

## **Efeitos da ação fotolítica em células de *Microcystis aeruginosa* e remoção de microcistina**

*Effects of photolytic action on *Microcystis aeruginosa* cells and microcystin removal*

**Ielena Eulália Matias Cavalcante Rocha Souto<sup>1\*</sup>, Janiele França Nery<sup>2</sup>,  
Flávia Morgana Monteiro<sup>3</sup>, Raul Rosenhaim<sup>4</sup>, Rennio Senna<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Química, CCEN, LACOM, Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa, PB, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Bioquímica, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil.

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Química, CT, Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa, PB, Brasil.

\* ielena20@hotmail.com

**Submetido em 14/06/2018; Versão revisada em 20/07/2018; Aceito em 27/07/2018**

### **Resumo**

O lançamento descontrolado de resíduos urbanos nos corpos d'água acentua o processo de eutrofização sendo propícia para o desenvolvimento das cianobactérias, que podem representar sérios riscos a saúde. Técnicas convencionais de tratamento de água apresentam limitações para remoção desses compostos. Este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade de remoção da *Microcystis aeruginosa* e sua toxina a microcistina-LR a partir de um reator fotoquímico com radiação UV em 254 nm. Foram avaliadas as densidades da espécie, integridade celular, concentração da toxina e carbono orgânico total (COT). Os resultados obtidos indicaram, para as soluções com pH 9 e concentração de 20.000 cel/mL, uma remoção de 100% nos maiores tempos estudados; já a remoção do COT chegou a 80,77%. Verificou-se que o tratamento utilizado foi capaz de liberar o conteúdo intracelular da espécie e diminuir a sua densidade celular.

**Palavras chaves:** Fotólise, cianotoxina, integridade celular.

### **Abstract**

The uncontrolled release of urban waste in water bodies accentuates the eutrophication process and is conducive to the development of cyanobacteria, which can pose serious health risks. Conventional water treatment techniques have limitations for removal of these compounds. This work aims to evaluate the ability of *Microcystis aeruginosa* and its toxin to microcystin-LR from a photochemical reactor with UV radiation at 254 nm. The density of the species, cell integrity, toxin concentration and total organic carbon (TOC) were determined. The results indicated that 100% of the cells were removed from the solutions at pH 9 and concentration of 20,000 cells/mL in the longest studied times. TOC removal was 80.77%. The treatment developed was able to release the intracellular content of the species and decrease their cell density.

**Key words:** Photolysis, cyanotoxin, cell integrity.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, os eventos de florações de cianobactérias têm aumentado em intensidade e frequência, sendo possível visualizar um cenário de dominância destes organismos no fitoplâncton de muitos ambientes aquáticos, em especial durante os períodos de maior biomassa e/ou densidade (BERNARDO, MINILLO e DANTAS, 2010). A ocorrência desses florescimentos constitui fenômeno natural em ecossistemas de águas continentais em muitos países (MEREL et al., 2013), porém, o lançamento indiscriminado de resíduos urbanos nos corpos d'água acentuam o processo de eutrofização (LIU et al., 2002).

A eutrofização dos corpos aquáticos ocasiona um desenfreado aumento na cadeia trófica de um manancial diretamente relacionado com a elevação da concentração de nutrientes primários como nitrogênio e fósforo, que são abundantes nos efluentes industriais e urbanos (STROKAL et al., 2017). O Nitrogênio e o fósforo tem papel significativo no crescimento das células de cianobactérias devido à participação do nitrogênio para síntese proteica, enquanto o fósforo é necessário para transferência de energia (CAI, PARK e LI, 2013). O processo de eutrofização de algumas águas naturais favorece o crescimento exagerado de cianobactérias, que são denominadas como florações ou "*blooms*". O florescimento de algas pode ser classificado segundo a densidade de células, duração do evento e espessura da massa celular na superfície da água. As florações, quando evidenciadas no ambiente, podem apresentar densidades celulares variadas, que ultrapassam valores da ordem de  $10^3$  a  $10^4$  cel/ml. Estes eventos podem apresentar um período de poucas horas, dias, semanas e até meses em casos mais específicos (BLEDZKA, GRYGLIK e MILLER, 2009).

A maior preocupação relacionada às florações de cianobactérias está associada a algumas espécies produzirem as cianotoxinas, que são metabólitos tóxicos para humanos e animais

(MEREL, CLÉMENT e THOMAS, 2010). As cianotoxinas podem constituir um grupo quimicamente heterogêneo com propriedades toxicológicas diversas (MEREL et al., 2013). Esses compostos são definidos como endotoxinas e podem ser formados em todos os estágios do crescimento das células quando atingem a fase de senescência ou quando sofrem algum tipo de estresse que causem danos a parede celular, liberando quantidades significativas da toxina intracelular para a coluna d'água (YUNES et al., 2003; AZEVEDO e BRANDÃO, 2003).

O tratamento convencional da água baseado nas etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração mostram-se pouco eficientes para remoção de compostos dissolvidos (fração extracelular das cianotoxinas), porém apresentam eficiência na remoção de células de cianobactérias (fração intracelular das cianotoxinas) (FREITAS, 2008). Esse fato tem incentivado o desenvolvimento de novas técnicas, que podem ser utilizadas, sozinhas ou em conjuntos, para minimizar a problemática ambiental causada pela eutrofização. Uma das técnicas que pode ser utilizada é a fotólise, sendo uma tecnologia simples, limpa, de baixo custo e com uma gama de aplicações, podendo ser útil tanto na degradação de contaminantes ambientais como na eliminação de microrganismos patogênicos (OU et al., 2011). Vários estudos relatam o uso de agentes oxidantes na liberação de cianotoxinas produzidas por espécies tóxicas de cianobactérias (HOEGER, HITZFELD e DIETRICH, 2005; MIAO e TAO, 2009; LI et al., 2010; WERT, DONG e ROSARIO-ORTIZ, 2013; FAN et al., 2014). Atualmente, o oxidante que tem maior utilização para desinfecção das estações de tratamento é o cloro, onde sua aplicação pode ser feita antes, durante ou após o tratamento convencional (FAN et al., 2013). Dependendo das condições de aplicação, pode causar a lise celular e promover a liberação da toxina para o meio. Outro inconveniente que está relacionado é a formação de subprodutos tóxicos, oriundos da

reação do cloro com a matéria orgânica do ambiente contaminado (ZAMYADI et al., 2010).

O uso da radiação UV apresenta-se como uma tecnologia promissora, já que pode gerar a degradação total dos compostos orgânicos sem os inconvenientes dos subprodutos da etapa da oxidação. As cianobactérias são fotossensíveis e dependem fortemente da disponibilidade da luz solar. Alguns estudos demonstraram danos diretos a esses organismos, outros avaliaram não só a inativação, mas o potencial de reativação de algumas espécies após a irradiação (RASTOGI et al., 2014; SAKAI et al., 2007).

Embora alguns estudos tenham mostrado que a fotólise induz ao dano direto das células de cianobactérias via ruptura do DNA ou mutações citotóxicas (SAKAI et al., 2007), são limitadas as informações quanto ao uso dessa técnica para o risco de lise celular e liberação da toxina para o meio. Assim, é importante considerar os efeitos desse tratamento sobre a integridade da membrana celular juntamente com a liberação da toxina liberada. Logo, novos estudos relacionados às etapas de tratamento que atuem na remoção desses metabólitos são de extrema importância. O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da ação fotolítica na densidade e viabilidade celular das cianobactérias e remoção da sua toxina microcistina.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Preparação do cultivo de Cianobactérias

O cultivo de *Microcystis aeruginosa* foi realizado com a cepa isolada a partir de amostras coletadas no Reservatório do Rio Tietê (Barra Bonita/São Paulo) e cedida pelo Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos/SP, que possui capacidade de produção de toxinas do tipo MC-LR em 98% do total. A cepa foi mantida em culturas descontínuas em garrafões (5 L), com duplicata, em meio ASM-1, sob aeração constante, para evitar a formação de colônias, temperatura de 25 °C ( $\pm$  2° C) e fotoperíodo de 12 h. Ao final da fase

de crescimento exponencial das culturas (3 semanas), os cultivos foram homogeneizados para confecção da água de estudo, sendo obtida uma densidade celular na ordem de  $10^6$  cel/mL.

### Água de estudo

As culturas foram homogeneizadas em recipiente com capacidade de 10 L e efetuada contagem de células em câmara de Neubauer, obtendo-se uma solução com densidade na ordem de  $10^6$  cel/mL. Aliquotas de 40 e 500 mL foram transferidas para recipientes estéreis contendo água ultrapura, com pH 6 e 9 obtendo-se soluções com concentração de 20.000 cel/mL e 250.000 cel/mL, respectivamente, com volume final de 2 L. Posteriormente, foi realizada nova medida de pH, e quando necessário o pH foi novamente ajustado.

### Fotólise direta

As irradiações foram realizadas utilizando um equipamento adaptado com lâmpadas germicidas, emissão de luz monocromática a  $\lambda_{max} = 254$  nm. A amostra foi colocada com um volume de 50 mL com os tempos de 10, 20 30 e 60 minutos, 12 e 24 horas, sendo a capacidade de remoção avaliada, a partir dos parâmetros descritos a seguir. O esquema do reator fotolítico está apresentado conforme figura 1.



Figura 1 – Representação esquemática do reator fotolítico.

### Parâmetros analisados

Determinação número de células de *M. aeruginosa*

Aliquotas de 1,5 mL da água de estudo, submetidas aos tratamentos de fotólise, foram preservadas em solução de lugol 2%, em microtubos tipo *ependorf* para estimativa da densidade de

células. A quantificação das células deu-se através de contagem realizada em câmara de Neubauer não espelhada, em microscópio óptico, com aumento e 400X (LOURENÇO, 2006). A contagem das células foi efetuada em todo o quadrado central da área de contagem da câmara. Após contagens foi calculada a proporção de células removidas em cada um dos tratamentos.

### **Microcistinas**

Uma alíquota de 10 mL da amostra, sem exposição à fotólise, foi coletada para a determinação da concentração extracelular de microcistina na água de estudo. Estas não sofreram qualquer tipo de preparo, sendo congeladas até a análise. Para estimar a quantidade de microcistina intracelular, uma alíquota de 10 mL da água de estudo, não exposta à catálise, foi congelada e descongelada (três vezes), para promover a lise celular e liberar a toxina intracelular para o meio, e posteriormente filtrada em membranas com poros de 0,45 µm (Milipore GFC/Fibra de vidro). O filtrado foi homogeneizado e congelado para a posteriormente serem analisados. Alíquotas de 10 mL foram coletadas após tratamento fotolítico e congeladas para análise. A determinação das microcistinas foi efetuada por meio de kit ELISA comercial Microcistina ADDA, fenecido pela ABRAXIS. Este kit foi escolhido, por apresentar menores níveis de detecção, facilidade e rapidez na execução da análise sem a necessidade de concentração da amostra, seguindo-se as recomendações analíticas que acompanham o kit. A leitura das microplacas foi efetuada em Leitora ELISA Celer (modelo Polaris).

### **Carbono orgânico total**

As determinações de carbono orgânico total foram obtidas através da absorção do espectro UV das amostras a partir de um fotômetro portátil, com faixa espectral entre 200 e 300 nm. As vidrarias utilizadas para o recolhimento do material foram colocadas em forno mufla a 500 °C por

aproximadamente 4 horas, sendo as amostras coletadas e mantidas sob refrigeração até a hora da análise.

### **Integridade celular**

A integridade da membrana celular de *M. aeruginosa* foi indicada pela coloração da célula com Eritrisina B (marca). 1 mL de solução aquosa de eritrosina B 0,5% foi adicionado a 1 mL da água de estudo após tratamentos e incubadas por 15min, ao abrigo da luz. Após incubação uma gota da suspensão foi analisada em microscópio óptico com aumento de 400 vezes (MARKELOVA; VLADIMIROVA; KUPTSOVA, 2000). Cem células de cada réplica foram examinadas, sendo consideradas afetadas aquelas que apresentaram coloração rosada.

### **Análise de dados**

Uma análise de variância (ANOVA) two-way, seguida de teste de Turkey foi usada para verificar a influência do pH e tempo de exposição ao tratamento fotolítico, as densidades de *M. aeruginosa*, integridade celular e concentração de cianotoxinas. Os resultados foram considerados significativamente diferentes se o valor de p fosse menor que 0,05. Todas as análises foram realizadas utilizando o software Estatística 7.0® (STATSOFT, 2005).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

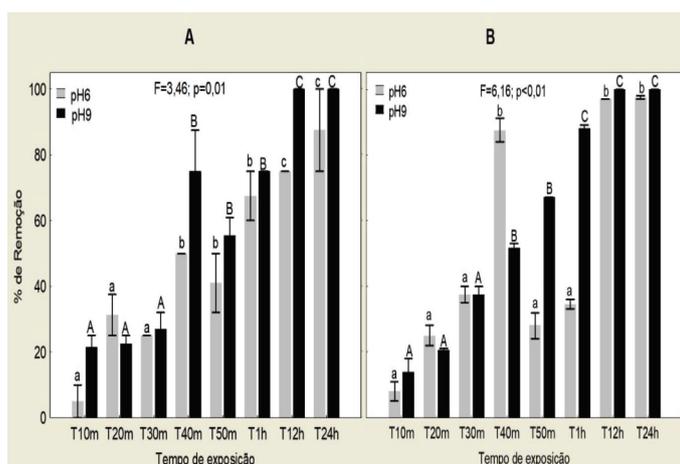
A influência da fotólise foi avaliada em diferentes concentrações, valores de pH e tempos, sendo os resultados discutidos em razão da emissão da luz sobre os seguintes pontos: Densidade de *M. aeruginosa*; Integridade celular; Microcistina e Carbono orgânico total (COT)

### **Densidade de *M. aeruginosa***

Nos dois experimentos foi observado redução no número de células de *M. aeruginosa*, nas proporções médias de 61,4% (± 29) e 51,7% (± 36)

para os experimentos I e II, respectivamente. Segundo Giordanino *et al.* (2011), a radiação UV configura comportamentos distintos para diferentes espécies de cianobactérias, em geral as amostras apresentaram diminuição das taxas de recuperação de rendimento quântico fotoquímico, onde o aumento da radiação comprometeu o desempenho fotossintético de *M. aeruginosa*.

Para o experimento I, a densidade de células de *M. aeruginosa* sob influência do pH diferiram em relação ao tempo de exposição à radiação UV ( $F = 3,46$ ;  $p = 0,01$ ), ou seja, há diferenças significativas na interação entre o pH e tempo de exposição (Figura 2A). O teste Turkey indica que a densidade de células diminui significativamente, ao longo do tempo de exposição, contudo, a solução com pH 6 apresenta melhores resultados a partir de 40 min de exposição. Para a solução com pH 9 observa-se remoção de 100% das células nos tempos de 12 e 24 h. Para o experimento II, maior número de células, também foi observado diferenças significativas para a interação pH e tempo de exposição (Figura 2B), contudo, observa-se maior eficiência de remoção celular (menor densidade) para a solução de pH9 nos tempos de 12 e 24 h.



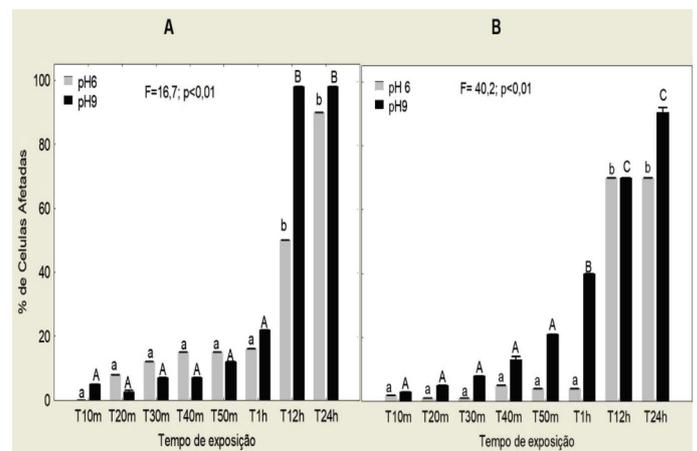
**Figura 2-** Variação da densidade de cianobactérias ao longo da exposição de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min, 12 e 24 h nas concentrações de 20.000 cel/mL (A) e 250.000 cel/mL(B), em pH 6 e 9. (As letras indicam diferenças entre os tempos de exposição apontados pelo teste de Turkey).

Esses resultados sugerem que, para os maiores tempos de exposição, o ambiente com o

maior pH foi propício para a fotodegradação das células de *M. aeruginosa*, atingindo uma remoção de 100 % de células viáveis. Com o aumento de pH, na maior presença de íons hidroxila, a velocidade de fotodegradação aumentou. Li *et al.* (2010), em um estudo para inativação de *M. aeruginosa*, teve nesse mesmo pH a menor concentração da espécie estudada, onde sua remoção chegou a 87,6 %. As menores taxas de remoção de densidade celular foram correspondentes ao menor pH.

### Integridade celular

Ao longo do experimento, nenhuma das células apresentou coloração quando aplicado eritrosina B nas soluções iniciais. Diferenças significativas foram observadas na interação entre pH e tempos de exposição a luz UV para esta variável, nos dois experimentos (Figura 3).

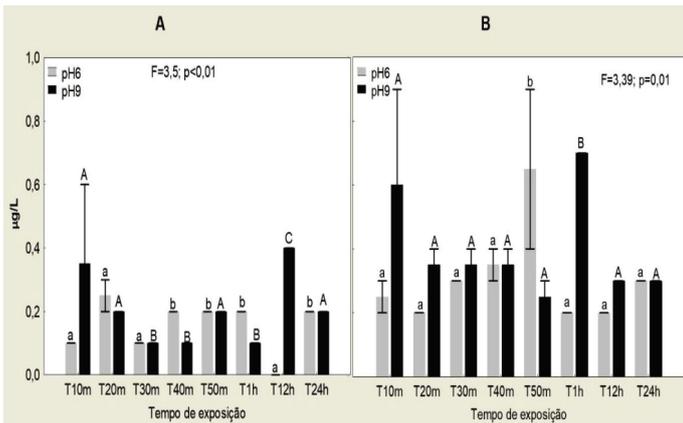


**Figura 3 –** Avaliação da integridade celular de *M. aeruginosa* ao longo da exposição de 10, 20, 30, 40, 50 min, 1, 12 e 24 h na concentração de 20.000 cel/mL (A) e 250.000 cel/mL(B).

Para o experimento I (Figura 3 A), observou-se maior número de células afetadas nos tempos de exposição 12h e 24 h, destacando-se a solução de pH 9, onde 98% das células apresentaram coloração (afetadas) nos tempos finais. Para o experimento II (Figura 3B), o maior número de células afetadas também foi observado nos tempos finais de exposição, no entanto, para a solução de pH9, o teste Turkey apontou diferenças significativas no número de células afetadas no tempo de 40 min.

## Concentração intracelular e extracelular da microcistina

Para avaliar o efeito da fotólise na lise da célula com liberação da toxina e na sua possível degradação, foi determinada tanto a fração intracelular da toxina quanto a fração extracelular. A exemplo das demais variáveis foram observadas diferenças na interação pH e tempo de exposição a luz UV, para a concentração de microcistina, nos dois experimentos (Figura 4).



**Figura 4** – Variação da concentração de microcistina ao longo da exposição de 10, 20, 30, 40 e 60 min, 12 e 24 h na concentração de 20.000 cel/mL (A) e 250.000 cel/mL (B).

Considerando as concentrações de cianotoxinas iniciais, observa-se liberação de toxina ao longo do processo fotolítico (Figura 4A), no entanto, nos maiores tempos de exposição estima-se remoção também de cianotoxinas.

Para o experimento II, não foi observado um decaimento nas concentrações de microcistina ao longo do tempo de exposição (Figura 4B). De acordo com Ho et al. (2008), o pH pode afetar a protonação de aminoácidos, alterando os locais de ataque dentro de moléculas de microcistina.

A degradação de produtos químicos orgânicos pode ser altamente dependente das espécies dominantes em matriz (CHELME-AYALA; EL-DIN; SMITH, 2010). Trabalhos como o de HE et al 2015, evidenciaram a destruição de diferentes grupos de microcistina por fotólise direta (UV-254 nm), tendo como resultados os subprodutos de isomerização e os subprodutos de hidratação.

Apesar de ser observada uma tendência na relação aumento da concentração de microcistina e número de células com integridade afetada, esta relação não foi significativa (Exp1: pH 1 -  $r = 0,13$ ;  $p > 0,05$ ; pH 2 -  $r = 0,21$ ,  $p > 0,05$ ; Exp. 2: pH 1 -  $r = 0,14$ ,  $p > 0,05$ ; pH 2 -  $r = 0,10$ ,  $p > 0,05$ ).

## COT

A influência da fotólise foi avaliada em diferentes concentrações, valores de pH e tempos para os parâmetro do COT (carbono orgânico total). A Variação do carbono orgânico total ao longo da exposição dos diferentes tempos utilizados, para menor concentração trabalhada, está representada na tabela 1.

**Tabela 1**

Variação da % de remoção do COT na menor concentração em pH 6 e 9.

Tempos	pH 6	pH 9
10 min	9,68 %	11,57 %
20 min	16,13 %	19,24 %
30 min	64,52 %	73,08 %
40 min	32,26 %	76,93 %
50 min	25,81 %	80,77 %
60 min	48,39 %	84,62 %
12 h	58,07%	88,47 %
24 h	61,30%	92,31 %

Para menor concentração e pH utilizado pode-se observar uma redução do carbono orgânico total mais pronunciada nos primeiros 30 min. Desse tempo até as vinte e quatro horas analisadas, ocorreram pequenas variações do parâmetro avaliado. Essa exposição à incidência luminosa ocasiona danos celulares a espécie de *Microcysties*, resultando na diminuição da matéria orgânica e conseqüentemente a diminuição da densidade celular (SAKAI, et al 2007), resultando na redução do COT. Para menor concentração pode-se observar uma redução do carbono orgânico total mais pronunciada nos primeiros 10 min. Ocorreram diminuições dessa variável até os 50 min de exposição. Observa-se uma diminuição da matéria orgânica no tempo de 24 h, com uma remoção de até 92,31%.

Ocorreram diminuições dessa variável até os 50 min de exposição. Observa-se uma diminuição da matéria orgânica no tempo de 24 h, com uma remoção de até 92,31%.

A variação do carbono orgânico total ao longo da exposição dos diferentes tempos utilizados, para maior concentração trabalhada, está representada na tabela 2.

**Tabela 2**

Varição da % de remoção do COT na maior concentração em pH 6 e 9.

Tempos	pH 6	pH 9
10 min	38,2 %	21,88 %
20 min	35,3 %	53,13 %
30 min	47,1 %	56,25 %
40 min	50,0 %	59,38 %
50 min	65,1 %	50,0 %
60 min	67,6 %	46,88 %
12 h	70,59%	43,75 %
24 h	29,42%	6,25 %

Para maior concentração utilizada, pode-se observar uma redução do carbono orgânico total mais pronunciada nos 10 min de processo, assim houve um maior impacto em um curto intervalo de tempo. Considerando a faixa de tempo de 10 min até 12 h, ocorreu um menor decaimento do COT, sendo um pequeno aumento verificado no tempo de 40 min. Observa-se uma mineralização de aproximadamente 67,5% até 12 h de exposição. Para maior concentração trabalhada, quanto maior o tempo de exposição, maior a redução de COT ao longo das doze horas de exposição à radiação UV, atingindo uma redução de aproximadamente 43,75% até 12 h. LIU et al., 2011, evidenciou a importância da matéria orgânica proveniente das células de cianobactérias, considerando-a favorável para formação de subprodutos.

Ao observarmos as diferentes concentrações, podemos perceber que a diminuição do COT é bem mais pronunciada na menor concentração

trabalhada, isso ocorre devido à estabilização ser mais lenta para soluções mais concentradas. Nas soluções mais concentradas as moléculas estão mais próximas umas das outras e isso resulta na dificuldade de interação entre a radiação e as moléculas (BLEDZKA et al., 2009), assim, tem-se uma dificuldade maior para manter uma distribuição da luz de forma uniforme com o aumento da concentração dos compostos de interesse.

## CONCLUSÕES

A influência da fotólise com o uso de lâmpadas germicidas ocasiona danos à membrana celular da *M. aeruginosa* contribuindo para liberação de componentes intracelulares através do aumento da permeabilidade das células. Foi observada uma remoção de 100% da densidade celular, no maior pH e tempos trabalhados. Para a menor concentração utilizada, observou-se a liberação da microcistina ao longo de todo processo fotolítico, onde em doses mais altas teve-se a degradação tanto da fração extracelular quanto da interna. É importante considerar o efeito da fotólise na concentração do COT, Contudo, o método utilizado mostrou resultados satisfatórios para diminuição da densidade da espécie estudada, com limitações para remoção da toxina total.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de combustíveis e materiais (LACOM), localizado na Universidade Federal da Paraíba. O laboratório ofereceu toda infraestrutura física e instrumentação necessária para realização do desenvolvimento da pesquisa.

Os autores expressam seus agradecimentos ao CNPQ pelo aporte financeiro, ao INSA (Instituto Nacional do Semi-Árido) e LEaq (Laboratório de Ecologia Aquática), pelas análises e conhecimentos compartilhados ao longo da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, S.M.F.O.; BRANDÃO, C.C.S.B. Cianobactérias Tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e Processos de Remoção em Água para consumo humano. FUNASA, 2003.

BERNADO, Luiz D.; MINILLO, Alessandro; DANTAS, Angêla D. Bernardo. Florações de Algas e de Cianobactérias: Suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento. São Carlos: LDiBe, 2010.

BIEDZKA, Dorota; GRYGLIK, Dorota; MILLER, Jacek S.. Photodegradation of butylparaben in aqueous solutions by 254 nm irradiation. *Journal Of Photochemistry And Photobiology A Chemistry*, [s.l.], v. 203, n. 2-3, p.131-136, abr. 2009.

CAI, Ting; PARK, Stephen Y.; LI, Yebo. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 19, p.360-369, mar, 2013.

CHELME-AYALA, Pamela; EL-DIN, Mohamed Gamal; SMITH, Daniel W.. Degradation of bromoxynil and trifluralin in natural water by direct photolysis and UV plus H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation process. **Water Research**, [s.l.], v. 44, n. 7, p.2221-2228, abr. 2010.

FAN, Jiajia et al. Impact of potassium permanganate on cyanobacterial cell integrity and toxin release and degradation. **Chemosphere**, [s.l.], v. 92, n. 5, p.529-534, jul. 2013.

FAN, Jiajia et al. The effects of various control and water treatment processes on the membrane integrity and toxin fate of cyanobacteria. **Journal Of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 264, p.313-322, jan. 2014.

FREITAS, Adriane Martins de. **Utilização de processos oxidativos avançados para remediação de águas contaminadas por toxinas produzidas por cianobactérias**. 2008. 93 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

GIORDANINO, M. Valeria Fiorda; Strauch, Sebastian M.; Villafañe, Virginia E.; Helbling, Walter. Influence of

temperature and UVR on photosynthesis and morphology of four species of cyanobacteria. **Journal Of Photochemistry And Photobiology B: Biology**, [s.l.], v. 103, n. 1, p.68-77, abr. 2011.

HO, Lionel et al. Differences in the chlorine reactivity of four microcystin analogues. **Water Research**, [s.l.], v. 40, n. 6, p.1200-1209, mar. 2006.

HOEGER, Stefan J.; HITZFELD, Bettina C.; DIETRICH, Daniel R.. Occurrence and elimination of cyanobacterial toxins in drinking water treatment plants. **Toxicology And Applied Pharmacology**, [s.l.], v. 203, n. 3, p.231-242, mar. 2005.

LI, Hongjing et al. Effect of pH on inactivation of *Microcystis aeruginosa* by ozonation air in sequencing batch reactor. **Journal Of Chemical Technology & Biotechnology**, [s.l.], v. 86, n. 3, p.468-471, 17 nov. 2010.

LIU, W et al. Investigation of assimilable organic carbon (AOC) and bacterial regrowth in drinking water distribution system. **Water Research**, [s.l.], v. 36, n. 4, p.891-898, fev. 2002.

LIU, Zhiquan et al. The role of nitrobenzene on the yield of trihalomethane formation potential in aqueous solutions with *Microcystis aeruginosa*. **Water Research**, [s.l.], v. 45, n. 19, p.6489-6495, dez. 2011.

LOURENÇO, S. O. Cultivo de microalgas marinhas: Princípios e aplicações. São Paulo: Rima, 2006.

MARKELOVA, A. G.; VLADIMIROVA, M. G.; KUPTSOVA, E. S. A comparison of cytochemical methods for the rapid evaluation of microalgal viability. **Plant Physiol**, [s.l.], v.47, p.815-819. 2000.

MEREL, Sylvain; CLÉMENT, Michel; THOMAS, Olivier. State of the art on cyanotoxins in water and their behaviour towards chlorine. **Toxicon**, [s.l.], v. 55, n. 4, p.677-691, abr. 2010.

MEREL, Sylvain et al. State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins. **Environment International**, [s.l.], v. 59, p.303-327, set. 2013. Elsevier BV.

MIAO, Hengfeng; TAO, Wenyi. The mechanisms of ozonation on cyanobacteria and its toxins removal. **Separation and Purification Technology**,

[s.l.], v. 66, n. 1, p.187-193, abr. 2009.

OU, Huase et al. Inactivation and degradation of *Microcystis aeruginosa* by UV-C irradiation. **Chemosphere**, [s.l.], v. 85, n. 7, p.1192-1198, nov. 2011.

RASTOGI, Rajesh Prasad et al. Ultraviolet radiation and cyanobacteria. **Journal Of Photochemistry And Photobiology B: Biology**, [s.l.], v. 141, p.154-169, dez. 2014.

SAKAI, Hiroshi et al. Effects of low- or medium-pressure ultraviolet lamp irradiation on *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena variabilis*. **Water Research**, [s.l.], v. 41, n. 1, p.11-18, jan. 2007.

STATSOFT. Statistica 7.0 Software. Tucks: USA, 2005.

STROKAL, Maryna et al. Reducing future river export of nutrients to coastal waters of China in optimistic

scenarios. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 579, p.517-528, fev. 2017.

YUNES, J. S. et al. Cyanobacterial Neurotoxins from Southern Brazilian Freshwaters. **Comments On Toxicology**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.103-115, mar. 2003. Informa UK Limited.

WERT, Eric C.; DONG, Mei Mei; ROSARIO-ORTIZ, Fernando L.. Using digital flow cytometry to assess the degradation of three cyanobacteria species after oxidation processes. **Water Research**, [s.l.], v. 47, n. 11, p.3752-3761, jul. 2013.

ZAMYADI, Arash et al. Release and Oxidation of Cell-Bound Saxitoxins during Chlorination of *Anabaena circinalis* Cells. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 44, n. 23, p.9055-9061, dez. 2010. American Chemical Society (ACS).