

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### COMUNIDADE ALGAL NO RESERVATÓRIO DE XINGÓ E SUA INTERFERÊNCIA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Silva, T. J. M.<sup>1</sup>; Neto, N. M. C.<sup>2</sup>; Vich, D. V.<sup>3</sup>; Callado, N. H.<sup>4</sup>

#### RESUMO –.

O lago de Xingó, localizado em uma região semiárida do Nordeste brasileiro, é o último de uma sequência de reservatórios da Bacia do Rio São Francisco. Em 2013, devido à seca, iniciou-se um processo de redução de vazão e em 2015, o reservatório a montante, Delmiro Gouveia, efetivou uma descarga de fundo na porção anterior do lago de Xingó. Tal descarga provocou alterações na dinâmica do reservatório devido ao aporte de nutrientes, que teve como consequência o risco de eutrofização. Este trabalho analisou as consequências da descarga de sólidos do reservatório de Delmiro Gouveia na qualidade da água e na dinâmica do fitoplâncton do lago de Xingó. Os resultados mostraram que a descarga de fundo causou variações nos padrões físico-químicos de qualidade da água, com consequente mudança no estado trófico e interferência na dinâmica ecológica do fitoplâncton, favorecendo a ocorrência de *Cylindrospermopsis raciborskii*, conhecida por seus efeitos negativos na saúde humana, e na qualidade da água para o abastecimento público.

#### ABSTRACT–.

Xingó Lake, located in a semi-arid region of Brazilian Northeast, is the last lake in a sequence of reservoirs in the São Francisco River Basin. In 2013, due to the drought, a process of reduction of flow was initiated and in 2015, the upstream reservoir, Delmiro Gouveia, effected a bottom discharge in the previous portion of the lake of Xingó. Such discharge caused changes in the reservoir dynamics due to the nutrient supply, which resulted in eutrophication risks. This work analyzed the consequences of the discharge of solids from the Delmiro Gouveia reservoir on the water quality and phytoplankton dynamics of the Xingó lake. The results showed that the bottom discharge caused variations in the physicochemical patterns of water quality, with consequent change in the trophic state and interference in the ecological dynamics of phytoplankton, favoring the occurrence of *Cylindrospermopsis raciborskii*, known for its negative effects on human health and water quality to public supply.

**Palavras-Chave:** Abastecimento de água, eutrofização, fitoplâncton, Xingó.

---

1) Thiago João Matias Silva, Companhia de Saneamento de Alagoas, thiagomatias184@gmail.com

2) Nelson de Melo Costa Neto, Universidade Federal de Alagoas, [nelsoncosta.1989@gmail.com](mailto:nelsoncosta.1989@gmail.com)

3) Daniele Vital Vich, Universidade Federal de Alagoas, [daniele.vich@ctec.ufal.br](mailto:daniele.vich@ctec.ufal.br)

4) Nélia Henriques Callado, Universidade Federal de Alagoas, [nelia.callado@yahoo.com.br](mailto:nelia.callado@yahoo.com.br)

## INTRODUÇÃO

Os reservatórios artificiais são ecossistemas lacustres formados a partir do barramento de um rio em uma bacia hidrográfica, utilizados para diversos fins e de extrema importância ecológica e limnológica (Tundisi e Tundisi, 2008).

A eutrofização desencadeada pelo excesso de nitrogênio e fósforo em corpos hídricos tem sido alvo de estudos em função do perigo que estas águas oferecem, principalmente quando utilizadas para o abastecimento humano. Em um ambiente eutrofizado, poderão proliferar cianobactérias em detrimento de outras espécies aquáticas, as quais podem produzir toxinas que causam sérios danos à vida animal e à saúde humana. Assim, a descarga de sedimentos rica em nutrientes tais como fósforo e nitrogênio constitui-se um dos maiores problemas em reservatórios artificiais (Barbosa e Cirilo, 2016).

O crescimento excessivo de algas em reservatórios brasileiros é uma realidade e tem prejudicado os usos múltiplos da água. Algumas cepas de bactérias, em especial as do grupo de cianofíceas ou cianobactérias, causam gosto e odor desagradáveis na água, além do fato de produzirem toxinas, como as microcistinas, que causam a morte de animais e também a intoxicação humana (Sanchez et al., 2012).

Dentro deste contexto está o lago de Xingó, o último de um conjunto de reservatórios em cascata do Rio São Francisco, que abastece a hidrelétrica de Xingó e também é utilizado para abastecimento público, turismo, pesca, navegação, piscicultura, diluição de efluentes domésticos e industriais, etc. Em 2015, o lago de Xingó recebeu uma descarga de fundo do reservatório montante (reservatório Delmiro Gouveia), favorecendo a proliferação de microalgas.

A deterioração da qualidade da água do reservatório de Xingó após o lançamento de uma alta carga de sedimentos do reservatório Delmiro Gouveia, com conseqüente aporte de nutrientes, foi um marco divisório na história limnológica do reservatório, uma vez que causou a heterogeneidade das águas em diversos ambientes, bem como mudou seu estado de trofia.

As classes de estado trófico são divididas em ultraoligotrófico, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes, não trazendo problemas aos usos da água; oligotrófica, de baixa produtividade, não trazendo problemas indesejáveis aos usos da água devido a presença de nutrientes; mesotrófico, com produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos; eutrófico, com alta produtividade comparado às condições naturais, com redução da transparência, geralmente provocado por atividades antrópicas, provocando alterações indesejáveis na qualidade da água em conseqüência do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos; e supereutrófico (Lamparelli, 2004; CETESB, 2007).

O entendimento da nova dinâmica do fitoplâncton, no lago de Xingó subsidia o planejamento na gestão de suas águas, sobretudo no abastecimento humano, haja vista o potencial tóxico e alteradores de sabor de algumas espécies dominantes em períodos de intensa proliferação.

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a alteração da dinâmica de fitoplânctons no trecho final do lago de Xingó onde está localizada a captação de água para abastecimento humano do Distrito de Xingó, no município de Piranhas/AL.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

O lago de Xingó (Figura 1) tem cerca de 23 anos, área de 60 Km<sup>2</sup>, volume total de 3.800 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, comprimento de 60 km, tempo de retenção hidráulica de ~55 dias, localiza-se no Baixo São Francisco, na cota de 138 m e está confinado em um Canyon a jusante do complexo hidrelétrico Paulo Afonso / BA entre os Estados de Alagoas (AL) e Sergipe (SE) (CHESF, 2017).

### Fonte de coleta de dados

Os dados desta pesquisa foram todos secundários, dispostos em sites oficiais da Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), no período de 2007 a 2016.

### Pontos de monitoramento (estações)

Seis pontos de monitoramento foram utilizados para entender as diferenças e tendências espaciais e temporais das variáveis físicas, químicas e hidrobiológicas (florações algais) das águas do lago de Xingó (Figura 1).



Figura 1 – Local da descarga de sedimentos do reservatório Delmiro Gouveia no reservatório de Xingó, e os pontos de monitoramento.

Os pontos P01 e P02 representam as seções anterior, os pontos P03 e P04 a intermediária, e os pontos P05 e P06 a posterior. Neste trabalho foram avaliados apenas os pontos P05 e P06, localizados no trecho onde está a captação de Piranhas/AL. O Quadro 1 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos de amostragem.

Quadro 1 – Descrição e georreferenciamento das estações limnológicas e hidrológicas.

Ponto	Descrição	Latitude	Longitude
P05	Ponto no final de um meandro do reservatório de Xingó/SE	9°36'19.98"S	37°52'22.89"O
P06	Captação da cidade de Piranhas na barragem do reservatório/AL	9°37'5.05"S	37°47'15.85"O

Segundo relatórios da CHESF, as amostras de água foram coletadas, na superfície, com uma garrafa Van Dorn, com capacidade variando de 3,0L a 5,0L com base no Guia de Coleta e Preservação da CETESB. As amostras foram acondicionadas em garrafas PET, refrigeradas e transportadas até o Laboratório de Limnologia, do Departamento de Pesca e Aquicultura (DEPAq) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife – PE.

### Análise de qualidade da água

Os parâmetros de análise utilizados neste trabalho foram temperatura (°C), turbidez (UNT), pH, oxigênio dissolvido (mg O<sub>2</sub>/L), DBO (mg O<sub>2</sub>/L), nitrogênio amoniacal (mg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L), nitrato (mg de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), fósforo total (mg de P/L) e fósforo inorgânico (mg de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L).

As variáveis temperatura, pH e oxigênio dissolvido (OD) foram determinadas em um analisador multiparâmetros YSI 556.

A concentração de nitrato foi determinada segundo Mackereth et al. (1978), e a concentração de nitrogênio amoniacal total, segundo Koroleff (1976). O fósforo inorgânico dissolvido e o fósforo total foram determinados segundo Strickland & Parsons (1960). A turbidez (UNT) foi analisada através de turbidímetro de bancada Oberco-Hellige, modelo 966 (CHESF, 2009 a 2017).

Foi feito, também, análise da ecologia do fitoplâncton em conformidade com a identificação e agrupamento das espécies predominantes antes (2007 a 2010) e depois da descarga de sedimentos (abril a junho de 2015). A sazonalidade das espécies de fitoplâncton foi determinada em função dos grupos mais abundantes quantitativamente em etapas (dezembro, março, junho e setembro) de um ciclo hidrológico de 2007 a 2010, no reservatório de Xingó. A abundância relativa das espécies algais foi calculada a partir da relação entre o número de cada táxon na amostra e o número total de táxons da mesma. O resultado foi expresso em porcentagem, sendo consideradas as categorias: dominante (> 70%), abundante (≤ 70% e > 40%), pouco abundante (≤ 40% e > 10%) e rara (≤ 10%) (Tucci e Sant'anna, 2003).

## RESULTADOS

Os valores médios e os desvios padrões das variáveis físico-químicas analisadas no trecho onde está a captação de Piranhas/AL estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valor médio e desvio padrão (DP) dos parâmetros físico-químicos avaliados na série histórica de 2007 a 2016.

Parâmetro	P05 Média ± DP	P 06 Média ± DP
Temperatura (°C)	28,94 ± 1,45	28,16 ± 0,87
Turbidez (UNT)	23,38 ± 39,39	2,93 ± 4,18
pH	8,15 ± 0,66	7,47 ± 0,49
Oxigênio dissolvido (mg O <sub>2</sub> /L)	7,92 ± 1,84	7,58 ± 0,46
DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	1,85 ± 1,67	2,90 ± 0,12
N-amoniaco (mg de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	0,043 ± 0,085	0,070 ± 0,068
Nitrato (mg de N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	0,019 ± 0,033	0,020 ± 0,027
Fósforo total (mg de P/L)	0,054 ± 0,036	0,0380 ± 0,035
Fósforo inorgânico (mg de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)	0,013 ± 0,018	0,004 ± 0,004

Os resultados obtidos nas análises foram comparados aos fornecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e seu enquadramento (Brasil, 2005), sendo as águas do reservatório de Xingó comparados com água doce de classe 2, conforme mostra o Art. 4º, devido a sua destinação de uso e cujos limites e padrões estão dispostos no Art. 15 da Resolução.

A Resolução CONAMA N° 357/2005 não dispõe sobre a temperatura em corpos hídricos, no entanto pode-se verificar que esta possui pequena variação em torno da média se mantendo na faixa mesofílica nos pontos amostrados.

A turbidez é uma variável que indica a presença de partículas em suspensão na água e a Resolução estabelece, para classe 2, o limite de 40 UNT (unidade nefelométrica de turbidez), estando dessa forma o ponto P05 fora dos padrões para a classe.

O pH, conforme CONAMA 357/2005, é estabelecido entre 6,0 e 9,0, estando ambos os pontos analisados enquadrados nos limites referenciados pela Resolução.

Conforme estabelecido pela Resolução, para que as condições de qualidade do corpo d'água estejam em conformidade com a classe 2 o oxigênio dissolvido (OD) não pode ser menor que 5,0 mg/L e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) não deve ser maior que 5,0 mg/L. Os pontos analisados estão em conformidade com a legislação.

O nitrogênio e o fósforo são elementos que provocam o aumento de nutrientes no meio, contribuindo para a eutrofização. O nitrogênio pode estar presente nos corpos d'água como

nitrogênio amoniacal, orgânico, nitrito ou nitrato. A CONAMA 357/2005 estabelece para o nitrato o limite de 10 mg N/L. Desta forma os pontos estão em conformidade com a legislação.

Para o nitrogênio amoniacal, a resolução estabelece parâmetros que variam conforme o pH sendo 3,7 mg N/L para  $pH \leq 7,5$ ; 2,0 mg N/L para  $7,5 < pH \leq 8,0$ ; 1,0 mg N/L para  $8,0 < pH \leq 8,5$ ; 0,5 mg N/L para  $pH > 8,5$ , mostrando que os pontos monitorados estão respeitando os parâmetros.

O fósforo total, em ambientes lênticos, tem limite de 0,030 mg/L, estando os pontos monitorados ( $0,054 \pm 0,036$  mg P/L e  $0,038 \pm 0,035$  mg P/L) em não conformidade com a CONAMA 357/2005, com os maiores valores observados depois da descarga de fundo. Sendo o fósforo um fator preponderante no processo de eutrofização, o excesso de fósforo faz com que esses corpos d'água sejam vulneráveis a este fenômeno.

O índice de estado trófico classifica corpos hídricos com distintos graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao enriquecimento de nutrientes, calculados a partir dos valores de fósforo, e sua consequência na floração de algas (Cunha et al., 2013).

No lago de Xingó, o estado de trofia e as espécies de fitoplânctons mais importantes, presentes antes da descarga de fundo, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Espécies de fitoplâncton e estado de trofia de 2007 a 2010 no lago de Xingó.

Período	Trofia	Espécies mais importantes quantitativamente
Dez / 2007	Oligotrófico	<i>Quadrigula chodatii</i> , <i>Sphaerocystis schroeteri</i> e <i>Fragilaria crotonensis</i>
Mar / 2008	Oligotrófico	<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Sphaerocystis schroeteri</i> , <i>Aulacoseira</i> sp., <i>Fragilaria crotonensis</i> e <i>Urosolenia longiseta</i>
Jun / 2008	Mesotrófico	<i>Aulacoseira ambigua</i> , <i>A. granulata</i> e <i>Fragilaria crotonensis</i>
Set / 2008	Oligo-mesotrófico	<i>Raphidiopsis mediterranea</i> e <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>
Dez / 2008	Oligotrófico	<i>Fragilaria crotonensis</i>
Mar / 2009	Mesotrófico	<i>Planktothrix gardhii</i> e <i>Aulacoseira granulata</i>
Jun / 2009	Mesotrófico	<i>Aulacoseira ambigua</i> e <i>A. granulata</i>
Set de 2009	Oligo-mesotrófico	<i>Anabaena</i> sp.1, <i>Aphanizomenon</i> sp.; <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> ; <i>Fragilaria crotonensis</i> e <i>Peridinium</i> sp.
Jun / 2010	Mesotrófico	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>
Set / 2010	Oligo-mesotrófico	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>
Dez / 2010	-	<i>Fragilaria crotonensis</i>

A abordagem probabilística do estado trófico pode ajudar a tomar decisões no gerenciamento do reservatório e estimar o risco de florações do fitoplâncton. Nos pontos P05 e P06 do reservatório, verificou-se que antes da descarga de fundo o nível de trofia variava de oligotrófico a mesotrófico, havia diversidade de fitoplânctons, e as espécies quantitativamente mais importantes presentes no

período de 2007 a 2010 foram *Fragilaria crotonensis*, *Aulacoseira* sp e *Cylindrospermopsis raciborskii*.

*Fragilaria crotonensis* e *Aulacoseira* sp são gêneros de diatomáceas comuns em sistemas de água doce com produtividade moderada. Sua preferência é por ambientes com maiores temperaturas e intensidade luminosa relativa. Já a espécie *C. raciborskii* é uma cianobactéria que tem capacidade de dominar ambientes com baixas concentrações de fósforo e com ampla variação de luminosidade e nitrogênio (Burford, et al, 2016).

Depois da descarga de sedimento no Lago de Xingó, ocorreu uma floração algal cujas espécies de fitoplânctons encontradas e o estado de trofia no trecho final do lago, onde está a captação de água de Xingó, estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Floração algal no ponto 05 (P 05) após as chuvas de alta magnitude em janeiro de 2016.

Período	Trofia	Espécie	Abundância relativa (%)	Categoria
08 a 19 de jan/2016	Supereutrófico	<i>C. raciborskii</i>	98,9	Dominante
19 a 27 de fev/2016	Eutrófico	<i>C. raciborskii</i>	91,0	Dominante

Pela Tabela 3 percebe-se que o nível de trofia neste trecho mudou para eutrófico e supereutrófico e a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* foi dominante durante a floração algal ocorrida após a descarga de fundo do reservatório Delmiro Gouveia. Certamente os sólidos da descarga de fundo eram ricos em acinetos de *Cylindrospermopsis raciborskii*, e essas formas germinativas saíram do nicho bentônico para o planctônico na transferência dos sedimentos do lago Delmiro Gouveia para o lago de Xingó.

*C. raciborskii* é uma espécie de cianobactéria cosmopolita, com alto potencial de toxicidade, que habita ecossistemas de águas doces em rios, lagos e reservatórios, produzem cilindrospermopsinas e saxotoxinas, substâncias tóxicas a saúde humana e aos animais (Burford et al., 2016).

Desde o nível crítico de floração algal, em 2015, devido a descarga de fundo do reservatório de Delmiro Gouveia, outras florações ainda se evidenciam, em menor magnitude, mostrando que o lago de Xingó ainda contém grande concentração nutriente que favorece sua eutrofização.

Dessa forma, o reservatório de Xingó que é utilizado como fonte de abastecimento de água para a população, possui florações algais com cianobactérias, e precisam ser cuidadosamente monitorados para evitar os riscos potenciais adversos à saúde humana, assim como também o processo de tratamento de águas de abastecimento, que em Xingó utiliza a tecnologia da filtração direta pressurizada, a qual não remove toxinas.

## CONCLUSÕES

Nos pontos de monitoramento foram observados que os valores médios dos parâmetros pH, OD, DBO, nitrogênio amoniacal e nitrato estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005.

Ao contrário, o fósforo total está em concentração superior à prevista pela Resolução. Este aumento de nutrientes no lago de Xingó tendem a promover recorrentes florações algais que provocam a deterioração na qualidade da água para o abastecimento público.

Os dados levantados, associados às análises realizadas, mostraram que os efeitos da descarga de sedimentos do reservatório de Delmiro Gouveia resultaram em nova configuração limnológica devido à alteração do estado trófico, que antes era oligo-mesotrófico e após o evento tende a meso-eutrófico e que promoveu a proliferação de microalgas. Estas alterações interferiram na dinâmica ecológica do fitoplâncton, favorecendo a ocorrência de *C. raciborskii*, conhecida por seus efeitos negativos na qualidade da água devido ao seu potencial tóxico.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, I. M. B. R.; CIRILO, J. A. (2016). “Operação de reservatório em função da contribuição média de fósforo - Parte II”. Engenharia Sanitária e Ambiental, 21(1), pp.219 - 226.
- BRASIL (2005). Resolução CONAMA n° 357. 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, de 18/05/2005.
- BURFORD, M. A.; BEARDALL, J.; WILLIS, A.; ORR, P. T.; MAGALHÃES, V. F.; RANGEL, L. M.; AZEVEDO, S. M. F. O. E.; NEILAN, B. A. (2016) “Understanding the winning strategies used by the bloom-forming cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*”. Harmful Algae, 54, pp. 44-53.
- CETESB (2007) Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. São Paulo: CETESB.
- COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF) (2017) Descrição do acompanhamento do Xingó. Disponível em: <https://www.CHESF.gov.br/SistemaCHESF/Pages/SistemaGeracao/Xingo.aspx>. Acessado em 12/02/2017.
- COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF) (2009). 1º Relatório anual do programa de inventário dos ecossistemas aquáticos do baixo São Francisco.
- COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF) (2010). 2º Relatório anual do programa de inventário dos ecossistemas aquáticos do baixo São Francisco.
- COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF) (2011). 3º Relatório anual do programa de inventário dos ecossistemas aquáticos do baixo São Francisco.
- CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; LAMPARELLI, M. C. (2013). “A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI<sub>tsr</sub>)”. Ecological Engineering, 60, pp. 126 - 134.
- KOROLEFF, F. (1976). Determination of nutrients. In GRASSHOFF, K. ed. Methods of seawater analysis. New York: Verlag Chemie Weinheim, p. 117-181.
- LAMPARELLI, M. C. (2004) Grau de trofia em corpos d’água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia., 235 p. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.
- MACKERETH, F.; HERON, J.; TALLING, J. F. (1978). Water analysis: some revised methods for limnologist. London: Freshwater Biological Association, 121 p.

SANCHES, S. M.; PRADO, E. L.; FERREIRA, I. M.; BRAGA, H. F.; VIEIRA, E. M. (2012). “*Presença da toxina microcistina em água, impactos na saúde pública e medidas de controle*”. Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, 33(2), pp. 181 - 187.

TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. L. (2003) “*Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (Cyanobacteria): weekly variation and relation with environmental factors in an eutrophic lake, São Paulo, SP, Brazil*”. Brazilian Journal of Botany, 26 (1), pp. 97 - 112.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. (2008) *Limnologia*. Oficina de textos, São Paulo, 638p.