

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

A SECA PROLONGADA E AS MUDANÇAS CAUSADAS NO CENÁRIO LIMNOLÓGICO DE RESERVATÓRIOS DA REGIÃO SEMIÁRIDA

*Camila Ferreira Mendes*¹; *Vanessa Virgínia Barbosa*²; *Juliana dos Santos Severiano*³; *Ronaldo Amâncio Meneses*⁴ & *José Etham de Lucena Barbosa*⁵

RESUMO – Secas prolongadas direcionam redução do nível da água, e podem causar alterações nas características físicas e químicas, como aumento de salinidade e nas concentrações de nutrientes. Por tal motivo, este trabalho tem por objetivo analisar as mudanças no cenário limnológico de reservatórios localizados na região semiárida impactados pela seca prolongada. Foram realizadas sete amostragens em três reservatórios localizados no estado da Paraíba (Acauã, Boqueirão e Camaláu), em um período compreendido entre Julho de 2015 e Fevereiro de 2017. Além dos dados coletados *in situ*, amostras de água foram coletadas para análise de nutrientes no laboratório. O índice de estado trófico (IET) foi realizado para avaliação do grau de trofia dos reservatórios. No período de estudo foi verificado baixos índices pluviométricos e redução drástica do volume dos reservatórios, que apresentaram elevadas temperaturas da água, elevado pH, aumento da salinidade e da concentração de nutrientes. Com relação ao grau de trofia, foi verificado que Acauã apresentou-se como hipereutrófico, Camaláu como supereutrófico e Boqueirão como mesotrófico. As mudanças nas características físicas e químicas são reflexos da redução do volume da águas dos reservatórios, e podem refletir na qualidade da água que é destinada ao abastecimento, bem como no processo de tratamento.

ABSTRACT– Prolonged droughts direct reduction of water level, and may cause changes in physical and chemical characteristics, such as increased salinity and nutrient concentrations. For this reason, this work aims to analyze the changes in the limnological scenario of reservoirs located in the semi-arid region impacted by the prolonged drought. Seven samples were collected in three reservoirs located in the state of Paraíba (Acauã, Boqueirão and Camaláu), from July 2015 to February 2017. In addition to the data collected *in situ*, water samples were collected for nutrient analysis in the laboratory. The trophic state index (EIT) was performed to evaluate the trophic degree of the reservoirs. During the study period, low pluviometric indexes and drastic reduction of the volume of the reservoirs were observed, which presented high water temperatures, high pH, increased salinity and nutrient concentration. Regarding the trophic degree, it was verified that Acauã presented as hypereutrophic, Camaláu as supereutrophic and Boqueirão as mesotrophic. Changes in physical and chemical characteristics are a reflection of the reduction in the volume of the water in the reservoirs,

1) Universidade Estadual da Paraíba, Rua Baraúnas, 351, Bairro Universitário, Campina Grande – PB, 58429-500, (83) 98897-0821, e-mail: camilafmendes@hotmail.com

2) Universidade Estadual da Paraíba, Rua Baraúnas, 351, Bairro Universitário, Campina Grande – PB, 58429-500, (83) 98119-4371, e-mail: vanessa_bio18@hotmail.com

3) Instituto Federal de Ensino da Paraíba, Rua Senhora da Luz, 366-1564, Guarabira – PB, 58200-000, (83) 99697-2546, e-mail: jsantosseveriano@gmail.com

4) Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, Rua Feliciano Cirne, 220, Jaguaribe, João Pessoa – PB, 58015-570, e-mail: ronaldameneses@gmail.com

5) Universidade Estadual da Paraíba, Rua Baraúnas, 351, Bairro Universitário, Campina Grande – PB, 58429-500, (83) 98822-2179, e-mail: ethambarbosa@hotmail.com

and may reflect on the quality of the water that is destined for the supply, as well as on the treatment process.

Palavras-Chave – Eutrofização, Crise hídrica, Nordeste

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro concentra-se especialmente nos estados da região Nordeste, e a atual delimitação da área deu-se a partir de três critérios técnicos: a precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; índice de aridez de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período 1961-1990; e risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período 1970-1990, determinados pelo Conselho de Desenvolvimento do Nordeste (Resolução nº 115/2017). Assim, a região caracteriza-se principalmente por apresentar períodos secos e irregularidades de chuvas marcantes, que podem ser intensificados por fenômenos meteorológicos. No Brasil, os fenômenos El Niño e La Niña influenciam fortemente os períodos chuvosos da região Nordeste, de modo que em anos de El Niño as chuvas para a região são diminuídas e em anos de La Niña, as chuvas são intensificadas (Grimm *et al.*(2000)). Certamente, períodos atípicos ou extremos podem acontecer, a depender da intensidade desses fenômenos.

Nos últimos sete anos, a seca prolongada e as irregularidades pluviométricas afetaram diretamente os recursos hídricos, que também em função das elevadas taxas de evapotranspiração, acometeram a região semiárida brasileira a um déficit hídrico (Figueiredo e Becker, 2018). Em consequência disso, muitos reservatórios entraram em colapso, e outros tiveram redução expressiva do volume da água, resultando em alterações das características físicas e químicas, como a concentração dos nutrientes, aumento da salinidade e turbidez, e na grande maioria dos sistemas aquáticos do semiárido registros de aumentos da biomassa algal (Medeiros *et al.* 2015; Brasil *et al.* 2016).

O enriquecimento por nutrientes dos reservatórios é uma das principais causas de deterioração da qualidade da água e o conhecimento, investigação, categorização e discussão do estado trófico dos sistemas é primordial (da Costa Lobato *et al.* 2015). Para isto, alguns parâmetros são relacionados ao processo de eutrofização e utilizados como indicadores na elaboração de índices de estado trófico (IET), como por exemplo, a clorofila, nutrientes, condutividade elétrica, tempo de residência da água, os níveis de oxigênio dissolvido, além de luz e temperatura (Cunha *et al.* 2013; Lobato *et al.* 2015). Diante da importância dos reservatórios, como fontes de água para atender as demandas não só de abastecimento, mas também para irrigação, criação de animais e aquicultura, o monitoramento das

Amostragem e análise dos dados

Foram realizadas sete amostragens entre Julho de 2015 e Fevereiro de 2017, em três pontos dos reservatórios, compreendidos entre o barramento e a região de entrada do rio Paraíba: ponto 1, local de entrada do rio Paraíba nos reservatórios; ponto 2, região entre o barramento e a entrada do rio Paraíba; e ponto 3, localizado no barramento (Figura 1). A amostragem nesses pontos de coleta foi realizada para garantir maior heterogeneidade ambiental, sendo considerados como réplicas nas análises de dados. As amostras foram coletadas na subsuperfície da coluna d'água, com o auxílio de balde.

Variáveis climáticas, físicas e químicas

Os dados de precipitação pluviométrica e volume hídrico foram obtidos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

A temperatura da água, o pH, o oxigênio dissolvido, a condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos, a turbidez e a salinidade foram mensurados *in situ* utilizando sonda portátil multiparamétrica HORIBA© U-50. Amostras para a análise dos nutrientes foram armazenadas em frascos plásticos e conduzidas ao laboratório em isopor com gelo. Foram mensuradas as concentrações de dos nutrientes amônia (N-NH₄), nitrato (N-NH₃), nitrito (N-NH₂), nitrogênio total (NT), fósforo reativo solúvel (SRP) e fósforo total (PT), de acordo com as técnicas descritas em APHA (2012).

Análise dos dados

Os dados das variáveis abióticas foram inseridos em planilhas do Excel para análise exploratória e confecção de gráficos.

Foi calculado o índice de estado trófico (IET), sendo utilizado o proposto por Cunha *et al.* (2013), para reservatórios tropicais/ subtropicais, que é uma adaptação do índice proposto por Carlson (1977), e considera as concentrações de fósforo total e clorofila-a como parâmetros indicadores. Seis categorias de estado trófico foram definidas, sendo considerados: <51,1 ultraoligotrófico; 51,2 – 53,1

oligotrófico; 53,2 – 55,7 mesotrófico; 55,8 – 58,1 eutrófico; 58,2 – 59,0 supereutrófico; e >59,1 hipereutrófico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de estudo, os volumes dos reservatórios diminuíram expressivamente, chegando a um volume inferior a 5 % no último mês de amostragem (Figura 2). As recentes mudanças climáticas causaram seca prolongada e precipitações pluviométricas inferiores as habituais na região Nordeste do Brasil, que provocaram transtornos especialmente no que diz respeito à disponibilidade hídrica (Martins *et al.* 2015; Walter *et al.* 2018). Surpreendentemente, outras regiões do Brasil enfrentaram a crise hídrica, e o estado de São Paulo, por exemplo, teve seus reservatórios chegando na reserva técnica de água, e a população enfrentou um grave racionamento, um acontecimento que não é comum para regiões que não estão inseridas no semiárido (Marengo *et al.* 2015).

Os sistemas artificiais, como os reservatórios são bastante sensíveis a eventos extremos, como chuvas pesadas ou secas severas, passando por mudanças nas características físicas, químicas e biológicas em função das variações no nível da água (Jeppesen *et al.* 2015). Os nossos resultados mostraram mudanças nos parâmetros físicos e químicos, como aumento na salinidade e nas concentrações de alguns nutrientes, como consequência da redução do volume hídrico. (Tabela 1).

As elevadas temperaturas da água registradas, sempre acima dos 23°C, conferem menor densidade à água e a formação de estratos verticais, e este fato pode desencadear uma série de outras mudanças, uma vez que altas temperaturas elevam o pH da água, podendo também favorecer o desenvolvimento de organismos fotossintetizantes formadores de florações (Cremona *et al.*, 2018). Destaca-se também, entre as mudanças nas características físicas e químicas, o aumento da salinidade ao longo do estudo em todos os reservatórios, promovidos pela redução do nível da água, sendo uma consequência já esperada, como apontado por outras pesquisas (Brasil *et al.* 2016; Jeppesen *et al.* 2015).

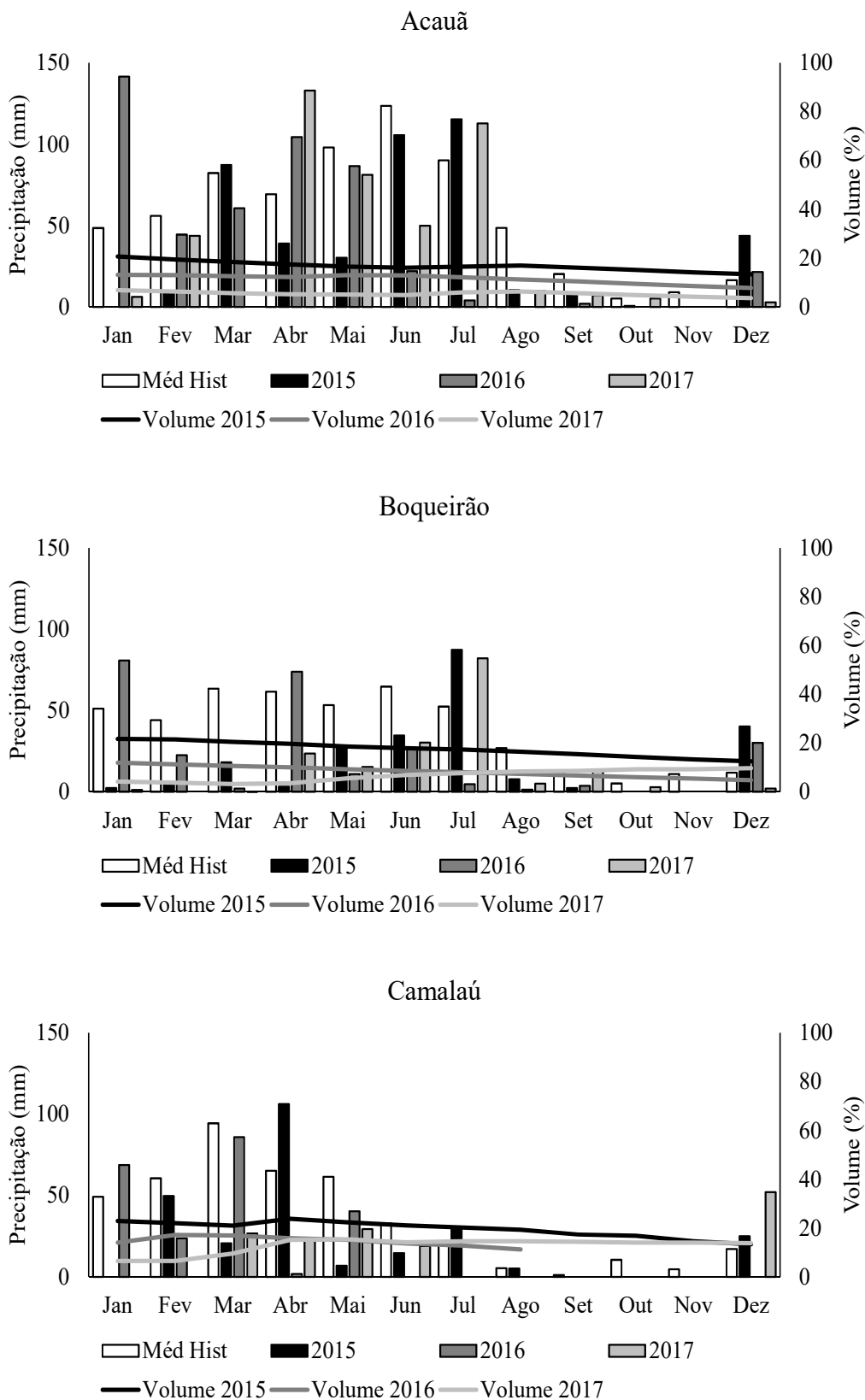


Figura 2: Precipitação pluviométrica e volume hídrico dos reservatórios Acauã (A), Boqueirão (B) e Camalaú (C), Paraíba – Brasil, nos anos de 2015, 2016 e 2017.

Tabela 1: Variáveis físicas e químicas mensuradas nos reservatórios Acauã, Boqueirão e Camalaú, Paraíba, Brasil. Temp, temperatura °C; CE, condutividade elétrica ($\mu\text{S CM}^{-1}$), Turb, turbidez (NTU); OD, oxigênio dissolvido (mg L^{-1}); TDS, sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}); Sal, salinidade; N-NH₄ ($\mu\text{g L}^{-1}$), amônia; N-NO₂, nitrito ($\mu\text{g L}^{-1}$); N-NO₃, nitrato ($\mu\text{g L}^{-1}$), NT, nitrogênio total ($\mu\text{g L}^{-1}$); SRP, fósforo reativo solúvel ($\mu\text{g L}^{-1}$); PT, fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$); Clo-a, clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$).

		Variáveis													
		Temp	pH	CE	Turb	OD	TDS	Sal	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	NT	SRP	PT	Clo-a
Reservatório Acauã	Jul.15	25,3	10,0	2,5	62,1	7,2	1,6	0,1	254,7	18,4	86,3	168,0	51,5	49,5	27,8
	Out.15	26,9	10,3	2,7	96,8	10,8	1,7	0,1	45,0	0,4	36,0	182,7	53,1	52,8	121,0
	Dez.15	27,2	10,2	2,8	100,0	6,4	1,8	0,1	112,7	18,2	63,2	212,9	49,2	118,7	0,0
	Fev.16	28,9	10,4	96,9	137,7	6,4	1,8	0,2	60,0	0,8	1,2	205,2	63,9	73,7	10,5
	Jun.16	28,1	8,0	1,9	105,6	6,2	1,3	0,1	620,5	8,2	49,7	756,0	138,3	233,3	184,7
	Out.16	27,1	8,0	29,1	99,2	62,9	47,1	0,2	282,1	162,7	119,1	741,0	158,0	239,2	120,9
	Fev.17	28,4	9,0	2,6	97,4	12,1	1,7	1,3	31,0	8,6	17,4	1185,9	48,0	285,9	212,3
Reservatório Boqueirão	Jul.15	25,1	10,1	1,8	31,0	9,8	1,2	0,1	135,7	1,8	33,1	278,7	79,8	61,2	16,8
	Out.15	25,4	10,2	2,0	56,2	7,9	1,3	0,1	70,3	1,0	24,0	106,0	24,8	57,0	7,8
	Dez.15	25,8	10,3	2,1	66,5	8,0	1,3	0,1	84,3	1,2	33,2	257,0	13,2	82,8	6,9
	Fev.16	26,6	10,6	2,1	81,3	8,0	1,3	0,1	109,6	1,0	29,5	97,9	23,2	88,0	7,5
	Jun.16	26,8	8,1	1,6	8,7	8,9	1,0	0,1	148,0	3,4	44,8	270,4	56,3	104,0	5,6
	Out.16	24,7	8,7	2,0	14,3	22,2	1,3	1,0	153,0	2,6	48,7	326,7	29,7	111,3	7,4
	Fev.17	26,3	8,5	25,2	19,0	15,7	3,2	1,3	14,6	11,8	19,0	481,9	19,7	45,9	8,8
Reservatório Camalaú	Jul.15	23,6	9,8	1,3	27,9	7,3	0,8	0,1	112,7	0,7	14,0	273,0	14,8	56,0	6,7
	Out.15	23,6	9,9	1,4	178,7	6,7	0,9	0,1	58,7	0,5	17,5	195,2	28,2	55,7	16,5
	Dez.15	25,4	9,9	1,5	46,9	8,3	1,0	0,1	133,7	1,1	34,3	201,0	29,5	61,2	4,5
	Fev.16	26,5	9,2	1,3	64,8	5,0	0,8	0,1	21,3	21,9	42,1	135,9	9,8	56,2	6,1
	Jun.16	24,2	8,4	1,1	11,4	21,9	0,7	0,5	172,3	106,3	193,8	616,0	68,0	162,6	9,3
	Out.16	24,4	8,9	1,2	27,8	12,5	0,8	0,6	30,6	33,2	89,2	517,0	64,7	214,9	6,4
	Fev.17	25,6	8,8	1,4	96,5	13,5	0,9	0,7	6,8	8,2	10,1	775,5	31,3	58,1	32,8

Os resultados do IET mostraram que os reservatórios Acauã e Camalaú aumentaram o estado trófico ao longo das amostragens. No início, Acauã era supereutrófico, tornando-se hipereutrófico no último mês do estudo, já Camalaú passou de eutrófico para supereutrófico. No caso de Boqueirão, houve uma redução do nível trófico, onde no início do estudo se encontrava eutrófico, passando trofia para mesotrófico nos demais meses (Figura 2). Reservatórios localizados na região semiárida, tipicamente apresentam variação no volume de água e aumento nas concentrações de nutrientes e clorofila, no entanto, essa condição pode ser intensificada, em períodos de seca acentuada, como aconteceu com os reservatórios Acauã e Camalaú (Brasil *et al.* 2016).

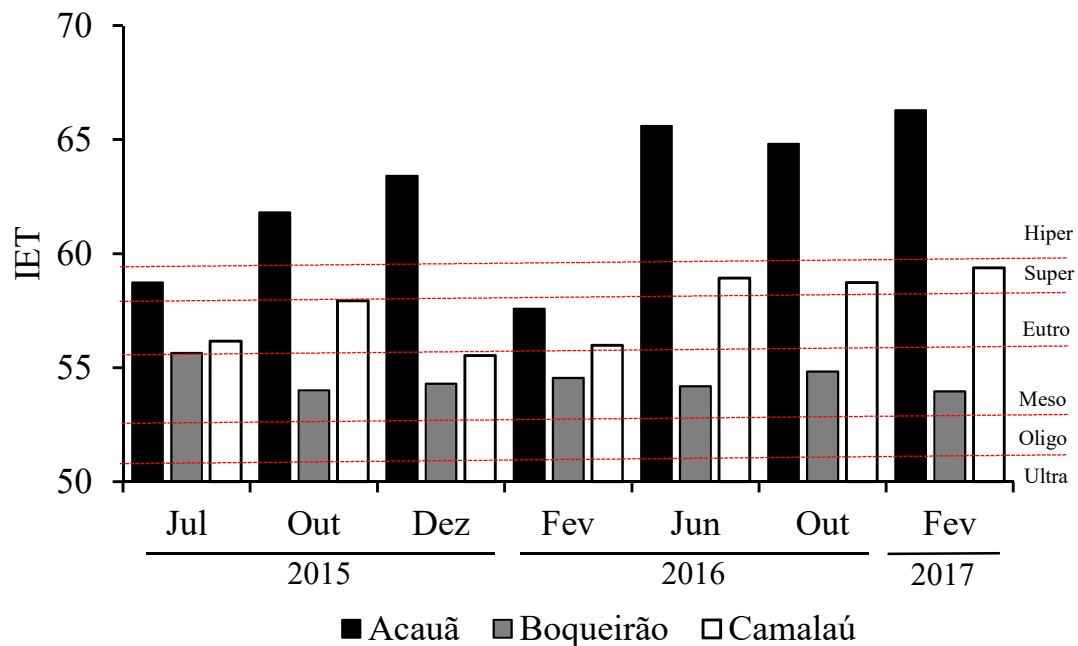


Figura 3: Índice de estado trófico (IET) dos reservatórios Acauã, Boqueirão e Camalaú, Paraíba – Brasil.

CONCLUSÃO

As secas prolongadas influenciaram diretamente as características da água dos reservatórios, uma vez que com a redução do nível da água, foram verificadas especialmente aumento na salinidade e na concentração de nutrientes. Com a utilização do índice de estado trófico foi possível verificar o grau de trofia dos reservatórios, sendo Acauã considerado como hipereutrófico, Boqueirão como mesotrófico e Camalaú como supereutrófico. As mudanças nos parâmetros físicos e químicos da água podem influenciar de modo direto na qualidade que serve para o abastecimento, de modo a dificultar e encarecer o processo de tratamento que deve ser realizado com maior atenção pelas companhias gestoras.

REFERÊNCIAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

APHA, A. W. W. A. (2012). Wef. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 22.

Brasil, J., Attayde, J. L., Vasconcelos, F. R., Dantas, D. D., & Huszar, V. L. (2016). *Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes*. *Hydrobiologia*, 770 (1), 145-164.

Carlson, R. E. (1977). *A trophic state index for lakes I*. *Limnology and oceanography*, 22(2), 361-369.

Cremona, F., Tuvikene, L., Haberman, J., Nõges, P., Nõges, T. (2018). *Factors controlling the three-decade long rise in cyanobacteria biomass in a eutrophic shallow lake*. *Science of the total environment*, 621, 352-359.

Cunha, D. G. F., do Carmo Calijuri, M., & Lamparelli, M. C. (2013). *A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (tsitr)*. *Ecological engineering*, 60, 126-134.

Da costa Lobato, T., Hauser-Davis, R. A., de Oliveira, T. F., Maciel, M. C., Tavares, M. R. M., da Silveira, A. M., Saraiva, A. C. F. (2015). *Categorization of the trophic status of a hydroelectric power plant reservoir in the brazilian amazon by statistical analyses and fuzzy approaches*. *Science of the total environment*, 506, 613-620.

De Castro Medeiros, L., Mattos, A., Lürling, M., Becker, V. (2015). *Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake*. *Aquatic ecology*, 49(3), 293-307.

Figueiredo, A. D. V., Becker, V. (2018). *Influence of extreme hydrological events in the quality of water reservoirs in the semi-arid tropical region*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 23.

Grimm, A. M., Barros, V. R., Doyle, M. E. (2000). *Climate variability in southern south america associated with el niño and la niña events*. *Journal of climate*, 13(1), 35-58.

Jeppesen, E., Brucet, S., Naselli-Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Nogões, T., Nogões, P., Attayde, J.L., Zohary, T., Coppens, J., Bucak, T., Menezes, R. F., Freitas, F. R.S., Kernan, M., Sondergaard, M., Beklioglu, M. (2015). *Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity*. *Hydrobiologia*, 750(1), 201-227.

Lobato, T. C., Hauser-Davis, R. A., Oliveira, T. F., Silveira, A. M., Silva, H. A. N., Tavares, M. R. M., Saraiva, A. C. F. (2015). *Construction of a novel water quality index and quality indicator for*

reservoir water quality evaluation: a case study in the amazon region. Journal of hydrology, 522, 674-683.

Marengo, J. A., Nobre, C. A., Seluchi, M. E., Cuartas, A., Alves, L. M., Mendiondo, Obregón, G., Sampaio, G. (2015). *A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo.* Revista USP, (106), 31-44.

Martins, E. S. P. R., de Nys, E., Molejón, C., Biazeto, B., Silva, R. F. V., Engle, N. (2015). *Monitor de secas do nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas*, 1st edn. Brasília: série água. 10.

Walter, J. M., Lopes, F. A. C., Lopes-Ferreira, M., Vidal, L. M., Leomil, F. M., Azevedo, G. S., Oliveira, R. M. S., Medeiros, A. J., Melo, A. S. O., Rezende, C. E. D., Tanuri, A., Thompson, F. L. (2018). *Occurrence of harmful cyanobacteria in drinking water from a severely drought-impacted semi-arid, region.* Front microbiol, 9 (176), 1-10.