



ISSN: 1984-3151

# ESTUDO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM FILTROS DE CARVÃO ATIVADO GRANULAR MODIFICADOS COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA E COBRE PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

## STUDY OF PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS IN GRANULAR ACTIVATED CARBON FILTERS MODIFIED WITH SILVER AND COPPER NANOPARTICLES FOR APPLICATION IN DRINKING WATER TREATMENT

Quelen Letícia Shimabuku<sup>1</sup>; Flávia Sayuri Arakawa<sup>2</sup>; Franciele Pereira Camacho<sup>3</sup>; Livia de Oliveira Ruiz Moreti<sup>4</sup>; Simone de Lima Bazana<sup>5</sup>; Carole Silveira<sup>6</sup>; Rosa Maria Ribeiro<sup>7</sup>  
Onélia Aparecida Andreo dos Santos<sup>8</sup>; Rosângela Bergamasco<sup>9</sup>

- 1 Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2011. Doutoranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Maringá, PR. [le.shimabuku@gmail.com](mailto:le.shimabuku@gmail.com).
- 2 Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2011. Doutoranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Maringá, PR. [flaviasayuri@gmail.com](mailto:flaviasayuri@gmail.com).
- 3 Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2014. Doutoranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Maringá, PR. [franciele\\_camacho@hotmail.com](mailto:franciele_camacho@hotmail.com).
- 4 Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2014. Doutoranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Maringá, PR. [li.moreti@hotmail.com](mailto:li.moreti@hotmail.com).
- 5 Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2014. Professor da Faculdade de Telêmaco Borba - FATEB. Telêmaco Borba, PR. [sibazana@yahoo.com.br](mailto:sibazana@yahoo.com.br).
- 6 Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2014. Doutoranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Maringá, PR. [carole\\_silveira@hotmail.com](mailto:carole_silveira@hotmail.com).
- 7 Doutora em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2005. Professora da UNICESUMAR, PR. [ai\\_rosamr@yahoo.com.br](mailto:ai_rosamr@yahoo.com.br).
- 8 Doutora em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, 1999. Professora da Universidade Estadual de Maringá - UEM, PR. [onelia@deq.uem.br](mailto:onelia@deq.uem.br).
- 9 Doutora em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, 1996. Professora da Universidade Estadual de Maringá - UEM. Maringá, PR. [rosangela@deq.uem.br](mailto:rosangela@deq.uem.br).

Recebido em: 18/03/2015 - Aprovado em: 16/09/2015 - Disponibilizado em: 30/11/2015

**RESUMO:** Esta pesquisa teve como objetivo o estudo de filtros de carvão ativado modificados com nanopartículas de prata e cobre. Para a impregnação dos metais na superfície do carvão ativado foi utilizado o método de impregnação por excesso de solvente nas concentrações de C/Ag0,5%, C/Ag1,0%, C/Cu0,5%, C/Cu1,0%, C/Ag0,5%Cu0,5%, C/Ag0,5%Cu1,0%, C/Ag1,0%Cu0,5% e C/Ag1,0%Cu1,0%. Os filtros produzidos foram testados (com água da torneira) quanto aos parâmetros físico-químicos (cor, turbidez, pH, cloro, dureza, sólidos dissolvidos totais e metais) de acordo com a Norma ABNT NBR 16098:2012 e permaneceram dentro da faixa de aceitação para o consumo humano (Portaria 2914:2011 e ABNT NBR 16098:2012). Para a determinação da concentração dos metais lixiviados para água durante a passagem pelo filtro foi utilizada a absorção atômica de

chama, todos os resultados obtidos permaneceram dentro da faixa de aceitação para o consumo humano de acordo com a Portaria 2914:2011 e ABNT NBR 16098:2012. Sendo assim, o carvão ativado produzido poderá ser aplicado no tratamento de água na remoção/inativação viral.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carvão Ativado granular, Cobre, Prata, Parâmetros físico-químicos, Tratamento de água.

**ABSTRACT:** This research aimed at studying filters of activated carbon modified with silver and copper nanoparticles. For the purpose of metal impregnation on the surface of activated carbon, it was utilized the excess solvent impregnation method at concentrations of c/ag0.5%, c/ag1.0%, c/cu0.5%, c/cu1.0%, c/ag0.5%cu0.5%, c/ag0.5%cu1.0%, c/ag1.0%cu0.5% and c/ag1.0%cu1.0%. The produced filters were tested (with tap water) relative to the physical-chemicals parameters (color, turbidity, ph, chlorine, hardness, total dissolved solids and metals) according to regulation abnt nbr 16098:2012 and remained within the acceptable range for human consumption (directive 2914:2011 and abnt nbr 16098:2012). As for the determination of the concentration of leached metals to water during the passage through the filter, flame atomic absorption spectrophotometry was used and all the determined results remained within the acceptable range for human consumption, according to directive 2914:2011 and ABNT NBR 16098:2012. Thus, the activated carbon produced can be used in water treatment for removing/inactivation viral.

**KEYWORDS:** Granular Activated Carbon, Silver, Copper, Physical-Chemical Parameters, Water treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país afetado pela escassez de água. Embora possua um grande volume de água superficial, esta água está mal distribuída em todo o território brasileiro (PAZ, TEODORO E MENDONÇA, 2000). O país não está livre de problemas de escassez de água, fato atribuído à degradação ambiental, ao crescimento elevado das demandas que incluem intensificação do consumo nas indústrias, à agricultura e à urbanização desordenadas, que concorrem com os usos básicos: higiene, preparo de alimentos e dessedentação (REBOUÇAS, 1999; CARMO, 2002; VASCONCELOS, 2002), fatores que degradam a qualidade dos recursos hídricos afetando assim a quantidade efetiva de água disponível para seus usos múltiplos.

A contaminação dos recursos hídricos e dos mananciais de abastecimento público por rejeitos oriundos das atividades humanas tem sido um dos maiores fatores de risco para a saúde das pessoas, especialmente em regiões com condições inadequadas de saneamento e suprimento de água (BRASIL, 2003).

Os vírus entéricos estão diretamente relacionados a essas doenças, visto que são excretados pelas fezes

de indivíduos infectados e introduzidos no meio ambiente pelo do lançamento do esgoto doméstico e/ou por derivados de seu tratamento, como lodo de esgoto e esgoto tratado, contaminando o solo, a água do mar, as águas estuárias e as de rio, os quais têm sido associados a várias doenças transmitidas pela água, tais como gastroenterite aguda, conjuntivite e doenças respiratórias (KAGEYAMA *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2007; HARAMOTO *et al.*, 2007; KITAJIMA *et al.*, 2009; KUO *et al.*, 2010; SIMMONS; KUO; XAGORARAKI, 2011). Os processos de tratamento disponíveis são muitas vezes insuficientes para a remoção desses patógenos (MELNICK; GERBA; BERG, 1980; GOYAL *et al.*, 1984; FONG; LIPP, 2005; RAJTAR *et al.*, 2008; SIMMONS; XAGORARAKI, 2011).

Visando a remoção/inativação de vírus da água para consumo humano foi preparado um carvão ativado modificado com nanopartículas de prata e cobre, os quais possuem efeitos antimicrobianos.

No entanto, antes de se utilizar o material preparado para a remoção/inativação viral, foi necessário o monitoramento dos parâmetros de qualidade da água, para verificação da conformidade com a Portaria nº 2914:2011 do Ministério da Saúde, que estabelece normas e padrões para a qualidade da água de

consumo humano e com a ABNT NBR 16098:2012 - Aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano - Requisitos e métodos de ensaio. E assim, analisar se a água filtrada estará dentro dos padrões de qualidade para consumo humano.

A qualidade da água pode ser representada por meio de diversos parâmetros, que traduzem suas principais características físicas, químicas e biológicas. Os parâmetros analisados foram: cor, turbidez, pH, cloro, dureza, sólidos dissolvidos totais e os metais, prata e cobre presentes na água.

Neste estudo será analisado se a água filtrada nos filtros com carvão ativado modificado com nanopartículas de prata e cobre permanecerá de acordo com os padrões de potabilidade da água para consumo humano, considerando os parâmetros acima citados e posteriormente aplicados na remoção/inativação de vírus no tratamento de água.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 PREPARAÇÃO DOS MEIOS FILTRANTES

O carvão ativado granular (20x40 mesh – 0,420-0,840 mm) de coco de dendê (origem vegetal), fabricado pela Bahiacarbon, foi utilizado como matéria-prima na preparação dos meios filtrantes. A prata e o cobre foram impregnados na superfície do carvão ativado utilizando método de impregnação por excesso de solvente e os sais utilizados foram AgNO<sub>3</sub> (Nuclear Company) grau analítico e CuSO<sub>4</sub> (II) (Vetec Ltda) grau analítico.

O método de impregnação utilizado foi o úmido/excesso de solvente. No balão do evaporador rotativo foram adicionados água deionizada, carvão ativado e a solução contendo os compostos metálicos, em proporção 1:1 (m/m). Essa mistura permaneceu sob agitação (20 rpm) e aquecimento (60 °C) por 24 h em um evaporador rotativo. Depois desse tempo, o excesso de água foi retirado em bomba a vácuo e a

amostra foi levada para secagem em estufa (Modelo SXCR/42) a 100 °C por 24 h. Na sequência, a amostra seca foi colocada em mufla (Modelo Q318J35T) para calcinação a 350 °C (Shimabuku *et al.*, 2013), seguindo uma rampa pré-determinada por 7 h.

As concentrações de metal utilizadas foram baseadas em estudos com carvão ativado, impregnado com metais na remoção de bactérias e protozoários. As concentrações escolhidas foram de acordo com Miotto *et al.* (2000), Hu *et al.* (1999), Shimabuku *et al.* (2013) e Arakawa *et al.* (2013).

A TAB. 1 apresenta as concentrações nominais utilizadas para impregnação dos compostos metálicos, as quais estão de acordo com análise estatística. Foi utilizado um delineamento experimental fatorial 3<sup>2</sup>, sendo 2 metais de impregnação (Ag e Cu) e 3 níveis de concentração de metais para impregnação (0,0%, 0,5% e 1,0%).

Tabela 1:

Concentrações nominais dos metais utilizados

Metal	Concentração nominal (%)
Prata (Ag)	0,5
Prata (Ag)	1,0
Cobre (Cu)	0,5
Cobre (Cu)	1,0
Prata (Ag)/Cobre (Cu)	0,5/0,5
Prata (Ag)/Cobre (Cu)	0,5/1,0
Prata (Ag)/Cobre (Cu)	1,0/0,5
Prata (Ag)/Cobre (Cu)	1,0/1,0

### 2.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os experimentos foram realizados em filtros comerciais. O material comercial filtrante (disposto em coluna de diâmetro 7,5 cm e altura 8,5 cm, com volume de 375,33 cm<sup>3</sup>) foi substituído pelas amostras

do carvão ativado puro e do carvão ativado modificado com os metais. A Figura 1 apresenta o módulo de filtração utilizado (dimensões: altura total 40 cm, comprimento 22 cm, largura 11 cm, reservatório superior 8 cm).

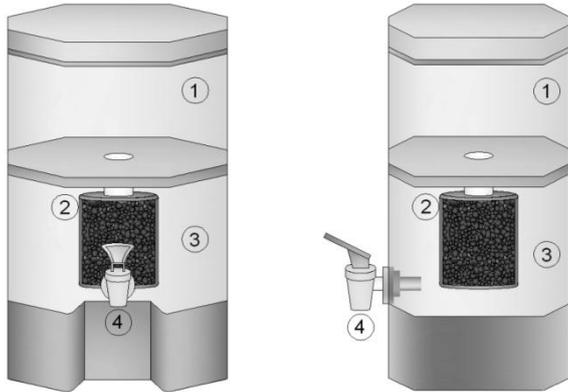


Figura 1: Sistema de filtração gravitacional - (1) Reservatório superior; (2) Meio filtrante produzido; (3) Reservatório inferior; (4) Coleta das amostras  
Fonte: Próprio autor.

Para a avaliação físico-química dos filtros, seguiu-se a metodologia da norma da ABNT NBR 16098:2012. Os parâmetros físico-químicos foram monitorados para verificar a permanência dentro dos limites estabelecidos pela Portaria nº 2914:2011 e NBR 16098:2012.

Foi considerada uma vida útil de 600 L, de acordo com os filtros comerciais disponíveis no mercado. No experimento foi utilizada água de torneira, proveniente da rede de abastecimento. Os parâmetros foram monitorados durante a vida útil, sendo realizadas análises de cor, turbidez, pH, cloro, dureza, sólidos dissolvidos totais e metais, nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil, conforme ABNT NBR 16098:2012.

### 2.2.1 CLORO LIVRE

A redução de cloro foi avaliada utilizando água de torneira com concentração de cloro livre corrigida para

$2,0 \text{ mgL}^{-1} \pm 0,2 \text{ mgL}^{-1}$ , por meio da adição de hipoclorito de sódio. O cloro livre foi determinado por método colorimétrico, utilizando DPD (N, N-di-etil-p-fenilenodiamino) como indicador em espectrofotômetro no comprimento de onda de 515 nm de acordo com o procedimento recomendado pelo *Standard Methods* (APHA, 1998).

### 2.2.2 COR

A cor foi medida em espectrofotômetro HACH DR 2010, método 8025, programa 120, comprimento de onda de 455 nm, por comparação visual com padrão de cobalto-platina, segundo procedimento recomendado pelo *Standard Methods*.

### 2.2.3 TURBIDEZ

As análises de turbidez foram realizadas em Turbidímetro portátil HACH – modelo 2100P, segundo procedimento recomendado pelo *Standard Methods*.

### 2.2.4 PH

O pH das amostras foi determinado por meio de pHmetro Digimed DM-2, conforme metodologia descrita no manual do aparelho.

A metodologia empregada para determinar o pH do carvão ativado foi baseada na norma ASTM 3838-05. As condições da análise para obter o pH do carvão ativado são: temperatura da mistura 100 °C, massa da amostra 10 g, volume de água deionizada 100 mL e o tempo utilizado para a fervura do carvão ativado foi de 15 min. (FERRAZ; LISBÔA, 2011).

### 2.2.5 DUREZA

A dureza foi determinada pelo Método do EDTA (método titulométrico). Procedimento experimental: em

uma cápsula de porcelana, com 50 mL de amostra foram adicionados 2 mL de solução tampão para dureza total e 2 gotas da solução de negro de eriocromo T. A amostra foi titulada com EDTA 0,0025 M, até que a coloração mudasse completamente de vermelha violeta para azul.

O valor da dureza foi obtido pela Eq. 1:

$$\text{Dureza (mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}) = \frac{A \cdot N \cdot 50000}{V_{\text{amostra}}} \quad (1)$$

Onde:  $V_{\text{amostra}}$  = volume da amostra, A = volume da solução padrão de EDTA gasto na titulação (mL) e N = normalidade da solução de EDTA.

### 2.2.6 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS

Os sólidos dissolvidos totais foram determinados pela Eq. 2:

$$\text{Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) = Sólidos Totais (ST) - Sólidos Suspensos Totais (SST)} \quad (2)$$

Sólidos Totais (ST): uma cápsula de porcelana limpa e seca, foi colocada na mufla (550 °C) por 30 minutos, esfriou em dessecador e então foi pesada (P1). Adicionou-se à cápsula um volume conhecido de amostra (preferencialmente 50 mL) previamente homogeneizada. A cápsula foi levada para a estufa a 100 °C, até secagem completa (cerca de 12 h). Esfriou em dessecador e então foi pesada (P2), de acordo com a Eq. 3.

$$\text{ST (mg.L}^{-1}) = \frac{(P_2 - P_1) \cdot 1000000}{V_A} \quad (3)$$

Onde:  $V_A$  = o volume da amostra (mL).

Sólidos Suspensos Totais (SST): um disco de papel de fibra de vidro foi colocado no aparelho de sucção com a bomba de vácuo ligada, lavando o filtro com 3 sucessivos volumes de 20 mL de água destilada. Toda a água foi removida com a aplicação de vácuo. O papel de filtro de fibra de vidro foi retirado do aparelho

e levado à estufa por 1 hora e após, à mufla a 550 °C por 30 minutos. Ficou no dessecador até o resfriamento total. O papel de fibra de vidro preparado foi pesado, obtendo-se P1 (g). A amostra foi homogeneizada e um volume de 150 mL foi filtrado. O papel foi removido cuidadosamente com o resíduo retido e levado à estufa a 105-110 °C durante 12 h, ou até peso constante. No dessecador, o papel foi esfriado e se obteve P2 (g), de acordo com a Eq. 4.

$$\text{SST (mg.L}^{-1}) = \frac{(P_2 - P_1) \cdot 1000000}{V_A} \quad (4)$$

Onde:  $V_A$  = volume da amostra (mL).

### 2.2.7 METAIS

Para verificar a lixiviação dos metais contidos nos filtros produzidos foram coletadas amostras de água filtrada. O volume coletado da amostra foi de 250 mL, 5 mL de ácido nítrico foram adicionados e levados para chapa de aquecimento a uma temperatura de aproximadamente 90 °C até atingir o volume inferior a 50 mL. O volume foi completado até 50 mL com água destilada. As concentrações dos metais foram determinadas por absorção atômica de chama, no equipamento SpetraAA 50 B Varian Atomic Absorption Spectrometer. Os valores máximos permitidos pela ABNT NBR 16098:2012 e Portaria 2914:2011 seguem na TAB. 2.

Tabela 2

Limite máximo permitido para cor, turbidez, pH, dureza, sólidos dissolvidos totais, prata e cobre

Parâmetro	NBR 16098	Portaria 2914
Cor aparente	15 uH	15 uH
Turbidez	5 uT	5 uT
pH	6,0 a 9,5	6,0 a 9,5
Dureza	500 mg.L <sup>-1</sup>	500 mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos	1.000 mg.L <sup>-1</sup>	1.000 mg.L <sup>-1</sup>

dissolvidos totais		
Prata	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	----
Cobre	2,0 mg.L <sup>-1</sup>	2,0 mg.L <sup>-1</sup>

Fonte: (ABNT, 2012) e (BRASIL, 2011)

Todos os métodos utilizados para avaliação físico-química estão de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CLORO LIVRE

Os resultados de redução de cloro livre da água que foi utilizada nos experimentos de filtração, em filtros gravitacionais, para os filtros de C/puro e modificados com nanopartículas de prata e óxido de cobre, na saída dos filtros, nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil, seguem na FIG. 2.

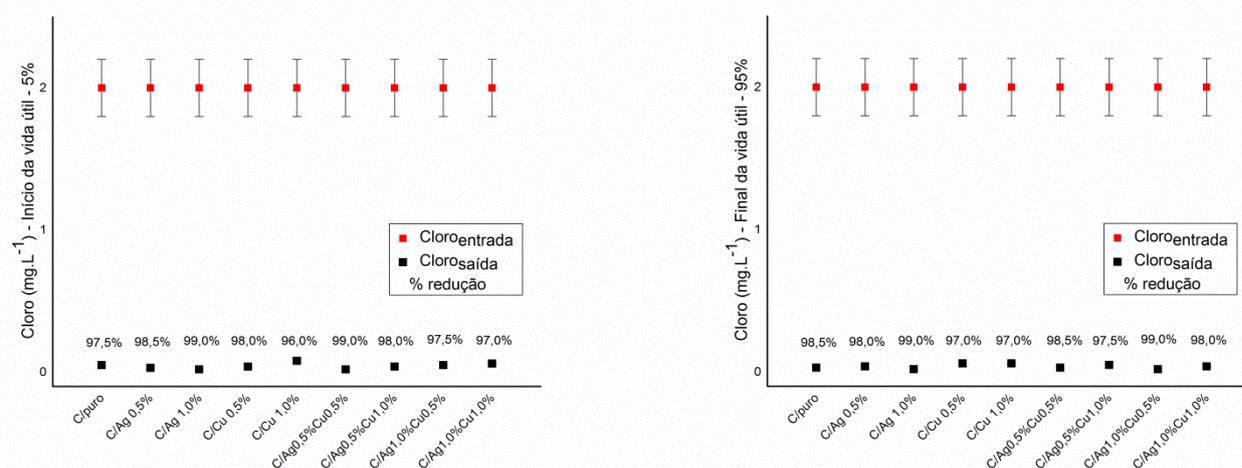


Figura 2: Valores de cloro livre na saída de água dos filtros gravitacionais para as amostras C/puro, C/Ag0,5%, C/Ag1,0%, C/Cu0,5%, C/Cu1,0%, C/Ag0,5%Cu0,5%, C/Ag0,5%Cu1,0%, C/Ag1,0%Cu0,5% e C/Ag1,0%Cu1,0% no início (5%) e final (95%) da vida útil

Na FIG. 2 observa-se que os filtros de C/puro e modificados com nanopartículas de prata e de óxido de cobre apresentaram comportamento semelhante entre si. As porcentagens de redução de cloro variaram entre 96,00% e 99,00% no início (5%) de sua vida útil, e entre 97,00% e 99,00% no final (95%) de sua vida útil. Francisco (2008) em seu estudo com filtros de carvão impregnado com prata, também apresentou eficiência de remoção de cloro na faixa de 95 a 99%. Quando a água contendo os compostos de cloro livre é passada pela superfície do carvão

ativado, o cloro livre é primeiro removido por adsorção na superfície ativa – a cinética dessa fase é possivelmente controlada por difusão – e depois de adsorvido o cloro livre é reduzido (SCHMIDT, 2011).

Os resultados obtidos com os filtros testados demonstraram eficiência de redução de cloro livre acima de 75%, ou seja, o aparelho é considerado eficiente, de acordo com a ABNT NBR 16098:2012.

### 3.2 Cor

Os valores de cor da água utilizada nos experimentos de filtração para todos os filtros produzidos, antes e depois da passagem de água pelo filtro, nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil apresentaram 0 (zero) uH, demonstrando assim que não houve variação no parâmetro analisado. Francisco (2008), em seus experimentos, também não encontrou variação da cor aparente do afluente após passagem pelo filtro de carvão ativado impregnado com prata, em seus experimentos, permanecendo todos abaixo de 1,0 uH. Silva (2008) também não encontrou variação da cor aparente da água após passagem em seus filtros de Ag1,0%, Cu5,0% e Fe5,0% , apresentando 0 (zero) uH de cor aparente e estes valores permaneceram inalterados. Sendo assim, pode-se perceber que filtros de carvão ativado modificados com metais não alteram a qualidade da água em relação ao parâmetro analisado.

Todos os filtros analisados neste estudo forneceram água filtrada com cor em conformidade ao padrão de aceitação para consumo humano, de acordo com a Portaria 2904/2011 e também de acordo com o limite máximo recomendado pela norma ABNT NBR 16098:2012, sendo este valor de 15,0 uH (TAB. 2).

### 3.3 TURBIDEZ

Na FIG. 3 estão apresentados os valores de turbidez da água que foi utilizada nos experimentos de

filtração, nos filtros gravitacionais, para os filtros de C/puro e modificados com nanopartículas de prata e óxido de cobre na entrada e na saída dos filtros, nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil.

Analisando os resultados de turbidez na FIG. 3, para os filtros de C/puro e modificados com nanopartículas de prata e nanopartículas de óxido de cobre, observa-se que ocorreu uma pequena variação de turbidez da água ou se manteve constante durante os experimentos realizados, não ultrapassando o valor de 0,49 uT na água filtrada, para o consumo humano.

Segundo Filho e Marchetto (2006), comparando os resultados de turbidez da água para os ensaios executados com e sem a aplicação de carvão ativado, observa-se que a diferença dos resultados entre si é mínima, podendo-se afirmar que não houve prejuízo à qualidade da água quando da aplicação de carvão ativado para controle de gosto e odor, em estações de tratamento.

O pequeno aumento da turbidez pode estar relacionado com a possível fragmentação do carvão devido à agitação aplicada no preparo (COLARES *et al.*, 2010). A falta de uniformidade na remoção da turbidez, observada na FIG. 3, apresentada pelas amostras analisadas pode ser justificada pela cloração da água, que diminui o tamanho das partículas coloidais, prejudicando a capacidade do carvão de adsorvê-las (HA; CHOO; CHOI, 2004).

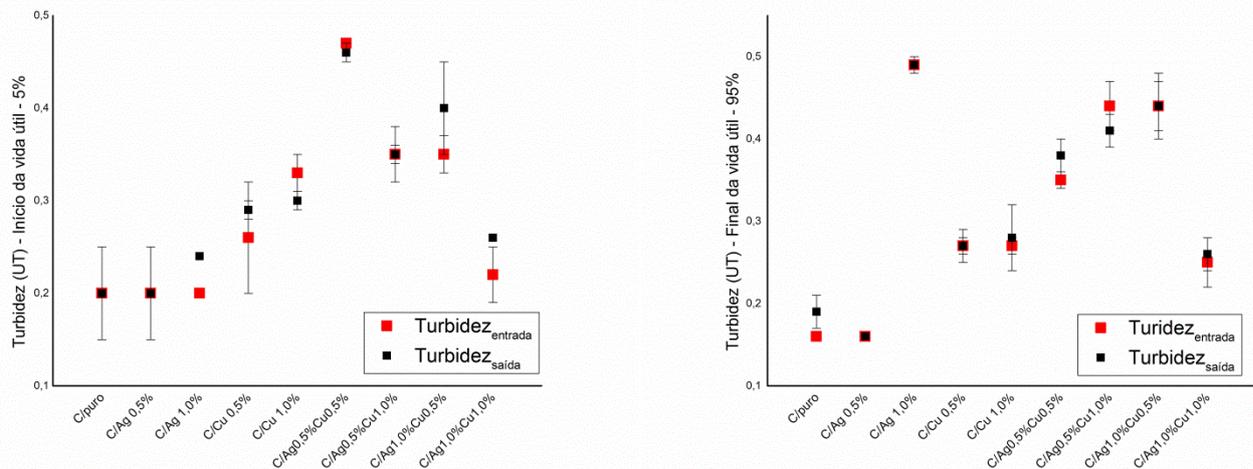


Figura 3: Valores de turbidez na entrada e na saída de água dos filtros gravitacionais para as amostras de C/puro, C/Ag0,5%, C/Ag1,0%, C/Cu0,5%, C/Cu1,0%, C/Ag0,5%Cu0,5%, C/Ag0,5%Cu1,0%, C/Ag1,0%Cu0,5% e C/Ag1,0%Cu1,0% no início (5%) e final (95%) da vida útil

Todos os filtros analisados forneceram água filtrada com turbidez em conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano, de acordo com a Portaria 2914:2011 e também de acordo com o limite máximo recomendado pela norma ABNT NBR 16098:2012, sendo este valor de 5,0 uT (TAB. 2).

### 3.4 pH

Os resultados das medidas de pH da água utilizada nos experimentos de filtração, nos filtros gravitacionais, para os filtros de C/puro e modificados com nanopartículas de prata e nanopartículas de óxido de cobre, na entrada e na saída dos filtros, nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil, seguem na FIG. 4.

De acordo com a FIG. 4 é possível verificar que para todos os filtros produzidos, o valor do pH da água aumentou depois da filtração. Os resultados estão de acordo com Francisco (2008), que também encontrou

um pequeno aumento no pH do efluente após passagem pelo filtro de carvão ativado impregnado com prata em seu estudo de remoção de clorofórmio da água tratada. Silva (2008) avaliou filtros de carvão ativado com prata, cobre, zinco e ferro, e também verificou que todos os filtros produzidos aumentaram, mesmo que ligeiramente, o pH da água depois da filtração.

Segundo Francisco (2008) o aumento do pH da água após a passagem pelo carvão ativado, está de acordo com o esperado, já que o carvão ativado testado possui caráter básico. O pH das amostras de carvão ativado utilizado foi medido e variou de 8,08 a 9,65. Sendo assim, o aumento no pH pode ser devido ao caráter básico do carvão ativado utilizado.

Na FIG. 4, observa-se que todos os filtros analisados forneceram água filtrada com pH em conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano, de acordo com a Portaria 2914:2011 e também de acordo com a faixa recomendada pela norma ABNT NBR 16098:2012, sendo que este valor varia de 6,0 a 9,5 (TAB.2).

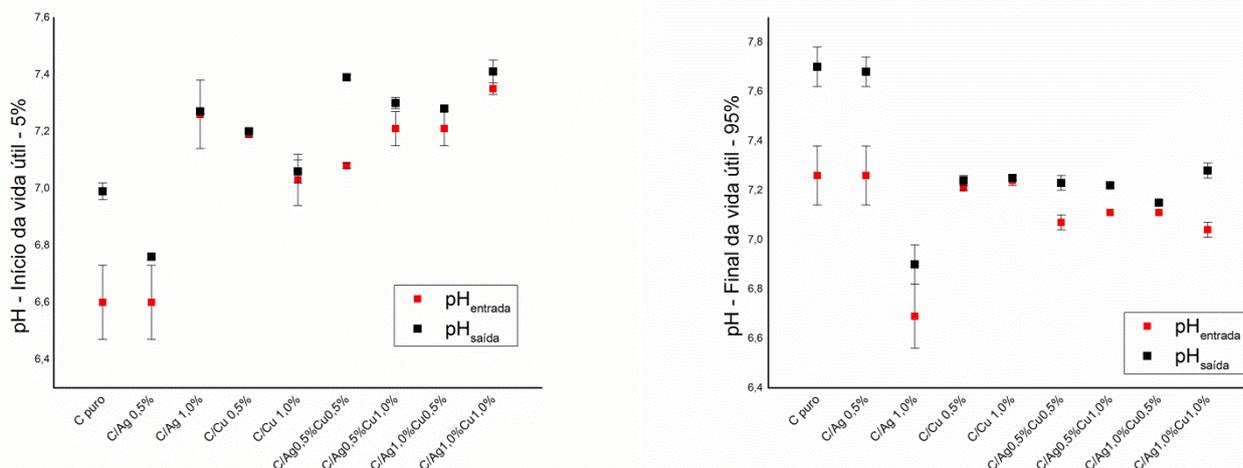


Figura 4: Valores de pH na entrada e na saída de água dos filtros gravitacionais para as amostras de C/puro, C/Ag0,5%, C/Ag1,0%, C/Cu0,5%, C/Cu1,0%, C/Ag0,5%Cu0,5%, C/Ag0,5%Cu1,0%, C/Ag1,0%Cu0,5% e C/Ag1,0%Cu1,0% no início (5%) e final (95%) da vida útil

### 3.5 DUREZA

Os resultados das medidas de dureza da água utilizada nos experimentos de filtração, nos filtros gravitacionais, para os filtros de C/puro e modificados com nanopartículas de prata e óxido de cobre, na entrada e na saída dos filtros, nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil, seguem na FIG. 5.

Observando a FIG. 5 nota-se que os filtros testados apresentaram uma pequena diminuição nos valores de dureza. Pedro *et al.* (1997) em seu estudo com filtros domésticos com carvão ativado, apresentaram

uma retenção de dureza inferior a 10% (que pode ser devido à retenção de íons de cálcio e magnésio) e o carvão ativado não apresentava uma retenção eficiente para esse componente.

Todos os filtros analisados forneceram água filtrada com dureza em conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano, de acordo com a Portaria 2914:2011 e também de acordo com o limite máximo recomendado pela norma ABNT NBR 16098:2012, sendo este valor de  $500 \text{ mgL}^{-1}$  (TAB. 2).

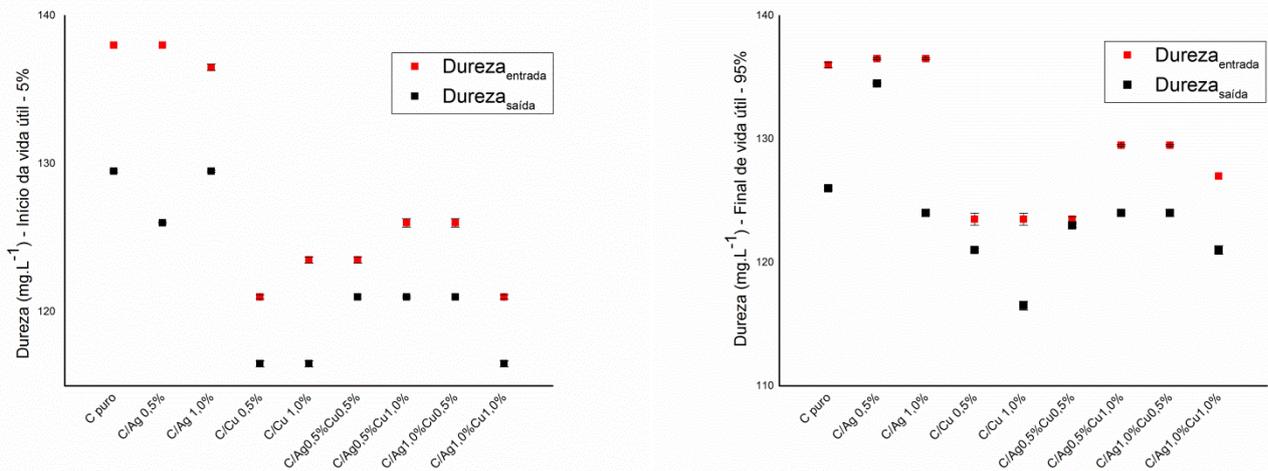


Figura 5: Valores de dureza na entrada e na saída de água dos filtros gravitacionais para as amostras de C/puro, C/Ag0,5%, C/Ag1,0%, C/Cu0,5%, C/Cu1,0%, C/Ag0,5%Cu0,5%, C/Ag0,5%Cu1,0%, C/Ag1,0%Cu0,5% e C/Ag1,0%Cu1,0% no início (5%) e final (95%) da vida útil

### 3.6 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT)

Os resultados de sólidos dissolvidos totais da água que foi utilizada nos experimentos de filtração, nos filtros gravitacionais, para os filtros de C/puro e modificados com nanopartículas de prata e óxido de cobre, na entrada e na saída dos filtros, nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil, seguem na FIG. 6.

Para todos os filtros produzidos, os resultados de sólidos dissolvidos totais apresentaram diminuição nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil, como se pode observar na FIG. 6. Os valores de sólidos

dissolvidos totais na água de entrada foram baixos, uma vez que, a água utilizada é proveniente da rede de abastecimento. Kadirvelu *et al.* (2000) em seu estudo com carvão ativado, demonstraram que remoções de até 35% de sólidos dissolvidos totais foram atingidas. No presente estudo, foram atingidas remoções de até 67% de sólidos dissolvidos totais.

Todos os filtros analisados forneceram água filtrada com sólidos dissolvidos totais em conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano, de acordo com a Portaria 2914:2011 e também de acordo com o limite máximo recomendado pela Norma ABNT NBR 16098:2012, sendo este valor de 1.000 mg.L<sup>-1</sup> (TAB. 2).

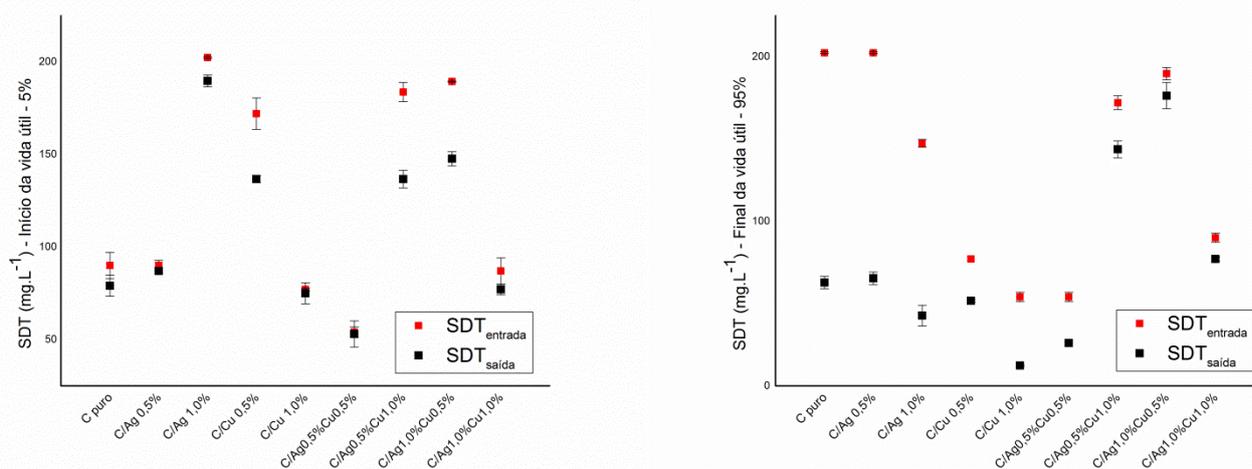


Figura 6: Valores de sólidos dissolvidos totais na entrada e na saída de água dos filtros gravitacionais para as amostras de C/puro, C/Ag0,5%, C/Ag1,0%, C/Cu0,5%, C/Cu1,0%, C/Ag0,5%Cu0,5%, C/Ag0,5%Cu1,0%, C/Ag1,0%Cu0,5% e C/Ag1,0%Cu1,0% no início (5%) e final (95%) da vida útil

### 3.7 METAIS

Os resultados de metais lixiviados para água nos experimentos de filtração, nos filtros gravitacionais, para os filtros de C/puro e modificados com nanopartículas de prata e nanopartículas de óxido de cobre, na saída dos filtros, nas condições inicial (5%) e final (95%) da vida útil, seguem na TAB. 3.

Os resultados apresentados na TAB. 3 mostraram que todos os filtros produzidos atenderam aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 16098:2012 e pela Portaria 2914/2011 quanto à concentração de metais presentes na água filtrada. Os valores limites máximos permitidos são 0,10 mgL<sup>-1</sup> de prata e 2,00 mgL<sup>-1</sup> de cobre, conforme a TAB. 2.

Tabela 3

Concentração dos metais lixiviados na água filtrada dos filtros gravitacionais para as amostras de C/puro, C/Ag0,5%, C/Ag1,0%, C/Cu0,5%, C/Cu1,0%, C/Ag0,5%Cu0,5%, C/Ag0,5%Cu1,0%, C/Ag1,0%Cu0,5% e C/Ag1,0%Cu1,0%

Amostras	Lixiviação (24 h) (mg.L <sup>-1</sup> )	Lixiviação inicial (mg.L <sup>-1</sup> )	Lixiviação final (mg.L <sup>-1</sup> )	Portaria 2914/2011 e ABNT 16098
C puro	ND	ND	ND	ND
C/Ag 0,5%	ND	ND	ND	ND
C/Ag 1,0%	0,0420	0,0208	0,0046	< 0,1 mg/L
C/Cu 0,5%	0,6562	ND	ND	< 2 mg/L
C/Cu 1,0%	1,7672	0,223	0,1006	< 2 mg/L
C/Ag0,5%Cu0,5%	0,0082/0,1376	0,0066/0,2776	0,016/0,1822	<0,1 mg/L/<2,0 mg/L
C/Ag0,5%Cu1,0%	0,0105/0,2250	0,0096/0,1963	0,0052/0,1527	<0,1 mg/L/<2,0 mg/L
C/Ag1,0%Cu0,5%	0,0136/0,1870	0,0111/0,0887	0,045/0,0779	<0,1 mg/L/<2,0 mg/L
C/Ag1,0%Cu1,0%	0,0145/0,1956	0,0096/0,2060	0,0036/0,1256	<0,1 mg/L/<2,0 mg/L

ND – Não detectado

#### 4 CONCLUSÃO

Em todos os filtros produzidos, os parâmetros físico-químicos da água: turbidez, cor, pH, dureza, sólidos dissolvidos totais e concentração de metais prata e cobre lixiviados na água permaneceram dentro da faixa de aceitação para o consumo humano, de acordo com a Portaria 2914:2011 e com a ABNT NBR 16098:2012. Todos os filtros produzidos foram classificados como eficientes, com redução de cloro livre superior a 75%, de acordo com a ABNT NBR 16098:2012.

O processo de modificação do carvão ativado com as nanopartículas de prata e cobre não alterou a qualidade da água filtrada. As pequenas variações nos resultados sugerem que houve o bloqueio total e/ou parcial de alguns poros por deposição de prata e/ou cobre, pelo processo de impregnação.

A partir dos resultados apresentados, podemos dar sequência ao estudo de remoção/inativação de vírus por meio do carvão ativado produzido, uma vez que a utilização do mesmo não altera a qualidade da água, assim permanecendo própria para o consumo humano.

#### REFERÊNCIAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. Aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano - Requisitos e métodos de ensaio - ABNT NBR 16098.** 2012.

APHA. **American Public Health Association. Standard methods for the examination of water**

**and wastewater.** American Public Health Association DC 1998.

ARAKAWA, F. S. *et. al.* **Carvão Ativado Granular Impregnado com Zinco para Remoção de Bactérias da Água para Consumo Humano.** e-Xacta, 6 (2), 2013.

BRASIL. FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano: 1. Tratamento da água. 2. Qualidade da água. 3. Vigilância ambiental.** Ministério da Saúde, Brasília. 56p., 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914 - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União. Brasil, 2011.

CARMO, R. L. **A água é o limite? Redistribuição espacial da população e recursos hídricos no Estado de São Paulo.** Núcleo de Estudos de População, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

COLARES, C. J. G., Hídricos, R., Ambiental, S., Barbosa, L. S., de Sistemas Agroindustriais, E., Cardoso, F. F. and dos Reis, R. C. **Tratamento de Efluente Industrial Farmacêutico por Adsorção com Carvão Ativado.** I Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente. Anápolis – GO, 2010.

FERRAZ, D. L. L. e LISBÔA, A. C. L. Adsorção de Fenóis em Leito Fixo de Carvão Ativado Granular. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 7 (12), 1-13, 2011.

FILHO, S. S. F. e MARCHETTO, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. **Eng. Sanit. Ambient**, 11 (1), 7-15, 2006.

FONG, T.-T. e LIPP, E. K. Enteric Viruses of Humans and Animals in Aquatic Environments: Health Risks, Detection, and Potential Water Quality Assessment Tools. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, 69 (2), 357-371, 2005.

FRANCISCO, B. D. L. R. **Avaliação de Filtro Domiciliar de Carvão Ativado Impregnado com Prata na Remoção de Clorofórmio presente na Água Tratada. [Dissertação (Mestrado)].** Universidade de Ribeirão Preto. 93p., 2008.

GOYAL, S. M. *et al.* Human pathogenic viruses at sewage sludge disposal sites in the Middle Atlantic region. **Applied and Environmental Microbiology**, 48 (4), 758-763, 1984.

HA, T.-W., CHOO, K.-H. e CHOI, S.-J. Effect of chlorine on adsorption/ultrafiltration treatment for removing natural organic matter in drinking water. **Journal of colloid and interface science**, 274 (2), 587-593, 2004.

HARAMOTO, E. *et al.* Quantitative analysis of human enteric adenoviruses in aquatic environments. **Journal of Applied Microbiology**, 103 (6), 2153-2159, 2007.

HU, X. *et al.* Copper/activated carbon as catalyst for organic wastewater treatment. **Carbon**, 37 (4), 631-637, 1999.

KADIRVELU, K. *et al.* Activated carbon from an agricultural by-product, for the treatment of dyeing industry wastewater. **Bioresource technology**, 74 (3), 263-265, 2000.

KAGEYAMA, T. *et al.* Broadly Reactive and Highly Sensitive Assay for Norwalk-Like Viruses Based on Real-Time Quantitative Reverse Transcription-PCR. **Journal of Clinical Microbiology**, 41 (4), 1548-1557, 2003.

KITAJIMA, M. *et al.* Detection of genogroup IV norovirus in wastewater and river water in Japan. **Letters in Applied Microbiology**, 49 (5), 655-658, 2009.

KUO, D. H. W. *et al.* Assessment of human adenovirus removal in a full-scale membrane bioreactor treating municipal wastewater. **Water Research**, 44 (5), 1520-1530, 2010.

MELNICK, J. L., GERBA, C. P. e BERG, G. The ecology of enteroviruses in natural waters. **C R C Critical Reviews in Environmental Control**, 10 (1), 65-93, 1980.

MIOTTO, D. M. M. *et al.* (2000). **Estudo da eficiência de filtros de carvão ativo impregnados com prata.** XVII Simpósio Ibero-Americano de Catálise.

PAZ, V. P. S., TEODORO, R. E. F. e MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 4 (3), 465-473, 2000.

PEDRO, N. A. R. *et al.* Avaliação de filtros domésticos comerciais para purificação de águas e retenção de contaminantes inorgânicos. **Química Nova**, 20 (2), 1997.

RAJTAR, B. *et al.* Enteroviruses in water environment – A potential threat to public health. **Ann Agric Environ Med**, 15 (2), 199-203, 2008.

REBOUÇAS, A. D. C. Água doce no mundo e no Brasil. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** A. C. Rebouças, Braga, B., Tundisi, J. G (Org.). Ed. São Paulo: Editora Escrituras. 2: 1-37, 1999.

SCHMIDT, C. G. **Desenvolvimento de Filtros de Carvão Ativado para Remoção de Cloro da Água Potável. [Dissertação (Mestrado)]**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 77p, 2011.

SHIMABUKU, Q. L. *et al.*. Aplicação de Carvão Ativado Impregnado com Íons Zinco para Remoção de Cistos de *Giardia* spp. **E-xacta**, 6 (1), 2013.

SILVA, A. K., *et al.*. Evaluation of Removal of Noroviruses during Wastewater Treatment, Using Real-Time Reverse Transcription-PCR: Different Behaviors of Genogroups I and II. **Applied and Environmental Microbiology**, 73 (24), 7891-7897, 2007.

SILVA, F. V. **Desenvolvimento e Caracterização de Módulos de Filtração para Obtenção de Água Potável. [Dissertação (Mestrado)]** – Universidade Estadual de Maringá. 2008.

SIMMONS, F. J., KUO, D. H. W. e XAGORARAKI, I. Removal of human enteric viruses by a full-scale membrane bioreactor during municipal wastewater processing. **Water Research**, 45 (9), 2739-2750, 2011.

SIMMONS, F. J. e XAGORARAKI, I. Release of infectious human enteric viruses by full-scale wastewater utilities. **Water Research**, 45 (12), 3590-3598, 2011.

VASCONCELOS, Y. **A purificação das águas**. Pesquisa FAPESP, (75), 65-69, 2002.