

## REMOÇÃO DE MICROCISTINA-LR ATRÁVES DE TECNOLOGIAS AVANÇADAS NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Amanda da Silva Barbosa Cartaxo<sup>1</sup>  
Maria Célia Cavalcante de Paula e Silva<sup>2</sup>  
Gabriely Dias Dantas<sup>3</sup>  
Pierre Campos Medeiros<sup>4</sup>  
Valderi Duarte Leite<sup>5</sup>

### RESUMO

A presença de cianobactérias produtoras de cianotoxinas tem efeitos negativo nos corpos hídricos, em particular aos destinados ao abastecimento público, devido ao efeito nocivo dessas substâncias à saúde humana e animal. Em geral, as cianotoxinas não são removidas pelas tecnologias convencionais de potabilização de água, fato alarmante, visto que muitas pessoas, principalmente de comunidades rurais fazem uso da água sem nenhum tratamento prévio. Visando ampliar e contribuir com os estudos que estão sendo realizados sobre a temática, o presente trabalho apresenta uma avaliação comparativa através de pesquisa bibliográfica sobre tecnologias avançadas de tratamento de água (adsorção por carbono ativado e processo oxidativo avançado (POAs)) que contenha microcistina- LR. As tecnologias, mostraram-se inovadoras, de baixo custo e com excelentes resultados na remoção de MC-LR. No entanto, para tecnologia POA UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> deve-se realizar testes de toxicidade na água tratada, pois trata-se de um processo químico que pode gerar subprodutos tóxicos, causando danos a saúde, caso ocorra sua ingestão.

**Palavras-chave:** Tratamento de água, cianobactérias, cianotoxinas.

### INTRODUÇÃO

O excesso de nutrientes em ambientes hídricos, principalmente compostos ricos em fósforo e nitrogênio provenientes do uso de fertilizantes agrícolas e de lançamento de águas residuárias sem tratamento, aliado as urbanizações desordenadas são as causas principais da eutrofização de origem antrópica. Ambientes aquáticos eutrofizados se caracterizam pelo crescimento exuberante de macrófitas, algas e cianobactérias que alteram o aspecto e a

<sup>1</sup> Doutoranda do Curso de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [amandauepbio@hotmail.com](mailto:amandauepbio@hotmail.com);

<sup>2</sup> Doutoranda do Curso de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [celia\\_romulo@hotmail.com](mailto:celia_romulo@hotmail.com);

<sup>3</sup> Mestranda do Curso de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [gabrielydias4@gmail.com](mailto:gabrielydias4@gmail.com)

<sup>4</sup> Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [pierr1@hotmail.com](mailto:pierr1@hotmail.com);

<sup>5</sup> Valderi Duarte Leite: Doutor, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [mangabeiraleite@gmail.com](mailto:mangabeiraleite@gmail.com).

qualidade da água com a conseqüente perda das condições paisagísticas e de lazer, e dificultam o tratamento de potabilização.

As florações ou “blooms” de cianobactérias são de grande preocupação nos reservatórios destinados ao consumo humano porque além de formar densas camadas verdes na superfície da água que impedem a penetração da luz e sua oxigenação com a conseqüente morte e decomposição de diversos organismos, numerosas espécies são produtoras de potentes toxinas que atingem a biota aquática e são magnificadas e bioacumuladas ao longo de teias e cadeias alimentares atingindo os seres humanos (FORTIN et al., 2015).

As cianotoxinas conhecidas apresentam três alvos principais nos animais e no homem: o fígado (hepatotoxinas), o sistema nervoso (neurotoxinas) e a pele (dermatotoxinas). Dentre as cianobactérias toxigênicas, *Microcystis aeruginosa* produtora de microcistinas hepatóxica foi a primeira espécie dominante observada nos reservatórios nordestinos, em particular cepas produtoras de microcistina-LR, uma das 90 variantes dessa toxina conhecidas até o presente (BERRY et al., 2017).

Um fato alarmante é que as cianotoxinas não são totalmente removidas no tratamento convencional de potabilização (coagulação química, floculação, sedimentação e filtração rápida seguida de cloração) que é aplicado na maioria das Estações de Tratamento de água do país, sendo necessárias etapas adicionais para sua eliminação ou uso de novas tecnologias que promovam sua remoção total ou pelo menos que permitam atingir facilmente e com baixo custo a concentração máxima permitida pelo padrão de potabilidade, (DI BERNARDO et al., 2010) que deve ser inferior de  $1\mu\text{g.L}^{-1}$ , como estabelecido na Portaria de Consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde, em seu anexo XX.

Nesse contexto, estudos que realizam tratamento e remoção de cianobactérias e cianotoxinas são de fundamental importância para o meio ambiente, saúde pública, sociedade e aos gestores de recursos hídricos, trazendo informações de grande relevância sobre a qualidade da água. Dessa forma, visando ampliar e contribuir com os estudos que estão sendo realizados sobre a temática, o presente trabalho objetiva apresentar uma avaliação comparativa através de pesquisa bibliográfica sobre as tecnologias avançadas de tratamento de água (adsorção por carbono ativado e processo oxidativo avançado (POAs) que contenha microcistina- LR.

## METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica realizado de janeiro a junho de 2019 sobre a temática “Tratamento avançado de água de abastecimento e remoção de cianotoxinas.” A pesquisa foi realizada nas principais bases de dados nacionais e internacionais disponíveis na internet (Science Direct, Web of Science, SciELO, PubMed e Scopus) e contempla trabalhos acadêmicos e livros-texto especializados publicados nos últimos anos.

## **DESENVOLVIMENTO**

### **Cianobactérias, cianotoxinas e suas implicações**

As cianobactérias são microrganismos procariontes com metabolismo autotrófico fotossintético oxigênico, ou seja, com liberação de oxigênio molecular. Suas origens remontam a aproximadamente 2,8 a 3 bilhões de anos atrás, com evidências fósseis denominadas estromatólitos (MADIGAN et al., 2012). Desde as últimas décadas do século passado são alvo de numerosos estudos devido a graves problemas de saúde pública associados às suas florações com produção de cianotoxinas em corpos aquáticos destinados ao consumo humano (CORAL et al., 2014).

As florações de cianobactérias têm aumentando rapidamente nas últimas décadas nos mananciais ao redor do mundo sob efeito da eutrofização, consequência dos usos múltiplos desses reservatórios, das descargas de águas residuais não tratadas de uma população cada vez mais numerosa, assim como pelo escoamento de bacias hidrográficas ocupadas sem planejamento com criação de gado e agricultura e pelas mudanças climáticas como as secas prolongadas. Em seu conjunto, esses fatores deterioram a qualidade da água e impedem ou dificultam o uso ao qual foram destinadas (BURCH, 2008). Nos reservatórios destinados a fornecer água para consumo humano essas alterações significam grande risco á saúde pública, visto que nas florações de cianobactérias proliferam espécies produtoras de cianotoxinas que não são totalmente eliminadas através do sistema convencional de tratamento de água (DI BERNADO, DANTAS, 2005; LIBÂNIO, 2010).

As alterações das características da água dificultam seu tratamento nas ETAs devido excesso de células que colmatam rapidamente os filtros de areia além de requerer maiores consumos de reagentes na adequação do pH da água e para a coagulação (LAPOLLI et al., 2010), além dos riscos associados á presença de cianotoxinas que não são eliminadas com esse sistema de tratamento e precisam de processo avançados para sua remoção (LIBÂNIO,

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

2010).

As cianotoxinas afetam os seres vivos e alteram as teias e cadeias alimentares, até atingirem os seres humanos (WEIRICH et al., 2014). São metabolitos secundários das cianobactérias que segundo seu efeito nas células alvos são classificadas em: dermatotóxicas, hepatotóxicas e neurotóxicas. Também podem ser agrupadas segundo sua origem e forma de dispersão no ambiente como endotoxinas e exotoxinas. As endotoxinas são liberadas para a água quando as células morrem ou entram em senescência. Sua composição é de polissacarídeos e lipídeos e são consideradas toxinas relativamente fracas. As exotoxinas são proteínas (polipeptídeos) específicas com elevada ação tóxica. Os dois tipos de toxinas podem ser fatais em doses elevadas (BERRY et al., 2017). Ainda não estão esclarecidas as causas que motivam sua biosíntese, mas sugere-se que seja para minimizar o efeito da herbívoría celular como acontece com os vegetais superiores. (GAGET et al., 2017).

As hepatotoxinas causam as intoxicações mais frequentes em seres humanos e apresentam uma ação mais lenta, podendo causar morte em um intervalo de horas a dias ou meses causando necrose do fígado e hemorragia hepática. As espécies identificadas como produtoras dessas hepatotoxinas são dos gêneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Cylindrospermopsis*, *Planktotrix*, *Radiocystis*, *Arthrospira* (LI et al., 2009).

O gênero *Microcystis*, foi descrito por Kützing em 1833, é cosmopolita, colonial e abrange 25 espécies tipicamente planctônicas. As principais características morfológicas são colônias formadas por células arredondadas, arranjadas irregularmente em um fino envelope mucilaginoso, com divisão celular em três planos perpendiculares (KOMÁRER; HAUER, 2014). Linhagens de *Microcystis* tóxicas associadas a florações são frequentes em todo o mundo e as microcistinas são peptídeos tóxicos, mas também produzem cianopeptídeos como aeruginosinas, microgininas, anabaenopeptinas, cianopeptolinas, microviridinas e ciclâmidas; ainda há dois casos na literatura que relatam a produção de neurotoxina em *Microcystis*: o primeiro refere-se à ocorrência da neurotoxina anatoxina-a e o segundo de uma linhagem de *M. aeruginosa* que sintetizava duas toxinas – a hepatotoxina [L-ser7] microcistina-RR e a neurotoxina saxitoxina (goniautoxinas 1, 2, 3 e 4) – (CORAL, 2014).

Em águas naturais e na ausência de luz, a microcistina pode persistir por meses e até anos. Em temperaturas elevadas (40°C) pode ocorrer degradação por hidrólise de até 90% em 10 semanas com pH ácido e em 12 semanas em pH alcalino (SANTOS et al., 2008). A toxicidade da microcistina muda de acordo com os dois L-aminoácidos variáveis podendo ser

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

classificada em: alta (MC-LR, MC-LA, MC-YR), média (MC-WR), e fraca (MC-RR). A microcistina-LR além de ser mais comum nos reservatórios eutrofizados com florações de cianobactérias apresenta toxicidade elevada em relação às outras variantes (VASCONCELOS et al., 2011).

Na Paraíba, Vasconcelos *et al.* (2011) relatam resultados de diversos estudos que demonstraram que as espécies de cianobactérias mais frequentes na formação de florações em reservatórios de abastecimento humano são *Microcystis aeruginosa*, *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Plankthotrix agardii*, todas potencialmente produtoras de toxinas. Estas dominaram a comunidade fitoplanctônica em 16 reservatórios do estado entre 2006 e 2009, principalmente nos períodos de baixas precipitações pluviométricas, representando 73,1% do total de indivíduos fitoplanctônicos desse período e 54,8% do número total de cianobactérias nos períodos de cheias. Nos períodos de secas mais extremas em 55% dos reservatórios foi detectada microcistina e destes apenas 15% apresentaram valores inferiores de 1 µg/L, que é o Valor Máximo Permitido pela portaria de consolidação 05/2017, anexo XX do Ministério da Saúde.

### **Tecnologias de tratamento de água com remoção de cianotoxina**

O tratamento da água envolve o emprego de diferentes operações e processos unitários para adequar a água de diferentes mananciais aos padrões de qualidade definidos pelos órgãos de saúde e agências reguladoras (LIBÂNIO, 2010). No Brasil entende-se por água potável aquela que atenda as premissas estabelecidas na portaria 2914/2011-MS “que define os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos para que a água distribuída aos consumidores não ofereça riscos à saúde, por conseguinte, pode ser consumida sem causar danos à saúde ou objeções de caráter organoléptico. A água deve estar isenta de determinadas substâncias químicas, radioativas e microrganismos patogênicos para ser considerada potável e não deve trazer consigo substâncias capazes de adicionar-lhe cor, turbidez ou sabor desagradáveis, ainda que essas substâncias sejam inofensivas ao organismo humano”.

O processo de tratamento de água em uma ETA tem como objetivo produzir água de qualidade potável e, portanto, que cumpra a legislação em vigor, com os menores custos de implantação, manutenção e operação possíveis. Denominado “convencional” de ciclo completo este tratamento é o tipo mais difundido nas grandes cidades do Brasil, e inclui a coagulação, floculação, sedimentação, filtração em areia e desinfecção (LIBÂNIO, 2010).

Em 1994, pesquisadores de diversas partes do mundo, reunidos na Austrália, reconheceram que as tecnologias baseadas na coagulação química alcançavam elevadas remoções de células de cianobactérias, mas apresentavam baixa eficiência de remoção das cianotoxinas dissolvidas. Segundo Steffensen e Nicholson (1994) entre as várias recomendações feitas no referido seminário, indicava-se a necessidade de avaliar se os processos clássicos de tratamento (coagulação, decantação e filtração, desinfecção) são capazes de remover as células de cianotoxinas intactas (ou seja, verificar a ocorrência ou não de lise nas diferentes etapas do tratamento). A lise celular libera as cianotoxinas intracelulares e, portanto, aumenta sua concentração na água que está sendo tratada. Deve-se fazer a comparação com os processos de flotação e sedimentação, a fim de garantir maior remoção de células; aprimorar o uso da pós-oxidação e/ou da adsorção em carvão ativado como modo de eliminar cianotoxinas associada com as diferentes sequências do tratamento previamente citadas para promover a eficiente remoção das cianotoxinas dissolvidas.

Para Newcombe e Nicholson (2004) o tratamento de água para consumo humano contendo cianobactérias requer cuidados especiais. O uso de coagulante, como sulfato de alumínio ao mesmo tempo em que melhora o tratamento facilitando a remoção de células de cianobactérias, promove a lise celular e a liberação de toxinas na água. DI Bernardo *et al.* (2010), afirmam que o tratamento convencional possibilita a remoção de grande parte das células intactas de algas e cianobactérias, porém é ineficiente para remoção de cianotoxinas dissolvidas. O reconhecimento das limitações do tratamento convencional fomentou o desenvolvimento de pesquisas com base em outros processos, como adsorção em carbono ativado, processos oxidativos avançados, ultrafiltração, entre outros, com resultados positivos para remoção de cianobactérias e cianotoxinas. (GUERRA *et al.*, 2015; ALBUQUERQUE, 2017; BARBOSA, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Adsorção por carbono ativado*

O carvão ativado consiste em um material carbonáceo altamente poroso dotado de grande área superficial adsorvente. É um dos adsorventes mais utilizados no tratamento de água potável para abastecimento público e residuária bem como na indústria química (AKTAS e ÇEÇEN, 2007). As substâncias mais comumente removidas são as que causam sabor, odor, toxicidade e mutagenicidade. O carbono ativado apresenta boa eficiência na

remoção de toxinas, seja em pó (CAP) ou granular (CAG). O carvão produzido à partir da madeira e casca de coco apresentam melhores resultados de remoção, sendo os mais utilizados no tratamento de água (GUERRA, 2015).

O uso de CAG incorporado na ETA em colunas de filtração no final do tratamento mostra excelente eficiência de remoção de cianotoxinas, facilidades de instalação, operação e manutenção além de dar flexibilidade ao sistema de tratamento, já que o carvão fica retido dentro da coluna e não aumenta a formação de lodo, como ocorre com o CAP e é possível sua recuperação (LIMA, 2015). Diversos trabalhos utilizando carbono ativado mostram eficiências de remoção de cianobactérias (células inteiras) e cianotoxinas, atingindo valores de microcistina-LR inferiores ao limite de  $1 \mu\text{g.L}^{-1}$  conforme estabelecido na Portaria de Consolidação, anexo XX do Ministério da Saúde, alguns deles são citados e discutidos brevemente na Tabela 1.

**Tabela 1.** Aplicação de carbono ativado em águas contaminadas com microcistina-LR.

<b>Matriz estudada</b>	<b>Poluentes</b>	<b>Referência</b>	<b>Principais resultados</b>
Água Destilada adicionada de MC-LR		Wang (2007)	Após aplicarem filtração por carbono ativado granular com e sem atividade biológica para remoção de MC-LR, foi constatando após seis meses de operação da coluna de CAG estéril adsorção de 70% de MC-LR, em água com concentração inicial de $5 \mu\text{g/L}$ de MC-LR. Destacaram que CAG com atividade biológica pode atingir 100% de remoção da toxina estudada.
	MC-LR.		
Água bruta adicionada de MC-LR	.	Guerra et al. (2015)	Realizando tratamento convencional da água em Jar Test seguido de coluna de CAG, os resultados mostraram que todas as etapas do tratamento convencional foram pouco eficientes na remoção de MC-LR, já no CAG ocorreu remoção entre 90 a 100% para uma concentração inicial de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ de MC-LR, reduzindo a toxina abaixo do que é estabelecido na portaria de consolidação 05/2017 do MS.

O tratamento convencional aliado ao carbono ativado favorece seu uso em escala real, uma vez que garante efluente com concentração inferior ao estabelecido pela Portaria de consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde, obtendo água de melhor qualidade. Quando

apresenta atividade biológica o uso de CAG apresenta alta eficiência, obtendo até 100% de remoção de MC-LR, reduzindo consideravelmente problemas de saúde pública causados por veiculação hídrica.

### *Processos Oxidativos Avançados (POAs)*

Os POAs são alternativas interessantes para o tratamento de água e de águas residuais por degradarem numerosos poluentes orgânicos. Podem ser combinados com outras tecnologias de tratamento, tais como pré-tratamento ou pós tratamento sendo amplamente utilizados para melhorar o desempenho do tratamento convencional (OLLER *et al.*, 2011). Os POAs são sistemas reacionais que permitem a destruição, em temperatura ambiente, das mais variadas moléculas orgânicas, incluídas as recalcitrantes.

Os POAs são classificados em processos homogêneos e heterogêneos, com ou sem radiação. Os sistemas heterogêneos são caracterizados pelo uso de catalisadores sólidos, e um bom exemplo é a fotocatalise heterogênea que utiliza o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) como catalisador, enquanto os sistemas homogêneos envolvem o uso de oxidantes como ozônio, ferro e peróxido de hidrogênio (NAVARRO *et al.*, 2010; PONTES e PINTO, 2011).

Nesses sistemas o radical hidroxila ( $\text{OH}^\bullet$ ) participa como principal agente oxidante, permitindo a completa mineralização de inúmeras espécies químicas de grande impacto ambiental. Um dos POAs mais utilizados para remoção de microcistinas é o sistema fotocatalítico homogêneo UV/  $\text{H}_2\text{O}_2$ , que consiste na formação de radicais hidroxila através da fotólise do peróxido de hidrogênio utilizando radiação ultravioleta. O uso desse processo oferece vantagens tais como: o  $\text{H}_2\text{O}_2$  é um oxidante comercial muito acessível, apresenta alta solubilidade em água, termicamente estável e pode ser armazenado no próprio local, desde que os devidos cuidados sejam respeitados (deve ser armazenado em recipientes originais ou em tanques especialmente concebidos) (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Diversos trabalhos utilizando POA UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  mostram eficiências de remoção de cianobactérias (células inteiras) e cianotoxinas, atingindo valores de microcistina-LR inferiores ao limite de  $1 \mu\text{g.L}^{-1}$  conforme estabelecido na Portaria de Consolidação, anexo XX do Ministério da Saúde, alguns deles são citados e discutidos brevemente na Tabela 2.

**Tabela 2.** Aplicação de POA UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em águas contaminadas com microcistina-LR.

<b>Matriz estudada</b>	<b>Poluentes</b>	<b>Referência</b>	<b>Principais resultados</b>
Água bruta adicionada do extrato de MC-LR	MC-LR.	Albuquerque (2017)	Realizando tratamento convencional da água em Jar Test seguido de fotocatalise homogênea (UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), os resultados mostraram que todas as etapas do tratamento convencional foram pouco eficientes na remoção de MC-LR, após tratamento no reator fotocatalítico, com uma dosagem de 1000 mM (UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) e tempo de 60 minutos ocorreu remoção de 85,7% para uma concentração inicial de 3,5 µg.L <sup>-1</sup> de MC-LR, ficando um residual de 0,5 µg.L <sup>-1</sup> .
Água bruta adicionada do cultivo lisado de MC-LR	.	Barbosa (2018)	Após aplicar filtração doméstica em filtro de barro (com elemento filtrante composto de parede microporosa de 0,5 µm, carbono ativado e prata coloidal) seguido de fotocatalise homogênea (UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), os resultados mostraram que a filtração doméstica é pouco eficiente na remoção de MC-LR, após tratamento no reator fotocatalítico, com uma dosagem de 1000 mM (UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) e tempo de 60 minutos ocorreu remoção de 73% para uma concentração inicial 2,2 µg.L <sup>-1</sup> de MC-LR, ficando um residual de 0,6 µg.L <sup>-1</sup> mostrando-se um tratamento eficiente.

Assim como o carbono ativado o uso de POA UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> favorece seu uso em escala real, garantindo efluente com concentração inferior ao estabelecido pela Portaria de consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde, obtendo água de melhor qualidade. No entanto, por se tratar de um processo químico, pode ocorrer a formação de subprodutos tóxicos, sendo necessário a realização de testes de toxicidade na água submetida ao tratamento como garantia de potabilidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cianotoxina microcistina-LR presentes em águas destinadas ao abastecimento público representam perigo potencial para a saúde humana e ambiental pela sua capacidade de gerar

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

danos dermatológicos, hepáticos e até mesmo a morte. O tratamento convencional aplicado nas ETAs da maioria do Brasil não são eficientes na remoção de cianotoxinas, quando dissolvidas na água. Para sua eliminação da água de beber, são necessários tratamentos avançados aliados ao tratamento convencional. Dentre os tratamentos avançados, pode-se destacar o carbono ativado e os processos oxidativos avançados utilizando UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Os processos oxidativos avançados (POAs) e o carbono ativado se mostram bastante eficientes, pela sua simplicidade, baixo custo, facilidade de uso e alta eficiência na destruição de cianotoxinas. Se evidenciam como tecnologias de fácil acesso às ETAs de todo o país, e em especial às da região nordeste onde se verificam, com maior frequência, corpos aquáticos eutrofizados com cianotoxinas em elevadas concentrações. No entanto, para garantir água potável após o tratamento por POA UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é necessário a realização de testes de toxicidade, por se tratar de um processo químico pode ocorrer à formação de subprodutos ainda mais tóxicos que a cianotoxina em questão, causando danos a saúde, caso ocorra sua ingestão.

## REFERÊNCIAS

AKTAS, O; ÇEÇEN, F. Bioregeneratio no factivated carbon: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*.v.59. p. 257–272, 2007.

ALBUQUERQUE, M.V.C; Avaliação da degradação de microcistina – LR no tratamento de água de abastecimento em sistema convencional seguido por Processo Oxidativo Avançado (POA). Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA. UEPB. Campina Grande. 2017.

BARBOSA, A.S.; Remoção de *Microcystis aeruginosa* e microcistina-LR de águas superficiais com uso de filtro doméstico seguido de processo oxidativo avançado (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Dissertação. UEPB. 2018.

BERRY, M. A., DAVIS, T. W., CORY, R. M., DUHAIME, M. B., JOHNGEN, T. H., KLING, G. Cyanobacterial harmful algal blooms are a biological disturbance to western Lake Erie bacterial communities. *Environ. Microbiol.* 19, 1149–1162. 2017.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE, Portaria de Consolidação nº 05/2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União, 2017.

BURCH, M. D. Effective doses, guidelines and regulations. In: HUDNELL, H. K. (Ed.). *Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs*. New York: Springer Science, 2008

CORAL, L.A.; LAPOLLI, F.R.; RECIO, L.A.M. *Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção*. DAE. 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. Métodos e técnicas de tratamento de água. v.1, 2.ed. São Carlos: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L.; MINILLO, A.; DANTAS, A.D.B. Florações de algas e cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento, São Carlos: LDIBE, 2010.

FORTIN, N., MUNOZ-RAMOS, V., BIRD, D., LÉVESQUE, B., WHYTE, L. G., AND GREER, C. W. Toxic cyanobacterial bloom triggers in Missisquoi Bay, Lake Champlain, as determined by next-generation sequencing and quantitative PCR. 2015.

GAGET, V., LAU, M., SENDALL, B., FROSCIO, S. Cyanotoxins: which detection technique for an optimum risk assessment? *Water Res.* 118, 227–238. 2017.

GUERRA, A.B; TONUCCI, M.C; CEBALLOS, B.S.O; GUIMARÃES, H.R.C; LOPES, W.S; 'AQUINO,S.F. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. *Engenharia Sanitária e Ambiental.* v20, p. 603-612, 2015.

KLAMERTH, N.; MALATO, S.; MALDONADO, M. I.; AGÜERA, A.; FERNÁNDEZ-ALBA, A. Modified photo-Fenton for degradation of emerging contaminants in municipal wastewater effluents. *Catalysis Today*, v. 161, p. 241-246, 2011.

LAPOLLI, F.R.; CORAL, L.A.; RECIO, M.A.L. Cianobactérias em mananciais de abastecimento – problemática e métodos de remoção. *Revista Dae*, São Paulo, n. 185, p.09-17, jan. 2011.

LI, L.; GAO, NAI-YUN; DENG, Y.; YAO, JUAN-JUAN; ZHANG, KE-JIA; LI, HAI-JUN; YIN, DI-DI; OU, HUA-SE; GUO, JIAN-WEI. Experimental and model comparisons of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> assisted UV photodegradation of Microcystin-LR in simulated drinking water. *Journal of Zhejiang University.* SCIENCE, v.10, p.1660-1669, 2009.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento da água. Campinas: Átomo, 3ed. 2010.

LIMA, N.N.C. Remoção de microcistina-LR através de adsorção com de carvão ativado. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, p.86. 2015.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; STAHL, D.; CLARK, D.P. *Microbiology Brock*. 13.ed. Pearson Education, 2012.

NAVARRO, R. R.; ICHIKAWA, H.; TATSUMI, K. Ferrite formation from photo-Fenton treated wastewater. *Chemosphere*, v. 80, p. 404-409, 2010.

OLLER, I.M.S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination - A review. *Science of the Total Environment*, v.409, p.4141-4166, 2011.

PONTES, R. F. F.; PINTO, J. M. Optimal synthesis of Fenton reactor networks for phenol degradation. *Chemical Engineering Research and design*, v. 89, p. 706-721, 2011.

SANTOS, A.P.M.E.; BRACARENSE, A.P.F.R.L. Hepatotoxicidade associada à microcistina. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v.29, n.2, p.417-430, 2008.

STEFFENSEN, D.A; NICHOLSON, B.C. *Proceedings of Toxic Cyanobacteria – A global perspective.* Center of Water Quality Research; 1994.

TEIXEIRA, C.P. E JARDIM, W.F. Caderno Temático volume 03 – Processos oxidativos avançados – Conceitos teóricos. Universidade Estadual de Campinas; Unicamp, Instituto de Química; Laboratório de Química Ambiental, 2004.

VASCONCELOS, J.F.; BARBOSA, J.E.L.; DINIZ, C.R.; CEBALLOS, B.S.O. Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores. Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia, n.2, v.39, p.1-20, 2011.

WANG, W. Discriminating and assessing adsorption and biodegradation removal mechanisms during granular activated carbon filtration of microcystin toxins. Water Research. n. 41. p. 4262 – 4270, 2007.

WEIRICH, C.A.; MILLER, T.R. Freshwater Harmful Algal Blooms: Toxins and Children's Health. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, v.44, p.2-24, 2014.