

# Detecção molecular e remoção de microcistinas nos processos de tratamento de água

*Molecular detection and microcystins elimination by water treatment processes*

**RESUMO** A ocorrência de florações de cianobactérias tóxicas em reservatórios de água de abastecimento público tem sido cada vez mais frequente em virtude de sua alta competitividade em ambientes tropicais eutrofizados. O monitoramento de linhagens tóxicas é importante para a prevenção dos efeitos causados por suas toxinas na saúde de animais e humanos. Métodos para a detecção dessas linhagens em estações de abastecimento de água e em programas de monitoramento de mananciais são de fundamental interesse para a prevenção desses efeitos, devido à rapidez e sensibilidade que apresentam. Atualmente, a identificação e contagem de células de cianobactérias por microscopia ótica e análises químicas ou imunológicas das toxinas são usadas nesses monitoramentos. Em anos recentes, o diagnóstico da presença de cianobactérias toxigênicas tem sido feito por meio de métodos moleculares em diversos ambientes. Esta revisão tem por finalidade expor novas abordagens para a detecção precoce de florações de cianobactérias tóxicas em corpos d'água doce e mostrar algumas alternativas disponíveis para a eliminação das toxinas microcistinas durante os processos de tratamento da água.

**Palavras-chave** CIANOBACTÉRIAS; TOXINAS BACTERIANAS; SAÚDE AMBIENTAL; TRATAMENTO DE ÁGUA.

**ABSTRACT** The occurrence of toxic cyanobacterial blooms in public water supply reservoirs has been frequent due to their high competitiveness in eutrophic tropical environments. The monitoring of toxic cyanobacterial strains is important for the prevention of the side effects caused by their toxins in animals and human health. Molecular methods for the detection of toxic strains in water supply stations and aquatic monitoring programs are essential for the prevention of these effects, since they can be rapid and sensitive. Currently, cells counting, cyanobacterial identification using optical microscopy and chemical or immunological analyses of the toxins are applied for monitoring purposes. In recent years, the diagnosis of the presence of toxigenic cyanobacteria in several environments has been performed using molecular approaches. The aim of this review is to show new approaches for an early detection of the presence of toxic cyanobacteria in freshwater bodies and present some alternatives for the elimination of microcystins toxins during the water treatment processes.

**Keywords** CYANOBACTERIA; BACTERIAL TOXINS; ENVIRONMENTAL HEALTH; WATER TREATMENT.

**CAROLINE PAMPLONA SILVA**

Farmacêutica e Doutora em Microbiologia pela Universidade de São Paulo (USP/SP)  
E-mail: [carolpamplona@gmail.com](mailto:carolpamplona@gmail.com)

**ADRIANA STURION LORENZI**

Engenheira Agrônoma e Doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP/SP)  
E-mail: [asllorenz@gmail.com](mailto:asllorenz@gmail.com)

**YOKO OSHIMA-FRANCO**

Professora Titular da Universidade de Sorocaba (Uniso/SP) e docente da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP/SP)  
E-mail: [yofranco@terra.com.br](mailto:yofranco@terra.com.br)

**MARLI FÁTIMA FIORE\***

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq e Docente da Universidade de São Paulo (USP/SP)  
E-mail: [fiore@cena.usp.br](mailto:fiore@cena.usp.br)

\* CORRESPONDÊNCIA:

**MARLI FÁTIMA FIORE**  
E-mail: [fiore@cena.usp.br](mailto:fiore@cena.usp.br)

## INTRODUÇÃO

As cianobactérias constituem um grupo de organismos pertencentes ao domínio Bacteria, que realizam fotossíntese oxigênica, como algas e plantas.

O processo de eutrofização em ambientes aquáticos representa um dos principais fatores relacionados ao aumento do número de florações de cianobactérias em lagos e reservatórios de abastecimento. Várias espécies de cianobactérias que formam florações em ambientes aquáticos produzem uma grande variedade de compostos tóxicos, incluindo neurotoxinas e hepatotoxinas. Seus mecanismos de toxicidade atualmente descritos e compreendidos são muito diversos, e variam desde efeitos hepatotóxico, neurotóxico e dermatotóxico à inibição geral de síntese de proteínas. As microcistinas, caracterizadas como hepatotoxinas, têm sido as mais estudadas, por causarem problemas no mundo todo.

Registros de intoxicações em populações humanas devido à exposição às toxinas de cianobactérias têm ocorrido em muitos países (África do Sul, Austrália, Brasil, China, Inglaterra, Suécia). Entretanto, o primeiro registro mundial de envenenamento fatal em humanos ocorreu no Brasil, em 1996, numa clínica de hemodiálise em Caruaru (PE), ocasião em que mais de 60 pacientes vieram a falecer devido à contaminação da água dessa clínica com cianotoxinas.<sup>1</sup>

Atualmente, os reservatórios de água de abastecimento público são monitorados quanto à presença de cianobactérias por meio da contagem de células e identificação morfológica usando microscopia ótica, uma prática bastante trabalhosa. Entretanto, a produção de toxinas é específica em nível

de linhagens e não pode ser diagnosticada somente por meio da identificação da espécie. Além disso, linhagens tóxicas e não tóxicas podem estar presentes numa mesma floração. Assim, bioensaios, testes bioquímicos ou químicos são necessários para detectar populações de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas. A detecção precoce de populações tóxicas é desejável para que ações corretivas de controle das florações tenham sucesso. Uma alternativa tem sido a utilização de técnicas de biologia molecular para a identificação dessas populações. A técnica da Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), juntamente com oligonucleotídeos iniciadores (*primers*) específicos para sequências de genes envolvidos com a produção de toxinas, tem se mostrado altamente sensível para detectar linhagens de cianobactérias produtoras de microcistinas.

Tecnologias baseadas em ácidos nucleicos, uma vez bem estabelecidas para organismos isolados, podem ser aplicadas a ambientes aquáticos, mitigando os efeitos das cianotoxinas para a proteção da saúde pública. Esta revisão visa expor abordagens moleculares para a detecção de cianobactérias toxigênicas em corpos d'água doce, assim como alternativas para a eliminação de microcistinas nos processos de tratamento da água.

## REVISÃO DE LITERATURA

### *Métodos moleculares para a detecção de genótipos produtores de microcistinas*

Rotineiramente a identificação das espécies de cianobactérias tem sido feita com base em critérios morfológicos, e a determinação do número de células, de acordo com a técnica de contagem de

Utermöhl.<sup>2</sup> Quanto às toxinas, estipulou-se 1,0 µg L<sup>-1</sup> de microcistinas em água potável<sup>3</sup> como sendo a concentração máxima tolerável. No Brasil, esse mesmo valor (1,0 µg L<sup>-1</sup>) foi estabelecido por meio da Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde<sup>4</sup>, sendo considerada aceitável a concentração de até 10 µg L<sup>-1</sup> de microcistinas em até três amostras por ano. Não há limites regulamentados para outras cianotoxinas, porém o Ministério da Saúde recomenda que as análises destas incluam a determinação de cilindrospermopsina (valor limite de 15,0 µg L<sup>-1</sup>) e saxitoxinas (valor limite de 3,0 µg L<sup>-1</sup>).<sup>4</sup>

Existe, portanto, uma necessidade urgente por parte dos órgãos responsáveis pelo gerenciamento da qualidade da água destinada ao consumo humano de prever a formação de florações de cianobactérias tóxicas e monitorar seu desenvolvimento. Entretanto, atualmente, esse monitoramento é complexo, pois, além da exigência de pessoal especializado para identificar as cianobactérias por meio da análise morfológica usando microscopia ótica, essa técnica não diferencia florações tóxicas de não tóxicas, havendo necessidade da análise das toxinas.

Dentre os métodos para detecção de toxinas encontram-se os bioensaios (testes com camundongos), imunológicos – ensaio imunoenzimático (ELISA), bioquímicos (inibição de atividades enzimáticas), analíticos (cromatografia líquida de alta resolução – CLAE) e a espectrometria de massas. Recentemente, métodos de detecção baseados em DNA têm sido usados em maior escala pelo grande potencial de especificidade, sensibilidade e rapidez que apresentam.

A utilização de técnicas moleculares, como a PCR, tem propiciado o acesso a um maior número de micro-organismos, inclusive àqueles não cultiváveis. Essa técnica baseia-

se na amplificação de uma sequência alvo no DNA, que é delimitada por oligonucleotídeos iniciadores (*primers*) na reação de PCR. Além disso, o desenvolvimento de métodos rápidos de diagnóstico, extremamente sensíveis e específicos para a detecção de cianobactérias é possível por meio da seleção de genes específicos do genoma funcional.

A biossíntese de microcistinas envolve genes que codificam para enzimas multifuncionais, as peptídeos sintetases não ribossômicas (NRPSs), as policetídeos sintases (PKSs) e os sistemas híbridos (NRPS-PKS e PKS-NRPS), os quais catalisam a formação da estrutura química da toxina. A elucidação da via biossintética de microcistinas produzidas por cianobactérias dos gêneros *Microcystis*, *Anabaena* e *Planktothrix*<sup>5,6,7</sup> têm permitido a utilização de sequências gênicas envolvidas em sua síntese para a confecção de oligonucleotídeos iniciadores específicos, que são capazes de detectar por PCR o seu potencial de produção em linhagens isoladas ou amostras ambientais.<sup>8</sup>

O agrupamento de genes que participam da biossíntese de microcistina em *Microcystis aeruginosa* PCC7806, denominado *mcy*, localiza-se no cromossomo e contém 55 kb de DNA, que codificam dez ORFs (quadro aberto de leitura), *mcyA-J*.<sup>8</sup> A comparação entre os agrupamentos de genes *mcy* em *Microcystis*, *Planktothrix* e *Anabaena* mostrou que a maioria desses genes estava em ordem diferente, nem todos os genes estavam presentes nesses organismos e a identidade entre eles foi baixa.<sup>9</sup>

Inicialmente, as regiões que codificam os domínios de adenilação do gene *mcyB* foram consideradas as mais promissoras para serem usadas como alvo na amplificação de genes da biossíntese de microcistinas, uma vez que são uma das responsáveis pelas diferentes

isoformas dessa toxina. Assim, os primeiros conjuntos de oligonucleotídeos iniciadores tiveram como alvo parte das sequências de nucleotídeos do domínio de adenilação do gene *mcyB* e foram denominados FAA/RAA e core1/core2R (degenerados).<sup>10,11</sup> Embora esses dois conjuntos de iniciadores tenham mostrado boa correlação com a produção da toxina, foram observados vários problemas de especificidade.<sup>8</sup> Esses mesmos autores sugeriram que a falta de especificidade poderia ser devido à alta identidade da sequência da região de adenilação do gene *mcyB* com outros domínios de adenilação de NRPSs e a ocorrência de múltiplos domínios de adenilação em *Microcystis* sp. tóxica e não tóxica.

Na tentativa de amplificar um domínio de NRPS incomum, Tillett e colaboradores<sup>8</sup> confeccionaram um conjunto de iniciadores (designados MSF/MSR) que tinha como alvo o domínio da *N*-metiltransferase (NMT), presente somente numa região do gene *mcyA*. Baker e equipe<sup>10</sup> empregaram esse conjunto de iniciadores para avaliar a ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas na represa de Malpas, Austrália. Os resultados obtidos por esses autores mostraram que os indivíduos presentes em uma floração podem ser monitorados por PCR para sua toxicidade de forma mais efetiva em relação aos outros métodos de análise.

Sequências dos genes *mcyD*<sup>12</sup> e *mcyE*<sup>12</sup> também estão sendo usadas para detectar a presença de cianobactérias tóxicas, inclusive em ambientes naturais. Ouahid e colaboradores<sup>12</sup> desenvolveram uma PCR multilplex, capaz de distinguir *Microcystis* produtoras das não produtoras de microcistinas, usando seis sequências gênicas do agrupamento *mcy* que codificam para microcistinas sintetases: três que correspondem aos genes *mcyA*, *mcyB* e

*mcyC*, e codificam para NRPSs, e três que correspondem aos genes *mcyD*, *mcyE* e *mcyG*, e codificam para PKSs. Nesse estudo, foram desenvolvidos cinco novos conjuntos de oligonucleotídeos iniciadores, e produtos de PCR foram obtidos para todas as *Microcystis* produtoras de microcistinas, não ocorrendo amplificação para as não produtoras. De acordo com os autores, a ocorrência de vários genes *mcy* em *Microcystis* pode ser usada como critério para acessar o potencial de toxicidade em espécies ambientais, contribuindo significativamente para simplificar os testes de toxicidade.

Novos conjuntos de iniciadores estão sendo descritos na literatura com frequência, principalmente diante do crescente aumento no conhecimento de genes envolvidos na biosíntese de cianotoxinas. A técnica de PCR já foi aplicada com sucesso em amostras ambientais de água, as quais foram coletadas na represa Billings (São Paulo, SP) e no reservatório Salto Grande (Americana, SP), usando alguns desses iniciadores para a detecção de florações de *Microcystis* tóxicas. Entretanto, a técnica de PCR, apesar de detectar cianobactérias potencialmente tóxicas, não é quantitativa.

Para suprir essa limitação decorrente da PCR, uma técnica molecular denominada Reação em Cadeia da Polimerase em Tempo Real (qPCR), que fornece dados quantitativos do produto amplificado, foi usada com sucesso para quantificar populações de *Microcystis* e subpopulações com genótipos *mcyB* num lago na Alemanha.<sup>13</sup> Na reação de PCR em tempo real, os produtos de PCR produzidos são marcados com sondas fluorescentes ou corantes que se ligam ao DNA e são quantificados a cada ciclo. Estudos recentes utilizando a qPCR em cianobactérias contemplam sua aplicação em

amostras naturais, apresentando resultados bastante promissores.<sup>14</sup>

A reação de PCR também tem sido usada com sucesso para avaliar a distribuição de genes de PKS e NRPS em cianobactérias. Para amplificação de sequências conservadas de PKSs e NRPSs podem ser utilizados conjuntos de iniciadores como KSF/KSR<sup>15</sup> ou DKF/DKR<sup>16</sup> para PKSs e MTF/MTR<sup>17</sup> para NRPSs em reações de PCR, com a finalidade de avaliar a presença ou ausência desses fragmentos nos organismos analisados. Em estudo conduzido por nossa equipe, a produção da toxina microcistina foi detectada em 34% das linhagens analisadas por meio do ensaio imunológico ELISA. Em todas essas linhagens, os genes de NRPS e PKS estavam presentes.

### Alternativas para a remoção de microcistinas

Diversos estudos têm sido realizados na tentativa de remover microcistinas das águas de abastecimento, cujos métodos geralmente usados empregam coagulação, floculação, sedimentação, filtração, ozonização, dentre outros.

Alguns autores reportam que tratamentos convencionais de água para remoção das células intactas de cianobactérias, como coagulação, floculação, sedimentação e filtração têm se mostrado eficientes, pois as células dos microorganismos não são rompidas e, dessa forma, não há liberação das microcistinas. Estudos realizados por Jurczak e colaboradores<sup>18</sup> mostraram que as etapas de coagulação, filtração, ozonização e cloração foram eficientes na eliminação das microcistinas disponíveis em águas coletadas de reservatórios.

De acordo com Hoeger et al.<sup>19</sup>, em estudos realizados com amostras coletadas de estação de tratamento de água, a eficiência observada para a remoção de células de *M. aeruginosa* usando filtros de areia foi de 84,8%. O uso

combinado de filtros de areia e do método de floculação apresentou eficácia de 99,0% na eliminação de suas células. Nesse mesmo estudo, o método de coagulação mostrou uma redução de 37,9% de células na água, mas não se mostrou eficiente na remoção de cianotoxinas. A ozonização, porém, foi o método que se apresentou eficaz na eliminação completa das microcistinas.

Alguns autores relatam que tratamentos como a cloração e ozonização são efetivos para a eliminação de microcistinas dissolvidas, mas, de acordo com Lawton e Robertson,<sup>20</sup> como a contaminação da água com essa toxina é sazonal e imprevisível, o custo pode ser inviável. Métodos como microfiltração e ultrafiltração são adequados para remover células, mas não cianotoxinas.

O carvão ativado tem se mostrado um dos mais eficientes métodos para remoção das microcistinas da água. De acordo com experimentos realizados por Pyo e Moon,<sup>21</sup> ele reduziu a concentração de microcistinas em até 99,5% de amostras de água.

Devido a sua estrutura peptídica cíclica, as microcistinas são muito estáveis e resistentes à hidrólise química e oxidação em pH próximo da neutralidade. Em condições naturais, no escuro, elas podem persistir por meses ou anos. Além disso, as microcistinas mantêm sua toxicidade mesmo após a fervura. No entanto, sob temperatura elevada (40 °C) e condições de pH básico ou ácido, hidrólises lentas foram observadas, necessitando de aproximadamente 10 semanas a pH 1 e mais de 12 semanas a pH 9 para a degradação de cerca de 90% da concentração total das microcistinas presente na amostra.<sup>22</sup> Degradação fotoquímica lenta, porém, já foi observada a partir da exposição das microcistinas à luz solar. A velocidade dessa reação é elevada pela presença de pigmentos fotossintéticos hidrossolúveis, provavelmente ficobiliproteínas.<sup>23</sup> Na presença desses

pigmentos, a degradação fotoquímica de 90% da concentração total de microcistinas pode variar de duas a seis semanas, dependendo da concentração de pigmentos e toxinas. A presença de substâncias húmicas também parece acelerar a degradação das microcistinas sob a luz solar.

De acordo com Feitz et al.<sup>24</sup>, sistemas fotocatalíticos como UV/TiO<sub>2</sub> e UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> são efetivos na remoção de microcistinas em águas para consumo humano. Qiao et al.<sup>25</sup> investigaram a degradação de microcistina-RR usando sistema de oxidação UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e relataram ser esta uma alternativa eficiente para a degradação dessa cianotoxina.

Embora as microcistinas sejam resistentes a muitas peptidases de eucariontes e bactérias, elas são susceptíveis à degradação por algumas bactérias encontradas naturalmente em rios e reservatórios. Bactérias capazes de degradar microcistinas já foram isoladas de vários ecossistemas aquáticos e também efluentes de esgotos.<sup>26,27</sup> Esse processo pode levar à degradação de 90% do total de microcistinas no período de dois a dez dias, dependendo principalmente da concentração inicial dessas toxinas e da temperatura da água. Tsuji et al.<sup>28</sup> estabeleceram um método biológico de remoção de cianobactérias e toxinas usando micro-organismos imobilizados. Bactérias foram isoladas de lagos do Japão e três linhagens apresentaram atividade degradativa. Nesse estudo, as microcistinas -RR e -LR foram completamente degradadas por *Sphingomonas* sp. B-9

imobilizadas em resina poliéster. A degradação da microcistina -RR em biorreator utilizando a bactéria imobilizada ocorreu quase completamente (90%) em 24 horas e a eficiência dessa bactéria (80%) permaneceu durante dois meses.

## CONCLUSÕES

As cianobactérias representam um perigo em potencial para a saúde de animais e humanos, uma vez que podem produzir e liberar toxinas em águas utilizadas para o abastecimento público. Métodos rápidos e sensíveis para a detecção de genótipos potencialmente tóxicos são de grande importância para auxiliar a tomada de decisões pelos órgãos responsáveis pela qualidade da água. A descoberta de genes envolvidos na biossíntese de cianotoxinas tem favorecido o desenho de iniciadores de PCR ou qPCR, representando uma ferramenta importante para identificar a presença das cianobactérias tóxicas em diversos ambientes.

Dentre os métodos disponíveis até o momento que visam à remoção de microcistinas das águas de abastecimento, a ozonização tem se mostrado o mais efetivo, no entanto implica em custos mais elevados. O uso de carvão ativado, porém, também tem apresentado resultados bastante eficientes nesse sentido. Outros métodos alternativos se encontram disponíveis, contudo destaca-se a necessidade de avaliação prévia das particularidades de cada situação, visando sempre à máxima eficácia em sua remoção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jochimsen EM, Carmichael WW, An J, Cardo DM, Cookson ST, Holmes CEM, et al. Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. *N. Engl. J. Med.* 1998; 338:873-878.
2. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington:APHA/WEF/AWWA, 1998.
3. World Health Organization. Guidelines for drinking water quality. 2nd ed. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1998.
4. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA/MS (25/03/2004). Portaria número 518.
5. Christiansen G, Fastner J, Erhard M, Borner T, Dittmann E. Microcystin biosynthesis in *Planktothrix* (nome científico, em itálico): genes, evolution, and manipulation. *J. Bacteriol.* 2003; 185 (2): 564-572.
6. Rouhiainen L, Vakkilainen T, Siemer BL, Buikema W, Haselkorn R, Sivonen K. Genes coding for hepatotoxic heptapeptides (Microcystins) in the cyanobacterium *Anabaena* strain 90. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004; 70:686-692.
7. Tillett D, Dittmann E, Erhard M, von Döhren H. Structural organization of microcystin biosynthesis in *Microcystis aeruginosa* PCC7806: an integrated peptide-polyketide synthetase system, *Chem. Biol.* 2000; 7:753-764.
8. Tillett D, Parker DL, Neilan BA. Detection of toxigenicity by a probe for the microcystin synthetase A gene (*mcyA*) of the cyanobacterial genus *Microcystis*, comparison of toxicities with 16S rRNA and phycocyanin operon (phycocyanin intergenic spacer) phylogenies. *Appl. Environ. Microbiol.* 2001; 67:2810-2818.
9. Fiore, M.F.; Etchegaray, A.; Lorenzi, A.S.; Silva, C.S.P. Monitoramento de cianobactérias produtoras de toxinas através de métodos moleculares. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FICOLOGIA, 10., 2004, Salvador. *Formação de ficólogos: um compromisso com a sustentabilidade dos recursos aquáticos; anais...* Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2005. p. 33-56. (Série Livros, 10).
10. Neilan BA, Dittmann E, Rouhiainen L, Bass RA, Schaub V, Sivonen K et al. Nonribosomal peptide synthesis and toxigenicity of cyanobacteria. *J. Bacteriol.* 1999; 181:4089-4097.
11. Baker JA, Entsch B, Neilan BA, McKay DB. Monitoring changing toxigenicity of a cyanobacterial bloom by molecular methods. *Appl. Environ. Microbiol.* 2002; 68:6070-6076.
12. Ouahid Y, Perez-Silva G, Del Campo FF. Identification of potentially toxic environmental *Microcystis* by individual and multiple PCR amplification of specific microcystin synthetase gene regions. *Environ. Toxicol.* 2005; 20:235-42.
13. Kurmayer R, Kutzenberger T. Application of real-time PCR for quantification of microcystin genotypes in a population of the toxic cyanobacterium *Microcystis* sp. *Appl. Environ. Microbiol.* 2003; 69:6723-6730.
14. Al-Tebrineh, J.; Mihali, T.K.; Pomati, F.; Neilan, B.A. Detection of saxitoxin-producing cyanobacteria and *Anabaena circinalis* in environmental water blooms by quantitative PCR. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2010;76: 7836-7842.
15. Beyer S, Kunze B, Silakowski B, Müller R. Metabolic diversity in myxobacteria: identification of the myxalamid and the stigmatellin biosynthetic gene cluster of *Stigmatella aurantiaca* Sg a15 and a combined polyketide-(poly)peptide gene cluster from the epothilone producing strain *Sorangium cellulosum* So ce90. *Biochim. Biophys. Acta.* 1999; 1445:185-195.
16. Moffitt MC, Neilan BA. On the presence of peptide synthetase and polyketide synthase genes in the cyanobacterial genus *Nodularia*. *FEMS Microbiol. Lett.* 2001; 196:207-214.
17. Neilan BA, Dittmann E, Rouhiainen L, Bass RA, Schaub V, Sivonen K et al. Nonribosomal peptide synthesis and toxigenicity of cyanobacteria. *J. Bacteriol.* 1999; 181:4089-4097.
18. Jurczak T, Tarczyska M, Izydorczyk K, Mankiewicz J, Zalewski M, Meriluoto J. Elimination of microcystins by water treatment processes— examples from Sulejow Reservoir, Poland. *Water Res.* 2005; 39:2394-2406.

19. Hoeger S, Shaw G, Hitzfeld B, Dietrich D. Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in two Australian drinking water treatment plants. *Toxicon*. 2004; 43:639–649.
20. Lawton LA, Robertson PKJ. Physico-chemical treatment methods for the removal of microcystins (cyanobacterial hepatotoxins) from potable waters. *Chem. Soc. Rev.* 1999; 28:217–224.
21. Pyo D, Moon D. Adsorption of Microcystin LR by Activated Carbon Fibers *Bull. Korean Chem. Soc.* 2005; 26 (12): 2089-2092.
22. Harada KI. Chemistry and detection of microcystins. In: Watanabe MF, Harada KI, Carmichael WW, Fujiki H. (Eds.), *Toxic Microcystis*. CRC Press, Boca Raton, 1996; 103-148.
23. Tsuji K, Naito S, Kondo F, Ishikawa N, Watanabe MF, Suzuki M, Harada KI. Stability of microcystins from cyanobacteria: effect of light on decomposition and isomerization. *Environ. Sci. Technol.* 1994; 28:173–177.
24. Feitz AJ, Waite TD, Jones GJ, Boyden BH, Orr PT. Photocatalytic degradation of the blue green algae toxin microcystin-LR in a natural organic-aqueous matrix. *Environ. Sci. Technol.* 1999; 33:243-249.
25. Qiao RP, Nan Li, Xin-Hua Qi, Qi-Shan Wang, Yuan-Yi Zhuang. Degradation of microcystin-RR by UV radiation in the presence of hydrogen peroxide *Toxicon*. 2005; 45:745–752
26. Chorus I, Mur L. Preventive measure. In: Chorus, I., Bartram, J. (Eds.), *Toxic Cyanobacteria in Water—A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. E&FN Spon. 1999; 235–273.
27. Nybom sM, Salminen SJ, Meriluoto JA. Specific strains of probiotic bacteria are efficient in removal of several different cyanobacterial toxins from solution. *Toxicon*, 2008; 52:214-220.
28. Tsuji K, Asakawa M, Anzai Y, Sumino T, Harada KI. Degradation of microcystins using immobilized microorganism isolated in an eutrophic lake. *Chemosphere*. 2006.

Submetido: 28/02/2011

Aprovado: 14/12/2011