

## ARTIGO

## Ocorrência de Cianobactérias no Reservatório de Mundaú, no Estado de Pernambuco, no Período de Janeiro de 2010 a Novembro de 2011

### Occurrence of Cyanobacteria in Mundaú Reservoir, in Pernambuco State During January 2010 to November 2011

**Edvani Maria da Silva**

Laboratório Central de Pernambuco, Secretaria Estadual de Saúde (LACEN/SES-PE), Recife, PE, Brasil  
 E-mail: edvamari@ig.com.br

**Cícero Tiago da Silva Gomes**

Laboratório Central de Pernambuco, Secretaria Estadual de Saúde (LACEN/SES-PE), Recife, PE, Brasil

**Catarina Paula da Silva Ramos**

Laboratório Central de Pernambuco, Secretaria Estadual de Saúde (LACEN/SES-PE), Recife, PE, Brasil

**Sílvia Maria Lopes**

**Bricio**

Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz (INCQS/Fiocruz), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

#### RESUMO

As cianobactérias são organismos procariontes, assemelhando-se às bactérias, e realizam fotossíntese com produção de oxigênio, como células vegetais. As florações desses organismos podem causar problemas em mananciais de abastecimento público, pois algumas espécies podem produzir cianotoxinas. O objetivo deste estudo foi verificar a ocorrência e as densidades de cianobactérias no reservatório de Mundaú-PE, no período de janeiro de 2010 a novembro de 2011. Esse reservatório faz parte da bacia hidrográfica do rio Mundaú e está localizado no município de Garanhuns - PE. Foram analisadas 23 amostras de água desse reservatório no LACEN-PE. Dessas, 21 (91,3%) apresentaram densidade acima do limite máximo preconizado pela legislação específica. Durante esse período ocorreram intensas florações de cianobactérias nos meses de abril, maio e entre agosto e dezembro. Estes últimos meses estão inseridos no período de estiagem dessa região, quando ocorreram elevadas densidades de determinadas espécies. Dentre as espécies destacaram-se *Microcystis panniformis*, *Microcystis protocystis*, *Raphidiopsis curvata*, *Raphidiopsis mediterranea*, *Geitlerinema amphibium*, *Synechocystis aquatilis* e *Coelomonon tropicale*. Concluímos, portanto, que essas florações de cianobactérias, potencialmente produtoras de cianotoxinas, constituem um problema de saúde pública, pois o reservatório de Mundaú abastece a cidade de Garanhuns e outras cidades.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cianobactérias; Cianotoxinas; Reservatório

#### ABSTRACT

The cyanobacteria are prokaryotes, resembling bacteria, and carry out photosynthesis to produce oxygen as plant cells. The blooms of these organisms can cause problems in public water supply sources, because some species can produce cyanotoxins. The aim of this study was to verify the occurrence and densities of cyanobacteria in reservoir Mundaú-PE, from January 2010 to November 2011. This reservoir is part of the river basin Mundaú and is located in the municipality of Garanhuns - PE. Were analyzed 23 samples of water from of this reservoir at LACEN-PE. Of these, 21 (91.3%) had densities above the maximum recommended by specific legislation. During this period there were intense cyanobacterial blooms in the months of April, May and from August to December. Since these last months are inserted in the dry season in this region, when there were high densities of certain species. Among the species the most important were *Microcystis panniformis*, *Microcystis protocystis*, *Raphidiopsis curvata*, *Raphidiopsis mediterranea*, *Geitlerinema amphibium*, *Synechocystis aquatilis* and *Coelomonon Tropicale*. We conclude, therefore, that these cyanobacterial blooms, potentially producing cyanotoxins is a public health problem, because the reservoir Mundaú supplies the city of Garanhuns and other cities.

**KEYWORDS:** Cyanobacteria; Cyanotoxin; Reservoir



## Introdução

A água sempre foi considerada um recurso natural renovável, abundante, que poderia atender a quase todos os usos. Porém, em decorrência do crescimento demográfico, do uso intensivo da água nos processos produtivos e da poluição gerada pelas atividades antrópicas, os recursos hídricos têm sofrido transformações no decorrer dos anos<sup>1</sup>.

Assim, um dos maiores fatores de risco à saúde humana tem sido a contaminação dos recursos hídricos e dos mananciais de abastecimento público por rejeitos provenientes das atividades humanas<sup>2</sup>. O despejo de esgotos domésticos, industriais ou de fertilizantes agrícolas nos mananciais causa enriquecimento dos ecossistemas pelo aumento das concentrações de nutrientes na água, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados<sup>2,3</sup>, resultando no aumento dos processos naturais da produção biológica em rios, lagos e reservatórios, o que caracteriza o processo de eutrofização desses ecossistemas<sup>2</sup>.

Esse processo torna o ambiente propício ao rápido crescimento de algas e principalmente de cianobactérias, denominado de floração<sup>3</sup>. Quando a água destina-se ao abastecimento público, ocorre um grave problema, pois a presença dessas florações, que produzem toxinas (cianotoxinas), traz graves riscos à saúde pública<sup>4</sup>.

As cianobactérias são organismos procariontes que não possuem núcleo nem estruturas definidas, assemelhando-se assim às bactérias. Realizam fotossíntese produzindo oxigênio, como as células vegetais. Algumas são unicelulares, poucas formam filamentos ramificados e raras formam placas ou colônias irregulares<sup>5</sup>. Popularmente, são conhecidas como “algas azuis” devido à coloração verde-azulada das células, quando observadas ao microscópio. As cianobactérias podem apresentar células especiais denominadas heterócitos e acinetos, que são utilizadas, respectivamente, na fixação do nitrogênio atmosférico e como esporos de resistência em condições desfavoráveis<sup>3</sup>.

Algumas espécies de cianobactérias são capazes de produzir toxinas potentes; elas ocorrem em todo o mundo e podem ocasionalmente atingir altas densidades populacionais<sup>6</sup>. Esses organismos têm capacidade de crescimento em diferentes tipos de ambiente, podendo ser encontrados em água doce, salobra ou marinha, solos, rochas, além de habitats extremos, como fontes termais, neve e deserto<sup>3,7</sup>.

Os ambientes de água doce são os mais importantes para o crescimento das cianobactérias, visto que a maioria das espécies apresenta melhor crescimento em águas neutro alcalinas com pH entre 6 e 9, temperatura entre 15°C e 30°C e com alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo<sup>7</sup>.

As cianotoxinas são metabólitos sintetizados pelas cianobactérias e constituem um grupo quimicamente heterogêneo que apresenta diferentes propriedades toxicológicas. São consideradas endotoxinas, pois a liberação para o meio externo ocorre pelo rompimento (lise) da parede celular, devido à senescência das células ou pela ação de algicidas<sup>3</sup>. A lise celular

pode ocorrer também por ação mecânica, como, por exemplo, na turbulência e bombeamento que ocorrem nas etapas de tratamento da água<sup>8</sup>.

De acordo com a ação farmacológica as cianotoxinas são caracterizadas como hepatotoxinas, neurotoxinas e dermatotoxinas. As hepatotoxinas compreendem as microcistinas, as nodularinas e a cilindropermopsina. As microcistinas são as cianotoxinas mais frequentemente encontradas em água e uma contínua exposição a níveis baixos dessa toxina é um risco à saúde humana, devido a sua ação bioacumulativa e visto que ela pode promover tumores hepáticos. As neurotoxinas são agrupadas em três classes, anatoxina-a e homoanatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxina. As neurotoxinas podem causar paralisia progressiva, falência respiratória, fraqueza muscular, convulsão e morte. As dermatotoxinas são substâncias sintetizadas pelas cianobactérias, que podem causar irritação na pele e alergias<sup>3</sup>.

No Brasil há ocorrência de cepas tóxicas de cianobactérias em reservatórios de abastecimento público, lagoas salobras e rios em vários estados<sup>7</sup>. O caso mais grave envolvendo a morte de seres humanos foi o que ficou conhecido como a “Síndrome de Caruaru” que ocorreu na cidade de Caruaru, em 1996, no nordeste do Brasil, em que mais de 70 pacientes de uma clínica de hemodiálise vieram a óbito devido à intoxicação por cianotoxinas<sup>9,10</sup>.

O reservatório de Mundaú tem capacidade para 1.968.600 m<sup>3</sup> de água, faz parte da bacia hidrográfica do rio Mundaú localizada no município de Garanhuns - PE e abastece a cidade de Garanhuns, além de outras cidades<sup>11</sup>.

A ocorrência de florações de cianobactérias tóxicas em águas de mananciais tornou-se um grave problema de saúde pública. Assim, a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA determina os limites máximos permitidos para a presença desses organismos em águas de mananciais destinadas ao abastecimento público. Nas águas doces classificadas como classe 2, o limite estabelecido de densidade é de 50.000 cel.<sup>-1</sup>mL de cianobactérias<sup>12</sup>. Os órgãos públicos federais, estaduais, distritais e municipais têm a responsabilidade de promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água<sup>13</sup>.

Este trabalho teve como objetivo verificar a ocorrência e as densidades de cianobactérias presentes no reservatório de Mundaú no agreste de Pernambuco, no período de janeiro de 2010 a novembro de 2011.

## MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de água foram coletadas pelos técnicos da Vigilância Ambiental de Pernambuco, no ponto de captação do reservatório de Mundaú – PE. Após a coleta as amostras foram colocadas em recipientes de polietileno de 250 mL contendo 25 mL de solução de formalina a 20%, com concentração final de formalina de 2%, e em frascos de polietileno de 250 mL



contendo 2,5 mL de solução de lugol, com concentração final de solução de lugol de 1%.

Foram analisadas 23 amostras de água no Laboratório Central de Saúde Pública de Pernambuco Dr. Milton Bezerra Sobral (LACEN – PE). Para as análises quantitativas, as amostras fixadas com lugol foram sedimentadas em cubetas de Utermöhl de 3 mL por um período de 24 horas<sup>14</sup>. Para a contagem das cianobactérias foi utilizado microscópio invertido com contraste de fase na objetiva de 40X.

Após a contagem, foi realizado o cálculo do total de indivíduos de cada espécie, a partir da multiplicação da respectiva média de células pelo fator (F) de conversão do número de células contadas de acordo com a norma CETESB<sup>15</sup>. Os resultados foram expressos em número de células de cianobactérias por mililitro. O fator (F) é calculado, dividindo-se a área do fundo da cubeta de Utermöhl pela área examinada e esse resultado pelo volume da amostra na câmara.

Para a identificação das espécies, as amostras contendo formol foram homogeneizadas e colocadas em dois tubos de 50 mL, de fundo cônico. Em seguida, os tubos foram centrifugados por 20 minutos a 2.500 rpm, o sobrenadante foi retirado de cada tubo até o limite cônico, com o auxílio de uma pipeta Pasteur. Com o concentrado residual dos tubos foram feitas três lâminas para serem observadas em microscópio ótico. Os organismos foram identificados através de chaves de identificação segundo Komárek e Anagnostidis<sup>16,17</sup>. O critério utilizado para avaliar os valores máximos permitidos (VMP) para as densidades celulares é o preconizado pela RDC 357/2005 CONAMA.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das 23 amostras de água do reservatório de Mundaú analisadas, 21 (91,3%) apresentaram densidade de cianobactérias acima do limite permitido pela Resolução nº 357/2005 - CONAMA<sup>12</sup>. Os resultados indicaram que existe uma grande variedade de cianobactérias presentes no reservatório de Mundaú. Entre as espécies encontradas destacaram-se *Microcystis panniformis*, *Microcystis protocystis*, *Raphidiopsis curvata*, *Raphidiopsis mediterranea*, *Geitlerinema amphibium*, *Synechocystis aquatilis* e *Coelomorion tropicale*. As cianobactérias presentes no reservatório de Mundaú estão listadas na tabela 1.

Em relação à densidade de cianobactérias, em 2010, na figura 1 pode-se observar um declínio da concentração nos meses de inverno (terceiro trimestre). Devido às precipitações pluviais nesse período, ocorre diluição dos nutrientes, resultando no declínio das densidades.

Moura et al.<sup>18</sup> observaram diferenças na concentração do nitrogênio total e do fósforo entre a estação seca e a chuvosa, no reservatório em estudo. O nitrogênio total diminuiu no verão e aumentou no inverno, enquanto o fósforo total aumentou no verão e diminuiu no inverno. Segundo o autor, essa situação aponta para um possível transporte pluvial e carreamento de terra com material nitrogenado para dentro do reservatório e para um possível impacto da temperatura da água no ciclo do fósforo, durante o período seco.

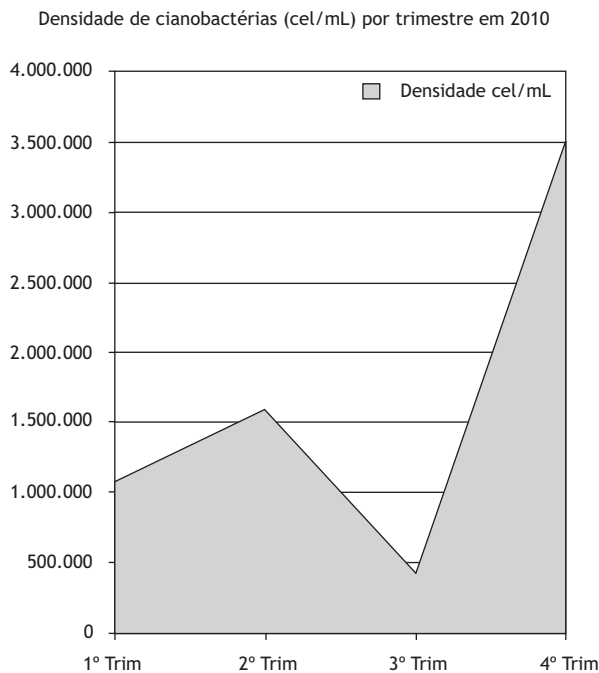
Tabela 1. Espécies de cianobactérias identificadas no reservatório de Mundaú entre janeiro de 2010 e novembro de 2011.

Cianobactérias Identificadas
<i>Aphanocapsa</i> sp.
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli
<i>Chroococcus</i> sp.
<i>Coelomorion</i> sp.
<i>Coelomorion tropicale</i> P.A.C. Senna, A.C. (Peres & J. Komárek)
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju
<i>Geitlerinema amphibium</i> (C. Agardh ex Gomont) Anagnostidis
<i>Geitlerinema</i> sp.
<i>Geitlerinema splendidum</i> (Greville ex Gomont) Anagnostidis
<i>Merismopedia minima</i> Beck
<i>Merismopedia</i> sp.
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing
<i>Microcystis panniformis</i> J. Komárek, J. Komárková-Legnerová, C. L. Sant'Anna, M. T. P. Azevedo & P. A. C. Senna
<i>Microcystis protocystis</i> Crow
<i>Microcystis</i> sp.
<i>Phormidium</i> sp.
<i>Planktolyngbya</i> sp.
<i>Planktothrix</i> sp.
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn
<i>Pseudanabaena</i> sp.
<i>Raphidiopsis curvata</i> F. E. Fritsch & M. F. Rich
<i>Raphidiopsis mediterranea</i> Skuja
<i>Snowvella</i> sp.
<i>Sphaerospermopsis aphanizomenoides</i> (Forti) Zapomelová, Jezberová, Hrouzek, Hisem, Reháková & Komárková
<i>Synechococcus</i> sp.
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau
<i>Synechocystis</i> sp.

Estudo feito por Dantas et al.<sup>19</sup> também constatou diferenças significativas entre as estações, no reservatório de Mundaú, em relação a alguns fatores como temperatura da água, oxigênio dissolvido, turbidez, pH, nitrogênio total, nitrato, nitrito, fósforo total, entre outros.

A bacia hidrográfica do rio Mundaú vem sofrendo notórios danos e impactos ambientais, devido às práticas antrópicas deteriorantes, como despejos de lixo, lançamento de esgotos domésticos, lançamento de efluentes industriais não tratados e assoreamento. O rio Mundaú é o mais saturado de toda a bacia, pois, desde sua nascente até sua foz, vem sofrendo com severos impactos ambientais. Ao longo do rio existem quatro usinas canavieiras instaladas, sendo utilizado para irrigação, fornecendo água para as fábricas de açúcar e álcool, gerando energia, sendo utilizado na extração de areia, usado para o lazer e pesca e abastecendo praticamente todas as cidades por onde passa<sup>20</sup>.

Ao longo da bacia hidrográfica do rio Mundaú existem várias atividades econômicas, como atividades ecológicas rela-



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 1. Densidade de cianobactérias no reservatório de Mundaú no ano de 2010.

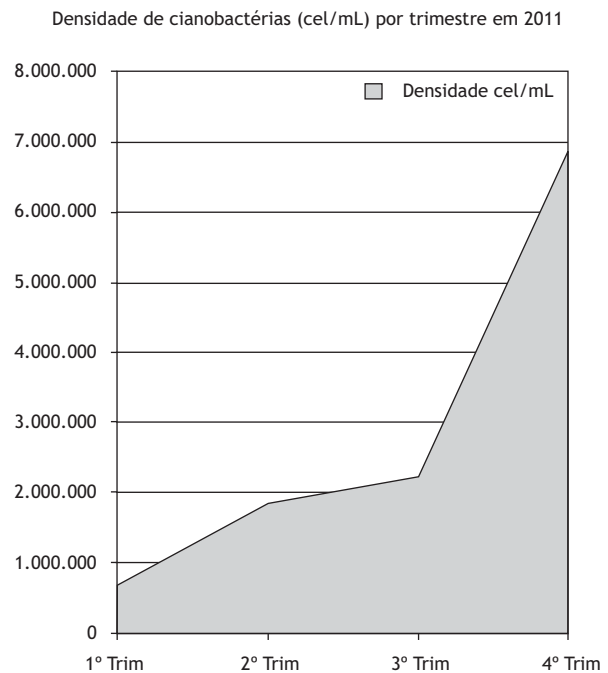
cionadas aos mangues, cultivo de cana-de-açúcar, atividades da indústria petroquímica, turismo e pesca, entre outras<sup>20</sup>.

Pesquisas realizadas com a água do rio Mundaú para avaliar parâmetros de qualidade da água, nas três sub-regiões da bacia hidrográfica, compreendidas como Baixo Mundaú, Médio Mundaú, e Alto Mundaú, constataram que na sub-região do Alto Mundaú, que abrange os municípios de Panelas e Garanhuns – PE, o resultado da análise da temperatura da água apresentou a menor temperatura, sugerindo que estão presentes no local poluentes que não possibilitam uma mistura das águas com densidades diferentes, tornando a amostra mais “fria” nessa sub-bacia<sup>20</sup>.

Também, com relação à análise do pH da água, os resultados mostraram que as três sub-bacias apresentaram pH ácido em dias sem chuva. Segundo a autora, esse fato pode estar associado à poluição da água. Na análise da condutividade elétrica, a região do Alto Mundaú apresentou os maiores valores da bacia e ocorreu também alta concentração de ions dissolvidos, provavelmente devido a lançamentos de resíduos nas águas<sup>20</sup>.

No ano de 2011, o reservatório de Mundaú apresentou densidades elevadas de cianobactérias durante todo o período, porém foi observada uma elevação maior dessas densidades no segundo trimestre, ocorrendo um declínio e voltando a se elevar a partir do terceiro trimestre, chegando a uma concentração máxima no quarto trimestre (Figura 2).

No primeiro trimestre de 2010, a espécie dominante foi *Synechocystis aquatilis*, que apresentou uma densidade de  $7,2 \times 10^5$  cel<sup>-1</sup>mL; porém, durante os meses seguintes houve uma queda nessa densidade, mantendo-se baixa durante todo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2. Densidade de cianobactérias no reservatório de Mundaú no ano de 2011.

o restante do ano. A espécie *Geitlerinema amphibium* teve maior densidade no primeiro trimestre; no entanto, essa espécie não foi encontrada no segundo e terceiro trimestres, voltando a ser identificada no quarto trimestre (Figura 3).

A espécie *Raphidiopsis curvata* apresentou densidades médias no primeiro e segundo trimestres de 2010, porém apresentou altas densidades no quarto trimestre (Figura 3). Resultados diferentes foram encontrados no ano de 2011, quando foram constatadas altas densidades dessa espécie no segundo trimestre (Figura 4).

No segundo e no quarto trimestres de 2010, a espécie *Microcystis panniformis* apresentou maiores concentrações, alcançando no quarto trimestre densidade máxima de  $1,6 \times 10^6$  cel<sup>-1</sup>mL, o que corresponde a 45,9% da densidade total de cianobactérias naquele trimestre, demonstrando que as condições climáticas e do ambiente estavam favoráveis ao seu desenvolvimento (Figura 3). O mesmo comportamento aconteceu em 2011, quando a espécie *Microcystis panniformis* apresentou densidades elevadas no terceiro e quarto trimestres, alcançando um pico de densidade no quarto trimestre, com  $5,9 \times 10^6$  cel<sup>-1</sup>mL, que corresponde ao período de estiação na região (Figura 4).

Estudo realizado por Aragão<sup>22</sup> constatou florações dessa espécie em reservatórios de Pernambuco, incluindo o reservatório de Mundaú, onde o autor verificou elevadas densidades de *Microcystis panniformis*, *Microcystis protocystis* e de *Cylindrospermopsis raciborskii*<sup>21</sup>. Os gêneros *Microcystis* e *Cylindrospermopsis* estão entre aqueles considerados produtores de cianotoxinas.

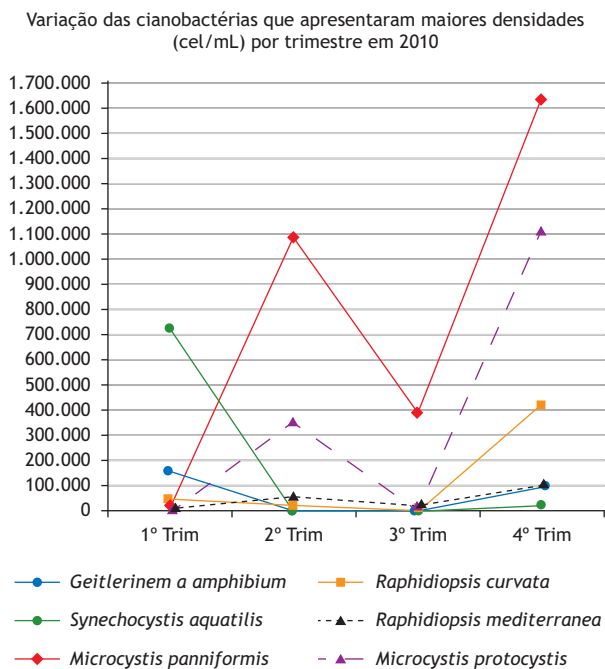


Figura 3. Varição das espécies de cianobactérias que apresentaram maiores densidades durante o ano de 2010.

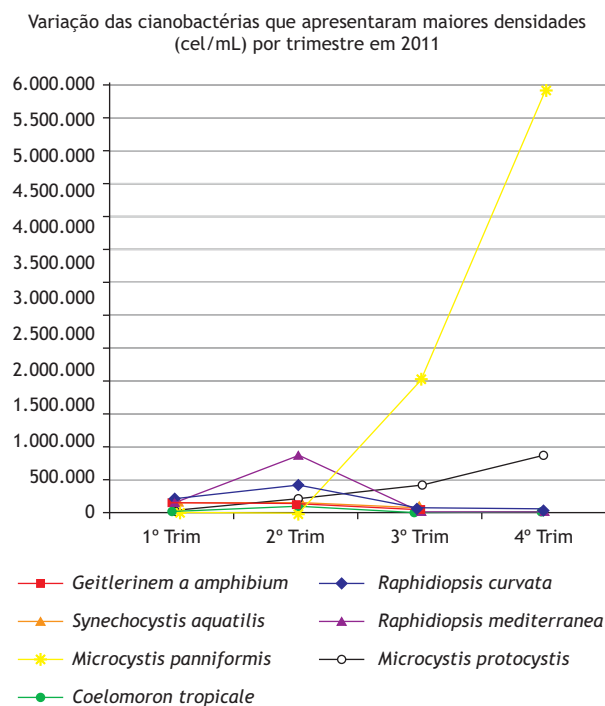


Figura 4. Varição das espécies de cianobactérias que apresentaram maiores densidades durante o ano de 2011.

A espécie *Microcystis protocystis* apresentou, no segundo trimestre de 2010, uma densidade acima de  $3,0 \times 10^5 \text{ cel}^{-1} \text{ mL}$ , não sendo identificada no trimestre seguinte e reaparecendo no quarto trimestre com uma concentração acima de  $1,1 \times 10^6 \text{ cel}^{-1} \text{ mL}$ , representando 31,5% da densidade total naquele trimestre. Densidades populacionais muito elevadas, comparadas com o mês anterior, caracterizam-se por um crescimento exponencial de uma floração e são resultado de condições ambientais favoráveis para a reprodução<sup>23</sup>.

No ano de 2010, a espécie *Raphidiopsis mediterranea* teve baixo crescimento populacional, apresentando um aumento no segundo e quarto trimestres (Figura 3). Essa espécie esteve presente na comunidade durante todo o ano de 2011, atingindo densidades maiores no primeiro e segundo trimestres, chegando à concentração máxima no segundo trimestre, com  $8,1 \times 10^5 \text{ cel}^{-1} \text{ mL}$  (Figura 4).

A espécie *Geitlerinema amphibium* esteve presente na comunidade no primeiro e segundo trimestres de 2011, sendo observada maior densidade no primeiro trimestre, seguindo-se uma baixa gradativa dessa densidade nos trimestres seguintes. Observou-se uma elevação de densidade da espécie *Coelomonor tropicale* no segundo trimestre, chegando a mais de  $1,0 \times 10^5 \text{ cel}^{-1} \text{ mL}$  (Figura 4).

Os fatores climáticos, como ocorrência de chuvas e os ventos, provocam alterações de circulação da massa de água e influenciam a estrutura da comunidade do fitoplâncton. O reservatório de Mundaú possui baixa transparência na água, zona eufótica, pH alcalino, temperatura variando entre 22°C e 30°C e elevados valores de condutividade e turbidez<sup>24</sup>. Estudos realizados com espécies de *Cylindrospermopsis*, no reservatório em estudo, mostraram que essas espécies apresentaram uma correlação positiva com a temperatura da água, turbidez e pH<sup>25</sup>.

A espécie *Microcystis protocystis* também apresentou densidades elevadas no ano de 2011, esteve presente na comunidade do segundo ao quarto trimestres e apresentou densidades mais elevadas no terceiro e no quarto trimestres, período correspondente à estiagem na região (Figura 4). As maiores densidades do gênero *Microcystis* foram observadas no período de estiagem, concordando com estudos feitos por Matthiensen et al.<sup>23</sup> que observaram maiores concentrações desse gênero no período correspondente ao verão, no estuário da Lagoa dos Patos – RS.

De acordo com Funasa<sup>25</sup>, pode ocorrer uma variação temporal na toxicidade das florações de cianobactérias, desde intervalos curtos de tempo até diferenças sazonais e espaciais. Essa variação provavelmente ocorre devido à alteração na proporção de cepas tóxicas e não tóxicas na população; todavia, essas variações ainda não foram devidamente esclarecidas<sup>2</sup>.

O reservatório de Mundaú é considerado um reservatório eutrofizado e contém uma ampla população de cianobactérias produtoras de toxinas. Elevadas densidades de cianobactérias indicam que existe alta concentração de nutrientes que favorecem o crescimento desses organismos, assim como outros fatores, como temperatura da água, baixa precipitação e pH alcalino.



Estudos feitos por Piccin-Santos et al.<sup>26</sup> em quatro reservatórios brasileiros, entre eles o reservatório de Mundaú - PE, mostraram que este reservatório apresentou baixa densidade de células de cianobactérias em relação aos outros ( $2 \times 10^4$  a  $10 \times 10^4$  células<sup>-1</sup> mL), no período estudado, porém apresentou alta concentração de microcistina ( $223.67 \mu\text{g L}^{-1}$ ) na amostra analisada. Apesar de a amostra ter apresentado alta concentração de microcistina, esse achado não estava correlacionado com densidade celular, uma vez que a densidade encontrada foi considerada baixa, demonstrando que não houve correspondência entre esses dois parâmetros. Tal fato levantou a questão de que a existência de um nível mínimo de células de cianobactérias potencialmente tóxicas merece o monitoramento de microcistinas em água tratada proveniente desses reservatórios.

Tais evidências nos levam a considerar que, apesar de determinado corpo d'água não conter um número significativo de células de cianobactérias e não seja constatada a presença de uma floração, as toxinas podem estar presentes em concentrações elevadas na água.

Estudos comprovam que o crescimento exponencial das cianobactérias não pode ser sustentado por um longo período, porque a partir de certo ponto os nutrientes começam a ficar escassos e insuficientes para suportar grandes populações, ocorrendo, então, uma limitação no crescimento populacional<sup>6</sup>. Dessa forma, devido à escassez de nutrientes, as células que estão produzindo cianotoxinas podem sofrer lise da sua parede celular, liberando toxinas e extinguindo-se. Disso deriva uma baixa na densidade celular, enquanto as toxinas podem continuar presentes na água por vários dias. Não é possível, dessa forma, se estabelecer uma relação entre densidades celulares e níveis de concentração de cianotoxinas.

Para o monitoramento das cianotoxinas é necessário considerar que a persistência da toxina no ambiente varia de acordo com o tipo de toxina. Estudos demonstraram que as microcistinas apresentam degradação mais lenta e foi necessário um período de 30 dias para degradação de 90% da microcistina dissolvida no ambiente<sup>27</sup>.

A Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A portaria exige que os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas de abastecimento supridos por mananciais superficiais monitorem as cianobactérias no ponto de captação de água mensalmente, quando o número de células de cianobactérias não exceder 10.000 células<sup>-1</sup> mL, e semanalmente, quando o número de células de cianobactérias exceder esse valor. Também exige que sempre que o número de cianobactérias no ponto de captação exceder 20.000 células<sup>-1</sup> mL seja realizada a análise semanal das cianotoxinas. Nesse caso, é exigida a análise de microcistinas e saxitoxinas, devido ao seu efeito agudo e carcinogênico<sup>12</sup>.

De acordo com Funasa<sup>2</sup>, foram estabelecidos níveis de alerta para monitoramento e manejo de cianobactérias em reservatórios de abastecimento público e criados valores

limite que foram adaptados às condições dos ecossistemas aquáticos brasileiros. Esses níveis foram classificados em Nível de Vigilância, Nível de Alerta 1, Nível de Alerta 2 e Nível de Alerta 3.

O nível de vigilância é caracterizado pela detecção de estágios iniciais de desenvolvimento de florações de cianobactérias através do monitoramento do manancial. Os valores indicativos para o nível de vigilância são de uma colônia ou cinco filamentos de cianobactérias por mililitro de água bruta até 10.000 cel<sup>-1</sup> mL ou de 0,2 mm<sup>3</sup> a 1 mm<sup>3</sup> de biovolume por litro. Nesse estágio podem ser observados na água sabor e odor desagradáveis; no entanto, a ausência desses fatores não indica ausência de cianobactérias tóxicas<sup>2</sup>.

No nível de alerta 1 existe a confirmação do início do estabelecimento de uma floração de cianobactérias, considerando-se os valores indicativos de 10.000 a 20.000 células de cianobactérias por mililitro ou de 1 a 2 mm<sup>3</sup> de biovolume por litro. Recomenda-se o monitoramento do manancial com frequência semanal<sup>2</sup>.

No nível de alerta 2 existe a confirmação do estabelecimento de uma floração de cianobactérias causando problemas na qualidade da água e os valores indicativos são de 20.000 a 100.000 células de cianobactérias por mililitro ou de 2 a 10 mm<sup>3</sup> de biovolume por litro. Se for confirmado que a floração é composta de gêneros potencialmente tóxicos, devem ser tomadas medidas operacionais de monitoramento e prevenção de risco à saúde<sup>2</sup>.

No nível de alerta 3 existe a presença de uma floração tóxica bem definida no manancial, com risco iminente para a saúde da população. Os valores indicativos são de números de células de cianobactérias acima de 100.000 cel<sup>-1</sup> mL ou biovolume > 10mm<sup>3</sup> por litro ou presença de cianotoxinas confirmada por análises químicas ou bioensaios de toxicidade. Essas condições indicam um risco acentuado para a saúde pública caso o sistema de tratamento de água seja ineficiente para remoção de cianotoxinas. É recomendável que sejam tomadas medidas operacionais de monitoramento e prevenção de risco à saúde<sup>2</sup>.

No presente estudo foram encontradas no reservatório de Mundaú densidades elevadas principalmente do gênero *Microcystis*, considerado produtor de toxinas, apresentando densidades de  $1,6 \times 10^6$  a cerca de  $6,0 \times 10^6$  cel<sup>-1</sup> mL, desse gênero, nos anos de 2010 e 2011, respectivamente. O que nos leva a considerar que o reservatório estava em nível de alerta 3; porém, seria necessária a realização de análises de cianotoxinas na água para se verificar uma possível presença de microcistinas.

Consideramos que tais evidências constituem forte indicio de que a população que consome essa água pode estar afetada pelas microcistinas, principalmente, por sua ação bioacumulativa, sendo relevante considerar o desastre ocorrido na cidade de Caruaru - PE, no ano de 1996, quando as investigações posteriores revelaram a existência de dois tipos de cianotoxinas, microcistina e cilindrospermopsina, nos filtros da clínica, e foram detectadas microcistinas no sangue e fígado dos indivíduos envenenados<sup>28</sup>.



## CONCLUSÕES

No período de janeiro de 2010 a novembro de 2011, 91,3% das amostras analisadas apresentaram densidade de cianobactérias acima do limite permitido pela legislação específica. Esse é um fato preocupante principalmente pelo fato de alguns gêneros encontrados como *Microcystis* e *Cylindrospermopsis* serem considerados produtores de cianotoxinas, tornando-se um problema de saúde pública, pois o reservatório de Mundaú abastece a cidade de Garanhuns no agreste de Pernambuco, além de outras cidades.

Para o gerenciamento e o controle de algas, cianobactérias e cianotoxinas nos sistemas de abastecimento de água são necessárias ações preventivas e corretivas. As ações preventivas do processo de eutrofização no manancial de abastecimento são de extrema importância e baseiam-se no manejo dos fatores que contribuem para o crescimento das algas e cianobactérias, particularmente do aporte de nutrientes. As três principais fontes de nutrientes que fertilizam a água são: escoamento superficial e erosão em áreas de agricultura fertilizada, erosão devido ao desmatamento e águas residuais de esgotos domésticos e industriais. Para reduzir a carga de nutrientes que enriquecem os corpos d'água são necessárias algumas ações preventivas, tais como: regulamentação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica; ordenamento da ocupação territorial; adoção de boas práticas na agricultura e pecuária; controle da erosão e do uso de fertilizantes e herbicidas; preservação das matas ciliares; tratamento dos esgotos domésticos e efluentes industriais brutos; monitoramento e registro das populações de cianobactérias e para águas recreacionais, limitações de uso durante as florações.

Com relação às ações corretivas, a remoção da biomassa de algas tem sido estudada por vários pesquisadores, e são diversas as linhas de abordagem do problema. Os processos e seqüências de tratamento de água para abastecimento público devem ser analisados em função da sua capacidade de remover as células viáveis, de não promover a lise dessas células e, também, pela capacidade de remover a fração dissolvida das cianotoxinas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório Central de Saúde Pública LACEN-PE pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

1. Machado CJS. Gestão de águas doces. Rio de Janeiro: Interciência; 2004.
2. Brasil. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano. Brasília: ASCOM; 2003.
3. Sant'Anna CL, Azevedo MTP, Agujaro LF, Carvalho MC, Carvalho LR, Souza RCR. Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência; 2006.
4. Kaebernik M, Neilan BA. Ecological and molecular investigations of cyanotoxin production. FEMS Microbiol Ecol [internet]. 2006 [acesso em 15 jan. 2013];35(1):1-9. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1574-6941.2001.tb00782.x/full#ss1>
5. Raven PH, Evert RF. Biologia vegetal. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2007.
6. Huisman J, Matthijs HCP, Visser PM. Harmful cyanobacteria. v. 3. Netherlands: Springer; 2005.
7. Azevedo SMFO. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. Medonline. 1998;1(3). [acesso em 15 dez. 2012]. Disponível em: [http://www.medonline.com.br/med\\_ed/med3/microcis.htm](http://www.medonline.com.br/med_ed/med3/microcis.htm)
8. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Brasil). Manual para estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa Lomba do Sabão e Lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: ABES; 2006.
9. Bittencourt-Oliveira MC, Molica R. Cianobactéria invasora - aspectos moleculares e toxicológicos de *Cylindrospermopsis raciborskii* no Brasil. Biotecnolog Cienc Desenvol. 2003;30:82-90. [acesso em 15 dez. 2012]. Disponível em: <http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio30/cianobacteria.pdf>
10. Carmichael WW, Azevedo SM, An JS, Molica RJ, Jochimsen EM, Lau S, Rinehart KL, Shaw GR, Eaglesham GK. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. Environ Health Perspect. 2001;39:341-44.
11. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Rio Mundaú [Internet]. Recife [acesso em 20 dez. 2012]. Disponível em: [http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=19](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=19)
12. Brasil. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. 18 mar. 2005; Seção 1. p. 53.
13. Brasil. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. 14 dez. 2011; Seção 1. p. 39.
14. Utermöhl H. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodik. Mitt Int Ver Theor Angew Limnol. 1958;5:567-96.
15. São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Fitoplâncton de água doce. Métodos qualitativo e quantitativo. São Paulo: Normas Técnicas CETESB; 2005.
16. Komárek J, Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 4: Nostocales. Arch Hydrobiol. 1989(56 suppl.):247-345.
17. Komárek J, Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 2. Teil/Part 2: oscillatoriales. München: Elsevier GmbH; 2005. (Süßwasserflora von Mitteleuropa, 19).



18. Moura AN, Bittencourt-Oliveira MC, Dantas EW, Neto JDTA. Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. *Acta Bot Bras.* 2007;21(3):641-8.
19. Dantas EW, Almeida VLS, Barbosa JEL, Bittencourt-Oliveira MC, Moura AN. Efeito das variáveis abióticas e do fitoplâncton sobre a comunidade zooplancônica em um reservatório do nordeste brasileiro. *Iheringia Ser Zool* [internet]. 2009 [acesso em 21 nov. 2012];99(2):132-141. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/isz/v99n2/v99n2a03.pdf>
20. Silva DF, Sousa FAZ, Kayano MT. Avaliação dos impactos da poluição nos recursos hídricos da bacia do rio Mundaú (AL e PE). *Revista de Geografia UFPE.* 2007;24(3):210-23.
21. Aragão NKCV. Taxonomia, distribuição e quantificação de populações de cianobactérias em reservatórios do Estado de Pernambuco (nordeste do Brasil) [dissertação]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco; 2011.
22. Chorus I, Bartram J. Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E&F Spon;1999.
23. Matthiensen A, Yunes JS, Codd GA. Ocorrência, distribuição e toxicidade de cianobactérias no estuário da Lagoa dos Patos, RS. *Rev Bras Biol.* [internet]. 1999 [acesso em 19 nov. 2012];59(3):361-76. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbbio/v59n3/v59n3a01.pdf>
24. Lira GAST. Distribuição vertical e sazonal da comunidade fitoplancônica em dois reservatórios eutróficos do Estado de Pernambuco [tese]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009. [acesso em 15 jan. 2013]. Disponível em: [http://www.pgb.ufrpe.br/doctos/2009/teses/TESE\\_GIULLIARI\\_ALAN\\_DA\\_SILVA\\_TAVARES\\_DE\\_LIRA.PDF](http://www.pgb.ufrpe.br/doctos/2009/teses/TESE_GIULLIARI_ALAN_DA_SILVA_TAVARES_DE_LIRA.PDF)
25. Dantas EW, Almeida VLS, Barbosa JEL, Bittencourt-Oliveira MC, Moura AN. Espacial-temporal variation in coiled and straight morphotypes of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolsz) Seenayya et Subba Raju (Cyanobacteria). *Acta Bot Bras.* [internet]. 2010 [acesso em 10 nov. 2012];24(2):585-91. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062010000200028&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062010000200028&script=sci_arttext)
26. Piccin-Santos V, Bittencourt-Oliveira MC. Toxic Cyanobacteria in Four Brazilian Water Supply Reservoirs. *J Environ Prot (Irvine, Calif)* [internet]. 2012 [acesso em 10 jan. 2013];3(1):68-73. Disponível em: <http://www.SciRP.org/journal/jep>
27. Lahti K, Rapala J, Färdig M, Niemelä M, Sivonen K. Persistence of cyanobacterial hepatotoxin, microcystin-LR, in particulate material and dissolved in lake water. In: Chorus I, Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E&F Spon; 1999. p.87.
28. São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo: CETESB; 2013.

Data de recebimento: 27/03/2013

Data de aceite: 13/08/2013