

Monitoramento da qualidade da água do lago Paranoá: uma revisão e discussão sobre necessidades para a gestão

*Monitoring the water quality of Paranoá lake: a review and discussion
of management needs*

*Monitoreo de la calidad del agua del lago Paranoá: revisión y debate
de las necesidades de gestión*

Alice Rocha Pereira * 

Universidade de Brasília; Faculdade de Tecnologia,
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental;
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia
Ambiental e Recursos Hídricos.
Brasília – DF, Brasil.
alice_rp@hotmail.com

Sergio Koide 

Universidade de Brasília; Faculdade de Tecnologia,
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental;
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia
Ambiental e Recursos Hídricos.
Brasília – DF, Brasil.

* Autora correspondente.

CRedit

Contribuição de autoria: Concepção, curadoria, análise, coleta de dados, visualização, metodologia e redação - rascunho original, redação-revisão e edição: PEREIRA, A.P. Análise, supervisão, validação, redação-revisão e edição: KOIDE, S.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF); Agência Nacional de Águas (ANA); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho.

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Livia Santana (Editora Associada).

Resumo

O lago Paranoá foi construído em 1959 visando seus múltiplos usos à cidade de Brasília-DF e ao entorno. Diversos estudos foram realizados para compreender e explicar os episódios de florações de macrófitas, algas e cianobactérias e sua relação com o aporte de matéria orgânica, nutrientes e poluentes no lago, bem como a localização das fontes. Evidentemente, a gestão dos conflitos é complexa, devendo ser fundamentada em estudos e no monitoramento sistemático do lago para compreender e prever os processos ecossistêmicos, as consequências das ações antrópicas e da urbanização sobre o lago. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo revisar estudos com monitoramento qualitativo e quantitativo do lago Paranoá e propor formas de incrementar o monitoramento. Observou-se a carência de dados sistemáticos de carga de sedimentos, temperatura, condutividade da água dos afluentes, qualidade da água de lançamentos em galerias de águas pluviais, temperatura e parâmetros físico-químicos na coluna d'água do lago, maior acurácia das vazões turbinadas e vertidas na barragem e dados de vento em torno do lago. Melhorar o monitoramento do lago proporcionará ferramentas para responder questões-chave de curto, médio e longo prazo, envolvendo a hidrodinâmica, circulação e qualidade da água.

Palavras-chave: Lago; Monitoramento; Qualidade da água.

Abstract

Lake Paranoá was built in 1959 to provide multiple uses for the city of Brasília-DF and the surrounding area. Studies have been carried out to understand and explain the episodes of macrophyte, algae and cyanobacteria blooms and their relationship with organic matter, nutrients and pollutants in the lake, as well as the location of the sources. Clearly, conflict management is complex and requires studies and systematic monitoring of the lake to understand and predict ecosystem processes, and the impacts of anthropogenic actions and urbanization on the lake. The aim of this study is to review qualitative and quantitative monitoring studies of Lake Paranoá and propose ways to increase monitoring. There was a lack of systematic data on sediment load, temperature, water conductivity in the tributaries, water quality in the storm water galleries, temperature and physical-chemical parameters in the lake's water column, greater accuracy of the flows turbinated and spilled at the dam and wind data around the lake. Improved monitoring of the lake will provide tools to answer key short-, medium- and long-term questions involving hydrodynamics, circulation and water quality.

Keywords: Lake; Monitoring; Water quality.

Resumen

El lago Paranoá fue construido en 1959 por sus múltiples usos en Brasilia y sus alrededores. Se han realizado varios estudios para comprender y explicar los episodios de floraciones de macrófitos, algas y cianobacterias, su relación con la entrada de materia orgánica, nutrientes y contaminantes en el lago, así como la localización de fuentes. Es evidente que la gestión de los conflictos es compleja y debe basarse en estudios y monitoreos sistemáticos del lago para comprender y predecir los procesos ecossistémicos y las consecuencias de la urbanización sobre el lago. El objetivo de este estudio es revisar los estudios cualitativos y cuantitativos de monitoreo del lago Paranoá y proponer formas de aumentar el seguimiento. Faltaban datos sistemáticos sobre la carga de sedimentos, la temperatura, la conductividad del agua en los afluentes, la calidad del agua en las galerías de aguas pluviales, la temperatura y los parámetros físicoquímicos en la columna de agua del lago, una mayor precisión de los caudales turbinados y vertidos en la presa y datos sobre el viento alrededor del lago. La mejora del monitoreo proporcionará herramientas para responder a preguntas clave a corto, medio y largo plazo relacionadas con la hidrodinámica, la circulación y la calidad del agua.

Palabras clave: Lago; Monitoreo; Calidad del agua.

1 Introdução

Os lagos e reservatórios formados por barragens consistem em corpos hídricos continentais de dinâmica complexa por sua variabilidade espaço-temporal e vulnerabilidade. Os lagos são afetados, primariamente, por forçantes externas, que incluem as variáveis meteorológicas (vento, chuva, temperatura do ar, radiação, umidade relativa), além de sofrer influência indireta da bacia hidrográfica contribuinte, que é responsável pelas vazões afluentes e parte considerável das cargas de sedimentos e poluentes que aportam ao corpo hídrico. Alterações no uso e ocupação da bacia hidrográfica e mudanças climáticas afetam diretamente sua hidrodinâmica e a qualidade da água, ou seja, em seus processos físicos, químicos e biológicos (Winton *et al.*, 2019; Simonetti *et al.*, 2019; Carrea *et al.*, 2023).

Historicamente, as civilizações alocam-se nas proximidades de rios e lagos devido aos diversos serviços ecossistêmicos providos. Dentre os múltiplos usos dos recursos hídricos pode-se destacar a recreação e paisagismo, a segurança hídrica, geração de energia, regularização de vazão por meio da construção de barragens e a diluição de efluentes. Os corpos hídricos lênticos são particularmente sensíveis ao uso e ocupação do solo da bacia e às cargas poluentes lançadas em suas águas em função do tempo de residência das águas. O aumento da ocupação urbana é uma das atividades antrópicas com maior impacto sobre o uso sustentável e equilíbrio do ecossistema lacustre. As atividades antrópicas podem alterar os fluxos de escoamentos superficial e subterrâneo e as cargas de poluentes, nutrientes e sedimentos, podendo afetar a hidrodinâmica e qualidade da água do lago/reservatório a ponto de ocasionar a degradação e a eutrofização do corpo hídrico, fenômeno que se tornou uma problemática global (Sha *et al.*, 2021).

A eutrofização acontece quando há um lançamento excessivo de nutrientes no lago que, sob condições favoráveis, pode propiciar o crescimento rápido e descontrolado de macrófitas, algas e cianobactérias no ambiente lêntico. Esses organismos são responsáveis por conferir cor, odor, aparência desagradável. Quando possuem cianotoxinas, podem liberar toxinas degradando a qualidade da água, causando a morte da fauna, restringindo os usos possíveis do reservatório, sendo também um problema de saúde pública (Chaffin *et al.*, 2023; Jankowiak *et al.*, 2019).

O processo de eutrofização possui diversas variáveis intervenientes, como a concentração de nutrientes (fósforo e nitrogênio), temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido e tempo de residência. Nesse contexto, o monitoramento convencional e por sensoriamento remoto são ferramentas imprescindíveis para prever, controlar e mitigar a floração de algas, além da implantação de uma gestão mais adequada do lago e da bacia (Binding *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2022).

O lago Paranoá, localizado em Brasília/DF, é um reservatório de múltiplos usos, criado no ano de 1959, com finalidades de compor a paisagem urbana, promover recreação e amenizar o clima de savana da região. O reservatório propiciou a instalação de uma usina hidrelétrica e tem sido utilizado para diluição dos esgotos domésticos. Ao final da década de 70, o lago já apresentava indícios de redução da qualidade da água e eutrofização avançada, decorrente da urbanização da bacia, apesar de terem sido implantadas estações de tratamento de esgotos em nível secundário para o tratamento de todo o esgoto coletado, o que representava um avanço à época (décadas de 1960 e 1970) (GDF,

2010). Desde então, o lago passou ainda por outras florações de algas e de macrófitas, em 1982 e 1987, até que, com a implantação do tratamento terciário de esgoto, em 1993, e possivelmente do processo de flushing realizado no lago, em 1998, observou-se uma melhora gradativa da qualidade da água do lago até 2010 (Angelini *et al.*, 2008; GDF, 2010). Porém, a partir de 2016 foram observadas novas florações em partes do braço do Bananal, em 2017, e do braço do Riacho Fundo, em 2018, 2020 e 2021, deteriorando a qualidade da água e ocasionando à restrição de uso nessas regiões (CAESB, 2021).

Considerando os eventos de florações recentes, a expansão da população na bacia e o uso recente das águas do Paranoá para abastecimento urbano, há necessidade de aprofundamento dos estudos para melhor compreensão da dinâmica do lago, tanto para melhorar a gestão do uso e ocupação da bacia e do lago quanto para previsão da evolução da qualidade das águas sob diferentes cenários. Com a redução de vazões no período seco, aumento das vazões de pico afluentes ao lago, aumento de cargas de poluentes, nutrientes e sedimentos, além da provável alteração do clima torna-se fundamental incrementar quantitativamente e qualitativamente o monitoramento sistemático dos aspectos relacionados à hidrodinâmica e à qualidade da água do lago para prever eventos e compreender a atuação de processos físicos, químicos e biológicos no ecossistema.

A modelagem numérica é uma ferramenta útil para a simulação de cenários a partir de dados de entrada e o cálculo de equações matemáticas. A previsão de eventos, como as cheias, floração de cianobactérias, estratificação de lagos, dentre outros, bem como a análise de tendências, a otimização de processos e recursos fornecem embasamento para o processo decisório e a gestão do corpo hídrico, bacia ou unidade de gestão em estudo.

Para a modelagem hidrodinâmica e de qualidade da água de um ecossistema são necessárias séries de dados monitorados, como dado de entrada, além de envolver diversas escalas, tanto espacial quanto temporal, e a interação de processos físico-químicos e biológicos. Dessa maneira, a utilização dessa ferramenta requer estudos e o conhecimento da dinâmica do ecossistema, uma rede de monitoramento em locais estratégicos e frequência de medição adequados.

Assim, o presente trabalho visa a pesquisa bibliográfica de estudos que contemplam o monitoramento qualitativo e quantitativo enfocando o lago Paranoá – DF (Distrito Federal). Esse artigo constitui o primeiro levantamento bibliográfico, de conhecimento dos autores, realizado abordando estudos que contemplam o monitoramento e, conseqüente, geração de dados primários do lago Paranoá com o intuito de se conhecer o estado da arte do tema, identificar lacunas, guiar futuros estudos e a construção de um futuro banco de dados unificado, evitando a sobreposição de esforços.

São também discutidas as necessidades de melhorias no monitoramento para que estudos hidrodinâmicos e de circulação no lago, base para todos os estudos sobre a qualidade da água do lago, possam ser realizados e haja condições para responder a algumas questões sobre o futuro do lago a curto, médio e longo prazo.

2 Metodologia

2.1 Pergunta de pesquisa

A pergunta geral norteadora da presente revisão sistemática é:

- Quais as lacunas de monitoramento no lago Paranoá no que diz respeito a hidrodinâmica e qualidade da água (nutrientes e clorofila-a) que afetam diretamente a modelagem/simulação de eventos e, portanto, são necessárias à gestão do lago Paranoá?

Enquanto, as perguntas específicas são:

- Quais os desdobramentos ambientais e socioeconômicos provenientes do monitoramento efetivo do lago como subsídio à modelagem e gestão?
- Como incrementar/implementar o monitoramento levando em consideração a variabilidade espaço-temporal das variáveis?

2.2 Estratégia de busca e seleção de estudos

O levantamento bibliográfico realizado compreende artigos e trabalhos científicos, ou seja, inclui também trabalhos publicados em eventos científicos, dissertações e teses. Como critério de inclusão, os estudos selecionados abordam o monitoramento do lago Paranoá, em seus aspectos bióticos, de qualidade da água e de balanço hídrico, incluindo parâmetros que afetam a hidrodinâmica do lago, aspectos físico-químicos, série nitrogenada e fosforada, clorofila-a e metais. Portanto, não são abordados trabalhos relativos às bacias adjacentes e/ou contribuintes ao lago.

Estudos que utilizaram apenas dados secundários, bem como aqueles que contemplam a identificação e/ou monitoramento de fitoplâncton, zooplâncton, cianobactérias e suas toxinas no lago, coliformes, poluentes emergentes, biomanipulação, micronúcleos e DNA em peixes não fazem parte do escopo desse trabalho. Apesar disso, o aparecimento dessas palavras no título e/ou no resumo dos artigos não foi considerado fator excludente dado que o monitoramento desses parâmetros é feito concomitantemente aos parâmetros físico-químicos em diversos estudos.

A partir da definição dos parâmetros de inclusão e de exclusão acima mencionados, foi possível estabelecer a estratégia de busca a ser utilizada. Foram usadas as seguintes plataformas de busca de artigos e trabalhos científicos: Scopus, Web of Science, SciELO, Google Scholar, Research Gate, periódicos CAPES e o Repositório Institucional da UnB. Além disso, as recomendações de Joshi *et al.* (2020) também foram consideradas na elaboração desse artigo.

A triagem inicial dos estudos se deu com base no aparecimento de alguma das palavras-chave no título e/ou resumo do artigo, a saber, “paranoá”, “lago”, “lake”, “reservatório”, “reservoir”, “monitoramento”, “monitoring” e “sample”, conjuntamente com o uso dos operadores booleanos, AND ou OR, para a combinação dessas palavras na busca. Não foram delimitados períodos específicos para os trabalhos analisados, ou seja, os estudos indexados ao longo dos anos até 23 de abril de 2024 foram reportados neste artigo, considerando as bases de dados utilizadas. Na Tabela 1 são apresentadas as palavras-chave e operadores booleanos correspondente ao número de estudos encontrados e selecionados para as bases Scopus, Web of Science e Google Scholar.

Tabela 1: Número de estudos encontrados para as bases de dados Scopus, Google Scholar, Research Gate, SciELO e Web of Science conforme as palavras-chave e operadores booleanos usados.

Palavras-chave e operadores booleanos	Bases de dados				
	Scopus	Google Scholar	Research Gate	SciELO	Web of Science (Topic)
(lake paranoa)	68	765	2520	13	51
(lake paranoa AND monitoring)	19	370	1250	3	13
(paranoa reservoir)	42	490	373	10	33
(paranoa reservoir AND monitoring)	11	257	285	3	5
(lago paranoa)	19	5350	3470	15	11
(lago paranoa AND monitoramento)	1	2080	1090	3	-
(lago paranoa AND (monitoramento OR sample OR monitoring))	6	639	6	3	3
(lake paranoa AND (monitoring OR sample))	29	548	1720	3	23
(lake paranoa AND sample)	16	338	1130	1	13
(Reservoir paranoa AND (sample))	10	20	68	1	8
(Reservoir paranoa)	1	24	50	8	-

Adicionalmente, foram comparados o número de artigos encontrados, selecionados e repetidos, como exemplo, para as bases Scopus e Web of Science. Esses dados são apresentados na Tabela 2.

As plataformas Google Scholar, Research Gate, periódicos CAPES e o Repositório Institucional da UnB foram utilizadas similarmente às mostradas na Tabela 1. Entretanto, como a plataforma Research Gate não apresenta o número de resultados das buscas realizadas, foi necessário realizar a busca dentro da plataforma pelo site da Google, inserindo, por exemplo, os seguintes comandos na barra de busca:

- "lago paranoá" AND "monitoramento" site:https://www.researchgate.net
- "paranoá lake" AND ("monitoring" OR "sample") site:https://www.researchgate.net

Tabela 2: Número de estudos encontrados, selecionados e coincidentes para as bases de dados Scopus e Web of Science conforme as palavras-chave e operadores booleanos usados.

Palavras-chave e operadores booleanos	Artigos Encontrados		Artigos Selecionados		Nº de artigos coincidentes (Scopus x Web of Science)	
	Scopus	Web of Science	Scopus	Web of Science	Encontrados	Selecionados
	Paranoa lake	68	51	11	10	39
Paranoa lake AND monitoring	19	13	3	2	11	2
Paranoa AND reservoir	42	33	8	8	25	8
lago paranoá	19	11	4	3	7	3
Lago paranoa AND (monitoramento OR sample)	6	3	2	6	2	1
Lake paranoa AND (monitoring OR sample)	29	23	6	6	19	5
Lake paranoa AND sample	16	13	5	6	11	4
Reservoir paranoa AND sample	10	8	2	4	6	2

**Os artigos coincidentes selecionados já correspondem ao número sem contabilizar as repetições (duplicidade)

No caso dos periódicos CAPES, os resultados não foram apresentados na tabela por sua forma de busca diferir das outras plataformas. Nos periódicos CAPES, a pesquisa foi realizada de duas formas:

- Título contém “lago paranoá” E qualquer campo contém “monitoramento”: 6 trabalhos encontrados; e

- Título contém “lago paranoá” OU assunto contém “lago paranoá monitoramento”: 34 trabalhos encontrados.

O afunilamento e seleção dos trabalhos encontrados nas plataformas consistiu na identificação de: 1) estudos com as palavras-chave no título e/ou resumo, 2) estudos que abrangem algum tipo de monitoramento no lago Paranoá, 3) estudos nos quais o monitoramento contempla alguma variável que afeta diretamente a hidrodinâmica do lago ou a qualidade da água nos quesitos nutrientes ou clorofila-a. Para verificar o atendimento dos trabalhos a essas 3 condicionantes, foi realizada a leitura do título, do resumo e, quando necessário, leitura vertical para a identificação da metodologia de amostragem. Por fim, o protocolo de busca ainda foi refinado por meio da inspeção das referências bibliográficas (citações) contidos nos artigos já selecionados pelo protocolo inicial.

2.3 Métodos de síntese e análise dos estudos

A síntese dos estudos foi realizada a partir da identificação dos objetivos, metodologia de monitoramento e/ou mapa com pontos de monitoramento, dados monitorados presentes nos resultados e conclusão, respectivamente. Por meio da leitura vertical dos artigos selecionados, inicialmente, foram extraídos os dados de variáveis monitoradas, período e pontos de monitoramento. Posteriormente, os estudos considerados mais relevantes foram analisados com maior detalhamento com o intuito de identificar as lacunas e propor o aprimoramento no sistema de monitoramento do lago Paranoá.

A qualidade dos dados não foi analisada devido aos estudos resultarem na produção de dados primários (obtidos em campo), o que impossibilita uma análise aprofundada da metodologia de monitoramento sem a entrevista com os autores dos estudos. No entanto, considera-se que os estudos publicados em periódicos científicos são mais confiáveis, por já terem passado pela revisão por pares, seguido de teses e dissertações, trabalhos publicados em eventos científicos e trabalhos a nível de graduação.

3 Monitoramento do lago Paranoá

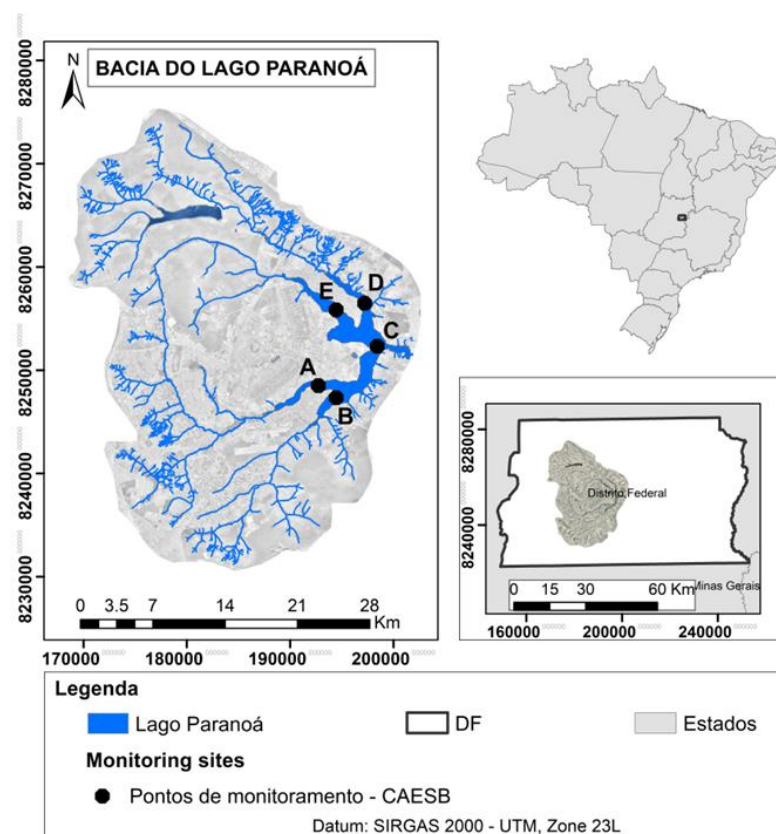
Desde sua construção, em 1959, ocorreram diversos eventos de florações de macrófitas, algas e cianobactérias no lago Paranoá. Em 1976, os estudos de Ferreira e Filho (1976) e Branco (1976) já apontavam a importância do nitrogênio e do fósforo para o processo de eutrofização no lago Paranoá, indicavam prováveis soluções para o lago, tais como, a remoção de nutrientes e o controle ecológico do lago, além de estabelecer programas de trabalho de curto e de longo prazo com o intuito de reduzir a poluição e a eutrofização, recuperar e manter o lago. Para tanto, faz-se necessário o estudo e monitoramento da bacia do lago Paranoá para a construção de uma base de pesquisas e de dados limnológicos e hidrológicos, devido às peculiaridades da região, sendo a modelagem matemática proposta como forma de traçar cenários de balanço de nutrientes no lago.

Nesse contexto, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) começou a realizar o monitoramento hidrometeorológico no DF na década de 70, quando foram instalados alguns postos fluviométricos e de coleta e análise da qualidade da água. A partir de então, a CAESB vem ampliando sua rede (Santos *et al.*, 2009), contando com 132 estações atualmente (CAESB, 2022).

No caso do monitoramento do lago Paranoá pela CAESB, as medições são feitas em pontos estratégicos, denominados por letras, os pontos A (braço do Riacho Fundo), B

(braço do Gama), C (corpo central), D (braço do Torto) e E (braço do Bananal), apresentados na Figura 1. No ponto C, o monitoramento é realizado nas profundidades de 1m, 5m, 10m, 15m, 20m e a 1m do fundo com a medição de parâmetros como clorofila-a, temperatura, nível da água, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos totais, condutividade, DBO, DQO, fósforo total, fosfato, fósforo dissolvido amônio, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, carbono total, além de monitorar o carbono orgânico total. Nos pontos A, B, D e E, o monitoramento é efetuado apenas a 1m de profundidade.

Figura 1: Pontos de monitoramento da CAESB no lago Paranoá.



A CAESB também monitora o efluente final das Estações de Tratamento de Esgoto, que lançam seus efluentes no lago Paranoá, quanto à vazão, temperatura, coliformes totais, DBO, DQO, $N - NH_x$, $N - NO_x$, PO_4^{3-} , fósforo total, sólidos suspensos e nitrogênio total. Os dados podem ser obtidos mediante solicitação pelo site (CAESB, 2024). Ademais, a rede hidrometeorológica da CAESB conta com o monitoramento fluviométrico e pluviométrico, climatológico, sedimentométrico e de captações de água no lago (CAESB, 2022).

A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA) possui pontos de monitoramento de águas superficiais na barragem do lago Paranoá e nos afluentes ao lago: Ribeirão do Torto, Ribeirão Bananal, Riacho Fundo, Ribeirão do Gama e Vicente Pires. Na estação da Barragem do Paranoá são medidos, desde 2015, os seguintes parâmetros: clorofila-a, coliformes termotolerantes, DBO, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais, temperatura da água e turbidez. Os dados monitorados podem ser obtidos no site oficial da ADASA (2024). Além disso, a ADASA também disponibiliza a série de dados diários de cota monitorada desde 03/04/2014 conjuntamente com os valores de chuva no lago Paranoá.

Além da CAESB e da ADASA, o monitoramento do lago também vem sendo desenvolvido por meio de estudos e pesquisas independentes financiados por órgãos de Governo, como CAPES, CNPq, FAPDF e Finatec, além de financiamentos obtidos por acordos internacionais (Arowojolu *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2023). Estudos que contemplam o monitoramento do lago Paranoá são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Estudos nos quais foi realizado o monitoramento do lago Paranoá, variáveis monitoradas, período e pontos de monitoramento.

Nº	Estudo	Variáveis monitoradas	Período de monitoramento	Localização do(s) ponto(s) de monitoramento
1	Mattos <i>et al.</i> (1986)	Ta, pH, CE, OD, Alcalinidade total, PT, nitrogênio amoniacal, nitrato, Fe, MO, Cl-a, Fitoplancton e zooplâncton	Jan/1978-Dez/1983	Braço C: aproximadamente 500m das margens (1, 3, 5, 10, 15, 20 e 25m de profundidade)
2	Branco e Senna (1996)	Ta, CE, Tr_a, pH, Saturação de OD, alcalinidade total, carbono inorgânico, amônio, nitrito, nitrato, ortofosfato dissolvido, fosfato total, Cl-a, Bactérias heterotróficas, Zooplâncton, Fitoplâncton	Mar/1988-Mar/1989	Braços A, B, C, D, E e nas proximidades da barragem
3	Cavalcanti <i>et al.</i> (1997)	OD, PT, NTK, Tr_a	Jan/1992-Dez/1994	Braços A e D (a 1m de profundidade)
4	Moreira e Boaventura (2003)	Sedimentos: Zn, Ni, Cr, Be, Cu, Ba, V, Sr, P, Ti, Na, K, Al e Ca	Mar e Abr/2001	Braços A, B, C, D
5	Maia <i>et al.</i> (2006)	Sedimentos: Sr, V, Cu, Cr, Mn, Ba, Zn, Hg, Ca, Mg, Fe, Al	Fev-Abr e Dez/2002	41 pontos distribuídos pelo lago e 13 pontos nos tributários
6	Gioia <i>et al.</i> (2006)	Sedimentos: Pb (concentração e isótopos)	2001-2003	Diversos pontos distribuídos pelo lago
7	Batista (2007)	Tr_a, Ta, SS, Cl-a, pH, CE, OD, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PT, NT, zooplâncton	Ago-Set e Fev-Mar/2005	Braço A
8	Philomeno (2007)	Tr_a, Ta, SS, Cl-a, pH, CE, OD, NH_4^+ , NO_3^- , PT, NT, fitoplâncton	Ago-Set/1997, Jan-Fev/1998, Ago-Set/1999, Fev-Mar/2000, Ago-Set e Fev-Mar/2005	Braço A
9	Padovesi-Fonseca <i>et al.</i> (2009)	Tr_a, Ta, pH, CE, OD, SST, Cl-a, PT, NT, $N - NH_4$, $N - NO_3^-$, $N - NO_2^-$	Jan e Dez/2005	Braço A
10	Corrêa (2011)	Tr_a, Ta, OD, CE, pH, SST, Cl-a, zooplâncton	Set, Out e Dez/2009	Braço D
11	Oliveira-Filho <i>et al.</i> (2011)	Ta, pH, turbidez, OD, CE, dureza, Ca, Na, K, Mg, F, NO_3^- , SO_4^- , NH_4^+	Out/2007-Mai/2008	Braço A
12	Costa e Koide (2013)	NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PR, PT, ST, SD SS, DQO	2012-2013	Braço E(x2): Contribuição sub-bacia do C.O e do late Clube Braço A (x5): do exultório da UH do Riacho fundo até a ponte Presidente Medici
13	Dias (2013)	N-org, $N - NH_3$, NO_2^- , NO_3^- , NT, PT	Nov/2011-Out/2012	
14	Franz <i>et al.</i> (2013)	Sedimentos: Fe, Al, Mn, Ca, Na, K, Mg, Ba, S, P, Ni, Pb, Cr, Sr, Cu, Zn, CT, NT, pH, CO_3^{2-}	(não especificado)	8 pontos: Braços A, B, C, D e E

Nº	Estudo	Variáveis monitoradas	Período de monitoramento	Localização do(s) ponto(s) de monitoramento
15	Dias e Baptista (2015)	$NH_3 - N$, NO_2^- , NO_3^- , N-org, NT, PT	Nov/2011-Out/2012	Braço A
16	Franz et al. (2014)	Água: Al, Fe, Mn, Sr, Zn sedimentos: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn	Dez/2011-Mar/2012	Braços: A, B, C, D e E
17	Souza (2014)	Q, precipitação, CE, turbidez, SDT, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PR, ST, SD, SS, pH, Cl^- , DQO, PT	Out/2013-Mar/2014	Braço E(x2): Contribuição sub-bacia do C.O e do late Clube
18	Merschel et al. (2015)	REEt, REEd, U	Nov/2012, Jul/2013	11 pontos distribuídos por todo o lago Paranoá
19	Fernandes e Gomes (2016)	OD, Ta, NH_4^+ , NO_3^- , PT e PO_4^{3-} , Cl-a	Ago/2011-Nov/2014	Estação amostral do lago Paranoá
20		pH, CE, PT, FeT, NH_3 , turbidez, cor, Cl-a, zooplâncton, fitoplâncton	2011-2013	Braço A (x2), B, D, E
21	Mar da Costa et al. (2016)	pH, CE, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+	2009-2012	Pontos nos tributários (Bananal, Torto, Gama, Jerivá, Palha e Taquari)
22	Costa et al. (2017)	NO_2^- , NO_3^- , NH_3 , PR, PT	2012-2014	Braço E: Contribuição da sub-bacia do C.O
23	Dias (2017)	Material em suspensão, composição mineralógica, COT, COD, MO e SV, Alc, Al, Fe, Ti, Si, Mn, P, Pb, Sr, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, F-, Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^-	2015-2016	Braço A
24	Batista e Fonseca (2018)	Tr_a, pH, Ta, CE, turbidez, OD, SDT, N – NO_3^- , N – NH_3 , NT, PT, PSR, fitoplâncton	Out/2009-Set/2010	Braço C: aprox. a 1500m da barragem (superfície, 5m, 10m, 15m, 20m e fundo)
25	Borges (2018)	Cl-a, SST, RSR	Nov/2016, Mai, Jun e Out/2017	Diversos pontos (não identificados)
26	Silva (2018)	SDT, turbidez	Jul/2013	Braços A (x2), B, C, D, E
27	Amorim et al. (2019)	Ba e REE (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, and Lu)	Set/2017	9 pontos distribuídos no lago (Braços A, B, C, D, E)
28	Barbosa et al. (2019)	NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , NOD, POD, NOT, POT Sedimentos: PT, NT	Dez/2016, Fev, Abr, Jun, e Ago/2017	9 pontos distribuídos no lago (a 1m da superfície e a 1m do fundo) e 4 pontos (um em cada tributário: A, B, D, E)
29	Silva et al. (2021)	pH, Ta, OD, Si, SST, DBO, CE, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , NOD, POD, NOT, POT, Cl-a	Dez/2016, Fev, Abr, Jun, e Ago/2017	9 pontos distribuídos no lago (a 1m da superfície e a 1m do fundo) e 4 pontos (um em cada tributário: A, B, D, E)

Nº	Estudo	Variáveis monitoradas	Período de monitoramento	Localização do(s) ponto(s) de monitoramento
30	Marinho (2021)	CE, OD, SDT, Turbidez, pH, Ta, Cl-a, RSR	Mai, Jul, Set, Out e Dez/2019	Braços A e E
		RS, RS_L, UR, Tar, Precipitação	Dez/2018-Fev/2021	Estação Experimental da Biologia – UnB (Braço E)
31	Nunes (2022)	Vv, Dv		Margem dos braços A, C, D, E
		Ta	Mai/2019-Abr/2020	Ponte JK (antes da separação dos Braços A-B) e Ponte das Garças (Braço A)
32	Pereira <i>et al.</i> (2023)	Vv, Dv	Ago/2021 e Dez/2021	Margem dos braços A, C, D e E
33	Feitosa (2023)	pH, DQO, CE, Cl-, F-, Br-, NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Li^+	(não especificado)	Margem dos braços A(x2), D e E(x2),

CE: condutividade elétrica, Cl-a: clorofila a, COT: carbono orgânico total, COD: carbono orgânico dissolvido, MO: matéria orgânica, Alc: Alcalinidade SST: sólidos suspensos totais, SDT: sólidos dissolvidos totais, PT: fósforo total, PR: fósforo reativo, PSR: fósforo solúvel reativo, FeT: Ferro total, Ta: temperatura da água, Q: vazão, RSR: reflectância de sensoriamento remoto, MO: matéria orgânica, N-org: nitrogênio orgânico, NOD: nitrogênio orgânico dissolvido, POD: fósforo orgânico dissolvido, NOT: nitrogênio orgânico total, POT: fósforo orgânico total, Tr_a: transparência da água, SV: sólidos voláteis, DQO: demanda química de oxigênio, Vv: velocidade do vento, Dv: direção do vento, Tar: temperatura do ar, RS: radiação solar global, RS_L: radiação solar líquida, UR: umidade relativa, REEt: elementos raros terrestres totais, REEd: elementos raros terrestres dissolvidos.

4 Discussão sobre alguns eventos e estudos

O monitoramento do lago permite a sua caracterização física, química e biológica. Tendo uma série de dados, é possível analisar os eventos ocorridos, compreendê-los, estabelecer relações de causa e consequência, traçar o histórico, bem como estudar as relações entre fatores bióticos e abióticos presentes no ecossistema. No caso do lago Paranoá, seu histórico pôde ser traçado e as ações tomadas, como a utilização de algicidas, implantação das Estações de Tratamento de Esgoto e a realização do *flushing*.

Em 1992, Somlyódy e Altafin apontavam prováveis cenários modelados quanto ao grau de trofia do lago Paranoá dependendo da população e do grau de tratamento do esgoto. Com o início da operação das ETEs Norte e Sul modernizadas observou-se a melhoria da qualidade da água do lago após um período menor que 2 anos da redução da carga de nutrientes aportada ao lago (Cavalcanti *et al.*, 1997; Ikawa e Moraes, 1997).

Apesar dessa diminuição na carga, a medida tomada não foi totalmente efetiva. Fernandes e Crisman (1994) ressaltaram, portanto, a necessidade um plano de manejo para o lago já que as técnicas utilizadas para o manejo da eutrofização do lago foram desenvolvidas para zonas temperadas.

Em 1998 foi relatado por alguns estudos a realização de uma descarga rápida de grande vazão na barragem (*flushing*) ocasionando uma redução significativa do nível do lago, o que, segundo alguns pesquisadores, pode ter sido uma das causas das alterações bruscas da qualidade da água quanto à clorofila-a, fósforo total e transparência (Angelini *et al.*, 2008).

A aplicação do algicida sulfato de cobre foi realizada em diversas ocasiões desde as florações do final da década de 1970. Segundo Padovesi-Fonseca *et al.* (2004), em 1997 foi realizada uma aplicação do algicida para controlar a floração de *Microcystis aeruginosa*, o que promoveu variação temporal na comunidade fitoplanctônica e a queda brusca de cianobactérias. No entanto, ocorreu também, logo após, o aumento de *chlorophyta*. Estudos apontam que o algicida parece ter impactado características físicas, químicas e biológicas do lago (Padovesi-Fonseca e Philomeno, 2004).

Philomeno (2007) e Padovesi-Fonseca *et al.* (2009) relatam que o *flushing* impactou a maioria dos fatores bióticos e abióticos do lago, com exceção aos nutrientes, sendo as cianobactérias substituídas por algas em menor densidade e mais distribuídas pelo lago. Seis anos depois do *flushing*, as relações de pH e OD continuaram semelhantes, além de haver o reaparecimento da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* (ausente logo após o *flushing*). Já os parâmetros transparência da água, condutividade elétrica e clorofila-a permaneceram semelhantes ao período logo após o *flushing*, mesmo depois de 6 anos, entretanto, com uma maior proporção e densidade de cianobactérias (Philomeno, 2007). Padovesi-Fonseca *et al.* (2009) afirmam que, apesar do *flushing* ter resultado em uma melhora da qualidade da água, há necessidade do controle efetivo como forma de evitar novos eventos de eutrofização, assim como, o manejo eficiente, manutenção do grau de trofia e da qualidade da água.

Nesse cenário, foi realizada a avaliação da capacidade de suporte do lago Paranoá para o período de 1999 a 2011 (CAESB, 2015), baseada no modelo de Vollenweider (1968), com o objetivo de manter o controle das cargas externas de fósforo aportadas ao lago e, por conseguinte, seu estado oligotrófico.

Em relação à caracterização física do lago, a batimetria mais recente do lago Paranoá foi realizada por Aguiar *et al.* (2019). Os levantamentos de temperatura ao longo da profundidade suas regiões mais profundas (maiores que 15m), indicaram que o lago Paranoá é caracterizado por ser um lago monomítico quente (Nunes, 2022; Batista e Fonseca, 2018; Silva *et al.*, 2021). Os períodos de mistura e de desestratificação térmica e química, podem influenciar fortemente na população e distribuição do fitoplâncton, do zooplâncton e seus atributos em profundidades distintas, além do perfil de distribuição de OD e de nutrientes (Fernandes e Gomes, 2016; Pinto-Coelho, 1987; Batista, 2007; Batista e Fonseca, 2018).

No período de estratificação do lago, que ocorre durante a maior parte do ano, incluindo o período chuvoso, tende a ocorrer uma maior concentração de nutrientes, hipóxia e até anoxia na camada mais profunda (hipolímnio). No período de seca, no qual ocorre a mistura da coluna d'água, tende a ocorrer um aumento das taxas de OD em maiores profundidades (Fernandes e Gomes, 2016). Segundo Batista e Fonseca (2018), há um aumento na biomassa de diatomáceas nos meses de mistura e transição e, nos meses quentes (setembro e outubro), a tendência de certas cianobactérias manterem-se nas camadas mais superficiais.

Batista e Fonseca (2018), observaram a presença de cianobactérias em densidades preocupantes, o que torna necessária a intensificação do monitoramento e da análise de cianotoxinas, fundamental para a gestão do lago de forma a instituir medidas preventivas às florações. É importante lembrar que o único monitoramento sistemático e contínuo de cianobactérias realizado no lago é conduzido pela CAESB com frequência mensal, com algumas falhas de continuidade, ou seja, em alguns períodos não há registros de dados.

As ETEs e o despejo de efluentes domésticos não tratados nos tributários ao lago Paranoá constituem a principal fonte de nutrientes (amônio e todas as formas de fósforo), enquanto as atividades agrícolas são as principais fontes de nitrato. Recentemente, vem se observando um processo de acúmulo de minerais de carbonato provenientes da dissolução de resíduos de materiais de construção, que levam grandes quantidade de material calcário em sua composição, são carregados e intemperizados pelo escoamento superficial da água na área urbana (Silva, *et al.*, 2021; Mar da Costa *et al.*, 2016).

Os sedimentos depositados ao longo do tempo no leito do lago também permitem a caracterização do lago quanto a poluição por Pb (Gioia *et al.*, 2006), Cr, Zn, Ba, Hg e Cu, por contribuição antrópica, dentre outros (Franz *et al.*, 2014), sendo o Hg encontrado nas proximidades da ETE Norte e elementos como o Sr, Fe, Al, Ba, V, Cr e Mg, que provém principalmente da geologia local (Maia *et al.*, 2006). Em 2011, também foi evidenciada a contribuição temporária de metais, causando enriquecimento na água e nos sedimentos, pelos efluentes das ETES. Maiores concentrações de metais, Cd, Cr, Pb, Sr e Zn, estão associadas a áreas urbanas concretadas, enquanto os sedimentos de áreas agrícolas apresentaram maior concentração de Cr, Cu e Ni (Franz *et al.*, 2014).

As ETES e lançamentos irregulares de esgotos são as principais fontes de contribuição de nutrientes e matéria orgânica, tanto nos sedimentos quanto na água superficial (Dias, 2017), sendo o braço do Riacho Fundo o que possui estado mais crítico devido à contribuição de efluentes (Mar da Costa *et al.*, 2016) e sua unidade hidrográfica (Riacho Fundo) a maior contribuinte de material em suspensão e carbono orgânico particulado (Dias, 2017).

Dias (2013) afirma que a *wetland* presente no braço do Riacho Fundo é responsável pela absorção e, portanto, retenção de aproximadamente 36% do nitrogênio total e 33% do fósforo total que seria aportado ao lago Paranoá, atuando como um filtro e reduzindo o potencial de eutrofização no lago. Em 32 anos a *wetland* cresceu em torno de 0,5km² (Dias, 2013). De acordo com Franz *et al.* (2013), o assoreamento do lago Paranoá como um todo está diretamente relacionado ao uso do solo, como exemplo, a urbanização e as obras civis, comumente, contribuem por meio da carga de sedimentos resultante que aporta ao corpo hídrico.

O aumento notável das cargas de fósforo aportadas ao braço do Riacho Fundo ocorreu, principalmente, a partir de 2007, sendo definida em 2015 a concentração limite de fósforo igual a 18µg/L P-total para prevenir novos eventos de eutrofização (CAESB, 2015). Ainda nesse relatório da CAESB, é recomendada a revisão completa do monitoramento limnológico do lago Paranoá.

As cargas aportadas ao lago e o tempo de retenção do lago Paranoá também são fatores que afetam fortemente a retenção de N e P. O nitrogênio inorgânico dissolvido, o fósforo-fosfato e o fósforo orgânico total são retidos, sendo o sedimento superficial o principal compartimento de armazenamento, enquanto o nitrogênio total é eliminado sazonal e anualmente do lago. (Barbosa *et al.*, 2019).

Os estudos de Silva *et al.* (2021) e Barbosa *et al.*, (2019) indicaram que a sazonalidade se mostrou o principal fator a afetar as concentrações das diferentes espécies de nitrogênio e fósforo no lago Paranoá enquanto a variação espacial não se mostrou significativa. A condutividade elétrica, temperatura da água, sílica dissolvida, clorofila-a, fosfato e o nitrato apresentam concentrações médias mais altas na estação chuvosa, enquanto o

amônio, nitrito, OD e turbidez foram mais altos na estação seca. Dessa forma, o aporte de nutrientes ao lago apresenta maiores cargas no período chuvoso, principalmente o N.

O monitoramento realizado nas águas das galerias de drenagem da Asa Norte (Costa e Koide, 2013; Costa *et al.*, 2017) mostraram que a poluição difusa que aporta ao lago Paranoá contribui significativamente com sedimentos e nutrientes, podendo representar, no período chuvoso, um aporte superior ao que é lançado pelo efluente tratado da ETE Norte. O estudo indicou também que a concentração de nitrogênio pode variar fortemente pela dificuldade de detecção das fontes, enquanto, apesar da concentração de fósforo variar, há semelhança entre sub-bacias.

Nesse contexto, Barbosa *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2021) indicam que é essencial a redução, o quanto antes, do aporte de fósforo ao lago pela expansão da coleta de esgotos e melhora da capacidade das ETEs. Barbosa *et al.* (2019) sugerem também que as medidas para controlar o transporte e aporte de nitrogênio ao lago devem ser direcionadas aos tributários ao sul e às ETEs.

Outro ponto preocupante quanto à qualidade da água do lago Paranoá é a presença de micro poluentes (Abbt-Braun *et al.*, 2014; Majewsky *et al.*, 2014; Mar da Costa *et al.* 2016; Sodr e *et al.*, 2018; Sodr e e Cavalcanti, 2018) e micropl asticos no lago (Alves, 2021; Arowojolu *et al.*, 2023), que devem ser monitorados, controlados e reduzidos, dado que o lago tamb em   um manancial de abastecimento de água para consumo humano.

Além das questões citadas, há estudos feitos no lago Paranoá visando o monitoramento da qualidade biológica da água envolvendo biomanipula o (Starling and Lazzaro, 1997; Lazzaro e Starling, 2005), micronúcleos e DNA em peixes (Grisolia e Starling, 2001; Grisolia *et al.*, 2009), a identifica o e/ou monitoramento de fitoplâncton, zooplâncton, cianobactérias e cianotoxinas no lago, por exemplo, Mattos *et al.* (1997), Abbt-Braun *et al.* (2014), Majewsky *et al.* (2014), Mar da Costa *et al.* (2016), Sousa *et al.* (2017), Sodr e *et al.* (2018) e Sodr e e Cavalcanti (2018). No entanto, tais estudos não fazem parte do escopo desse trabalho e não serão abordados.

Atualmente, estudos que contemplam a estimativa e monitoramento de parâmetros por sensoriamento remoto tamb em estão sendo desenvolvidos no lago Paranoá, para quantifica o e espacializa o das informaçoes sobre clorofila-a (Borges, 2018; Marinho, 2021), turbidez (Silva, 2018) e sólidos (Silva, 2018; Marinho, 2021).

Recentemente, a CAESB adquiriu e colocou em opera o uma plataforma flutuante de monitoramento de variáveis físico-químicas na parte central do lago (ponto C). No entanto, esses dados ainda não se encontram disponíveis para estudo externos   CAESB.

5 Prioridades no monitoramento do lago como suporte   gestão

O monitoramento dos corpos hídricos constitui uma ferramenta indispensável para o controle da qualidade da água, sua adequa o aos múltiplos usos do lago, para o suporte aos processos decisivos e gestão por meio da modelagem matemática e análise de dados.

Considerando apenas os estudos hidrodinâmicos e de circula o no lago, base para todos os demais estudos, verifica-se a necessidade de incorpora o do monitoramento sistemático de algumas variáveis meteorológicas, hidrológicas e de qualidade da água

que permitam o estabelecimento mínimo de condições de contorno para uma correta modelagem matemática do lago.

No caso do lago Paranoá, a carência de dados sistemáticos relacionados à hidrodinâmica envolve: medições de vazão, de temperatura da água, velocidade e direção do vento. Enquanto as variáveis associadas à qualidade da água do lago que carecem de maior monitoramento são: parâmetros físico-químicos, carga de sedimentos, e qualidade da água dos lançamentos por galerias de águas pluviais.

A hidrodinâmica do lago é função das forçantes meteorológicas. O vento, em especial, altera a movimentação da água, o caminho das partículas, a temperatura, movimentação de fitoplâncton e zooplâncton, movimentação de poluentes, dentre outros. O campo de velocidade e direção do vento não é uniforme espacialmente, ou seja, influencia a dinâmica lacustre de diferentes formas em cada parte do lago. Dados de vento em pontos estratégicos em torno do lago Paranoá são recomendados, já que o monitoramento existente (realizado pelos autores) é parte de pesquisa de médio prazo e está próximo ao encerramento.

O turbinamento e/ou vertimento de água na barragem do lago implica na retirada rápida de água do epilímnio-metalímnio, gerando turbulência, podendo levar a desestratificação do lago, mudanças na concentração de nutrientes e de sedimentos no sistema. A medição mais acurada das vazões turbinadas e vertidas na barragem do Paranoá permite a simulação do efeito de medidas, como o flushing, sobre o lago.

A ausência de mistura entre camadas, ou a mistura incompleta, levam a ausência de luz no hipolímnio (impossibilitando a fotossíntese), podendo ocasionar a anoxia da coluna de água, levando a processos anaeróbicos, produção de compostos tóxicos como amônia e sulfeto de hidrogênio, além de afetar a turbidez do lago, aumentando a concentração de sedimentos suspensos na termoclina. A desestratificação do lago pode levar a redução da qualidade da água e mortandade da fauna local (Winton *et al.*, 2019; Elçi, 2008).

Quando o corpo d'água desestratifica, há a ressuspensão de material do leito do rio, mistura de nutrientes liberados pelos sedimentos durante a estratificação e favorecimento do crescimento de algas e cianobactérias (Donghao *et al.*, 2022). Recomenda-se o monitoramento, no lago Paranoá, de temperatura e dos parâmetros físico-químicos ao longo da profundidade do lago em pontos críticos com frequência, ao menos, diária.

A qualidade da água está associada a disseminação de doenças de veiculação hídrica. O controle dos parâmetros físico-químicos (temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, pH, sólidos suspensos e dissolvidos etc.) e biológicos permite mitigar as doenças de veiculação hídrica, reduzir custos ao sistema de saúde e no tratamento de água, além da manutenção os serviços ecossistêmicos já que podem ser utilizados para caracterizar o ecossistema e serem indicativos de poluição e patógenos (Heller, 1997; MMA, 2006; Melo, 2017).

Tanto a temperatura quanto pH influenciam na fisiologia de espécies, na taxa das reações, na solubilidade de oxigênio e nutrientes, precipitação de metais e no tratamento biológico de esgoto. O perfil de temperatura na coluna d'água definirá os processos de mistura e estratificação dos lagos. Esses processos determinam parcialmente o movimento e a distribuição de fitoplâncton, zooplâncton, nutrientes, oxigênio e sedimentos. Logo, estão

diretamente relacionados a qualidade da água (Bhateria e Jain, 2016; Dang *et al.*, 2023; Zheng *et al.*, 2022).

O oxigênio dissolvido possibilita a vida de organismos aquáticos e determina a movimentação de microrganismos dado que no período de estratificação de um lago ocorrem diferentes concentrações de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água. A presença do oxigênio dissolvido também determinará as reações quanto aeróbias ou anaeróbias. As reações aeróbias, por serem mais rápidas, proporcionam uma maior capacidade de autodepuração do corpo hídrico (Bhateria e Jain, 2016).

A profundidade de penetração de radiação na água do lago (zona fótica, onde há atividade fotossintética) é influenciada pela turbidez da água. A turbidez abriga microrganismos, carrega nutrientes e poluentes. Processos anaeróbios, ao produzir gases, provocam o arraste de sólidos, que retornam a coluna d'água aumentando a turbidez e ressuspende o fósforo que estava sedimentado para a coluna d'água. Esse aumento de fósforo disponível na água pode levar a novas florações de cianobactérias. Dessa forma, a carga e ressuspensão de sedimentos modifica a profundidade que a luz pode penetrar na água alterando a movimentação de microrganismos, os processos de síntese ao longo da coluna d'água e distribuição das espécies (Dang *et al.*, 2023; Zheng *et al.*, 2022; Lesser *et al.*, 2004)

O aumento de sedimentos no lago também pode ocorrer devido contribuição de afluentes, lançamentos de efluentes, lançamentos clandestinos e pela carga de poluição indireta impactando o ecossistema e alterando a qualidade da água do lago. Portanto, é essencial o monitoramento da carga de sedimentos, temperatura e condutividade da água nos afluentes ao lago Paranoá. Para o monitoramento da qualidade da água dos afluentes e dos lançamentos pelas galerias de águas pluviais que aportam o lago Paranoá, recomenda-se dados mensais e dados a cada 15 minutos em alguns eventos de grande precipitação.

Em suma, as carências de dados sistemáticos e as recomendações para incrementar o monitoramento no lago Paranoá, abrangem o monitoramento do(a):

- carga de sedimentos, temperatura e condutividade da água nos afluentes;
- qualidade da água dos lançamentos pelas galerias de águas pluviais (dados mensais e dados a cada 15 minutos em alguns eventos de grande precipitação);
- temperatura e condutividade e parâmetros físico-químicos ao longo da profundidade do lago em pontos críticos, com frequência pelo menos diária,
- vazões turbinadas e vertidas na barragem do Paranoá de forma mais acurada;
- vento em pontos estratégicos em torno do lago (o monitoramento existente, realizado pelos autores, é parte de pesquisa de médio prazo e está próximo ao encerramento).

A coleta e disponibilização dos dados no interior do lago podem ser realizadas por meio de plataformas semelhantes à da CAESB, no entanto, em mais pontos do lago, o que representa um custo elevado de implementação e manutenção, só viável se financiado por organismos e empresas de Governo.

6 Considerações Finais

Neste trabalho foram reunidos os estudos e esforços realizados para o monitoramento do lago Paranoá. O acompanhamento e a evolução, tanto em quantidade quanto em

qualidade e variedade de dados monitorados no lago Paranoá permitem um maior controle da qualidade da água do corpo hídrico e de fatores interferentes, além de possibilitar a manutenção do ecossistema, o estabelecimento de usos adequados e prioritários conforme os processos de gestão de uso do solo da bacia.

O maior controle dos parâmetros de qualidade da água permite o estabelecimento das etapas de tratamento necessárias implicando em menor custo do tratamento de água. Os dados de monitoramento do corpo hídrico aliado ao processo de decisão também impactam positivamente a população e o sistema público de saúde tendo em vista a diminuição da incidência de doenças de veiculação hídrica.

Recentemente, estudos sobre a estimativa e monitoramento de parâmetros por sensoriamento remoto também estão sendo realizados no lago, no sentido de reduzir custos e tempo para monitoramento além de melhorar a espacialização da informação, seguindo a tendência mundial. É necessário ressaltar que o monitoramento por sensoriamento remoto não anula a importância do monitoramento convencional em campo e, portanto, ambas as formas de monitoramento devem continuar sendo executadas para a criação de um banco de dados robusto e consistente, que abranja as variabilidades espaciais e temporais das variáveis, possibilitando a simulação e compreensão dos processos que ocorrem no lago e que possa ser usado como auxílio ao aprimoramento da gestão do lago, permitindo conciliar de melhor forma a urbanização e o ecossistema do lago Paranoá.

A modelagem matemática da bacia hidrográfica contribuinte e dos lagos e reservatórios é fundamental para a compreensão dos processos hidrodinâmicos e ecológicos. No contexto do lago Paranoá, a modelagem é essencial para: a) a previsão a curto, médio e longo prazo de eventos de florações e planejamento para o estabelecimento de melhores medidas de controle e recuperação pós-floração, e b) a análise da eficiência e funcionalidade de medidas como a aplicação do algicidas e controle hidrodinâmico por meio de descargas controladas de vazões pelos dispositivos da barragem (vertedores e turbinas).

Para tal é necessário o estabelecimento de monitoramento sistemático e regular de diversos parâmetros e variáveis que permitirão a realização de estudos para a previsão em diferentes cenários de uso e ocupação do solo na bacia e diferentes usos múltiplos das águas do lago. Portanto, nesse estudo foram identificadas como prioridade para a continuidade e avanço do monitoramento do lago: a) monitoramento da carga de sedimentos, temperatura e condutividade da água nos afluentes; b) monitoramento da qualidade da água de lançamentos pelas galerias de águas pluviais; c) monitoramento de temperatura e parâmetros físico-químicos em profundidade no lago em pontos críticos; e d) monitoramento anemométrico ao redor do lago.

A viabilidade da implementação e manutenção da rede de monitoramento no lago Paranoá requer uma abordagem interdisciplinar e a colaboração de instituições de ensino, além do financiamento por organismos e empresas de Governo.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa concedida, CAESB pelos dados cedidos, FAP-DF, ANA e CAPES pelo financiamento da pesquisa.

Referências

- ABBT-BRAUN, G. et al. **Water quality of tropical reservoirs in a changing world - the case of Lake Paranoá, Brasília, Brazil**. C. Lorz, F. Makeschin, H. Weiss (Eds.), Integrated Water Management in Brazil, IWA Publishing, p. 73-96, 2014.
- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA). **Nível dos Reservatórios do DF**. 2024. Disponível em: <<https://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/niveis-dos-reservatorios>>. Acesso em: 19 abr. 2024
- AGUIAR, A. C. N. et al. Mapeamento topo-batimétrico utilizando LIDAR e batimetria no Lago Paranoá – DF. In: 16º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. **Anais...** Rio de Janeiro, Brasil, 2019.
- ALVES, I. de O. **Primeiras evidências sobre a presença de microplásticos nas águas do lago Paranoá**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Química Tecnológica) — Universidade de Brasília, Brasília, 47 f., il., 2021.
- AMORIM, A. M. et al. Assessing rare-earth elements and anthropogenic gadolinium in water samples from an urban artificial lake and its tributaries in the Brazilian Federal District. **Microchemical Journal**, v. 148, p. 27-34, 2019. DOI: 10.1016/j.microc.2019.04.055
- ANGELINI, R. et al. Efeitos de diferentes intervenções no processo de eutrofização do lago Paranoá (Brasília-DF). **Oecol. Bras.**, 12, 3, p. 560-567, 2008. DOI: 10.4257/oeco.2008.1203.14
- AROWOJOLU, I.M. et al. Microplastics in aquatic environments: a growing, unresolved concern. **Chemistry of the Total Environment**, 3, 1, 8-22, 2023. DOI: 10.52493/j.cote.2023.1.76
- BARBOSA, J. D. S. B. et al. Nitrogen and Phosphorus Budget for a Deep Tropical Reservoir of the Brazilian Savannah. **Water**, v. 11, n.6, p. 1205, 2019. DOI: 10.3390/w11061205
- BATISTA, C.A. **Estrutura da comunidade zooplancônica e qualidade da água no lago Paranoá, Brasília-DF**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, DF, 104p, 2007.
- BHATERIA, R.; JAIN, D. Water quality assessment of lake water: a review. **Sustain. Water Resour. Manag.**, 2, p. 161-173, 2016.
- BINDING, C.E. et al. Advances in Remote Sensing of Great Lakes Algal Blooms. **The Handbook of Environmental Chemistry**, book series (HEC, volume 101), p. 217-232, 2020. DOI: 10.1007/698_2020_589
- BORGES, H.D. **Aplicação de algoritmos semi-analíticos à imagens sentinel-2 para a estimativa de clorofila-a no lago Paranoá-DF**. Monografia de Especialização em Geoprocessamento Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 23p, 2018.
- BRANCO, C. W. C.; SENNA, P. A. C. Relations among heterotrophic bacteria, chlorophyll-a, total phytoplankton, total zooplankton and physical and chemical features in the Paranoá reservoir, Brasília, Brazil. **Hydrobiologia**, 337, p.171-181, 1996.

BRANCO, S.M. Análise de alguns aspectos e soluções prováveis para o lago Paranoá. **Revista DAE**, v. 109, n. 377, p. 38-45, 1976.

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). **Atlas hidrometeorológico**. 2022. Disponível em: <https://atlas.caesb.df.gov.br/hidrometeorologia/>. Acesso em: 26 out. 2022.

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). **Mapa de Balneabilidade do Lago Paranoá**. 2021. Disponível em: <https://atlas.caesb.df.gov.br/MapaBalneabilidade/>.

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). **Protocolo Geral – Peticionamento Web (GDOC)**. 2024. Disponível em: <https://www.caesb.df.gov.br/protocolo-geral-caesb.html>. Acesso em: 19 abr. 2024

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). **Relatório Técnico No 05/2015 – PRHR – PRH – CAESB**. A avaliação da capacidade de suporte do lago Paranoá (1999-2011). 15p., 2015.

CARREA, L. et al. Satellite-derived multivariate world-wide lake physical variable timeseries for climate studies. **Scientific data**, 10, 30, 2023. DOI: 10.1038/s41597-022-01889-z

CAVALCANTI, C.G.B. et al. Paranoa lake restoration: Impact of tertiary treatment of sewage in the watershed. **International Association of Theoretical and Applied Limnology**, 26, 2, p. 689-693, 1997. DOI: 10.1080/03680770.1995.11900803

CHAFFIN, J. D. et al. Microcystin congeners in Lake Erie follow the seasonal pattern of nitrogen availability., **Harmful Algae**, v. 127, 102466, ISSN 1568-9883, 2023. DOI: 10.1016/j.hal.2023.102466

CORRÊA, A.C.G. **Modelos qualitativos de simulação sobre a dinâmica do plâncton em diferentes estados de trofia no lago Paranoá, DF**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129p, 2011.

COSTA, M.E.L. et al. Nutrientes nas águas urbanas do lago Paranoá. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Florianópolis, SC, 2017.

COSTA, M.E.L.; KOIDE, S. O impacto da poluição difusa oriunda do sistema de drenagem urbana no lago Paranoá. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 2013.

DANG, T.D.; ARIAS, M.E.; TARABIH, O.; PHILIPS, E.J.; ERGAS, S.J.; RAINS, M.C.; ZHANG, Q. Modeling temporal and spatial variations of biogeochemical processes in a large subtropical lake: Assessing alternative solutions to algal blooms in Lake Okeechobee, Florida. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 47, 101441, 2023.

DIAS, D. F. **Processos Geoquímicos na Interface Sedimento-Água no Braço Riacho Fundo do Lago Paranoá – DF**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – Distrito Federal, 88p., 2017.

DIAS, R. Z. **Papel da wetland do Riacho Fundo no controle da eutrofização do Lago Paranoá, Brasília -- Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 107 fts, 2013.

- DIAS, R. Z.; BAPTISTA, G.M. de M. Wetland nutrient retention and multitemporal growth – Case study of Riacho Fundo's Wetland. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 27, 3, p. 254-264, 2015.
- DONGHAO, W.; FANGFEI, C.; JIAXIN, H.; GUANNING, J.; YADONG, S. The declining of cyanobacterial blooms in Lake Taihu (China) in 2021: The interplay of nutrients and meteorological determinants. **Ecological Indicators**, 145, 109590, 2022.
- FEITOSA, L.M.F. **Implementação e validação de métodos analíticos para análise e monitoramento da qualidade da água e efluentes do Distrito Federal**. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 67p, 2023.
- FERNANDES, C. A.; CRISMAN, T. L. Lake Paranoá, management approaches for a tropical urban reservoir. **SIL Proceedings**, 1922-2010, 25, 3, p. 1301–1305, 1994. DOI: 10.1080/03680770.1992.11900379
- FERNANDES, T. D. S.; GOMES, L. N. L. **Avaliação do comportamento de parâmetros limnológicos de qualidade da água na região mais profunda do lago Paranoá/DF**. In: XIV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental. **Anais...** Brasília, Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/23970>.
- FERREIRA, F.S.B.; FILHO, M.O. A base de pesquisas na programação para a recuperação e manutenção do lago Paranoá em Brasília. **Revista DAE**, 109, n. 375, p. 20-25, 1976.
- FRANZ, C. et al. Assessment and evaluation of metal contents in sediment and water samples within an urban watershed: an analysis of anthropogenic impacts on sediment and water quality in Central Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 72, n. 12, p. 4873-4890, 2014. DOI: 10.1007/s12665-014-3454-8
- FRANZ, C. et al. Geochemical signature and properties of sediments sources and alluvial sediments within the Lago Paranoá catchment, Brasília DF: A study on anthropogenic introduced chemical elements in an urban river basin. **Science of The Total Environment**, v. 452-453, p. 411-420, 2013. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.02.077
- GIOIA, S. et al. Sources of antropogenic lead in sediments from an artificial lake in Brasília - central Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 356, n. 1-3, o. 125-142, 2006. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.02.041
- Governo do Distrito Federal (GDF). **Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal – Volume II Diagnóstico: Relatório de Meio Físico e Biótico**. Brasília – DF, 172p, 2010.
- GRISOLIA, C. K.; STARLING, F. L. R. M. Micronuclei monitoring of fishes from Lake Paranoá, under influence of sewage treatment plant discharges. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 491, n. 1–2, p. 39–44, 2001. DOI: 10.1016/S1383-5718(00)00168-6
- GRISOLIA, C.K. et al. Profile of micronucleus frequencies and DNA damage in different species of fish in a eutrophic tropical lake. **Genetics and Molecular Biology**, 32, 1, p. 138-143, 2009. DOI: 10.1590/S1415-47572009005000009
- HELLER, L. **Saneamento e Saúde**. DF: OPS/OMS. 1997.

IKAWA, N.D.; MORAES, L.R.C. Assessment of the bacteriological quality of Paranoá Lake. **International Association of Theoretical and Applied Limnology**, v. 26, 2, p. 706-709, 1997. DOI: 10.1080/03680770.1995.11900807

JANKOWIAK, J. et al. Deciphering the effects of nitrogen, phosphorus, and temperature on cyanobacterial bloom intensification, diversity, and toxicity in western Lake Erie. **Limnol Oceanogr**, 64, 1347-1370, 2019. DOI: 10.1002/lno.11120

JOSHI, D. R. et al. How to conduct a literature review. **CSA News**, v. 62, 3, p. 30-32, 2020.

LAZZARO, X., STARLING, F. **Using biomanipulation to control eutrophication in a shallow tropical urban reservoir (Lago Paranoá, Brazil)**. In: Reddy, M.V. (Ed.), Restoration and Management of Tropical Eutrophic Lakes. Oxford & IBH Publ. Co. Pvt. Ltd., New Delhi and Science Publishers Inc., New Hampshire, p. 361–387, 2005.

LESSER, G.R.; ROELVINK, J.A.; VAN KESTER, J.A.T.M.; STELLING, G.S. Development and validation of a three-dimensional morphological model. **Coastal Engineering**, v. 51, i. 8-9, p. 883-915, 2004. DOI:10.1016/j.coastaleng.2004.07.014

MAIA, P.D. et al. Distribuição espacial de elementos-traço em sedimentos do lago Paranoá-DF, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, 20, 2, p. 158-174, 2006. Disponível em: <https://geobrasiliensis.emnuvens.com.br/geobrasiliensis/article/view/242>

MAJEWSKY, M. et al. Estimating the trend of micropollutants in lakes as decision-making support in IWRM: a case study in Lake Paranoá, Brazil. **Environ. Earth Sci.**, 72, p. 4891-4900, 2014. DOI: 10.1007/s12665-014-3458-4

MAR DA COSTA, N. Y. et al. Biogeochemical mechanisms controlling trophic state and micropollutant concentrations in a tropical artificial lake. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 10, p. 854, 2016. DOI: 10.1007/s12665-016-5629-y

MATTOS, A.P. et al. Contribuição ao estudo limnológico do lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil. **Acta Limnol. Brasil.**, 1, p. 129-154, 1986.

MATTOS, S.P. et al. Lake Paranoá (Brazil): Limnological aspects with emphasis on the distribution of the zooplanktonic community (1982 to 1994). **Vrh. Internat. Verein. Limnol.**, 26, p. 542-547, 1997.

MELO, D.A. **Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica na população de Ceilândia-DF em 2015**. Trabalho de conclusão de curso em Saúde Coletiva da Universidade de Brasília, Campus Ceilândia. 41 p., 2017.

MERSCHER, G. et al. Tracing and tracking wastewater-derived substances in freshwater lakes and reservoirs: Anthropogenic gadolinium and geogenic REEs in Lake Paranoá, Brasília. **Comptes Rendus – Geoscience**, 347, p. 284–293, 2015. DOI: 10.1016/j.crte.2015.01.004

MMA. Ministério da Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. 2006.

MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do lago Paranoá-DF. **Quim. Nova**, 26, 6, p. 812-820, 2003.

- NUNES, G. **Estudo das variáveis intervenientes no balanço quali-quantitativo de um sistema bacia-lago: O caso do lago Paranoá – DF**. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PPGTARH. TD-027/2022, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 230p, 2022.
- OLIVEIRA-FILHO, E.C. et al. Comparison between the efficiency of two bioindicators for determining surface water quality in an urban environment. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, 33, 3, p. 311-317, 2011. DOI: 10.4025/actascibiolsoci.v33i3.7725
- PADOVESI-FONSECA, C. et al. Limnological features after a flushing event in Paranoá Reservoir, central Brazil. **Acta Limnol. Bras.**, v. 21, n. 3, p. 277-285, 2009.
- PADOVESI-FONSECA, C.; PHILOMENO, M. G. Effects of algicide (Copper Sulfate) application on short-term fluctuations of phytoplankton in Lake Paranoá, Central Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, n. 4, p. 819–826, 2004. DOI: 10.1590/S1519-69842004000500011
- PEREIRA, A.R. et al. A variabilidade do vento em agosto e dezembro de 2021 às margens do lago Paranoá, Brasília-DF, Brasil. In: 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (CBESA). **Anais...** Belo Horizonte, Minas Gerais, 2023.
- PHILOMENO, M.G. **A comunidade fitoplanctônica e a restauração do lago Paranoá, Brasília-DF**. Tese de Doutorado, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 223p, 2007.
- PINTO-COELHO, R.M. Flutuações sazonais e de curta duração na comunidade zooplanctônica do lago Paranoá, Brasília-DF, Brasil. **Ver. Brasil. Biol.**, 47, 1/2, p. 17-29, 1987.
- SANTOS, R. et al. O monitoramento hidrometeorológico da CAESB no Distrito Federal e entorno. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Campo Grande – MS, 2009.
- SHA, J. et al. Harmful algal blooms and their eco-environmental indication. **Chemosphere**, 274, 129912, 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.129912
- SILVA, D. B. da et al. Spatiotemporal Variation on Water Quality and Trophic State of a Tropical Urban Reservoir: A Case Study of the Lake Paranoá-DF, Brazil. **Water**, v. 13, n. 22, p. 3314, 2021. DOI: 10.3390/w13223314
- SILVA, D.B. et al. Spatiotemporal variation on water quality and trophic state of a tropical urban reservoir: a case study of the lake Paranoá-DF, Brazil. **Water**, 13, 3314, 2021. DOI: 10.3390/w13223314
- SILVA, V.A.O. Utilização de sensoriamento remoto orbital para a estimativa da concentração de sólidos dissolvidos totais e da turbidez da água do lago Paranoá. In: 29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. **Anais...**, São Paulo, Brasil, 2018.
- SIMONETTI, V. C. et al. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 72, p. 1-27, 2019. DOI: 10.5007/1982-5153.2019v34n72p01

- SODRÉ, F. F. et al. Seasonal and Spatial Distribution of Caffeine, Atrazine, Atenolol and DEET in Surface and Drinking Waters from the Brazilian Federal District. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 29, 9, 2018. DOI: 10.21577/0103-5053.20180061
- SODRÉ, F. F.; CAVALCANTI C. M. P. Method Development for Assessing Carbamazepine, Caffeine, and Atrazine in Water Sources from the Brazilian Federal District Using UPLC-QTOF/MS. **Int J Anal Chem.**, 4593793, 2018. DOI: 10.1155/2018/4593793.
- SOMLYÓDY, L.; ALTAFIN, I. Management of water resources and eutrophication in the Federal District of Brazil. **Water Science & Technology**, 26, 7-8, p.1813-1822,1992.
- SOUSA, F.D.R. et al. An update for cladoceran fauna (Crustacea, Branchiopoda) from Lake Paranoá, Central Brazil, with the first description of a male of *Leydigopsis ornata* Daday, 1905. **Nauplius**, 25, 2017. DOI: 10.1590/2358-2936e2017029
- SOUZA, F.P. **Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do Lago Paranoá – Brasília/DF – e avaliação de bacias de retenção**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-165/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139p., 2014.
- STARLING, F.L.R.M., LAZZARO, X. Experimental investigation of the feasibility of improving water quality by controlling exotic planktivore overpopulation in the eutrophic Paranoá Reservoir. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 26, p. 789–794, 1997.
- VOLLENWEIDER, R. A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication**. Tech. Rep. DA5/SU/68-27. OEDC, Paris. 250 p., 1968.
- WINTON, R. S. et al. Reviews and syntheses: Dams, water quality and tropical reservoir stratification. **Biogeosciences**, 16, p. 1657-1671, 2019. DOI: 10.5194/bg-16-1657-2019
- XU, S. et al. Monitoring and control methods for harmful algal blooms in Chinese freshwater system: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, 29, 56908-56927, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-21382-9
- ZHENG, X.-N. WU, D.-X.; HUANG, C.-Q.; WU, Q.-Y.; YUN-TAO, G. Impacts of hydraulic retention time and inflow water quality on algal growth in a shallow lake supplied with reclaimed water. **Water Cycle**, v. 3, p. 71-78, 2022.