

I-164 – AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE LIBERAÇÃO DE MICROCISTINA NO LODO DO DECANTADOR E ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS**Anderson de Assis Morais⁽¹⁾**

Biólogo pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Mestre e Doutorando em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal de Viçosa. Professor Assistente, Universidade Federal de Itajubá.

Ann H. Mounteer

Bióloga pela Universidade McGill, Canadá. Mestre em Engenharia Ambiental pela College of Environmental Science and Forestry/Syracuse University, Nova York. Mestre em Ciência Florestal (Tecnologia de Celulose e Papel) e Doutora em Microbiologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa. Professora Associada, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.

Dennis Lai

Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa.

Endereço⁽¹⁾: Rua Um, s/nº - Distrito Industrial II, Itabira, MG, CEP:35903-081 - Brasil - Tel: (31) 88730310 - e-mail: andersondeassis@unifei.edu.br

RESUMO

As companhias de saneamento possuem grande preocupação com florações de cianobactérias tóxicas, pois a presença de toxinas na água pode representar um perigo à saúde da população consumidora. Mesmo sendo removidas eficientemente e sem danos durante o processo de tratamento convencional de água, as células de *Microcystis aeruginosa* ficam em grande parte retidas no lodo do decantador e nos filtros. Em diversas estações de tratamento de água no Brasil esse lodo permanece sem retirada por períodos de tempo que possibilitam a ocorrência de lise celular e liberação das toxinas na coluna de água. No presente trabalho, realizado em uma estação de tratamento de água em escala piloto e usando como coagulante sulfato de alumínio, foi observada a liberação de microcistina a valores acima de 24 µg.L⁻¹ no lodo do decantador. A liberação de toxinas em patamares como esse é um fato que pode representar um perigo à população caso essa água seja consumida. Os dados mostram que os procedimentos operacionais mais adequados seriam a remoção constante do lodo do decantador e a lavagem diária dos filtros, alternativas que proporcionariam uma maior segurança em relação a não liberação de toxinas na água destinada ao consumo humano. Todavia, essa alternativa irá exigir um manejo adequado tanto do lodo quanto da água de lavagem de filtro contendo as células de *M. aeruginosa* durante episódios de florações.

PALAVRAS-CHAVE: cianobactérias, degradação, ETA piloto, gerenciamento de resíduos, cianotoxinas.

INTRODUÇÃO

Apesar das células de cianobactérias poderem ser removidas eficientemente em sistemas convencionais de tratamento de água, esses sistemas não são efetivos na remoção de toxinas extracelulares. Nas doses de coagulante (sulfato de alumínio) geralmente adotadas nos tratamentos convencionais, as células de *Microcystis aeruginosa* não são danificadas no processo de coagulação-floculação (Chow et al., 1999; Drikas et al., 2001). As células intactas se acumulam no lodo do decantador, onde ocorre inicialmente a liberação de toxinas e posteriormente a redução das mesmas (Drikas et al., 2001; Ermel, 2010). Em muitas estações de tratamento de água no Brasil esse lodo pode permanecer sem retirada por períodos de tempo mais do que suficiente para que ocorra a lise celular e liberação das toxinas na coluna de água. Poucos trabalhos têm sido realizados para avaliar qual é potencial de liberação de toxinas devido à lise de células de cianobactérias presentes no lodo e qual o potencial impacto que essa liberação pode trazer para a população consumidora dessa água, tendo em vista os parâmetros estabelecidos na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Neste trabalho são apresentados os resultados de dois experimentos realizados em instalação piloto de tratamento de água por ciclo completo, tendo como objetivos avaliar o potencial de liberação de microcistina no lodo do decantador e na água de lavagem de filtro e avaliar o tempo entre as retiradas do lodo e, ou as lavagens de filtro para evitar perigos à saúde da população.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cultivo de *Microcystis aeruginosa* NPLJ-4

As culturas de *M. aeruginosa*, a partir de cultura unicelular gentilmente fornecida pelo Laboratório de Análise de Água (LAA) da Universidade de Brasília (UnB), foram mantidas em sala de crescimento sob condições fotoautotróficas, à temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$, iluminação constante proveniente de luz fria fluorescente ($25 \mu\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e fotoperíodo de 12 / 12 horas de luz / escuro. As culturas estoque foram mantidas em frascos Erlenmeyer, com capacidade para 300 ml, em meio mineral ASM-1 líquido (Gorham et al, 1964), sendo periodicamente transferidas na proporção 1:9 (células:meio) para frascos Erlenmeyer com capacidade de 6 litros contendo o meio ASM-1 e mantidas sob aeração constante até atingirem a concentração desejada de células ($10^7 \text{ células.mL}^{-1}$).

Descrição da ETA piloto

Os experimentos piloto foram conduzidos nas dependências da estação de tratamento de água da Universidade Federal de Viçosa (ETA UFV). A ETA piloto foi alimentada com água do mesmo manancial de abastecimento da ETA UFV (manancial superficial represado) através de uma derivação instalada na tubulação de adução.

A ETA piloto é composta por um misturador rápido – um diafragma instalado na tubulação de entrada da ETA, floculador hidráulico, decantador convencional de fluxo ascendente, filtro rápido descendente com camada simples de areia, um reservatório para inoculação de cianobactérias e uma caixa d'água de 5 m^3 para tratamento dos resíduos (Figuras 1, 2 e 3). Nos experimentos de inoculação de cianobactérias foi aplicada uma vazão total de $0,378 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, correspondente à vazão da ETA piloto ($0,36 \text{ m}^3.\text{h}^{-1} = 0,10 \text{ L.s}^{-1}$) acrescida da vazão do inóculo ($0,018 \text{ m}^3.\text{h}^{-1} = 0,005 \text{ L.s}^{-1}$).

A água bruta foi bombeada através de uma tubulação de PVC de 19 mm de diâmetro para a entrada da ETA piloto, onde foi misturada com o inóculo, sendo esse último bombeado do reservatório (Figura 3) e conduzido por meio de uma mangueira de 25,4 mm de diâmetro à entrada do tratamento. O sulfato de alumínio líquido (coagulante) foi diluído a 0,5% e aplicado por meio de uma mangueira utilizada em aplicações de soro e medicamentos por via endovenosa, com o respectivo controlador de gotejamento, imediatamente antes da mistura rápida, proporcionada pela redução da canalização de 19 mm para 12,7 mm, seguida por nova expansão da canalização para 19 mm (diafragma). O gradiente de velocidade da mistura rápida para a vazão utilizada durante os ensaios aqui descritos ($0,105 \text{ L.s}^{-1}$) foi de 1.140 s^{-1} (Figura 1).

O floculador da ETA piloto (Figura 2) foi dimensionado aos moldes da ETA UFV (seis câmaras de floculação com passagens retangulares alternadas nos cantos superior direito e inferior esquerdo) e com base em ensaios de tratabilidade, de acordo com os seguintes parâmetros: tempo de floculação = 20 min.; gradientes de velocidade de floculação = 47 - 31 - 24 - 24 - 13 - 13 s^{-1} (em sequência, nas seis câmaras de floculação).

O decantador da ETA piloto possui área superficial de $0,44 \text{ m}^2$ e profundidade de 3,30 m. Para a vazão de inoculação ($0,105 \text{ L.s}^{-1}$) a taxa de aplicação superficial correspondeu a $20,6 \text{ m}^3.\text{m}^2.\text{d}^{-1}$. O filtro da ETA piloto possui área filtrante de $0,04 \text{ m}^2$ e foi operado com taxa de filtração constante e carga hidráulica variável. A taxa de aplicação foi de $226,8 \text{ m.d}^{-1}$ para a vazão de $0,105 \text{ L.s}^{-1}$. Antecedendo cada ensaio na ETA piloto ocorreu a lavagem de filtro, iniciando-se assim uma nova carreira e garantindo a igualdade de condições entre os ensaios. A lavagem de filtro foi realizada com velocidade ascensional de $0,8 \text{ m.min}^{-1}$, utilizando água tratada (clorada) proveniente do reservatório elevado da ETA UFV.

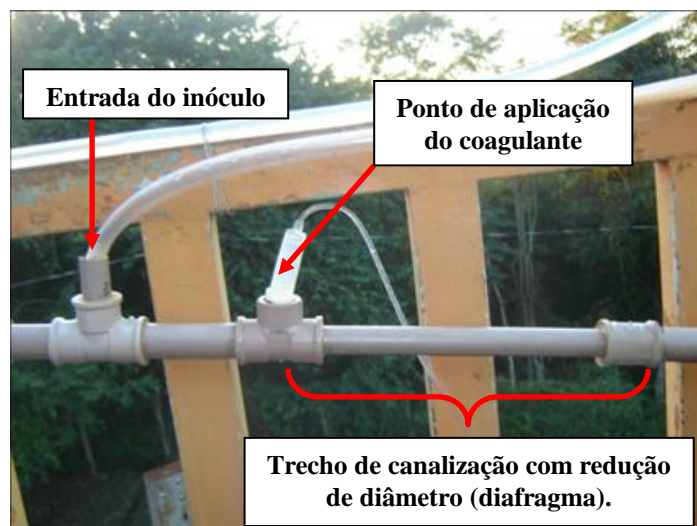


Figura 1 – Detalhes dos pontos de mistura água bruta + inóculo e da aplicação e mistura do coagulante.



Figura 2 – Vista lateral do floculador da ETA Piloto.



Figura 3: Vista parcial da ETA piloto, decantador, filtro e reservatório de inoculação de cianobactérias.

O reservatório para inoculação de *M. aeruginosa* (Figura 3) apresenta altura útil de 1,2 m, área superficial de 0,3 m² e hélice acoplada a um motor, de forma a manter o inóculo em suspensão durante os ensaios. Nos ensaios foram inoculados 72L da cultura de *M. aeruginosa*, com concentração inicial da ordem 10⁷ cél.ml⁻¹, diluídos em 72L da água do manancial (chamado aqui de inóculo), com o intuito de obter vazão para inoculação de 5 mL.s⁻¹, mantida constante durante todo o ensaio, para a obtenção de concentração de células na água a ser tratada (mistura) em torno de 10⁵ cél.ml⁻¹.

Dos diagramas de coagulação previamente realizados (Morais et al., 2009) se determinaram os parâmetros de coagulação adequados (dose e pH). Com os parâmetros de coagulação fixados, foram realizados dois ensaios (Teste 1 e Teste 2), na ETA piloto descrita anteriormente.

Potencial de liberação de microcistina

Previamente às inoculações, o decantador teve drenado seu conteúdo e foi lavado. Foram feitos dois ensaios e logo após a realização de cada ensaio foram coletados aproximadamente 10 litros de amostra do lodo do decantador, através de um dreno de fundo. Toda a água de lavagem de filtro foi coletada. Após a coleta, alíquotas das amostras do lodo do decantador e da água de lavagem de filtro, previamente homogeneizadas, foram armazenadas em frascos de vidro previamente lavados conforme metodologia descrita por Azevedo e Magalhães (2006), para realização dos experimentos.

Os frascos foram mantidos tampados e em repouso em um local escuro com temperatura controlada em 23±1°C. Nos dias 0; 1; 2; 3; 5; 6; 10; 13; 17; 19; 24; 25 e 37 foram coletadas alíquotas de 10ml do sobrenadante, filtradas em filtro de seringa com membrana filtrante de polissulfona com poro de 0,22 µm e mantidas congeladas a -18°C até o momento da análise. A concentração de microcistina foi determinada através de análise em microplacas por imunoenensaio enzimático (ELISA), marca Beacon®, (Saco, Maine, EUA), específico para microcistina.

Contagem de células

Ao longo dos experimentos na ETA piloto, que duraram cerca de 8 horas, foram coletadas amostras da água bruta, inóculo, mistura água + inóculo, água decantada e água filtrada, nos tempos de 4; 6 e 8 horas. Foram também coletadas amostras da água de lavagem de filtro e lodo do decantador ao final do experimento. As amostras foram coletadas em frascos de vidro âmbar de 1 litro, preservadas com lugol (Bicudo e Menezes, 2006) e deixados em repouso, protegido da luz por no mínimo 48 horas, período após o qual o sobrenadante foi cuidadosamente sifonado e seu volume medido, assim como o volume restante no frasco, para o cálculo do fator de concentração da amostra. O sedimentado era então homogeneizado e uma alíquota transferida, com o auxílio de uma pipeta Pasteur, para uma câmara de Neubauer reticulada. A contagem foi realizada em oito quadrantes para cada amostra, em microscópio Olympus CX41 (Tóquio, Japão). A sedimentação das amostras foi importante para se aumentar a sensibilidade das contagens, principalmente em amostras com concentração baixa de células, visto que o limite de detecção utilizando-se a câmara de Neubauer é de 1,25 x 10³ células por mililitro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambos os testes a dose de sulfato de alumínio utilizada foi de 12 mg.l⁻¹, o pH e a turbidez da mistura (água bruta + inóculo) foram 6,5 e 14uT, respectivamente. Na Tabela 1 é mostrada a contagem de células realizada nas amostras coletadas durante a realização dos experimentos na ETA piloto. A contagem de células no lodo apresentou valores relativamente próximos nos dois experimentos, enquanto que a contagem de células na água de lavagem de filtro foi 17,5 vezes maior no primeiro teste do que no segundo teste. A contagem de células, especialmente na água de lavagem de filtro está relacionada à eficiência das etapas de decantação e filtração, sendo que no Teste 1, a eficiência da decantação foi de 93,0% e a eficiência da filtração foi de 86,0%, com uma eficiência total de remoção de células de 99,0% (2 unidades logarítmicas). Já no Teste 2, a eficiência da decantação foi de 96,1% e a eficiência da filtração foi de 96,9%, com uma eficiência total de remoção de células de 99,9% (3 unidades logarítmicas).

Tabela 1 – Contagem de células (células.mL⁻¹) nas etapas ao longo do tratamento e nas amostras de lodo do decantador e água de lavagem de filtro (ALF)

Amostra	Teste 1	Teste 2
Mistura	$3,3 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$
Decantada	$2,3 \times 10^5$	$9,7 \times 10^3$
Filtrada	$3,2 \times 10^3$	$3,1 \times 10^2$
Lodo	$2,0 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$
ALF	$6,1 \times 10^4$	$3,5 \times 10^3$

A Figura 4 apresenta as concentrações de microcistina encontradas nas amostras do lodo e da água de lavagem de filtro. Apesar das amostras terem sido coletadas até o 37º dia para análises de microcistina, são apresentados aqui os resultados somente até o 13º dia, uma vez que após esse tempo as concentrações de microcistina mantiveram-se constantes e em valores baixos, de cerca de 0,1 µg.L⁻¹. Observa-se que no início da coleta (dia 0) a concentração de microcistina foi elevada nas amostras do lodo do decantador e na ALF 1, e aumentou até o terceiro dia. Após esse período, observou-se uma redução nos valores, sendo que após o décimo dia a concentração de microcistina no sobrenadante foi menor que 0,5 µg.L⁻¹ em todas as amostras coletadas, valor esse inferior ao valor máximo permitido (VMP) pela portaria 518 do Ministério da Saúde, que é de 1 µg.L⁻¹. Em experimentos realizados por Drikas et al. (2001), os autores observaram que o número total de células reduziu-se a 50% do número inicial após dois dias, mas a liberação de toxinas iniciou-se imediatamente, alcançando 100% após dois dias. A concentração de toxinas reduziu 80% após oito dias e as toxinas foram removidas completamente após 13 dias. Esses resultados foram similares aos observados no presente trabalho, onde a liberação de toxinas iniciou-se já no primeiro dia, sendo que sua concentração máxima foi observada no terceiro dia em ambos os experimentos, tanto para o lodo quanto para a água de lavagem de filtro. Em testes de jarros realizados com a inoculação de *M. aeruginosa* na densidade de células de 10⁶ por mililitro, Ermel (2010) encontrou resultados similares, sendo que após o décimo dia foi observado a degradação total de microcistina.

O motivo da degradação das microcistina observada nesses experimentos não foi avaliado, mas há cinco vias propostas para a redução natural de microcistina (Tsuji et al., 2001): 1) diluição, 2) adsorção, 3) decomposição térmica auxiliada por temperatura e pH, 4) fotólise e 5) degradação biológica. De acordo com a metodologia utilizada nesse trabalho, as vias 1, 3 e 4 não parecem ser as atuantes. As duas vias que podem estar envolvidas na degradação observada a partir do quinto dia são a adsorção de microcistina ao sedimento e, ou a degradação biológica da mesma. Esta última hipótese foi testada por Chen et al. (2010), que avaliaram a biodegradação de microcistina em sedimentos de lagos sob condições anóxicas e observaram que após o segundo dia a remoção se inicia e que após o sexto dia ela é praticamente completa. Essa condição se assemelha à observada durante os experimentos realizados neste trabalho, onde os frascos foram mantidos tampados e no escuro. Em corpos hídricos a biodegradação parece ser a via de degradação principal para eliminação de microcistina (Chen et al., 2008).

Na Figura 5 é apresentada a concentração normalizada de microcistina (final/inicial). É possível observar um comportamento similar àquele observado na Figura 4, com destaque para o comportamento no Lodo 2, onde a concentração final de microcistina atinge valores superiores a quatro vezes o valor inicial no terceiro dia. No Lodo 1, no terceiro dia observa-se um aumento superior a duas vezes o valor inicial. Em relação à água de lavagem de filtro, no Teste 1 a concentração no terceiro dia foi praticamente a mesma observada inicialmente, enquanto no Teste 2 a concentração de microcistina no terceiro dia foi cerca de 2,7 vezes maior que a inicial.

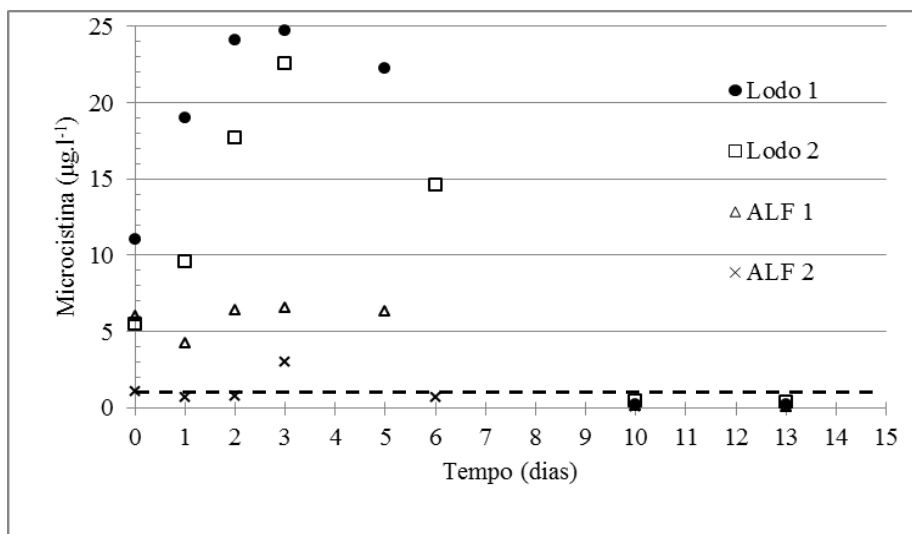


Figura 4 – Concentração absoluta de microcistina ($\mu\text{g.l}^{-1}$) no sobrenadante das amostras de lodo e da água de lavagem de filtro (ALF). A linha tracejada indica o valor máximo permitido estabelecido na Portaria 518 do Ministério da Saúde ($1 \mu\text{g.l}^{-1}$). Lodo 1 e ALF1, Lodo 2 e ALF2 referem-se aos Testes 1 e 2, respectivamente.

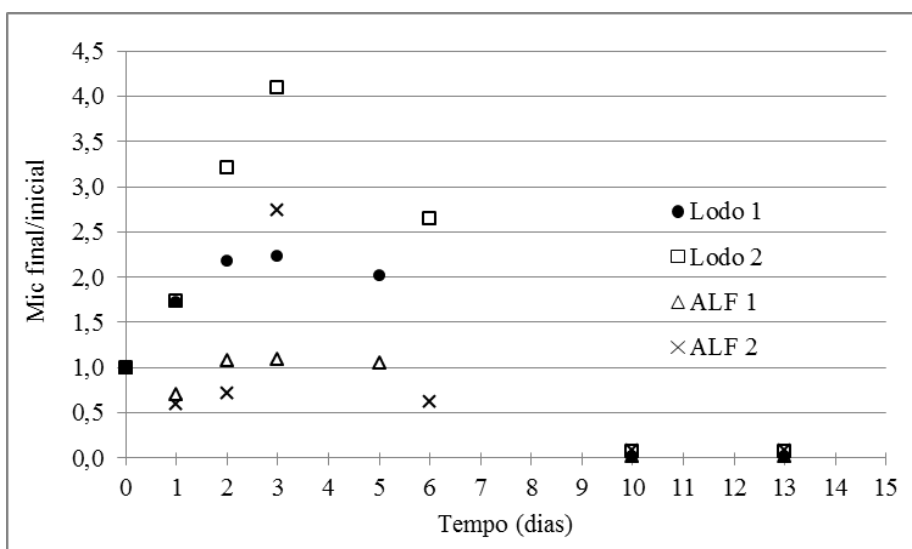


Figura 5 – Concentração normalizada de microcistina (final/inicial) no sobrenadante das amostras de lodo e da água de lavagem de filtro (ALF). Lodo 1 e ALF1, Lodo 2 e ALF2 referem-se aos Teste 1 e 2, respectivamente.

Os resultados obtidos indicam que a liberação de microcistina devido à lise celular ocorre a partir do primeiro dia, o que sugere que a remoção do lodo do decantador seja realizada continuamente, se possível, através de raspagem de fundo ou de um dreno, para evitar que a lise das células e a liberação das toxinas na água ocorram dentro do decantador.

A lavagem do filtro pelo menos uma vez ao dia evitaria problemas de lise celular no leito filtrante. Tanto em relação ao lodo do decantador quanto à água de lavagem de filtro, deveria ser dado um destino final adequado para evitar que o problema seja apenas transferido da estação de tratamento de água para outro local.

Uma sugestão de gerenciamento desses resíduos seria armazená-los durante os episódios de florações. Essa opção permite um manejo mais seguro desses resíduos, mantendo-os armazenados até a degradação da microcistina, para que após esse período seja efetuado seu descarte de forma segura do ponto de vista da presença de microcistina.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apesar de células de *M. aeruginosa* serem removidas com boa eficiência em sistemas convencionais de tratamento de água, elas ficam retidas no lodo do decantador e nos filtros. A morte dessas células pode liberar toxinas em sistemas de tratamento de água, notadamente em decantadores, tendo em vista que diversas estações de tratamento de água em operação no Brasil não removem o lodo do decantador com frequência menor que aquela que seria necessária para evitar que houvesse a morte das células e a liberação de toxinas na coluna de água, o que nesse caso ocorre já no primeiro dia e atinge o pico no terceiro dia, quando é encontrada a concentração máxima de toxinas. Os dados mostram que a limpeza contínua do lodo do decantador e a lavagem diária dos filtros seria alternativa que proporcionaria maior segurança em relação à não liberação de toxinas na água destinada ao consumo humano. Porém, essa alternativa irá exigir um manejo adequado tanto do lodo quanto da água de lavagem de filtro que tenham que ser descartados durante a ocorrência de episódios de florações no manancial de abastecimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão da bolsa de doutorado, à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão do auxílio financeiro à pesquisa (FAPEMIG TEC-APQ-01635-09) e pelo financiamento para participação no evento, e ao Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos pela disponibilização da ETA em escala piloto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, S.M.F.O.; MAGALHÃES, V.F. Metodologia para quantificação de cianotoxinas. In: PÁDUA, V.L. (Coordenador). **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 11, p. 467-503, 2006.
2. BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M. **Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil (chave para identificação e descrições)**. 2ª ed. São Carlos:RIMA, 2006.
3. CHEN, W., SONG, L., PENG, L., WAN, N., ZHANG, X., GAN, N. Reduction in microcystin concentrations in large and shallow lakes: water and sediment-interface contributions. **Water Research**, 42, p. 763–773, 2008.
4. CHEN, X.; YANG, X.; YANG, L.; XIAO, B.; WU, X.; WANG, J.; WAN, H. An effective pathway for the removal of microcystin LR via anoxic biodegradation in lake sediments. **Water Research**, 44, p. 1884 – 1892, 2010.
5. CHOW, C.W.K.; DRIKAS, M.; HOUSE, J.; BURCH, M.D.; VELZEBOER, R.M.A. The impact of conventional water treatment processes on cells of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. **Water Research**, vol. 33, n.15, p. 3253-3262, 1999.
6. DRIKAS, M.; CHOW, C.W.K.; HOUSE, J.; BURCH, M.D. Using coagulation, flocculation and settling to remove toxic cyanobacteria. **Journal of American Water Works Association – AWWA**, v. 93, n. 2, p.100-111, 2001.
7. ERMEL, A. V. B. Análise da lise de células de *Microcystis aeruginosa* e de *Cylindrospermopsis raciborskii* e da liberação e degradação de cianotoxinas em função do tempo de armazenamento do lodo em decantadores. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 118p, 2010.
8. GORHAM, P. R.; MCLACHLAN, J.; HARMER, U.T.; KIM, W. H. Isolation and culture of toxic strains of *Anabaena flos-aquae* (Lingb.). **Verh. Internat. Verein Limnol.** (15), p.769-780, 1964.
9. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 2004.
10. MORAIS, A.A.; BASTOS, R.K.X.; PIMENTA, J.F.P.; MOUNTEER, A.H.; CAVALCANTI, A.A. Diagramas de coagulação e avaliação do potencial de remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* por processos convencionais de tratamento de água. In: **Anais 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. CD-ROM, Recife, 2009.
11. TSUJI, K.; MASUI, H.; UEMURA, H.; MORI, Y.; HARADA, K. Analysis of microcystins in sediments using MMPB method. **Toxicon**, 39, p. 687–692, 2001.