRATA E COBRE EM UNIDADE PILOTO E SUA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A. M. FELINI<sup>1</sup>, S. L. BAZANA<sup>1</sup> e R. BERGAMASCO<sup>1</sup>

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

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi desenvolver um processo em unidade piloto para produção de carvão ativado modificado com prata e cobre, para utilização em sistemas de purificação de água. Foi utilizado um sistema piloto, onde o carvão ativado impregnado com metais foi produzido por processos físico-químicos e aplicado em filtros domésticos gravitacionais. As amostras dos meios porosos modificados foram caracterizadas por análises de área superficial específica e porosidade. O carvão que compõe os filtros foi avaliado em relação à eficiência de redução de cloro livre, turbidez, pH e eficiência na remoção de *Escherichia coli*, apresentando eficiência bacteriológica superior ao carvão ativado sem modificação. Após a filtração com o carvão ativado modificado, os resultados obtidos para as amostras de água em relação à turbidez, pH e cloro livre, mostraram-se de acordo com os limites da Portaria 2914/2011.

## 1. INTRODUÇÃO

Há muitos contaminantes que podem alterar a qualidade da água destinada para o consumo humano. Os principais riscos deste consumo estão relacionados à contaminação microbiológica, especialmente em países em desenvolvimento (Peter-Varbanets *et al.*, 2009)

Devido à sua estrutura porosa e altamente desenvolvida, o carvão ativado tem se destacado como um eficiente adsorvente para o tratamento de água, pois tem uma grande capacidade de remover sabor e odor da água e eliminar contaminantes orgânicos e inorgânicos (Hamdaoui e Naffrechow, 2007; Cheng *et al.*, 2005).

No entanto, o carvão ativado puro não é eficiente para a remoção de alguns contaminantes, como os micro-organismos. A incorporação de elementos na sua superfície para aumentar sua eficiência torna-se necessária. Além disso, a alta adesão de micro-organismos no carvão ativado, devido sua elevada biocompatibilidade, (Oya *et al.*, 1993; Li *et al.*, 2008; Tamai *et al.*, 2001), pode possibilitar que os micro-organismos se reproduzam na superfície do carvão ativado durante a filtração, fazendo com que o carvão ativado se torne um poluente durante o processo de purificação (Yang e Qiu, 2010; Verdenelli *et al.*, 2003). A impregnação de metais em sua superfície vem sendo estudada e aplicada para compensar essa deficiência de remoção de microrganismos.

Em relação aos efeitos antibacterianos de alguns metais, a prata possui um forte efeito inibitório sobre muitas espécies de bactérias (Oya *et al.*, 2006; Feng *et al.*, 2000). O efeito do cobre é tóxico para os micro-organismos, desestabilizando a membrana e induzindo a permeabilidade (Jun *et al.*, 2003; Kirakosyan e Trchounian, 2007).

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo a utilização de carvão ativado impregnado com os metais prata e cobre, para remoção de contaminantes microbiológicos.

## 3. METODOLOGIA

O carvão ativado de babaçu (FBC – Fabrica Brasileira de Catalizadores LTDA) utilizado nesse estudo foi fornecido pela empresa PURIFIC, com granulometria de 16x50 mesh, densidade 0,57(g/cm<sup>3</sup>). Foi modificado em um reator em unidade piloto utilizando a técnica de impregnação a vácuo com soluções aquosas de AgNO<sub>3</sub> e Cu<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.5.H<sub>2</sub>O. No reator em unidade piloto, a amostra de carvão e as soluções aquosas metálicas foram misturadas e mantidas a 100°C por 30 minutos. As amostras de carvão ativado modificado foram secas em estufa e posteriormente, submetidas a um tratamento térmico em forno mufla a 350°C por 5 horas.

A avaliação físico-química das amostras de água filtrada foi realizada de acordo com as informações contidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Metodologia e equipamentos para análise dos parâmetros: Turbidez, pH e Cloro Livre

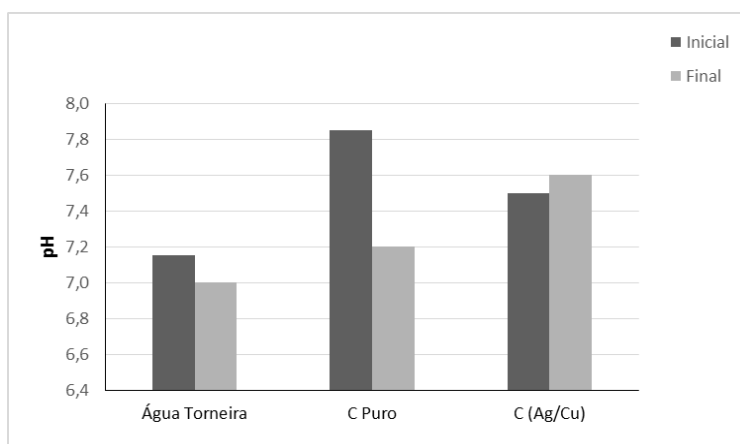
Parâmetros	Metodologia/Equipamentos	Fonte
Turbidez (uT)	Turbidímetro portátil HACH - modelo 2100P (análise em duplicata).	APHA (1998)
pH	pH-metro Digimed DM-2 (análise em duplicata)	APHA (1998)
Cloro Livre	Método DPD (N,N-dietil-p-fenilenodiamino) em espectrofotômetro (HACH DR 2500)	NBR 160988 (ABNT, 2012)

A eficiência bacteriológica dos filtros foi avaliada por meio da percolação de água contaminada com bactérias *E. coli* (cepa ATCC 11229) com concentração inicial de aproximadamente 10<sup>5</sup> – 10<sup>6</sup> UFC/100mL (ABNT, 2012). O método para determinação das colônias de bactérias é realizada pela técnica da membrana filtrante, conforme descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). A contagem das bactérias é realizada pela comparação do número de bactérias na amostra de água contaminada em relação ao número de bactérias nas amostras de água após serem filtradas pelas amostras de carvão impregnado com prata (0,06%) e cobre (1%), (C(Ag/Cu)). Os ensaios de eficiência bacteriológica são realizados de acordo com a Norma Brasileira NBR 160988 (ABNT, 2012) e estabelece um critério de eficiência bacteriológica mínima de redução de 2 log.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação físico-química em relação ao pH é mostrada na Figura 1, onde há uma comparação dos valores de pH da água filtrada no início e no final da vida útil dos filtros (5% e 95%, respectivamente). Observa-se que, embora tenha ocorrido um pequeno aumento nos valores de pH da água filtrada em relação à água de abastecimento, os valores mantiveram-se próximos à neutralidade.

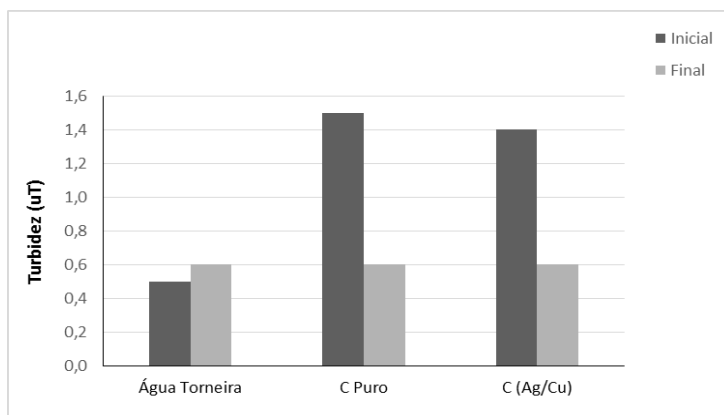
Figura 1 - Variação do pH para sistemas de carvão ativado



O estudo de Cheng *et al.* (2005) com carvão ativado modificado com ferro para adsorção de matéria orgânica da água apresentou resultados semelhantes, pois o pH da água durante os experimentos variou de 6,9 a 7,8 o que pode ter ocorrido devido à superfície básica desenvolvida no carvão durante o tratamento térmico após a impregnação com metais. Apesar do aumento, o pH da água de abastecimento e também da água após a filtração com os C(Ag/Cu) mantiveram próximos a neutralidade

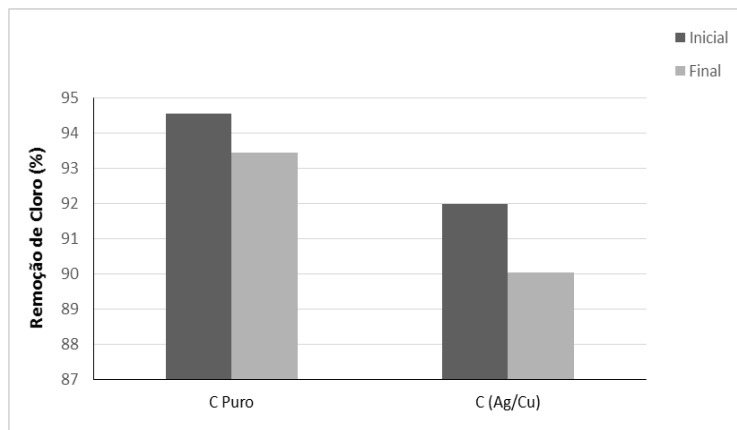
Os resultados avaliados para a turbidez são mostrados na Figura 2, onde observa-se que em todos os sistemas com carvão ativado houve um aumento da turbidez no tempo inicial, quando comparado com a água de abastecimento. De acordo com Colares *et al.* (2010), pode ocorrer fragmentação do carvão ativado devido à agitação apicada no seu preparo, tornando possível o arraste de pequenas partículas do carvão ativado que não foram removidas durante a lavagem do carvão, o que pode ocasionar o aumento da turbidez. Mesmo o aumento inicial, todos os testes apresentaram turbidez menores que o máximo estabelecido pela NBR 16098 (ABNT, 2012), de 5 Ut.

Figura 2 - Variação da turbidez para os sistemas de carvão ativado



A Figura 3 contém os resultados das análises feitas em relação à remoção de cloro, mostrando que a presença dos metais impregnados no carvão não tiveram influência na redução de cloro livre da água, pois não houve diferença entre as eficiências de redução de cloro livre nos filtros com C Puro e com C(Ag/Cu). Observa-se que a remoção apresentou valores acima de 90% para todos os adsorventes analisados, portanto sua classificação de acordo com NBR 16098 (ABNT, 2012) é de classe I, com remoção superior à 75%.

Figura 3 - Avaliação da remoção de cloro para os sistemas de carvão ativado



A Tabela 2 mostra os resultados para a avaliação da eficiência para remoção de *Escherichia coli* para o carvão puro e o carvão impregnado com prata e cobre. Os valores de remoção são as médias dos resultados das réplicas, obtida da média dos valores em duplicata. A concentração inicial de *E. coli* utilizada estava entre  $3,20 \times 10^5$  e  $4,5 \times 10^6$  UFC/100mL, aproximadamente 6 log.

Tabela 2 - Avaliação da Eficiência para remoção de *E. coli*

Amostra	Remoção de <i>E. coli</i> em log	
	Inicial	Final
C Puro	0,48	-1,25
C (Ag/Cu)	5,65	2,75

A maior eficiência foi alcançada pelos filtros produzidos com carvão ativado impregnado com prata e cobre, alcançando remoções de 5,65 log no início da vida útil dos filtros (5%) e remoções de 2,75 no final da vida útil dos filtros (95%). Entretanto, os filtros com carvão ativado sem impregnação apresentaram remoção de 0,48 log na condição de 5% e -1,25 log na condição de 95% da vida útil dos filtros.

Deste modo, as eficiências bacteriológicas dos filtros de carvão ativado modificado com metais alcançaram bons resultados nas condições iniciais e finais da vida útil dos filtros, ambos superiores a 2 log, conforme limite mínimo exigido pela NBR 16098 (ABNT, 2012).

O motivo da alta remoção das bactérias nos filtros com carvão modificado com prata e cobre pode ser explicado devido à potencialização do efeito oligodinâmico da ação em conjunto dos íons prata e cobre, apresentando um efeito sinérgico. A combinação dos íons metálicos  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Ag}^{+}$  em solução tem a capacidade de inativar ou causar a morte de micro-organismos, além de romper as membranas celulares das bactérias e interromper a função da enzima (Sondi e Salopek-Sondi, 2004).

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, a eficiência bacteriológica foi consideravelmente superior nos filtros modificados C(Ag/Cu), alcançando resultados satisfatórios nas condições de 5% e 95% da vida útil dos filtros, ambos superiores a 2 log, conforme limite mínimo exigido pela NBR 16098 (ABNT, 2012).

Os valores de pH da água filtrada em todos os filtros avaliados aumentaram ligeiramente em relação ao pH da água de abastecimento, mantendo-se próximos a neutralidade. Também observa-se que não houve diferença entre as eficiências de redução de cloro livre nos filtros com C Puro e com C(Ag/Cu), e que a remoção apresentou valores acima de 90% para todos os adsorventes analisados.

## 6. REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water wastewater. 20. ed. Washington: APHA, 1998.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water wastewater. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16098 Aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano- Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, 1 ed., 34p, 2012.
- CHENG, H.; DASTGHEIB, S.A.; KARANFIL, T. Adsorption of dissolved natural organic matter by modified activated carbons. *Water Research*, v.39, p.2281-2290, 2005.
- COLARES, C. J. G.; BARBOSA, L. S.; CARDOSO, F. F.; REIS, R. C. Tratamento de Efluente Industrial Farmacêutico por Adsorção em Carvão Ativado. I Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente. Anápolis – GO, 2010.

- FENG, Q.L.; WU, J.; CHEN, G. Q.; CUI, F. Z.; KIM, T.N.; KIM, J.. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal Biomedical Materials Research*, v.52, p.662-668, 2000.
- HAMDAOUI, O.; NAFFRECHOW, E. Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon. Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters. *Journal Hazard Materials*, v.147, p.381-394, 2007.
- JUN, Y.; YI, L.; PENG, L.; HUIGANG, L.; MING, S.; SONGSHENG, Q.; ZINIU, Y. Study of the thermokinetic properties of copper (II) on *Escherichia coli* growth. *Biology Trace Elements Research*, v. 92, p. 61-70, 2003.
- KIRAKOSYAN, G.; TRCHOUNIAN, A. Redox sensing by *Escherichia coli*: effects of copper ions as oxidizers on proton-coupled transport. *Bioelectrochemistry*, v. 70, p. 58-63, 2007.
- LI, Q.; MAHENDRA, S.; LYON, D.L.; BRUNET, L.; LIGA, M.V.; LI, D.; ALVAREZ, P.J.J. Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications. *Water Research*, v.42, p. 4591-4602, 2008.
- OYA, A.; WAKAHARA, T.; YOSHIDA, S. Preparation of pitch – based antibacterial activated carbon fiber. *Carbon*, v. 31, p. 1243 -1247, 1993.
- OYA, A.; YOSHIDA, S.; ALCANIZ-MONGE, J.; LINARES-SOLANO, A. Preparation and properties of an antibacterial activated carbon fiber containing mesopores. *Carbon*, v.34, p. 53-57, 2006.
- PETER-VARBANETS, M.; ZURBRÜGG C.; SWARTZ, C.; PRONK, W. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*, v. 43, p. 245–265, 2009.
- SONDI, I.; SALOPEK-SONDI, B. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: A case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 275, n. 1, p. 177-182, 2004.
- TAMAI, H.; KATSU, N.; ONO, K.; YASUDA, H. Antibacterial activated carbons prepared from pitch containing organometallics. *Carbon*, v.39, p.1963-1969, 2001.
- VERDENELLI, M. C.; CECCHINI, C.; ORPIANESI, C.; DADEA, G.M.; CRESCI, A. Efficacy of antimicrobial filter treatments on microbial colonization of air panel filters. *Journal Applied Microbiology*, v.94, p. 9-15, 2003.
- YANG, J.; QIU, K. Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal. *Chemical Engineering Journal*, v.165, p.209-217, 2010.