

## I-158 - AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE *MICROCYSTIS* sp. E MICROCISTINAS POR CICLO COMPLETO E ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO PULVERIZADO

**Amanda Alcaide Francisco**<sup>(1)</sup>

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina (UTFPR).  
Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

**Gisela Lima da Fonseca**

Bióloga pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

**Josemarque Lima da Rosa**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Francisco Beltrão (UTFPR). Mestrando em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

**Murilo Henrique Campana Bento**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

**Renan Borelli Galvão**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina - UEL e Mestrando em Engenharia de Edificações e Saneamento na Universidade Estadual de Londrina - UEL.

**Emília Kiyomi Kuroda**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Pós-doutora pela Meijo University Japão. Professora do Depto de Construção Civil- CTU da UEL.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445-Km 380, Bairro Perobal, Campus Universitário. Londrina - PR - CEP: 86057-970 - Brasil - Tel: (43) 3371-5826 - e-mail: [amandaalcaide\\_f@yahoo.com.br](mailto:amandaalcaide_f@yahoo.com.br)

### RESUMO

A presença de cianobactérias em mananciais destinados ao abastecimento interfere diretamente na qualidade da água, podendo comprometer a eficiência e produtividade do sistema de tratamento de água e causar efeitos negativos de risco à saúde pública, devido à produção de compostos potencialmente tóxicos, e de ordens estética e organoléptica pela produção de compostos que conferem odor e sabor às águas. Por outro lado, pesquisas têm mostrado que as tecnologias de tratamento por ciclo completo não são capazes de, efetivamente, remover cianotoxinas e outros metabólitos na forma dissolvida, com destaque às microcistinas - MCs, o que torna necessário a adoção de técnicas complementares de tratamento, como a adsorção em carvão ativado pulverizado - CAP. O objetivo deste trabalho foi avaliar a remoção de *Microcystis* sp. e MCs pela técnica de tratamento de ciclo completo associada à adsorção em CAP, com uso da sedimentação e filtração em meio granular, em escala de bancada. Para as condições estudadas no trabalho pode-se concluir que as condições de máxima eficiência de coagulação corresponderam ao pH de 6,7, dosagem de hidróxi-cloreto de polialumínio (coagulante) de 4,0 mg L<sup>-1</sup> de Al e aplicação de 50 mg L<sup>-1</sup> de CAP, com tempo de contato de 30 minutos. Verificou-se que o tratamento por ciclo completo foi eficiente para a remoção de células, porém não foi capaz de produzir amostras com qualidade compatível à Portaria 2914/2011 quanto à concentração residual de MCs, o que só foi possível após associação da adsorção em CAP, resultando em remoção de 99,9% de *Microcystis* sp. e 99,1% de MCs.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de Água, Escala de bancada, Cianobactérias, Cianotoxinas.

### INTRODUÇÃO

As cianobactérias são microrganismos aeróbios fotoautotróficos, procariotos e geralmente aquáticos. Podem possuir pigmentos azulados, são comumente chamadas de algas azuis. Podem ser predominantes no fitoplâncton de águas continentais, alcançando uma ampla diversidade de formas, devido às adaptações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas adquiridas durante seu longo processo evolutivo. Podem produzir

metabólitos secundários, como as cianotoxinas, potencialmente tóxicos aos humanos e animais (BITTENCOURT-OLIVEIRA & MOLICA, 2003).

A presença de cianobactérias em mananciais destinados ao abastecimento interfere diretamente na qualidade da água, podendo comprometer a eficiência e produtividade do sistema de tratamento de água e causar efeitos negativos de risco à saúde pública, devido à produção de compostos potencialmente tóxicos e carcinogênicos, e de ordens estética e organoléptica pela produção de compostos que conferem odor e sabor às águas. Para que a população não seja prejudicada pela ingestão de cianobactérias e suas toxinas, a água disponibilizada para o abastecimento público deve atender aos padrões de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde, por meio da Portaria 2914/2011. A referida portaria prevê também o monitoramento sistemático de clorofila-a e da ocorrência de cianobactérias potencialmente nocivas e em caso afirmativo, análises de cianotoxinas em mananciais destinados ao abastecimento e na água tratada para consumo humano (BRASIL, 2011).

Diversos trabalhos têm mostrado que as tecnologias de tratamento por ciclo completo que envolve a coagulação química, floculação, sedimentação / flotação e filtração, empregada em aproximadamente 80 % dos sistemas existentes no Brasil, ou mesmo de filtração direta, não são capazes de, efetivamente, remover cianotoxinas e outros metabólitos na forma dissolvida, com destaque às microcistinas – MCs (PÁDUA, 2009; SILVA *et al.*, 2012; KURIAMA *et al.*, 2012).

Dentre as técnicas não convencionais comumente associadas ao tratamento de água por ciclo completo, têm-se a utilização do carvão ativado pulverizado ou granular (WESTRICK *et al.*, 2010). Por meio de muitos trabalhos, tem-se comprovado que sua aplicação, para remover cianotoxinas dissolvidas no meio líquido, tem apresentado resultados bastante satisfatórios (HUANG *et al.*, 2007; MÜLLER *et al.*, 2009; HO *et al.*, 2011; SHI *et al.*, 2012).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho da técnica de ciclo completo, em relação à remoção de células de *Microcystis* sp e MCs, associada à adsorção em carvão ativado pulverizado – CAP, visando o tratamento de águas destinadas ao consumo humano.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### CEPA DE *MICROCYSTIS* sp. E CONDIÇÕES DE CULTIVO

Para a realização dos experimentos foi utilizada a cepa toxigênica de *Microcystis* sp. TAC95, escolhida por produzir grandes quantidades de MC-LR. A cepa TAC95 foi cedida pelo Prof. Dr. Ken-ichi Harada do Laboratory of Environmental Sciences, Faculty of Pharmacy, Meijo University Nagoya – Aichi – Japão. A cultura da cepa de TAC95 foi mantida no laboratório através de inoculações quinzenais em meio ASM-1 (GORHAM, 1964) estéril (autoclavado a 121°C durante 20 min) a 10%, em triplicata em tubos de ensaio de 22 mL com 10 mL de meio e em duplicata em Erlenmeyers de 125 mL com 20 mL de meio. Para o desenvolvimento das culturas, as cepas foram mantidas à temperatura de 25°C e iluminação de 35  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , com fotoperíodo de 12 h d<sup>-1</sup> e agitação manual diária.

### PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS DE MCs

Para produção dos extratos de microcistinas - MCs optou-se pelo desenvolvimento das culturas em mesocosmos de TAC95, em frascos transparentes de 20L para cultura com tampa e sistema de aeração autoclaváveis. Posteriormente, as culturas foram centrifugadas a 1521 x g por 20 minutos, para obtenção de biovolume. Após descarte do sobrenadante, os biovolumes foram congelados a -20°C e submetidos a 3 séries de congelamento/descongelamento, liofilizados, macerados e ressuspensos em água ultrapura. Por fim, o extrato foi filtrado em membrana de fibra de vidro com porosidade média de 0,2  $\mu\text{m}$  Millipore e armazenado a -20°C até o momento de uso.

### EXPERIMENTO 1 - ENSAIO DE CICLO COMPLETO EM ESCALA DE BANCADA

Para o ensaio de ciclo completo, constituído por coagulação, floculação, sedimentação e filtração em escala de bancada - Jarreste - utilizou-se a água de estudo - AE-1 - preparada com cultura e extrato de MCs da cepa de

TAC95. A AE-1 foi preparada utilizando-se água potável isenta de cloro, com volume de 400 L, com a adição de células e toxinas, de forma a resultar em densidades da ordem de  $10^5$  cel mL<sup>-1</sup> e 20 µ L<sup>-1</sup> de MCs extracelulares, respectivamente.

Os ensaios foram realizados utilizando o hidróxido de sódio como alcalinizante, o ácido clorídrico como acidificante e o hidróxi-cloreto de polialumínio líquido como coagulante. Para avaliar o desempenho do tratamento foram analisadas a remoção de cianobactérias e turbidez, para as dosagens de alumínio de 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 10,0; e 20,0 mg L<sup>-1</sup> do coagulante PAC e faixa de pH de 4,0 a 8,0; com intervalo de 0,5 unidades, em amostras coletadas após sedimentação e filtração. Os ensaios foram realizados de acordo com os parâmetros operacionais apresentados na Tabela 1, selecionados após ensaios preliminares.

**Tabela 1 - Parâmetros operacionais utilizados nos Experimentos 1 e 2**

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Tempo de mistura rápida - Tmr                         | 60 s                     |
| Gradiente de velocidade média de mistura rápida - Gmr | 600 s <sup>-1</sup>      |
| Tempo de floculação - Tf                              | 20 min                   |
| Gradiente de velocidade média da floculação - Gf      | 20 s <sup>-1</sup>       |
| Velocidade de sedimentação - Vs                       | 1,0 cm min <sup>-1</sup> |
| Tempo de filtração - Tfil                             | 30 min                   |

Após o tempo de sedimentação e filtração, alíquotas de 40 mL das amostras de sobrenadantes e filtrados, respectivamente, foram coletadas para medidas de turbidez e construção do diagrama de coagulação. Amostras de 100 mL de cada jarro foram retiradas e fixadas com lugol a 0,3% para posterior contagem celular em câmaras de Utermöhl e alíquotas de 4 mL foram retiradas e filtradas em membranas tipo GF/C de 0,45 µm e armazenadas a -20 C para a quantificação de MCs extracelulares pelo método de imunoenensaio *Enzyme-linked Immunosorbent Assay* - ELISA. Para MCs totais, foram coletadas alíquotas de 4 mL, sendo estas, submetidas a 3 séries de congelamento/descongelamento, para lise celular e liberação de MCs intracelulares. Após este procedimento, a quantificação de MCs totais foi realizada pelo imunoenensaio ELISA.

## EXPERIMENTO 2 - ENSAIO DE CICLO COMPLETO ASSOCIADO À ADSORÇÃO EM CAP, EM ESCALA DE BANCADA

Para esta etapa foi produzida a água de estudo - AE-2 - com volume de 280 L e reproduzidos os valores de densidade celular e concentração de MCs da AE-1. Foram realizados novamente os ensaios de ciclo completo em Jarreste, utilizando as condições de coagulação de maior eficiência selecionadas no Experimento 1. Após ensaios preliminares, foi escolhido o CAP a ser empregado na adsorção de MCs e para definir a dosagem, foram averiguadas as concentrações de 20, 25, 30, 40 e 50 mg L<sup>-1</sup> de CAP, com tempo de contato de 30 minutos.

A dosagem adotada foi definida a partir da quantificação de MCs extracelulares, por meio de análise de imunoenensaio ELISA das amostras dos sobrenadantes. Os volumes de coleta e métodos de preservação das amostras foram os mesmos dos utilizados no Experimento 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização física, química e microbiológica das águas de estudo foi realizada logo após sua preparação e os resultados são apresentados na Tabela 2. As águas de estudos foram preparadas de forma que suas características resultassem similares a fim de viabilizar a avaliação comparativa dos resultados.

Tabela 2 – Resultados da caracterização física, química e microbiológica das águas de estudo

| Parâmetro   | AE-1     | AE-2     |
|---|----------|----------|
| pH  | 7,37     | 7,13     |
| Turbidez (uT)                                       | 4,7      | 4,2      |
| Densidade de cianobactérias (cel mL <sup>-1</sup> ) | 5,36E+05 | 4,02E+05 |
| MCs extracelulares (µg L <sup>-1</sup> )            | 22,93    | 19,44    |
| MCs intracelulares (µg L <sup>-1</sup> )            | 29,77    | 11,31    |
| MCs totais (µg L <sup>-1</sup> )                    | 52,7     | 30,75    |

## ENSAIOS DE CICLO COMPLETO EM JARTESTE

O ensaio de coagulação-floculação-sedimentação para a água de estudo AE-1 foi realizado para elaboração do diagrama de coagulação para turbidez das amostras dos sobrenadantes (Figura 1).

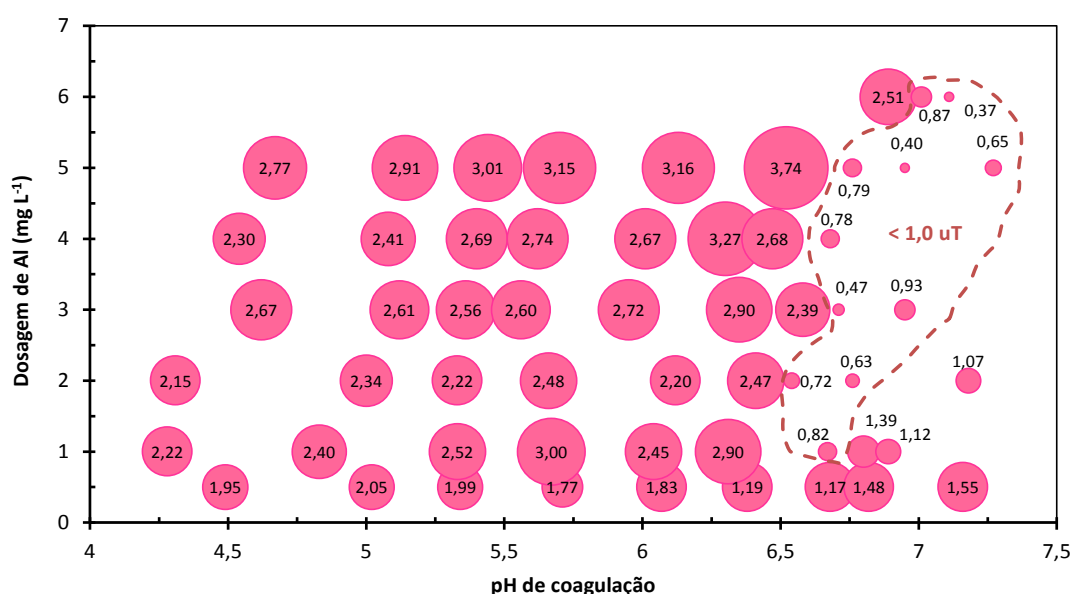


Figura 1 – Diagrama de Coagulação para turbidez dos sobrenadantes / Experimento 1

Através do diagrama de coagulação (Figura 1) verificou-se que as condições de maior eficiência corresponderam às dosagens superiores a 1,0 mg L<sup>-1</sup> de Al e pH entre 6,7 e 7,3, apresentando remoções superiores à 78,7% e valores residuais de turbidez inferiores à 0,93 uT.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 2, considerando os sobrenadantes, coagulados em valores de pH próximos a 6,7, foram obtidos, para dosagens compreendidas entre 1 e 4 mg L<sup>-1</sup> de Al, remoções entre 95,4 e 98% de cianobactérias e densidades residuais de 11000 e 25000 cel mL<sup>-1</sup>. Para essas condições, as remoções de turbidez acompanharam as de densidade de cianobactérias e variaram entre 46,4 e 73,4 %, com valores residuais entre 1,25 e 2,52 uT.



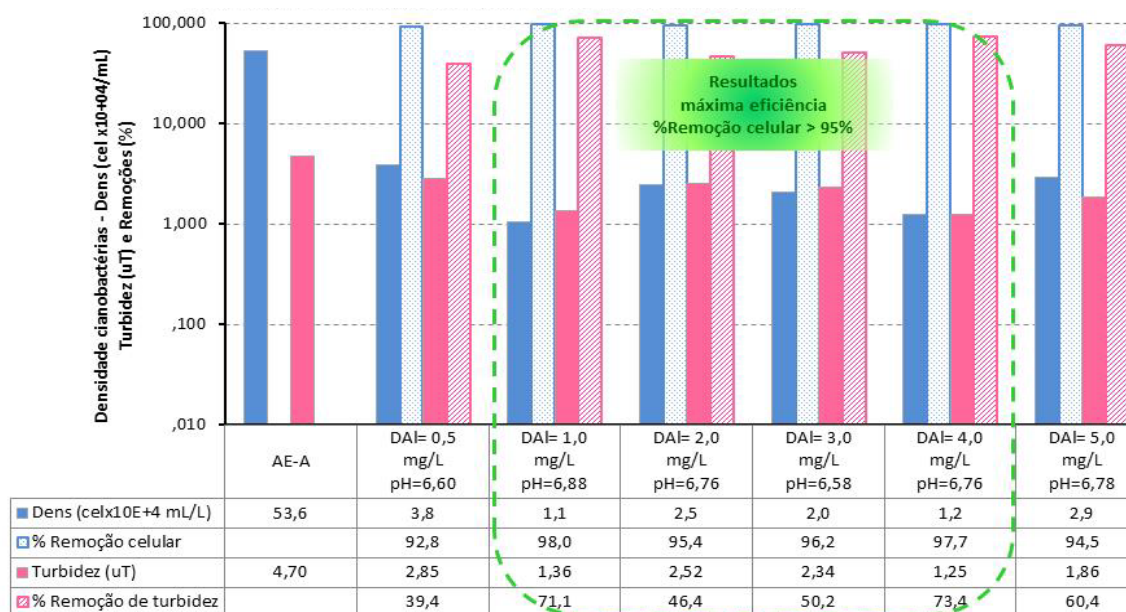


Figura 2 – Valores de densidade de *Microcystis* sp e de turbidez dos sobrenadantes / Resultados selecionados do Experimento 1

Para os filtrados, observou-se elevada eficiência para dosagens entre 1,0 e 5,0 mg L<sup>-1</sup> de Al, resultando em remoções superiores a 3 log e densidade residual máxima de cianobactérias de 1600 cel mL<sup>-1</sup> e remoções superiores a 94,9% de turbidez com valores residuais inferiores a 0,24 uT (Figura 3).

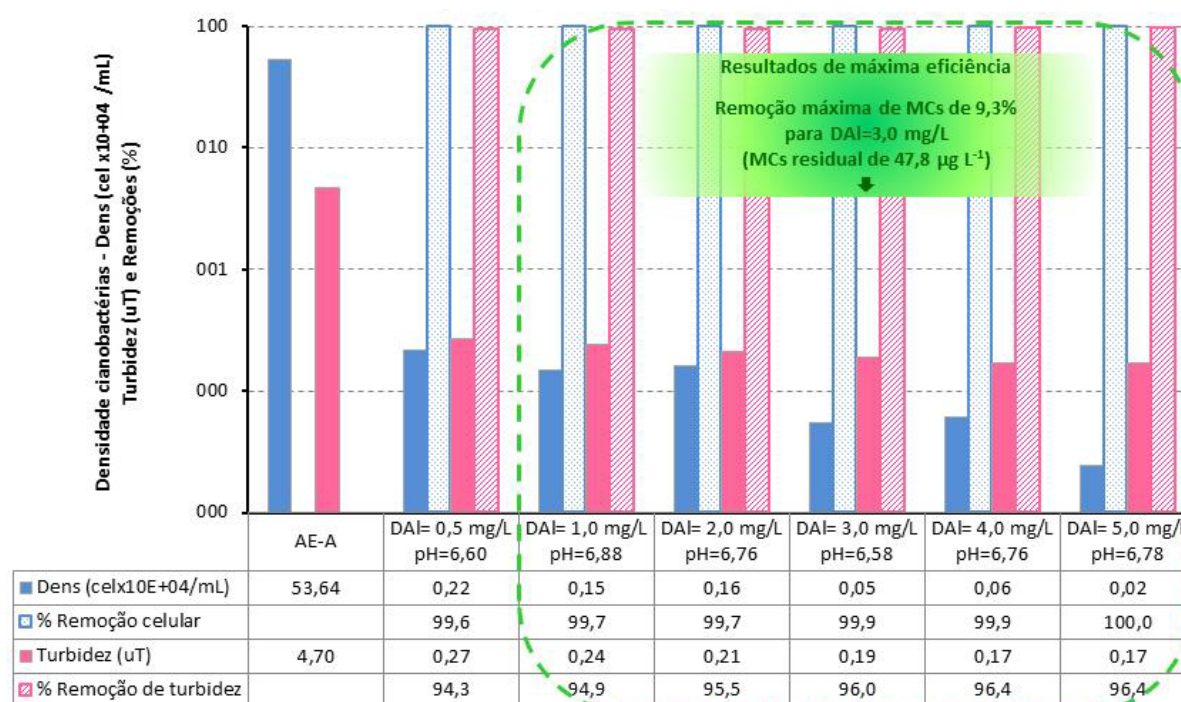


Figura 3 - Valores de densidade de *Microcystis* sp e de turbidez dos filtrados / Resultados selecionados do Experimento 1

Em relação às MCs, os filtrados dos resultados selecionados do Experimento 1 apresentaram concentrações residuais de 47,8 µg L<sup>-1</sup> de MCs, portanto, não atendendo à Portaria 2914/2011 do MS que estabelece, no Anexo VIII, o padrão de cianotoxinas com valor máximo permitido de 1,0 µg L<sup>-1</sup>, para equivalentes totais de MCs (intra e extracelulares). Ressalta-se que a concentração de MCs totais na água de estudo era de 52,7 µg L<sup>-1</sup> e a remoção foi de 9,3%, o que comprova a baixa eficiência do tratamento de ciclo completo para remoção de

metabólitos secundários, assim como verificado nos estudos realizados por Lambert *et al.*, (1996); Chow *et al.* (1999); Newcombe & Nicholson (2004); Kuroda (2006); Fonseca (2014).

### CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO SELECIONADO

No Brasil, de acordo com a NBR 11834/1991, o número de iodo para carvões a serem utilizados em Estações de Tratamento de Águas é no mínimo 600 mg L<sup>-1</sup>, o índice de fenol deve apresentar o limite máximo de 2,5 g L<sup>-1</sup> e não existe nenhuma referência ao índice de azul de metileno (ABNT, 1991; POZZETTI *et al.*, 2013). O número de iodo relaciona-se à microporosidade do carvão ativado, uma vez que requer poros com abertura inferior a 1 nm para ser adsorvida, ao passo que o índice de azul de metileno está relacionado à mesoporosidade do carvão ativado pois requer poros com abertura próxima a 2 nm (WARHURST *et al.*, 1997; EL-HENDAWY *et al.*, 2001).

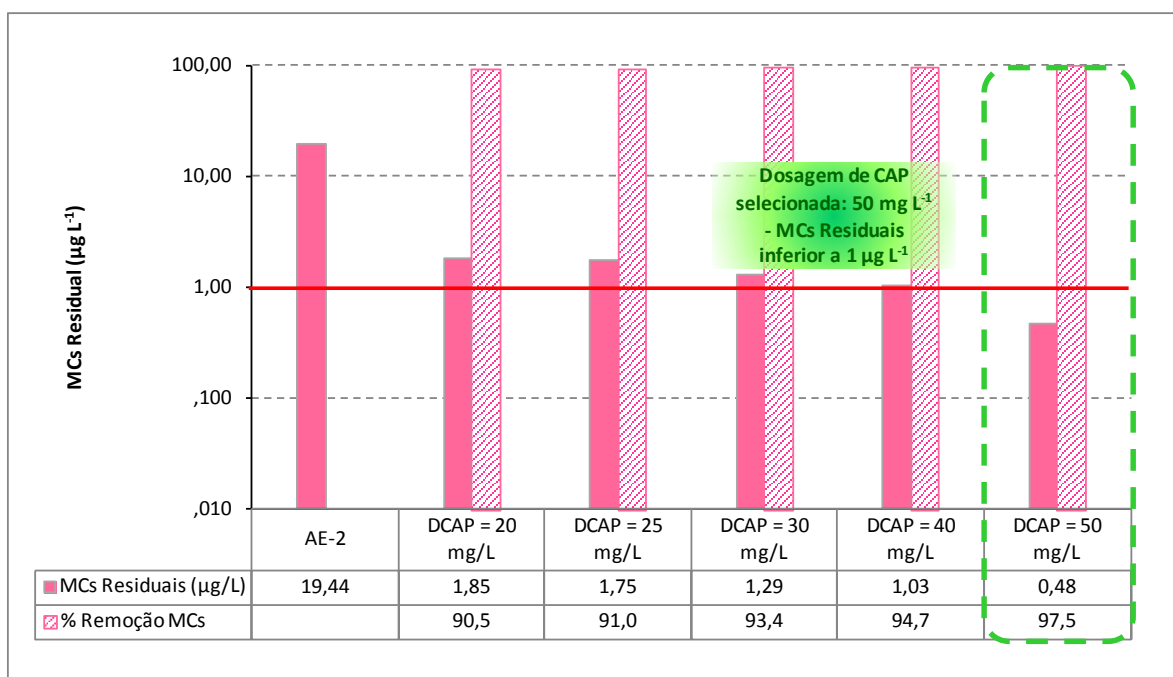
Os resultados da caracterização do CAP selecionado, em relação ao Número de Iodo (NI), Índice de Fenol (IF) e Índice de azul de Metileno (IAM) estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Resultado da caracterização dos CAPs amostrados em relação ao NI, IF e IAM**

| Carvão | Origem  | Ativação | Matéria-Prima | NI (mg g <sup>-1</sup> ) | IAM (mg g <sup>-1</sup> ) | IF(mg L <sup>-1</sup> ) |
|--------|---------|----------|---------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1      | Vegetal | Física   | Pinus         | 942                      | 134                       | 2,07                    |

### ENSAIO DE CICLO COMPLETO, ASSOCIADO À ADSORÇÃO EM CAP, EM ESCALA DE BANCADA

Para a realização dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação-filtração associados à adsorção em CAP foi verificado, inicialmente a dosagem ótima de carvão para a remoção de MCs em relação à Portaria 2914/2011. Sendo assim, na Figura 4, pode-se verificar que as dosagens de 20, 25, 30 e 40 mg L<sup>-1</sup> foram insuficientes para atender a legislação vigente, ou seja, a concentração de MCs residuais resultaram superiores a 1,0 µg L<sup>-1</sup>. Apenas a dosagem de 50 mg L<sup>-1</sup> foi capaz de reduzir a concentração de MCs de forma a atender à Portaria, uma vez que a amostra apresentou concentração residual de 0,38 µg L<sup>-1</sup> e remoção de 97,53% em relação à concentração inicial de MCs, sendo esta, portanto, a dosagem selecionada para o Experimento 2. De acordo com o estudo de Ho *et al.* (2011), que visava a remoção de MCs da ordem de 20 µg L<sup>-1</sup>, também foi necessária a dosagem de 50 mg L<sup>-1</sup> de CAP para que fossem obtidos resultados inferiores a 1,0 µg L<sup>-1</sup>.



**Figura 4 – Valores de MCs residuais nos sobrenadantes para diferentes dosagens de CAP / Experimento 2**

Após a definição da dosagem de CAP a ser empregada, foram realizados novos ensaios de ciclo completo associados à adsorção em CAP, com tempo de contato de 30 minutos (HO *et al.*, 2011; SHI *et al.*, 2012), simulando a adição de carvão após o processo de coagulação, em uma estação de tratamento de água. Os parâmetros operacionais adotados foram aqueles apresentados na Tabela 1.

Em relação à densidade celular, as porcentagens de remoção foram próximas nas etapas de sedimentação e filtração, resultando em reduções de 97,5 e 99,9, respectivamente. Para as MCs, pode-se verificar na etapa da sedimentação, que a Portaria 2914/2011 foi atendida, apresentando o valor residual de 0,41  $\mu\text{g L}^{-1}$  e remoção de 97,9%. Na etapa de filtração, o valor residual de MCs foi de 0,18  $\mu\text{g L}^{-1}$  e a remoção foi de 99,1% em relação ao valor inicial de MCs (Figura 5).

Para o Experimento 2 foram realizadas análises de toxinas em relação às MCs extracelulares, uma vez que para realizar as 3 séries de congelamento/descongelamento, necessários para as toxinas totais, o tempo de contato da amostra com o CAP seria maior que os 30 minutos propostos.

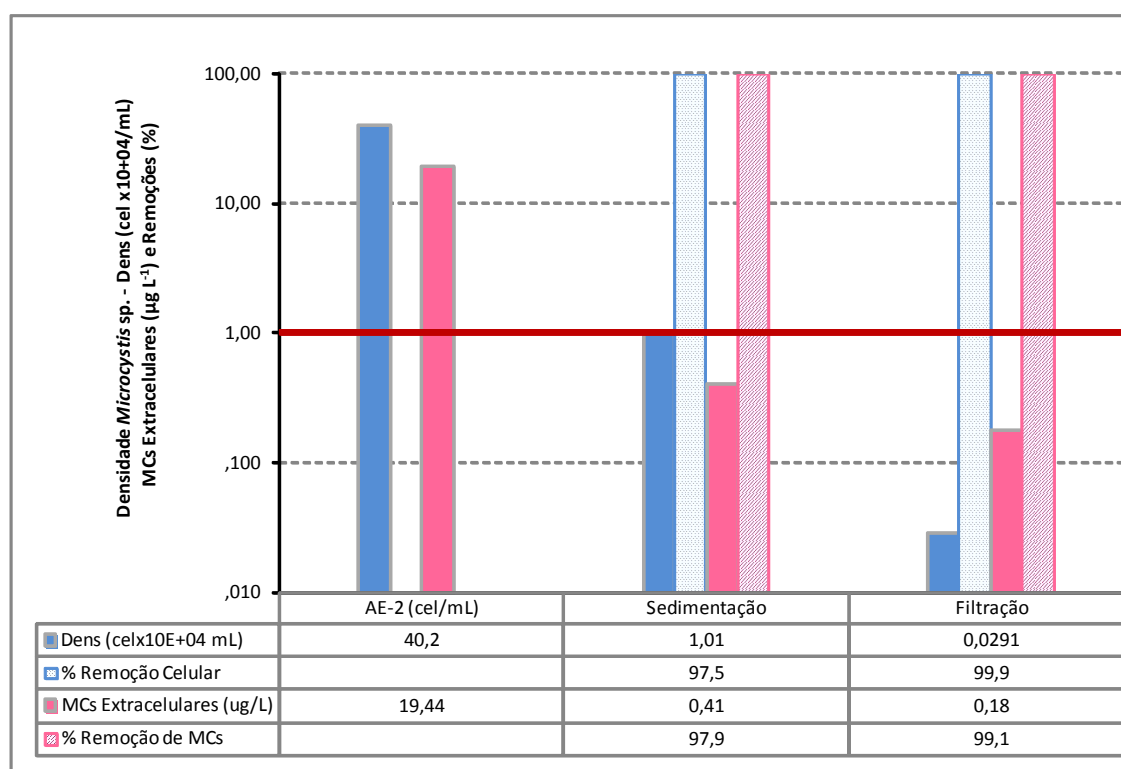


Figura 5 – Valores residuais e remoções de densidade celular e de MCs / Experimento 2

Segundo Chorus & Bartram, (1999), Albuquerque Júnior (2006), Alvarez *et al.*, (2010), o tratamento de ciclo completo é capaz de remover células de cianobactérias da ordem de 80%, porém a expectativa de remoção quanto às cianotoxinas dissolvidas, para esta técnica de tratamento, é inferior a 10%. Consequentemente, pode-se considerar que o tratamento por ciclo completo possibilita a remoção predominante de toxinas intracelulares. Para o tratamento complementar por adsorção em CAP, tais autores relatam que a remoção de células é pouco significativa, ao passo que a remoção de toxinas extracelulares é superior a 85%.

Assim, pode-se verificar, pelos resultados do Experimento 1 e 2, que o tratamento eficiente de água contendo células de *Microcystis* sp. e MCs, para as condições estudadas, requer a associação da adsorção em CAP às técnicas de ciclo completo..

## CONCLUSÕES

Para as condições estudadas neste trabalho, pode-se concluir que:

Pelos resultados dos diagramas de coagulação para turbidez, as condições de máxima eficiência de coagulação corresponderam à faixa de pH entre 6,7 e 7,0;

No experimento de ciclo completo, os resultados indicaram a remoção de 95,4 e 98% de células de *Microcystis* sp. e densidades residuais de 11000 e 25000 cel mL<sup>-1</sup>, na etapa da sedimentação e remoções superiores a 3 log e densidade residual máxima de células de 1600 cel mL<sup>-1</sup> na etapa da filtração. A remoção de MCs foi irrelevante, assim como relatado na literatura, com concentrações residuais de MCs totais de 47,8 µg L<sup>-1</sup> e remoção de 9,3% após a etapa da filtração;

No experimento de adsorção em CAP, os resultados para densidade celular, indicaram a remoção de 97,5% e densidade residual de 10100 cel mL<sup>-1</sup>, na etapa da sedimentação e remoção superior a 3 log e densidade residual de 291 cel mL<sup>-1</sup>, na etapa da filtração. Quanto às MCs, os resultados indicaram a remoção de 97,9% e MCs residuais de 0,41 µg L<sup>-1</sup>, na etapa da sedimentação e remoção de 99,1% e MCs residuais de 0,18 µg L<sup>-1</sup>, na etapa da filtração;

Pode-se verificar que o tratamento eficiente de água contendo células de *Microcystis* sp. e MCs requer a associação da adsorção em CAP às técnicas de ciclo completo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE JUNIOR, E. C. Produção e caracterização de carvão ativado para remoção de microcistinas. 2006. 239 f. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2006.
2. ALVAREZ, M.; ROSE, J.; BELLAMY, B. Treating Algal Toxins Using Oxidation, Adsorption, and Membrane Technologies. Water Research Foundation, 2010
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, Carvão ativado pulverizado para tratamento de água – especificação. NBR 11834:1991/EB – 2133. Rio de Janeiro, 1991.
4. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF) / 22ª edição, 2015.
5. BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOLICA, R. Cianobactéria Invasora - Aspectos moleculares e toxicológicos da *Cylindropermopsis Raciborskii* no Brasil. Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, n. 30, p. 82 -90, 2003.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011.
7. CHOW, C. W. K.; HOUSE, J.; VELZEBOER, R. M. A.; DRIKAS, M.; BURCH, M. D.; STEFFENSEN, D. A.. The impact of conventional water treatment precesses on cells of Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. Water Research, v. 33, n. 15, p. 3253–3262, 1999.
8. CHORUS, I.; BARTRAM, J. (1999). Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. 416p
9. EL-HENDAWY, A. N. A.; SAMRA, S. E.; GIRGIS, B. S. Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs. Colloids and surfaces A: physicochemical and engineergins aspects, v. 180, p. 209-221, 2001.
10. FONSECA, G. L. Avaliação da remoção de cianobactérias e cianotoxinas pela técnica de tratamento de ciclo completo em escala de bancada. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
11. GORHAM, P. R.; “Toxic algae”. In: JACKSON (ed.) – Algae and Man. D. F. New York: Plenum Press, p. 307-36, 1964. GREGORY, 1997.
12. HO, L.; LAMBLING, P.; BUSTAMANTE, H.; DUKER, P.; NEWCOMBE, G. Application of powdered activated carbon for the adsorption of cylindropermopsin and microcystin toxins from drinking water supplies. Water Research, v. 45, n. 9, p. 2954-2964, 2011.
13. HUANG, W. J.; CHENG, B. L., CHENG, Y. L. Adsorption od microcystin-LR by three tipes of activates carbon. Journal of Hazard Mater, n. 141, p. 115 - 122, 2007.



14. KURIAMA, F.; KURODA, E. K.; GUERGOLETT, K. B.; GARCIA, S.; NOBREGA, G. M. A.; TSUJI.; HARADA, K.; HIROOKA, E. Y. Potencial de biodegradação de microcistinas por microrganismos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 181 - 186, 2012.
15. KURODA, E. K. Remoção de células e subprodutos de *Microcystis* spp. por dupla filtração, oxidação e adsorção. 2006. 276 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
16. LAMBERT, T.W.; HOLMES, C.F.B.; HRUDEY, S.E. Adsorption of microcystin-LR by activated carbon and removal in full scale water treatment. *Water Research*, v. 30, n. 6, p. 1411-1422, 1996.
17. MÜLLER, C. C.; RAYA-RODRIGUEZ, M. T.; CYBIS, L. F. Adsorção em carvão ativado em pó para remoção de microcistina de água de abastecimento público. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 29-38, 2009.
18. NEWCOMBE, G.; NICHOLSON, B. Water treatment options for dissolved cyanotoxins. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua* v. 53, p. 227-239, 2004.
19. PÁDUA, V. L. (coordenador). Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
20. POZZETTI, J. D. C.; JUNIOR, V. G. A.; BATISTA, A. D.; KURODA, E. K. Seleção de carvão ativado pulverizado para pós-tratamento de lixiviado de aterros sanitários. *IX Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 9, n. 11, p. 504 - 519, 2013.
21. SHI, H.; DING, J.; TIMMONS, T.; ADAMS, C. pH effects on the adsorption of saxitoxin by powdered activated carbon. *Harmful Algae*, v. 19, n. 1, p. 61-67, 2012.
22. SILVA, G.G.; NAVAL, L. P.; DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 71-80, 2012.
23. WARHURST, A. M.; MCCONNACHIE, G. L.; POLLARD, S. J. T. Characterization and applications of activated carbon produced from moringa oleifera seed husk by syngle-step steam pirollysis. *Water Research*, v. 31, p. 759-766, 1997.