



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de  
Recursos Hídricos

Marcelo Kauffman

**Qualidade da água no reservatório de Lajes-RJ: ocorrências de  
Cianobactérias e Cianotoxinas**

Rio de Janeiro

2021

Marcelo Kauffman

**Qualidade da água no reservatório de Lajes-RJ: ocorrências de Cianobactérias e  
Cianotoxinas**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Friedrich Wilhem Herms

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

K211 Kauffman, Marcelo.

Qualidade da água no reservatório de Lajes-RJ: ocorrências de  
Cianobactérias e Cianotoxinas / Marcelo Kauffman .– 2021.  
125 f. : il.

Orientador: Friedrich Wilhelm Herms.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Recursos hídricos - Teses. 2. Água - Qualidade - Teses. 3.  
Reservatório - Lajes (RJ) - Teses. 4. Abastecimento de água – Teses. 5.  
Gestão ambiental – Microorganismo – Teses. I. Herms, Friedrich  
Wilhelm. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de  
Tecnologia e Ciências. III. Título.

CDU: 556.18(815.3)

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 7322

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta  
dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Marcelo Kauffman

**Qualidade da água no reservatório de Lajes-RJ: ocorrências de Cianobactérias e  
Cianotoxinas**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Aprovada em 07 de Janeiro de 2021.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms (Orientador)

Faculdade de Oceanografia – UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Hamacher

Faculdade de Oceanografia – UERJ

---

Dr.<sup>a</sup> Maria Isabel de A. Rocha

Ecology Brasil

Rio de Janeiro

2021

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao Grande Arquiteto do Universo, à minha família por todo o apoio e ao meu amigo Geyson Mattos, que sem a sua ajuda, incentivo e palavras de apoio não teria conseguido.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Grande Arquiteto do Universo por me permitir ter a glória de concluir mais uma etapa na vida com sucesso.

À minha mãe Ziva Kauffman, ao meu pai Natan Kauffman e à minha tia Malvina Baron, que sempre me deram apoio, em cada etapa, cada passo, cada momento vivido e presenciado, na vida e na instituição acadêmica.

À Maria Inês de Oliveira e ao Luiz Alvimar, a todo o apoio e suporte que me deram durante os três anos que me acolheram em sua família, permitindo o meu crescimento profissional e acadêmico.

Aos meus amigos Geyson Mattos, Alessandre Dias, José Vaz e Daniel Rodopiano pela amizade, companheirismo e incentivo.

Ao Friedrich Wilhelm Herms pela orientação, ensinamentos, amizade, apoio, socorro, incentivo e enorme carinho que me dedicou durante estes quase 3 anos de convivência.

Às professoras Dra. Maria Isabel de Almeida Rocha e Dra. Cláudia Hamacher que compõe a banca de avaliação.

À CEDAE, nas pessoas do Sérgio C. Marques, Rosiane Denofre e Adailton O. Fialho, agradeço a todos por toda a ajuda, flexibilidade concedida ao longo do mestrado, orientação profissional e acadêmica.

À LIGHT, na pessoa do Rinaldo Rocha, por todo o suporte fornecido para realização das coletas e amostragens.

Aos amigos da 2ª turma ProfÁgua (UERJ), por todas as conversas motivacionais, pelas experiências compartilhadas, pelo carinho e por toda ajuda.

Aos professores não só da universidade, mas de toda uma vida, dedico todo o meu respeito e reconhecimento pela linda profissão. Além do conhecimento acadêmico, vocês auxiliaram na minha formação pessoal e profissional, despertando senso crítico e a ética.

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Só sei que nada sei.

*Sócrates*

## RESUMO

KAUFFMAN, Marcelo. **Qualidade de água no reservatório de Lajes-RJ: ocorrência de Cianobactérias e Cianotoxinas**. 2021. 125 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

A represa de Lajes merece especial atenção devido a sua significativa contribuição ao sistema de abastecimento através da Companhia Estadual de Águas e Esgotos - CEDAE, sendo captados 5,5 m<sup>3</sup>/s, através de dois pontos de captação, para o abastecimento de 1,6 milhão de habitantes distribuídos em 7 municípios: Itaguaí, Japeri, Paracambi, Queimados, Rio de Janeiro, Seropédica e Piraí. O crescimento de cianobactérias vem se tornando cada vez mais frequente, indicando a necessidade de constante monitoramento. À vista disso, este trabalho objetivou avaliar os fatores e as variáveis que favorecem a floração de cianobactérias no ponto próximo a barragem do Reservatório de Lajes, através de coletas semanais, em quatro profundidades (superfície, 5m, 10m e 20m) durante o período janeiro/18-janeiro/19. Os parâmetros estudados foram: contagem e identificação das espécies de cianobactérias, nitrito, nitrato, amônia, ortofosfato, fósforo total, clorofila- $\alpha$ , oxigênio dissolvido, temperatura da água e para avaliação da ocorrência das cianotoxinas, microcistina, saxitoxina e cilindrospermopsina. O reservatório de Ribeirão das Lajes apresentou, durante o estudo, ocorrência de elevadas densidades de cianobactérias tendo ocorrências de aproximadamente 150.000 a 250.000 cél.mL<sup>-1</sup> e com picos de 400.000 cél.mL<sup>-1</sup>, violando os limites estabelecidos pela CONAMA 357/05 para águas do tipo classe 1 (20.000 cél.mL<sup>-1</sup>) em praticamente todo o ano, com diferenças significativas entre as estações climatológicas, tendo apresentado valores mais baixos no inverno. Dos gêneros identificados de cianobactérias, *Aphanocapsa*, *Limnococcus*, *Lemmermanniella/Epigloeosphaera* e *Planktolyngbya limnetica* se alternaram entre os gêneros dominantes de cianobactérias, sendo influenciados pelas estações climatológicas. Apesar da ocorrência do gênero *Aphanocapsa* ao longo de todo o período estudado, não foi detectada a presença das cianotoxinas avaliadas. Os resultados obtidos para os parâmetros oxigênio dissolvido e temperatura da água corroboram estudos desenvolvidos no reservatório que observaram uma estratificação térmica durante o verão, outono e primavera, ocorrendo a desestratificação no inverno. O grau de trofia do reservatório foi classificado como ultraoligotrófico para oligotrófico, apresentou baixas concentrações de clorofila- $\alpha$ , nitrogênio e fósforo, praticamente não sendo quantificadas concentrações de ortofosfato, possivelmente sendo limitante a organismos fitoplanctônicos. Apesar do baixo grau de trofia classificado pelo Índice de Estado Trófico – IET desenvolvido pela Companhia do Estado de São Paulo – CETESB, o reservatório foi enquadrado como moderadamente degradado pelo Índice de Qualidade de Águas em Reservatórios desenvolvido pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP. Embora as águas da represa de Lajes sejam consideradas de ótima qualidade e está situada em região onde não há indícios de forte contaminação antropogênica, é necessário uma permanente preocupação com as ocorrências de cianobactérias, devido ao aumento de densidade ao longo do tempo e a presença de gêneros potencialmente produtores de cianotoxinas.

Palavras-chave: reservatório tropical; Cianobactérias; Cianotoxinas.

## ABSTRACT

KAUFFMAN, Marcelo. **Water quality in the Lajes-RJ reservoir: occurrence of Cyanobacteria and Cyanotoxins.** 2021. 125 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

The Lajes Reservoir deserves special attention due to its significant contribution to the supply system through the State Water and Sewage Company – CEDAE, with 5,5 m<sup>3</sup>/s, through two catchment points for the supplying of 1.6 million inhabitants distributed in 7 municipalities: Itaguaí, Japeri, Paracambi, Queimados, Rio de Janeiro, Seropédica and Pirai. The growth of cyanobacteria is becoming more and more frequent, indicating the need for constant monitoring. Therefore, this study aimed to evaluate the factors and variables that favor the flourishing of cyanobacteria at the point near the Lajes Reservoir dam through weekly collection in four depths (surface of 5m, 10m and 20 m) during the period of January/18 – January/19. The parameters studied were: counting and identification of the species of cyanobacteria, nitrite, nitrate, ammonia, orthophosphate, total phosphorus, chlorophyll-a, dissolved oxygen, water temperature and to evaluate the occurrence of cyanotoxins, microcystin, saxitoxin and cylindrospermopsin. The reservoir of Ribeirão das Lajes presented, during the study, the occurrence of high densities of cyanobacteria having occurrences of approximately 150,000 to 250,000 cells.mL<sup>-1</sup> and with peaks of 400,000 cell.mL<sup>-1</sup>, violating the limits established by CONAMA 357/05 for class 1 waters (20,000 cel.m L<sup>-1</sup>) in practically all year, with significant differences between climatological seasons, having presented lower values in winter. Of the identified genus of cyanobacteria, *Aphanocapsa*, *Limnococcus*, *Lemmermanniella/Epigloeosphaera* and *Planktolyngbya limnetica* alternated among the dominant genus, being influenced by weather seasons. Despite the occurrence of the genus *Aphanocapsa* throughout the study period, the presence of the evaluated cyanotoxins was not detected. The results obtained for the dissolved oxygen parameters and water temperature corroborate studies developed in the reservoir that observed a thermal stratification during the summer, autumn and spring, occurring de-stratification in the winter. The reservoir was classified as ultra-oligotrophic to oligotrophic, presented low concentrations of chlorophyll- $\alpha$ , nitrogen and phosphorus, practically no orthophosphate concentrations were quantified, possibly being limiting to phytoplanktonic organisms. Although the classification of low degree by the Trophic State Index – EIT Despite the low trophic grade classified by the Tropical State Index – IET developed by the São Paulo State Company – CETESB, the reservoir was framed as moderately degraded by the Reservoir Water Quality Index developed by Paraná Environmental Institute – IAP. Although the water of the Lajes dam is considered to be of excellent quality and is located in a region where there are no signs of strong anthropogenic contamination, there is a need for a permanent concern with the occurrences of cyanobacteria, due to the increase in density over time and the presence of potentially cyanotoxin-producing genus.

Keywords: tropical reservoir; Cyanobacterias; Cyanotoxins.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Evolução do processo de eutrofização cultural em um lago ou represa.<br>Associação entre ousos e ocupação do solo e a eutrofização.....                                                                                                                                  | 23 |
| Figura 2 – Mapa e localização geográfica do reservatório de Ribeirão das Lajes.....                                                                                                                                                                                                 | 41 |
| Figura 3 – Localização do Reservatório de Lajes dentro do Complexo de estruturas da LIGHT.....                                                                                                                                                                                      | 42 |
| Figura 4 – Imagem de satélite da bacia hidrográfica do Reservatório de Ribeirão das Lajes. Linha vermelha – limite da Bacia Hidrográfica do reservatório de Lajes. Ponto PF-01 (em verde) - Ponto de monitoramento.....                                                             | 43 |
| Figura 5 – Unidades Hidrológicas de Planejamento da Região Hidrográfica II.....                                                                                                                                                                                                     | 44 |
| Figura 6 – Imagem da localização onde foi estabelecido o ponto de coleta.....                                                                                                                                                                                                       | 48 |
| Figura 7 – Disposição das comportas de emergência, serviço e da Calha CEDAE da barragem do Reservatório de Lajes.....                                                                                                                                                               | 49 |
| Figura 8 – Materiais de coleta e de campo utilizado no trabalho (embarcação).....                                                                                                                                                                                                   | 50 |
| Figura 9 – Evolução temporal da variação da profundidade do Disco de Secchi e da Zeu no ponto PF-01 entre janeiro/2018 e janeiro/2019.....                                                                                                                                          | 72 |
| Figura 10 – Valores medianos, mínimo (Min) e máximo (Máx) da concentração de clorofila- <i>a</i> na superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019..... | 74 |
| Figura 11 – Valores medianos, mínimo (Min) e máximo (Máx) de saturação de oxigênio dissolvido na superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....    | 76 |
| Figura 12 – Valores medianos, mínimo (Min) e máximo (Máx) de saturação de oxigênio dissolvido na superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....    | 77 |
| Figura 13 – Variação por data de amostragem da saturação de oxigênio dissolvido na superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de                                                      |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                                                                                                                                                                                                                     | 78 |
| Figura 14 –Estudo da sazonalidade da saturação de oxigênio dissolvido nas profundidades superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019..... | 79 |
| Figura 15 –Gráficos Box plot para o parâmetro temperatura da água agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                   | 80 |
| Figura 16 –Evolução temporal da variação da temperatura da água nas profundidades superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....       | 81 |
| Figura 17 –Estudo da sazonalidade da temperatura da água nas profundidades superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....              | 82 |
| Figura 18 –Gráficos Box plot para o parâmetro pH agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                    | 83 |
| Figura 19 –Gráficos Box plot para o parâmetro nitrogênio amoniacal total agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....            | 84 |
| Figura 20 –Gráficos Box plot para o parâmetro nitrato agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                               | 86 |
| Figura 21 –Gráficos Box plot para o parâmetro nitrito agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                               | 87 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22 –Gráficos Box plot para o parâmetro fósforo total agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                    | 88 |
| Figura 23 –Gráficos Box plot para o parâmetro ortofosfato agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                      | 89 |
| Figura 24 –Gráficos Box plot para o parâmetro cianobactérias agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                   | 91 |
| Figura 25 –Distribuição relativa dos gêneros de cianobactérias na coluna d’água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                           | 93 |
| Figura 26 –Densidade total de cianobactérias por profundidade e por amostragem no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                            | 95 |
| Figura 27 –Estudo da sazonalidade das cianobactérias por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                                        | 96 |
| Figura 28 –Evolução temporal da variação da densidade de cianobactérias para o gênero <i>Aphanocapsa</i> na coluna d’água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019..... | 98 |
| Figura 29 –Estudo da sazonalidade do gênero <i>Aphanocapsa</i> por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019...                                                | 99 |
| Figura 30 –Evolução temporal da variação da densidade de cianobactérias para o gênero <i>Limnococcus</i> na coluna d’água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ,                                                          |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                                                                                                                                                                                                                                  | 100 |
| Figura 31 –Estudo da sazonalidade do gênero <i>Limnococcus</i> por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019...                                                                    | 101 |
| Figura 32 –Evolução temporal da variação da densidade de cianobactérias para o gênero <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> na coluna d'água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019..... | 102 |
| Figura 33 –Estudo da sazonalidade do gênero <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                              | 103 |
| Figura 34 –Evolução temporal da variação da densidade de cianobactérias para o gênero <i>Planktolyngbya limnetica</i> na coluna d'água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....        | 104 |
| Figura 35 –Estudo da sazonalidade do gênero <i>Planktolyngbya limnetica</i> por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.....                                                     | 105 |

## LISTA DE TABELAS

|             |                                                                                                                                                                                          |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 –  | Quimiodiversidade de cianotoxinas, modo de ação em mamíferos e principais gêneros de cianobactérias produtoras.....                                                                      | 28 |
| Tabela 2 –  | Casos de intoxicação em animais por cianotoxinas descritos na literatura ocorridos entre os anos de 1800 e 2020.....                                                                     | 30 |
| Tabela 3 –  | Parâmetros utilizados neste estudo e limites estabelecidos para águas doces de classe 1, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.....                                                        | 34 |
| Tabela 4 –  | Classificação dos Reservatórios, segundo Índice de Estado Trófico (IET).....                                                                                                             | 36 |
| Tabela 5 –  | Matriz de classes contendo a faixa dos parâmetros de qualidade de água – IQAR.....                                                                                                       | 39 |
| Tabela 6 –  | Variáveis selecionadas e seus respectivos pesos.....                                                                                                                                     | 40 |
| Tabela 7 –  | Classes de Qualidade de Água segundo os Índices de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR).....                                                                                        | 40 |
| Tabela 8 –  | Parâmetros e limites de detecção utilizados no estudo.....                                                                                                                               | 53 |
| Tabela 9 –  | Relação do número de coletas, parâmetros e observações realizadas no ponto de monitoramento PF-01.....                                                                                   | 54 |
| Tabela 10 – | Nome, notação de referência e unidade dos parâmetros estudados, presentes no banco de dados.....                                                                                         | 57 |
| Tabela 11 – | Testes de normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 5% para os pontos monitorados.....                                                                                     | 58 |
| Tabela 12 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade dos dados entre as profundidades no ponto PF-01.....                                          | 58 |
| Tabela 13 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade dos dados entre cada profundidade no ponto PF-01.....                                         | 60 |
| Tabela 14 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade dos dados entre as estações climatológicas na superfície da coluna d'água no ponto PF-01..... | 61 |
| Tabela 15 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para                                                                                                                          |    |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|             | avaliação da homogeneidade dos dados entre as estações climatológicas na profundidade de 5m no ponto PF-01.....                                                                                                                                              | 62  |
| Tabela 16 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade dos dados entre as estações climatológicas na profundidade de 10m no ponto PF-01.....                                                                             | 63  |
| Tabela 17 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade dos dados entre as estações climatológicas na profundidade de 20m no ponto PF-01.....                                                                             | 64  |
| Tabela 18 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% nos parâmetros entre as estações climatológicas e por estação climatológica para na superfície da coluna d'água no ponto PF-01.....                                                               | 65  |
| Tabela 19 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% nos parâmetros entre as estações climatológicas e por estação climatológica para a profundidade de 5m no ponto PF-01.....                                                                         | 66  |
| Tabela 20 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% nos parâmetros entre as estações climatológicas e por estação climatológica para a profundidade de 10m no ponto PF-01.....                                                                        | 67  |
| Tabela 21 – | Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% nos parâmetros entre as estações climatológicas e por estação climatológica para a profundidade de 20m no ponto PF-01.....                                                                        | 68  |
| Tabela 22 – | Estatística descritiva dos dados das amostras coletadas nas profundidades superfície, 5m, 10m e 20m entre janeiro/2018 e janeiro/2019 no ponto PF-01.....                                                                                                    | 70  |
| Tabela 23 – | Identificação dos gêneros de cianobactérias encontradas na Barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes.....                                                                                                                                               | 91  |
| Tabela 24 – | Índice de Estado Trófico calculado para o ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019 agrupado por estação climatológica.....                           | 106 |
| Tabela 25 – | Índice de Qualidade de Água de Reservatórios do Reservatório para o ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019 agrupado por estação climatológica..... | 107 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |                                                 |
|--------|-------------------------------------------------|
| ANA    | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico   |
| CEDAE  | Companhia Estadual de Águas e Esgotos           |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo      |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente              |
| IAP    | Instituto Ambiental do Paraná                   |
| IET    | Índice de Estado Trófico                        |
| IQAR   | Índice de Qualidade de Água em Reservatórios    |
| LIGHT  | Light Serviços de Eletricidade S.A              |
| LPS    | Lipopolissacarídeos                             |
| LD     | Limite de Detecção                              |
| N      | Valores válidos                                 |
| PCM    | Portaria da Consolidação do Ministério da Saúde |
| pH     | Potencial Hidrogeniônico                        |
| RH II  | Região Hidrográfica II                          |
| RSFA   | Radiação Solar Fotossintética Ativa             |
| UHP    | Unidade Hidrológica de Planejamento             |

## SUMÁRIO

|           |                                                          |           |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------|
|           | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                  | <b>17</b> |
| <b>1</b>  | <b>OBJETIVO GERAL.....</b>                               | <b>19</b> |
| 1.1       | Objetivos Específicos.....                               | 19        |
| <b>2.</b> | <b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>                        | <b>20</b> |
| 2.1       | Fitoplâncton e Reservatórios.....                        | 20        |
| 2.2       | Eutrofização .....                                       | 21        |
| 2.3       | Cianobactérias .....                                     | 25        |
| 2.4       | Cianotoxinas .....                                       | 27        |
| 2.5       | Cianobactérias, cianotoxinas e fatores ambientais.....   | 29        |
| 2.6       | Legislação e Qualidade da Água.....                      | 33        |
| 2.7       | Índice de Estado Trófico – IET.....                      | 35        |
| 2.8       | Índice de Qualidade de Água em Reservatórios – IQAR..... | 36        |
| <b>3</b>  | <b>ÁREA DE ESTUDO.....</b>                               | <b>40</b> |
| 3.1       | Caracterização da área de estudo.....                    | 40        |
| 3.1.1     | <u>Clima</u> .....                                       | 44        |
| 3.1.2     | <u>Hidrografia</u> .....                                 | 44        |
| <b>4</b>  | <b>METODOLOGIA .....</b>                                 | <b>45</b> |
| 4.1       | Ponto de coleta.....                                     | 46        |
| 4.2       | Coletas e análises de campo.....                         | 47        |
| 4.3       | Análises laboratoriais.....                              | 49        |
| 4.4       | Avaliação e organização dos dados.....                   | 51        |
| 4.5       | Análises estatísticas.....                               | 52        |
| 4.5.1     | <u>Aplicação de testes estatísticos</u> .....            | 52        |
| 4.5.2     | <u>Análise descritiva dos resultados</u> .....           | 53        |
| <b>5</b>  | <b>RESULTADOS .....</b>                                  | <b>54</b> |
| 5.1       | Análise estatística.....                                 | 54        |
| 5.1.1     | <u>Teste de normalidade</u> .....                        | 54        |
| 5.1.2     | <u>Teste de Kruskal-Wallis</u> .....                     | 55        |
| 5.2       | Análise descritiva.....                                  | 66        |
| 5.3       | Índice de Estado Trófico (IET).....                      | 103       |

|     |                                                                                                                                                              |     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4 | <b>Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR).....</b>                                                                                              | 105 |
| 6   | <b>Discussão dos Resultados.....</b>                                                                                                                         | 106 |
|     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                                                                             | 110 |
|     | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                                                                      | 111 |
|     | <b>APÊNDICE — Testes de kruskal-wallis aplicados a cada profundidade, entre cada parâmetro, a estação climatológica e em cada estação climatológica.....</b> | 120 |

## INTRODUÇÃO

A água é um elemento vital para o ecossistema, para existência e o bem-estar do ser humano, sendo necessário estar disponível em quantidade suficiente e em boa qualidade para garantir a manutenção da vida.

Diversos são os usos praticados nos ambientes aquáticos em todo o mundo, com diferentes finalidades, entre as quais se destacam o abastecimento de água (doméstico e industrial), a geração de energia, a irrigação, a navegação, pesca, a aquicultura, a harmonia paisagística, dessedentação de animais, preservação da fauna e da flora, criação de espécies, diluição e transporte de despejos (MORAES; JORDÃO, 2002).

Atualmente, um dos principais desafios da população humana está relacionado a disponibilidade de água doce. O crescimento populacional, a urbanização, a transformação do uso e ocupação do solo, a poluição e as mudanças climáticas têm impactado a disponibilidade de água doce em qualidade e em quantidade para os usos múltiplos (VIALLE *et al.*, 2011).

O aumento na poluição dos corpos d'água, especialmente o lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento adequado, utilização intensa de fertilizantes na agricultura, principalmente no uso de nutrientes fosfatados e nitrogenados, vem enriquecendo os ambientes aquáticos com altas taxas de matéria orgânica, nutrientes, substâncias inorgânicas e tóxicas, acelerando os processos de eutrofização dos ecossistemas aquáticos (BRANDÃO; DOMINGOS, 2006)

O processo de eutrofização consiste no aumento da concentração de nutrientes, principalmente pelo fósforo e nitrogênio em um dado sistema aquático, tendo como consequência o aumento da produtividade primária do meio, podendo levar a crescimentos exagerados de organismos aquáticos autotróficos, como algas, cianobactérias e macrófitas aquáticas, causando alterações diversas sobre o funcionamento dos ecossistemas aquáticos (ARAÚJO *et al.*, 2013).

As algas e as cianobactérias constituem o fitoplâncton, que são organismos planctônicos que obtêm sua energia a partir dos processos de fotossíntese. O aumento excessivo desses microrganismos pode representar um sério risco à saúde da população, em função da potencialidade de produção de toxinas por algumas espécies de cianobactérias, as chamadas cianotoxinas. Além disso, o excesso populacional de cianobactérias pode acarretar o desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos pela geração do biofilme superficial, alterando a transparência do meio, podendo conduzir à desoxigenação do corpo d'água. Florações de

cianobactérias podem gerar prejuízos econômicos, tendo em vista que nestas situações a pesca e o contato primário (em ambientes destinados à recreação) devem ser interrompidos (BRASIL,2005).

A qualidade da água bruta de mananciais captada com a finalidade do abastecimento público é uma premissa para a sua escolha. Dentro desse contexto, o reservatório de Ribeirão das Lajes merece uma especial atenção devido a sua significativa contribuição ao sistema de abastecimento do Estado do Rio de Janeiro, sendo captados aproximadamente 5,5 m<sup>3</sup>/s para o abastecimento de cerca de 1,8 milhão de habitantes distribuídos em 7 municípios: Itaguaí, Japeri, Paracambi, Piraí, Queimados, Rio de Janeiro e Seropédica. No entanto, os múltiplos usos que o reservatório comporta, tendo como usuários a LIGHT, CEDAE, AMBEV, empreendedores que cultivam uma piscicultura de tilápia, clube de pesca e moradores da região que utilizam a represa como hidrovía vêm aumentando a degradação e gerando alteração na qualidade da água. Destarte, o manancial de Ribeirão das Lajes ainda se destaca pela qualidade das suas águas, apesar de estar sendo observado aumento nas densidades de cianobactérias.

A crise hídrica que afetou o Sudeste, em especial o Rio de Janeiro durante o período 2014-2015, demandou entendimentos e concessões dos diferentes atores envolvidos com os múltiplos usos das principais fontes de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro, minimizando o impacto da crise hídrica para a sociedade. Em seu trabalho, Teixeira (2018), demonstrou a fragilidade dos sistemas de gestão de recursos hídricos, agravados pela escassez de chuvas e a elevada produção de energia realizada pelo setor elétrico, impactando de forma significativa a disponibilidade dos recursos hídricos na bacia do rio Paraíba do Sul. Nesse contexto a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) teve papel importante na mediação do conflito, destacando o uso prioritário dos recursos hídricos para abastecimento humano e dessedentação de animais, buscou a gestão eficiente desses recursos que atendesse os múltiplos usos.

Tendo em vista que as águas do Reservatório de Lajes são utilizadas para usos múltiplos e tendo relevante parcela de contribuição para abastecimento de água de parte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), torna-se necessário o acompanhamento e monitoramento constante da qualidade de suas águas.

## 1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar a dinâmica da ocorrência da comunidade de cianobactérias, produção de cianotoxinas e busca compreender as principais variáveis físicas, químicas e ambientais que regulam estas ocorrências, através de monitoramento semanal da coluna d'água em diferentes profundidades em um ponto próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes.

### 1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos esperados do trabalho são:

- a) Avaliar a ocorrência de populações de cianobactérias no Reservatório de Lajes, através de coletas semanais, ao longo de quatro profundidades da coluna d'água no ponto próximo à barragem do reservatório;
- b) Estudar a distribuição de gêneros de cianobactérias ao longo da coluna d'água no ponto próximo à barragem do reservatório;
- c) Avaliar a ocorrência de produção de microcistinas e saxitoxinas, e cilindrospermopsina através de coletas semanais d'água no ponto próximo à barragem do reservatório;
- d) Coletar amostras de água bruta e analisar as variáveis físicas e químicas: temperatura da água, saturação de oxigênio dissolvido, transparência da água, pH, concentração de nutrientes e clorofila-*a* em quatro profundidades no ponto próximo a barragem do reservatório;

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Fitoplâncton e Reservatórios

Os reservatórios de água são ambientes de transição entre rios e lagos, podendo ser naturais ou artificiais, estando presentes nas principais bacias hidrográficas brasileiras. Os reservatórios artificiais são grandes obras de engenharia civil motivadas por demandas regionais específicas, como geração de energia elétrica, regulação da vazão de rios, abastecimento, recreação, pesca, aquicultura, irrigação, uso industrial, entre outras (ROCHA, 2012).

Segundo Rocha (2012) a bacia hidrográfica, o reservatório e as descargas a jusante, são três subsistemas ecológicos que operam em conjunto e suas interações são interdependentes. O reservatório, sendo um desses componentes, tem sua função determinada por ações climatológicas, hidrológicas e operacionais.

Os reservatórios conservam diferenças espaciais e temporais na estrutura da comunidade fitoplanctônica. No mundo, diversos trabalhos descrevem a comunidade fitoplanctônica em reservatórios, destacando-se os trabalhos de McIntire, Larson e Truitt (2007); Salmasso e Padisák (2007); Cabecinha *et al.* (2009), Becker *et al.* (2010) , Bortolini *et al.* (2019) e Allende *et al.* (2019) .

No Brasil, sobre esse assunto, destacam-se os trabalhos de Dos Santos e Calijuri (1998); Bouvy *et al.* (2000); Figueredo e Giani (2001); Calijuri *et al.* (2002); Falco e Calijuri (2002); Ramírez e Bicudo (2002); Tucci e Sant'anna (2003); Silva, Train e Rodrigues (2005); Train *et al.* (2005); Moura *et al.* (2007); Rocha (2007); Borges, Train e Rodrigues (2008); Crossetti *et al.* (2008); Dellamano-Oliveira *et al.* (2008); Becker, Huszar e Crossetti (2009); Figueredo e Giani (2009); Cunha e Calijuri (2011); Cunha (2012); Rocha (2012), Adloff *et al.* (2018) e Braga e Becker (2020).

Os autores supracitados analisaram as influências de diversos fatores determinantes da distribuição e composição das comunidades fitoplanctônicas em reservatórios, dentre os quais destacam-se: estabilidade da coluna de água, tempo de detenção hidráulica, operação da barragem, disponibilidade de nutrientes, penetração da luz na camada d'água, temperatura e predação. O uso e ocupação do solo no entorno do reservatório também ressoam no padrão da comunidade fitoplanctônica, temporal e espacialmente.

No Reservatório de Ribeirão das Lajes alguns trabalhos se destacam: Gomes (2005) em seu trabalho, estudou através de mesocosmos, os efeitos do enriquecimento artificial e os efeitos da atividade de piscicultura, nas características físicas e químicas e na comunidade fitoplanctônica do Reservatório de Ribeirão das Lajes, tendo observado que a comunidade fitoplanctônica do reservatório esteve dominada por espécies de cianobactérias durante todo o período experimental, com as maiores contribuições das espécies *Leptolyngbya perelegans* (55%) e *Cyanodictyon sp.* (8,7%). Branco *et al.* (2009) estudou a hidrodinâmica de mistura e estratificação do perfil vertical em um ponto localizado na barragem do reservatório, indicando que o reservatório segue um padrão monomítico quente, Puga (2016) avaliou a representatividade da biomassa em termos de carbono em componentes do fitoplâncton e zooplâncton em sete reservatórios tropicais de características hidrodinâmicas e de trofia distintas, destacando o grupo Dinophyceae como um dos mais representativos no Reservatório de Ribeirão das Lajes. Silva (2016) relacionou a composição da comunidade fitoplanctônica às condições da coluna d'água, sobretudo nos períodos de estratificação térmica, destacando a ocorrência de cianobactérias. Teixeira (2020) complementou os estudos iniciados por Branco *et al.* (2009), porém com uma conclusão diferente, onde demonstrou que não ocorre a mistura da coluna d'água nos meses de inverno, diferentemente do apontado pelo estudo realizado por Branco *et al.* (2009).

A dinâmica entre as condições ambientais, características do reservatório e disponibilidade de nutrientes são fatores determinantes na composição fitoplanctônica.

## 2.2 Eutrofização

A eutrofização é o processo de enriquecimento de um corpo d'água por nutrientes fundamentais para o crescimento vegetal, principalmente fósforo e nitrogênio, podendo ser natural ou através da ação antropogênica (KALFF, 2002).

No processo de eutrofização natural dos corpos hídricos os aportes de nutrientes são realizados pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodem e lavam as superfícies terrestres, sendo este um processo gradual e contínuo podendo perdurar por centenas de anos, uma vez que depende de diversos fatores, dentre eles, da dinâmica do fluxo de carga inorgânica no lago, tempo de renovação das águas e da contribuição dos processos naturais nas bacias hidrográficas (ESTEVEZ, 1998).

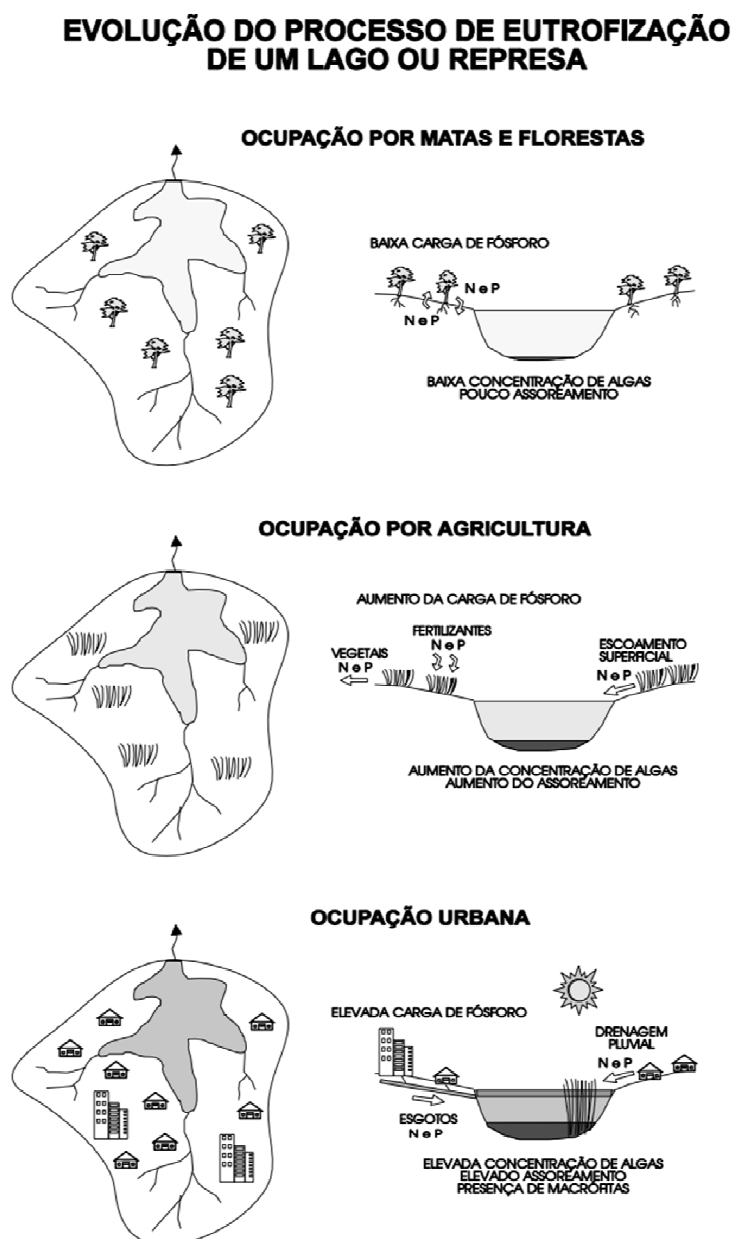
Quando o processo de eutrofização natural é intensificado devido às ações antropogênicas, alterando os ciclos químicos e biológicos do ecossistema aquático, é denominado eutrofização cultural ou artificial (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Os maiores aportes de nitrogênio (N) e fósforo (P) oriundos de atividades antropogênicas vem acelerando acentuadamente o processo de eutrofização, alterando as características naturais dos lagos e reservatórios, impactando na qualidade da água, colocando em risco os seus diversos usos (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Segundo Smith, Tilman e Nekola (1999) o uso de fertilizantes na agricultura, criação de pastagens para pecuária e os lançamentos de esgotos domésticos e industriais advindos dos grandes centros urbanos promovem a eutrofização artificial dos corpos d'água.

A Figura 1 apresenta de forma simplificada a evolução do processo de eutrofização cultural em um lago ou represa, associando este processo ao uso e ocupação do solo.

Figura 1 - Evolução do processo de eutrofização cultural em um lago ou represa. Associação entre o uso e ocupação do solo e a eutrofização.



Fonte: Von Sperling, 1996.

Os impactos da eutrofização artificial são potencialmente nocivos aos ecossistemas aquáticos, podendo alterar as estruturas das comunidades aquáticas, com consequente dominância de alguns grupos em detrimento de outros concebendo efeitos ao longo de toda a cadeia alimentar.

O processo de eutrofização de um ambiente aquático pode ser descrito e classificado em diferentes graus de trofia, isto é, em níveis de estado trófico, de acordo com as suas características químicas e biológicas (como concentrações de nutrientes e produtividade

primária), variando de estágios menos eutrofizados (oligotrófico) para mais avançados (eutrófico e hipereutrófico).

O processo de eutrofização dos cursos d'água vem ocorrendo em escala mundial e estima-se que, na América do Sul, 41% dos lagos e reservatórios estejam eutrofizados (NYENJE *et al.*, 2010).

No Brasil, o intenso crescimento da população urbana, aporte de esgotos doméstico, efluentes oriundos das indústrias e das atividades agrícolas vem ocasionando o aumento da eutrofização nos ecossistemas aquáticos, enriquecendo esses ambientes com nitrogênio, fósforo e outros nutrientes. Uma das grandes questões ambientais enfrentadas pelas regiões Sul e Sudeste é a recuperação de rios, lagos e reservatórios eutrofizados (TUNDISI, 2003).

Segundo levantamento feito por Bina (2008), alguns dos principais reservatórios brasileiros que estão submetidos à eutrofização são: Funil-RJ, Itaipu-PR, Capivara-PR, Amparo-SP e Itaquacetuba-SP, Tapacurá-PE, Ingazeira-PE, Itaúba-RS, Sta. Rita-SP, Juramento-MG, Três Marias-MG, Furnas MG, Vargem das Flores-MG, São Simão-MG, Guarapiranga-SP, Salto Grande-SP, Barra Bonita-SP, Irai-PR e Billings-SP.

O Reservatório de Ribeirão das Lajes é pouco impactado pela ação humana, com florestas tropicais ocupando mais de 50% da área total da bacia hidrográfica (SOARES *et al.*, 2008), contribuindo para um alto padrão de qualidade das águas no reservatório (BRANCO *et al.*, 2009). A baixa disponibilidade de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), elevada transparência da água e baixas concentrações de pigmentos fotossintetizantes caracterizam baixo grau de trofia do reservatório, sendo suas águas classificadas como oligotróficas para mesotróficas (GUARINO *et al.*, 2005). Segundo estudo realizado pelo Comitê Guandu (2013), o rio Piraí, um dos afluentes do reservatório de Lajes, vem sofrendo eutrofização com aportes de esgotos domésticos, incremento de elementos associados às atividades de agricultura presente no entorno e pelo descarte de efluentes, gerando deterioração da qualidade das águas naturais.

A utilização de índices de qualidade de águas, busca tornar mais simples a interpretação dos diversos parâmetros avaliados permitindo sua comparação ao caracterizar e classificar os rios e reservatórios em diferentes graus de trofia (CORDEIRO *et al.*, 2009). Neste trabalho serão utilizados os índices Índice de Estado Trófico (CETESB, 2020) e Índice de Qualidade de Água em Reservatórios (IAP, 2017).

## 2.3 Cianobactérias

As cianobactérias são microrganismos procarióticos<sup>1</sup>, uni ou pluricelulares, aeróbios, fotoautotróficos, com reprodução assexuada. A vasta flexibilidade fisiológica, genética e reprodutiva, possibilita a esses microrganismos sobreviver em diversos ecossistemas (CARMICHAEL, 1994).

As cianobactérias ou cianoprocariotos (antes denominadas cianofíceas ou algas-azuis) têm sua presença no planeta datada de 3,5 bilhões de anos, fazendo parte de um grupo de microrganismos que possuem organização celular procariótica, uma das formas mais primitivas de vida. Segundo Yoo *et al.* (1995) há registros de fósseis de cianobactérias no noroeste da Austrália, com estudos de datação indicando que estes microrganismos foram os primeiros produtores a liberarem oxigênio na atmosfera terrestre. Em função de não terem uma estrutura organizada do seu material genético e demais organelas se diferenciam dos eucariotos<sup>2</sup> (WHITTON; POTTS, 2000), contudo, são fundamentais para o ecossistema por terem a capacidade de realizar fotossíntese oxigênica<sup>3</sup>.

A classe de cianobactérias é bastante ampla contendo cerca de 150 gêneros e mais de 2800 morfoespécies<sup>4</sup> identificadas. Em função da grande variabilidade de tipos de células de cianobactérias, somada a uma grande diversidade morfológica e ecológica, várias propostas de classificação, com base nas diversas características morfológicas (tipo de filamentos, plano de divisão celular etc.) vem sendo estudadas (BINA, 2008).

Segundo Sant'anna *et al.* (2006) os processos vitais das cianobactérias são dependentes de água, dióxido de carbono substâncias inorgânicas e luz. A clorofila- $\alpha$  e os demais pigmentos fotossintéticos são encontrados nos tilacóides<sup>5</sup>, que não são envolvidos por membranas.

Algumas espécies de cianobactérias possuem vantagens adaptativas, dentre elas a capacidade de estocar fósforo (formação de grânulos de fosfato), capacidade de fixar

---

<sup>1</sup>São organismos em que as células que não possuem um núcleo celular definido, em função disso, seu material genético celular fica disperso no citoplasma.

<sup>2</sup>A principal característica das células eucarióticas é a presença de um núcleo definido separando o DNA do restante dos componentes celulares.

<sup>3</sup>A fotossíntese pode ser oxigênica ou anoxigênica. As cianobactérias realizam fotossíntese oxigênica. As bactérias púrpuras e verdes realizam fotossíntese anoxigênica, na qual não há a produção de oxigênio, utilizando compostos reduzidos de enxofre, hidrogênio molecular, ou simplesmente de compostos orgânicos como doadores de elétrons, originando compostos oxidados como sulfatos, prótons, compostos orgânicos e CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup>Grupo de organismo que difere em algum aspecto morfológico de todos os outros grupos. Utiliza-se quando ainda não foi possível identificar a espécie.

<sup>5</sup>Tilacóides são membranas onde estão localizadas estruturas utilizadas nos processos de fotossíntese.

nitrogênio atmosférico (espécies que possuem heterocitos<sup>6</sup>), a possibilidade de flutuarem na coluna d'água (espécies que possuem aerótopos<sup>7</sup> possuem maior capacidade de controle de flutuabilidade na coluna d'água), mixotrofia e adaptação de sobrevivência em condições de baixa luminosidade, com produção de pigmentos acessórios necessários à absorção mais eficiente da luz (ficobiliproteínas). Estas adaptações lhes conferem flexibilidade e resiliência quanto às oscilações ambientais. (HANEY, 1987; REYNOLDS, 1987; PETTERSSON; HERLITZ; ISTAVANOVICS, 1993).

São encontradas diversas variações morfológicas entre as cianobactérias, desde as mais simples (0,5 a 100 µm) a maiores agregações com mais de 100 células. Podem ser unicelular colonial, multicelular ou filamentosas e podem estabelecer relações simbióticas com plantas e fungos, serem bentônicas ou se distribuírem ao longo da coluna d'água.

Tendo em vista a ampla variabilidade morfológica e as diversas vantagens adaptativas supracitadas, as cianobactérias são encontradas nos ambientes mais adversos, como lagos antárticos, fontes termais, rochas úmidas e solos ácidos. Entretanto, os ambientes que oferecem condições mais favoráveis ao seu crescimento são os ambientes de água doce, em função de suas águas neutro-alcálinas com pH variando de 6,0 a 9,0, temperaturas variando entre 15 e 30°C e disponibilidade de nutrientes, em especial, nitrogênio e fósforo (FOGG; THAKE, 1987).

A comunidade fitoplanctônica de um ambiente aquático é frequentemente composta por um elevado número de espécies de cianobactérias. Como importante consequência do processo de eutrofização artificial, a composição da comunidade fitoplanctônica vem sendo alterada, favorecendo a dominância de táxons específicos, que podem causar florações que podem vir a gerar desequilíbrio na cadeia trófica. Segundo Yunes *et al.* (1996) quando não há excessos de nitrogênio ou fósforo, as cianobactérias são mais vulneráveis no processo de competição pela assimilação de nutrientes se comparadas a outros grupos, que nestas condições se adaptam melhor.

O gênero *Microcystis* é um dos gêneros mais associados às florações de cianobactérias no mundo e a espécie *Microcystis aeruginosa* uma das espécies que mais se tem identificado nas florações tóxicas (TSUTSUMI *et al.*, 1998). No Brasil, são exemplos de gêneros frequentes as *Cylindrospermopsis* e *Microcystis*. (HUSZAR; DA SILVA, 1999).

---

<sup>6</sup>Heterocitos são células especializadas em fixar nitrogênio atmosférico, presentes em algumas espécies de cianobactérias. Observa-se a formação de heterocito quando há deficiência de nitrogênio inorgânico no corpo d'água.

<sup>7</sup>Os aerótopos são vacúolos de gás que auxiliam na flutuação, presentes em algumas espécies de cianobactérias

No Reservatório de Lajes já foram identificados diversos gêneros de cianobactérias, Gomes (2005) identificou os gêneros *Chroococcus*, *Cyanodictyon*, *Epigloeosphaera*, *Leptolyngbya*, *Radiocystis* e *Synechocystis*. Unirio (2006) identificou os gêneros *Aphanocapsa*, *Coelomorion*, *Lemmermanniella*, *Leptolyngbya*, *Merismopedia* e *Synechococcus*.

## 2.4 Cianotoxinas

Os estudos sobre as cianotoxinas são recentes e as principais descobertas sobre a sua existência bem como os efeitos de suas ocorrências aconteceram nos últimos trinta anos. Tem-se conhecimento que nem todos os gêneros de cianobactérias produzem cianotoxinas, e mesmo dentro de uma mesma espécie, nem todas as cepas são tóxicas. Eventualmente, é possível encontrar, na mesma floração, cepas tóxicas coabitando com outras não tóxicas (FERNANDES, 2008). Entretanto, ainda não há esclarecimentos sobre quais os fatores que levam determinada cepa a produzir, ou não, cianotoxinas. Uma mesma cepa pode produzir mais do que uma variante<sup>8</sup> de determinada cianotoxina (FERNANDES, 2008).

As toxinas de cianobactérias (cianotoxinas) ficam armazenadas dentro de suas células (endotoxinas) e sua liberação poderá ocorrer através do rompimento da célula (lise celular) ou quando houver mudanças na permeabilidade da membrana celular, devido a ação de algum fator ambiental (CARMICHAEL, 1997; SOONG *et al.*, 1992).

Segundo Vasconcelos (2014) estas moléculas podem ser classificadas em função de suas estruturas químicas, contemplando quatro grupos principais: peptídeos cíclicos como as microcistinas e nodularinas, os, alcalóides: saxitoxinas, cilindrospermopsina, anatoxina-a e lyngbyatoxina, o aminoácido não proteico BMAA e um organofosforado natural, anatoxina-a(s) e lipopolisacarídeos. Em função das propriedades toxicológicas em mamíferos, as cianotoxinas podem ser classificadas em neurotóxicas (anatoxina-a, saxitoxina), hepatotóxicas (microcistina, nodularina) ou irritantes ao contato (PANOSSO *et al.*, 2007), também são consideradas citotóxicas, imunotóxicas, embriotóxicas e genotóxicas.

---

<sup>8</sup> São variações estruturais nos aminoácidos. Em casos de microcistinas, o grau de metilação e isomeria são usados para designar as diferentes MCs, tendo-se conhecimento da existência de mais de 60 microcistinas (Chorus & Bartram, 1999).

A Tabela 1 relaciona a quimiodiversidade de cianotoxinas com o modo de ação em mamíferos e os principais gêneros de cianobactérias produtoras.

Tabela 1 – Quimiodiversidade de cianotoxinas, modo de ação em mamíferos e principais gêneros de cianobactérias produtoras

| Cianotoxina          | Entidade química  | Modo de ação | Cianobactéria                                                                                                                                         |
|----------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anatoxina-a*         | Alcaloide         | N            | <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Oscillatoria</i>                      |
| Anatoxina-a(s)       | Organofosforado   | N            | <i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>A. lemmermani</i>                                                                                                     |
| BMAA                 | Aminoácido        | N            | A maioria das espécies                                                                                                                                |
| Cilindrospermopsina* | Alcaloide         | C            | <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , <i>Aphanizomenon ovalisporum</i> , <i>Anabaena</i> spp., <i>Raphidiopsis curvata</i> , <i>Umezakia natans</i> |
| LPS                  | Lipopolissacarido | D            | A maioria das espécies                                                                                                                                |
| Lyngbyatoxina*       | Alcaloide         | N            | <i>Moorea producens</i> (antes <i>Lyngbya majuscula</i> )                                                                                             |
| Microcistina*        | Péptido cíclico   | H            | <i>Microcystis</i> spp.                                                                                                                               |
| Nodularina*          | Péptido cíclico   | H            | <i>Nodularia spumigena</i>                                                                                                                            |
| Palitoxina*          |                   | N            | <i>Trichodesmium</i> spp.                                                                                                                             |
| Saxitoxina*          | Alcaloide         | N            | Muitas espécies de <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Planktothrix</i>                          |

Legenda N-Neurotoxina, H-Hepatotoxina, C-Citotoxina, D-Dermatotoxina (\* estão descritos gêneros análogos).  
Fonte: Vasconcelos (2014)

No Brasil, várias cianobactérias já foram relatadas como potenciais produtoras de toxinas, como espécies de *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*<sup>9</sup>, *Dolichospermum* (antiga *Anabaena*), *Planktothrix*, *Aphanizomenon*, entre outras (CETESB, 2013).

As neurotoxinas já identificadas no Brasil são produzidas por espécies e linhagens incluídas nos gêneros *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Trichodesmium*, *Lyngbya* e *Cylindrospermopsis*. Em função de sua atuação no sistema nervoso, pode ocasionar a morte por paralisia dos músculos respiratórios (FERNANDES, 2008). São três tipos de neurotoxinas produzidas pelas espécies dos gêneros supracitados, anatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxina.

As hepatotoxinas são os tipos mais comuns de intoxicação provocado por cianobactérias. Este tipo de toxinas apresentam uma ação mais lenta, podendo causar morte num intervalo de poucas horas a poucos dias, dependendo do organismo afetado. Quando

<sup>9</sup> Trabalhos como o de AGUILERA et al.(2018) propõe a unificação dos gêneros *Cylindrospermopsis* e *Raphidiopsis*.

inaladas ou ingeridas, os sintomas são: dor abdominal, diarreia, vômitos, aftas e dores de cabeça (FALCONER, 1996).

Podem ser divididas em toxinas peptídicas e toxinas alcalóides (cilindrospermopsina). As toxinas peptídicas são representadas pelos heptapeptídeos cíclicos conhecidos como microcistinas e os pentapeptídeos designados como nodularinas. As espécies já identificadas como produtoras dessas hepatotoxinas estão incluídas nos gêneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Planktotrix*, *Hapalosiphon*, *Anabaenopsis*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc* e *Cylindrospermopsis* (CARMICHAEL, 1994; MARTINS, 2020)

## 2.5 Cianobactérias, cianotoxinas e fatores ambientais

As florações de cianobactérias vêm se tornando cada vez mais frequentes, principalmente como consequência da eutrofização dos ambientes aquáticos. Seu sucesso em lagos e reservatórios está sendo associado a diversos fatores ambientais (estabilidade física da coluna d'água, temperaturas elevadas e pH neutro-alcalino, disponibilidade de nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio), elevado tempo de residência das águas em reservatórios, luminosidade etc. e às suas adaptações morfológicas desenvolvidas ao longo do seu processo evolutivo favorecem a sua dominância na comunidade fitoplanctônica em condições ambientais estáveis.

A dominância das cianobactérias também é associada a algumas condições ambientais características, tais como: regime de mistura com estratificação duradoura da coluna d'água (Reynolds, 1987) ou diária (constância ambiental) (Ganf, 1974); baixa disponibilidade de luz (Smith, 1986); reduzida razão zona eufótica/zona de mistura (Jensen *et al.*, 1994); pH elevado e baixa disponibilidade de CO<sub>2</sub> (Caraco; Miller, 1998), elevada concentração de fósforo total (P) (McQueen; Lean, 1987); baixos teores de nitrogênio total (N) (Smith, 1983) e de nitrogênio inorgânico dissolvido (Blomqvist *et al.* 1994) e baixa razão N/P (Smith, 1983). Além do fato delas apresentarem vantagens adaptativas para estocar fósforo, capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, habilidade para minimizar herbivoria e para flutuabilidade (Pettersson *et al.*, 1993, ;Haney, 1987; Reynolds, 1987). Quanto à pressão de herbivoria sobre o fitoplâncton, que seria um potencial fator controlador de florações, esta tende a ser maior em ambientes oligotróficos do que em ambiente eutróficos. Além disso, certas características morfológicas de espécies formadoras de florações, como formação de colônias e grandes

filamentos, dificultam a herbivoria, apesar de alguns grupos zooplancônicos possuírem a capacidade de manipular filamentos de cianobactérias (PAERL; OTTEN, 2013).

As florações de cianobactérias também impactam nas diversas variáveis físicas, químicas e biológicas da coluna d'água, uma vez que as florações podem formar “tapetes” na superfície da água, dificultando a entrada de luz e oxigênio na interface ar/água; alteração da viscosidade do meio; diminuição da zona eufótica; alteração do odor e do sabor da água; e ocasionar situações de hipóxia ou anoxia, geradas pela decomposição de cianobactérias mortas por bactérias heterotróficas e com consequente morte dos peixes (PAERL; OTTEN, 2013).

As cianobactérias tóxicas têm um papel ecológico importante (Tabela 2), tanto na consequência da ingestão pelo zooplâncton, peixes ou outros animais, com risco de bioacumulação<sup>10</sup> de cianotoxinas ao longo da cadeia alimentar (SAKER *et al.*, 2003) ou pela morte natural da célula podendo gerar a lise celular liberando as cianotoxinas na coluna d'água, gerando um sério problema de saúde pública, principalmente quando da ocorrência dessas florações em mananciais de abastecimento público.

As florações de cianobactérias bem como a produção de cianotoxinas podem impactar diversas atividades econômicas (Tabela 2) das quais dependem e tem como atividades a criação e o desenvolvimento de animais aquáticos, como a piscicultura, criação de camarão, entre outras, além de impedir alimentação de várias famílias ribeirinhas que possuem o pescado como fonte de subsistência. (SANTOS, 2009). A Tabela 2 relaciona os casos de intoxicação em animais por cianotoxinas descritos na literatura entre os anos de 1800 e 2020.

Tabela 2- Casos de intoxicação em animais por cianotoxinas descritos na literatura ocorridos entre os anos de 1800 e 2020. (continua)

| Localização                 | Ano  | Espécie afetada     | Nº de mortes | Cianobactéria<br>Local de identificação         | Toxina       | Referências                              |
|-----------------------------|------|---------------------|--------------|-------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------|
| Austrália, lago Alexandrina | 1878 | Animais de produção | >100 animais | <i>Nodularia spumigena</i> identificada na água | Nodularina   | (Sivonen, 2009; Hilborn & Beasley, 2015) |
| Finlândia, lago Vesijarvi   | 1928 | Bovinos             | 40 animais   | <i>Anabaena spp.</i>                            | Neurotoxin a | (Sivonen, 2009)                          |

<sup>10</sup> Bioacumulação é o termo geral que descreve um processo pelo qual substâncias (ou compostos químicos) são absorvidas pelos organismos. O processo pode ocorrer de forma direta, quando as substâncias são assimiladas a partir do meio ambiente (solo, sedimento, água) ou de forma indireta pela ingestão de alimentos quem contém essas substâncias. Esses processos frequentemente ocorrem de forma simultânea, em especial em ambientes aquáticos.

Tabela 2- Casos de intoxicação em animais por cianotoxinas descritos na literatura ocorridos entre os anos de 1800 e 2020. (continuação)

| Localização                               | Ano               | Espécie afetada          | Nº de mortes                  | Cianobactéria<br>Local de identificação                                      | Toxina          | Referências                              |
|-------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------|
| Estados Unidos, Rio Elk, Kanawha, e Ohio  | Entre 1930 a 1931 | Peixes                   | Indeterminado                 | <i>Anabaena flos-aquae</i> identificada na água                              | Desconhecida    | (Hilborn & Beasley, 2015)                |
| Estados Unidos, Iowa, Storm Lake          | 1948              | Peixes e Cães            | Indeterminado                 | <i>Anabaena flos-aquae</i> identificada na água                              | Desconhecida    | (Hilborn & Beasley, 2015)                |
| Canada, Manitoba, Lago Dauphin            | 1951              | Cavalo e Cães            | Indeterminado                 | <i>Anabaena flos-aquae</i> identificada na água                              | Desconhecida    | (Hilborn & Beasley, 2015)                |
| Canada, lago Echo e lago Qu'Appelle       | 1959              | Peixes, gansos e cães    | Muitos animais, indeterminado | <i>Anabaena circinalis</i> identificada em fezes de animais                  | Desconhecida    | (Hilborn & Beasley, 2015)                |
| Estados Unidos, Montana, Hegman Reservoir | 1977              | Bovinos e cães           | Muitos animais, indeterminado | <i>Anabaena spp.</i> e <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> identificadas na água | Desconhecida    | (Hilborn & Beasley, 2015)                |
| Noruega, Roagland                         | 1978              | Novilhas                 | 4 animais                     | <i>Microcystis aeruginosa</i>                                                | Microcistinas   | (Sivonen, 2009)                          |
| Estados Unidos, lagos da Pensilvânia      | 1979              | Cães                     | Indeterminado                 | <i>Anabaena spp.</i> identificada na água                                    | Desconhecida    | (Hilborn & Beasley, 2015)                |
| Estados Unidos, lago em Montana           | 1984              | Bovinos                  | Indeterminado                 | Bloom inespecífico, identificado na água                                     | Desconhecida    | (Hilborn & Beasley, 2015)                |
| Canada, lago Steele em Alberta            | 1985              | Morcegos, patos e pombos | >1000 animais                 | <i>Anabaena flos-aquae</i>                                                   | Anatoxina-a     | (Sivonen, 2009)                          |
| Canada, Alberta                           | 1986              | Bovinos                  | 16 animais                    | <i>Anabaena flos-aquae</i> e <i>Oscillatoria</i>                             | Anatoxina-a     | (Sivonen, 2009)                          |
| Portugal, rio Guadiana                    | 1987              | Peixes                   | Indeterminado                 | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , bloom identificado na água                 | Desconhecida    | (Hilborn & Beasley, 2015)                |
| Inglaterra, Leicestershir e lago Rutland  | 1989              | Ovinos e cães            | 34 animais                    | <i>Microcystis aeruginosa</i> identificada na água                           | Microcistina-LR | (Sivonen, 2009; Hilborn & Beasley, 2015) |

Tabela 2- Casos de intoxicação em animais por cianotoxinas descritos na literatura ocorridos entre os anos de 1800 e 2020. (continuação)

| Localização                                  | Ano  | Espécie afetada                        | Nº de mortes  | Cianobactéria<br>Local de identificação                                                                                  | Toxina                                                     | Referências                    |
|----------------------------------------------|------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Austrália, rio Darling                       | 1990 | Bovinos e Ovinos                       | >2000 animais | <i>Anabaena circinalis</i>                                                                                               | Saxitoxina                                                 | (Sivonen, 2009)                |
| África do Sul, lago Zeekoevlei               | 1994 | Animais de produção e cães             | Indeterminado | <i>Nodularia spumigena</i> e <i>Microcystis aeruginosa</i> identificadas na água                                         | Nodularina e Microcistina-LR                               | (Hilborn & Beasley, 2015)      |
| Bangladesh, lagoa em Mymensingh              | 2002 | Caprinos e peixes                      | Indeterminado | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> e <i>Microcystis aeruginosa</i> identificadas na água                                    | Desconhecida                                               | (Hilborn & Beasley, 2015)      |
| Holanda, Rio Meuse                           | 2003 | Aves e peixes                          | Indeterminado | <i>Bloom inespecífico</i>                                                                                                | Desconhecida                                               | (Hilborn & Beasley, 2015)      |
| Estados Unidos, lago Buccaneer Bay           | 2004 | Cães, animais de produção e silváticos | Indeterminado | <i>Anabaena</i> spp., <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Aphanizomenon</i>                                    | Microcistina-LR e Microcistina                             | (Hilborn & Beasley, 2015)      |
| Nova Zelândia, Norte da ilha                 | 2005 | Cães                                   | 5 animais     | <i>Bloom</i> bentônico inespecífico identificado na água                                                                 | Anatoxina-a                                                | (Sivonen, 2009)                |
| Argélia, lago Oubeira                        | 2005 | Tartarugas                             | Indeterminado | <i>Microcystis</i> spp.                                                                                                  | Microcistina identificada no fígado                        | (Sivonen, 2009)                |
| Estados Unidos, lagos em Ohio                | 2010 | Cães, peixes e aves                    | Indeterminado | <i>Anabaena</i> spp., <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , <i>Aphanizomenon</i> spp., <i>Planktolyngbya limnetica</i> | Microcistina, Anatoxina-a, Cylindrospermopsina, Saxitoxina | (Hilborn & Beasley, 2015)      |
| Portugal, Ribeira de Oeiras, Almodôvar (Sul) | 2017 | Bovinos de carne                       | 25 animais    | <i>Microcystis</i> spp. identificada na água                                                                             | Microcistina-LR identificada no rim                        | (Menezes <i>et al.</i> , 2019) |

Tabela 2- Casos de intoxicação em animais por cianotoxinas descritos na literatura ocorridos entre os anos de 1800 e 2020. (conclusão)

| <b>Localização</b>                  | <b>Ano</b> | <b>Espécie afetada</b> | <b>Nº de mortes</b> | <b>Cianobactéria<br/>Local de identificação</b>                  | <b>Toxina</b> | <b>Referências</b> |
|-------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|
| Botsuana, Delta do Okavango, África | 2020       | Elefantes              | >300 animais        | Cianobactérias identificadas na água, espécie ainda não descrita | Neurotoxin as | (BBC News, 2020)   |

Fonte: Martins (2020)

Em relação à saúde humana as intoxicações normalmente associadas a cianobactérias provocam efeitos adversos, podendo ocorrer via consumo de água de reservatório com a presença de florações, por meio de atividades de recreação em mananciais comprometidos ou pelo consumo de animais contaminados com toxinas (SANTOS, 2009).

O primeiro caso confirmado de mortes humanas no Brasil causadas por cianotoxinas ocorreu no início de 1996, quando 117 pacientes renais crônicos, tiveram contato com a água contaminada, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru (PE). Desses pacientes, 49 vieram a falecer até 10 meses após o início dos sintomas (SANTOS, 2009).

## 2.6 Legislação e Qualidade da água

Na medida em que se intensificou o crescimento populacional, a urbanização, a industrialização e o desenvolvimento econômico no Brasil e no mundo, os processos de eutrofização dos rios e reservatórios foram intensificados. Essas pressões ambientais fazem com que a normatização e o estabelecimento de limites máximos e mínimos de padrões de qualidade para os corpos hídricos em função do seu uso sejam extremamente importantes, bem como o seu controle e sua vigilância.

No Brasil, a Resolução CONAMA Nº 357/2005 (Brasil, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Resolução CONAMA N° 357/2005 classifica os corpos de água em treze classes, dentre elas, as águas doces superficiais são classificadas em cinco classes, segundo seus usos preponderantes, dos mais nobres, a classe especial, aos menos nobres, a classe 4.

A supracitada norma estabelece os limites e condições máximas e mínimas para diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos, em função da qualidade das águas necessárias para os seus usos: ao abastecimento para consumo humano; à proteção das comunidades aquáticas, à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral, à recreação de contato primário (conforme a Resolução CONAMA 274/2000); irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e a aquicultura e a atividade de pesca.

As águas do reservatório em estudo, são classificadas como água doce de classe tipo 1 (corpo principal – saída do túnel de Tocos até a barragem) e classe tipo especial para os trechos dos braços e afluentes de 1ª, 2ª e 3ª ordem do corpo principal, segundo a resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos n °127/14 (RIO DE JANEIRO, 2014). Os limites legais estabelecidos pela CONAMA 357/2005 dos parâmetros utilizados neste estudo são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados neste estudo e limites estabelecidos para águas doces de classe 1, segundo a

| Parâmetros                                            | Limite Classe 1                                                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Clorofila- <i>a</i> ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )          | 10                                                                |
| Densidade de Cianobactérias ( $\text{cél.mL}^{-1}$ )  | $\leq 20.000$                                                     |
| pH                                                    | 6,0 a 9,0                                                         |
| Oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1} \text{O}_2$ ) | $\geq 6,0$                                                        |
| Nitrogênio amoniacal total                            | 3,7 $\text{mg.L}^{-1} \text{N}$ , para $\text{pH} \leq 7,5$       |
|                                                       | 2,0 $\text{mg.L}^{-1} \text{N}$ , para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ |
|                                                       | 1,0 $\text{mg.L}^{-1} \text{N}$ , para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ |
|                                                       | 0,5 $\text{mg.L}^{-1} \text{N}$ , para $\text{pH} > 8,5$          |
| Fósforo total                                         | 0,020 $\text{mg.L}^{-1} \text{P}$                                 |
| Nitrato                                               | 10,0 $\text{mg.L}^{-1} \text{N}$                                  |
| Nitrito                                               | 1,0 $\text{mg.L}^{-1} \text{N}$                                   |

Resolução CONAMA 357/2005

Fonte: Adaptado de Brasil, 2005.

Em vistas ao abastecimento público de água, as classes de uso decorrentes do processo de enquadramento influenciam no grau de tratamento a ser adotado para tornar potável a água a ser distribuída, conforme os padrões de potabilidade determinados pela legislação brasileira e definidos pelo Ministério da Saúde por meio de portarias regulamentadoras. Neste sentido o Anexo XX da Portaria de Consolidação (PCMS) N° 5/2017 estabelece o padrão brasileiro de

potabilidade de água, condicionando os valores mínimos e máximos permitidos para cada um deles. Além disso, atribui aos responsáveis pelo tratamento e distribuição da água de sistemas para consumo humano, seja a partir de manancial superficial ou subterrâneo, a periodicidade nas coletas de amostras de água bruta no ponto de captação, com a finalidade de avaliação de risco à saúde humana (BRASIL, 2017).

Com relação as cianotoxinas, o Anexo XX da PCMS 5/2017 traz a obrigatoriedade de monitoramento semanal na água do manancial, no ponto de captação, caso a densidade de cianobactérias exceda 20.000 células.mL<sup>-1</sup>.

Adicionalmente, o Anexo 8 do Anexo XX da PCMS 5/2017 traz como limites máximos permitidos de microcistinas 1,0 µg.L<sup>-1</sup> e de saxitoxinas 3,0 µg equivalente STX.L<sup>-1</sup>.

## 2.7 Índice de Estado Trófico – IET

O Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias. Os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila-*a*, IET (CL), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas. Assim, este índice engloba de forma satisfatória a causa e o efeito do processo.

As equações utilizadas para o cálculo do Índice do Estado Trófico em reservatórios, para o fósforo total – IET(PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila *a* – IET(CL), modificados por Lamparelli (2004):

$$IET (CL) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{0,92 - 0,24 \times (\ln CL)}{\ln 2} \right) \right)$$

(1)

$$IET (PT) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{4,77 - 0,42 \times (\ln PT)}{\ln 2} \right) \right)$$

(2)

onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

ln: logaritmo natural.

O resultado apresentado na Tabela 4 do IET será a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila- $\alpha$ , segundo a equação abaixo para cada amostragem realizada:

$$\text{IET} = \frac{\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}}{2} \quad (3)$$

Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para reservatórios estão descritos na tabela a seguir:

Tabela 4 - Classificação dos Reservatórios, segundo Índice de Estado Trófico (IET)

| Categorias - IET  | Ponderação - IET          |
|-------------------|---------------------------|
| Ultraoligotrófico | $\text{IET} \leq 47$      |
| Oligotrófico      | $47 < \text{IET} \leq 52$ |
| Mesotrófico       | $52 < \text{IET} \leq 59$ |
| Eutrófico         | $59 < \text{IET} \leq 63$ |
| Supereutrófico    | $63 < \text{IET} \leq 67$ |
| Hipereutrófico    | $\text{IET} > 67$         |

Fonte: CETESB, 2020.

## 2.8 Índice de Qualidade de Água em Reservatórios - IQAR

O Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR) foi desenvolvido pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) com objetivos de avaliar a degradação da qualidade da água dos reservatórios. Este índice estabelece diferentes classes de reservatórios em relação ao grau de degradação da qualidade de suas águas, através de uma matriz contendo os intervalos de classe dos parâmetros mais relevantes.

A matriz desenvolvida pelo IAP apresenta seis classes de qualidade de água, as quais foram estabelecidas a partir do cálculo dos percentis de 10, 25, 50, 75 e 90% de cada uma das variáveis selecionadas (Tabela 5).

Para o cálculo do IQAR as variáveis selecionadas receberam pesos distintos, em função de seus diferentes níveis de importância na avaliação da qualidade da água de reservatório (Tabela 6).

A classe de qualidade de água a que cada reservatório pertence (Tabela 7), é definida através do Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR) calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\frac{\sum(w_i \times q_i)}{\sum(w_i)} \quad (4)$$

onde:

$w_i$  = pesos calculados para as variáveis “i”;

$q_i$  = classe de qualidade de água em relação a variável “i”, o valor de “q” pode variar de 1 a 6.

As profundidades estabelecidas para o cálculo do IQAR são:

Profundidade I: Camada da zona eufótica com 40% da luz incidente, onde é esperada uma produção primária de fitoplâncton representativa da camada trofогênica.

$$Prof.I = Z_{ds} \times 0,54$$

(5)

onde:

$Z_{ds}$  = profundidade Secchi

0,54 = fator para calcular 40% de luz incidente

Profundidade II: metade da zona afótica, onde independentemente da ocorrência de estratificação térmica, a respiração e a decomposição são predominantes sobre a produção autotrófica.

$$Prof.II = \frac{Z_{max} + Z_{eu}}{2}$$

(6)

onde:

$Z_{max}$  = profundidade máxima (m), na estação de amostragem;

$Z_{eu}$  = zona eufótica (profundidade Secchi x 3, onde 3 é o fator correspondente a aproximadamente 1% da luz incidente na superfície da água);

Profundidade III: quando, durante as medições "in situ", for detectada zona anóxica, e esta não coincidir com a profundidade II, recomenda-se a coleta de mais uma amostra na porção intermediária desta camada.

Tabela 5 - Matriz de classes contendo a faixa dos parâmetros de qualidade de água - IQAR

| Variáveis                                                | Classes de qualidade (q) |             |              |               |                |          |
|----------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|--------------|---------------|----------------|----------|
|                                                          | Classe 1                 | Classe 2    | Classe 3     | Classe 4      | Classe 5       | Classe 6 |
| Déficit de Oxigênio dissolvido (%)                       | ≤5                       | 6-20        | 21-35        | 36-50         | 51-70          | >70      |
| Clorofila- $\alpha$ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )             | ≤1,5                     | 1,5-3,0     | 3,1-5,0      | 5,1-10,0      | 11,0-32,0      | >32      |
| Fósforo total (P $\text{mg.L}^{-1}$ )                    | ≤0,010                   | 0,011-0,025 | 0,026-0,040  | 0,041-0,085   | 0,086-0,210    | >0,210   |
| Profundidade – Disco de Secchi (m)                       | ≥3                       | 3-2,3       | 2,2-1,2      | 1,1-0,6       | 0,5-0,3        | <0,3     |
| Demanda química de oxigênio – DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) | ≤3                       | 3-5         | 6-8          | 9-14          | 15-30          | >30      |
| Tempo de residência (dias)                               | ≤10                      | 11-40       | 41-120       | 121-365       | 366-550        | >550     |
| Nitrogênio inorgânico total (N $\text{mg.L}^{-1}$ )      | ≤0,15                    | 0,16-0,25   | 0,26-0,60    | 0,61-2,00     | 2,00-5,00      | >5,00    |
| Cianobactérias ( $\text{cél.mL}^{-1}$ )                  | ≤1.000                   | 1.001-5.000 | 5.001-20.000 | 20.001-50.000 | 50.001-100.000 | >100.000 |
| Profundidade média (m)                                   | ≥35                      | 34-15       | 14-7         | 6-3,1         | 3-1,1          | <1       |

Fonte: IAP, 2017.

Tabela 6 - Variáveis selecionadas e seus respectivos pesos

| <b>Parâmetro de Qualidade da Água</b>                                 | <b>Peso (w)</b> |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Déficit de Oxigênio dissolvido (%) <sup>1</sup>                       | 17              |
| Clorofila- <i>a</i> ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) <sup>3</sup>             | 15              |
| Fósforo total (P - $\text{mg.L}^{-1}$ ) <sup>2</sup>                  | 12              |
| Profundidade Secchi (m)                                               | 12              |
| Demanda química de oxigênio – DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) <sup>2</sup> | 12              |
| Tempo de residência (dias)                                            | 10              |
| Nitrogênio inorgânico total (N- $\text{mg.L}^{-1}$ ) <sup>2</sup>     | 8               |
| Cianobactérias (nº de células. $\text{mL}^{-1}$ ) <sup>3</sup>        | 8               |
| Profundidade média (metros)                                           | 6               |

(1) média da coluna d'água; (2) média das profundidades I e II; (3)

concentração da profundidade I

Fonte: IAP, 2017.

Tabela 7 - Classes de Qualidade de Água segundo os Índices de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR)

| <b>Qualificação</b>                   | <b>Classes</b> | <b>Valor do IQAR</b> |
|---------------------------------------|----------------|----------------------|
| Não impactado a muito pouco degradado | 1              | 0 – 1,50             |
| Pouco degradado                       | 2              | 1,51 – 2,50          |
| Moderadamente degradado               | 3              | 2,51 – 3,50          |
| Criticamente degradado a poluído      | 4              | 3,51 – 4,50          |
| Muito poluído                         | 5              | 4,51 – 5,50          |
| Extremamente poluído                  | 6              | > 5,51               |

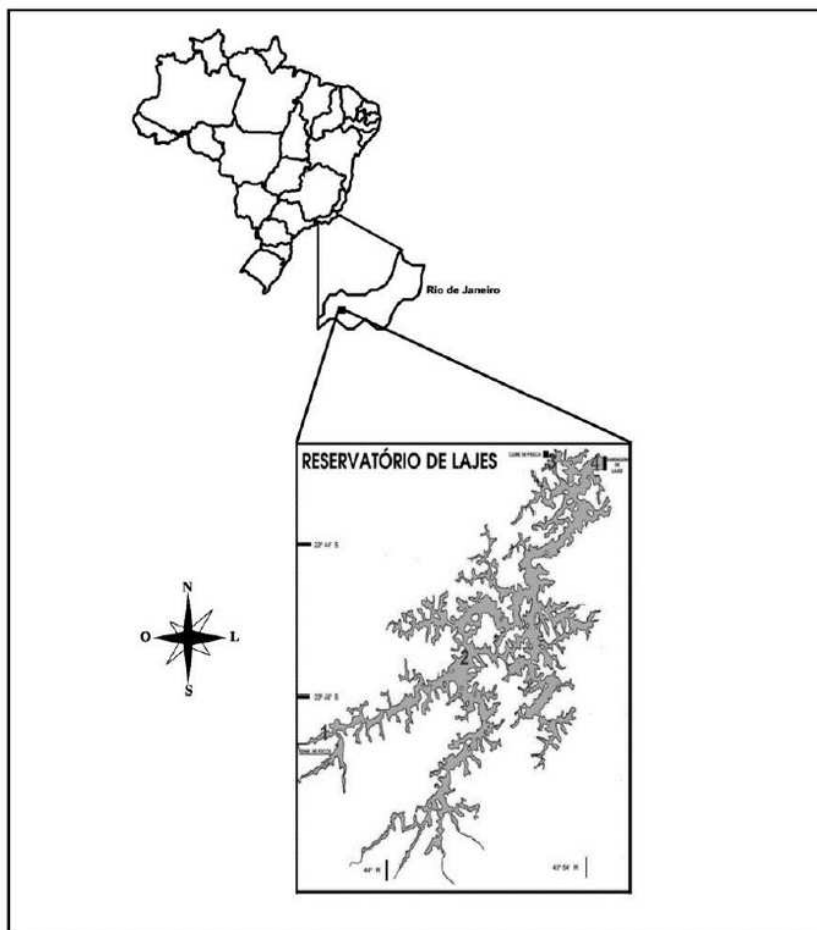
Fonte: IAP, 2017.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O Reservatório de Ribeirão das Lajes (Figura 2) está localizado no sudeste do Brasil, em uma região de clima tropical entre as vertentes da Serra do Mar e os municípios de Rio Claro e Piraí, no estado do Rio de Janeiro, estando a uma distância de aproximadamente 80 Km da cidade do Rio de Janeiro.

Figura 2 - Mapa e localização geográfica do reservatório de Ribeirão das Lajes



Fonte: Gomes, 2005.

A construção do Reservatório de Lajes iniciou em 1905, foi concluída em 1908 e foi feita a partir do barramento do Ribeirão das Lajes. A bacia contribuinte tem uma área de 326

km<sup>2</sup> (Figura 4). É um importante reservatório de água doce do Estado do Rio de Janeiro, com um volume útil de 445,3 hm<sup>3</sup> (Profill/Agevap, 2017).

O Reservatório de Lajes está contido no complexo de reservatórios da Light Serviços de Eletricidade S.A. (Figura 3), tendo importância estratégica para a geração de energia elétrica, sendo este complexo de usinas responsável por fornecer 78% de toda a energia elétrica consumida no Estado do Rio de Janeiro. O reservatório também se destaca pela sua importância, pela sua significativa contribuição ao sistema de abastecimento público de água através da concessionária de águas e esgotos (CEDAE), sendo captados 5,5 m<sup>3</sup>/s para o abastecimento de 1,6 milhão de habitantes distribuídos em 7 municípios: Itaguaí, Japeri, Paracambi, Piraí, Queimados, Rio de Janeiro e Seropédica.

Figura 3 - Localização do Reservatório de Lajes dentro do Complexo de estruturas da LIGHT

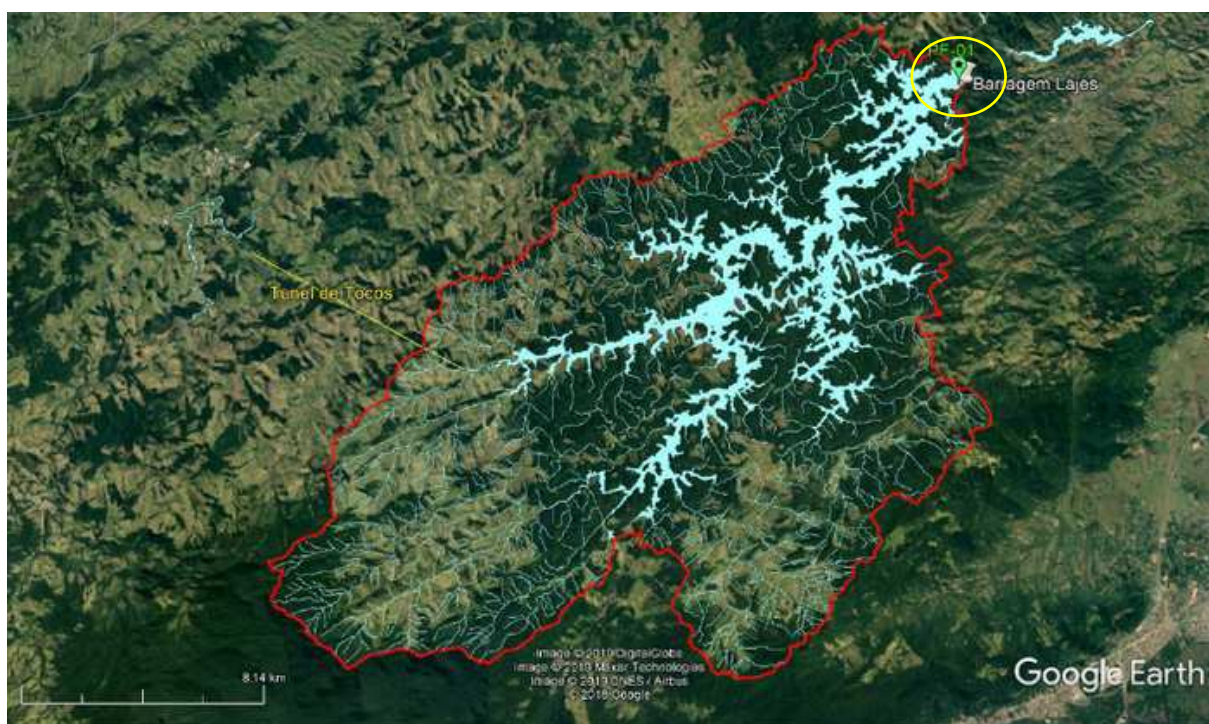


Fonte: Adaptado de Profill/Agevap, 2017.

Além da produção de energia elétrica e captação de água para abastecimento público através da captação da CEDAE (Calha CEDAE), o reservatório possui diversos usos: abriga uma captação de água que abastece a fábrica da AMBEV, a estação de tratamento de água do município de Piraí, possui um clube de pesca adjacente, onde as pessoas utilizam o reservatório como fonte de lazer e pesca esportiva, e abriga uma piscicultura de tilápia, em formato tanques-rede.

O ponto amostral (PF-01) escolhido para o presente estudo está localizado próximo a barragem (43°51'47"O, 22°41'30"S). Este ponto é caracterizado pelas maiores profundidades e é também o ponto em que as águas possuem menor velocidade em função da proximidade do barramento (Figura 4).

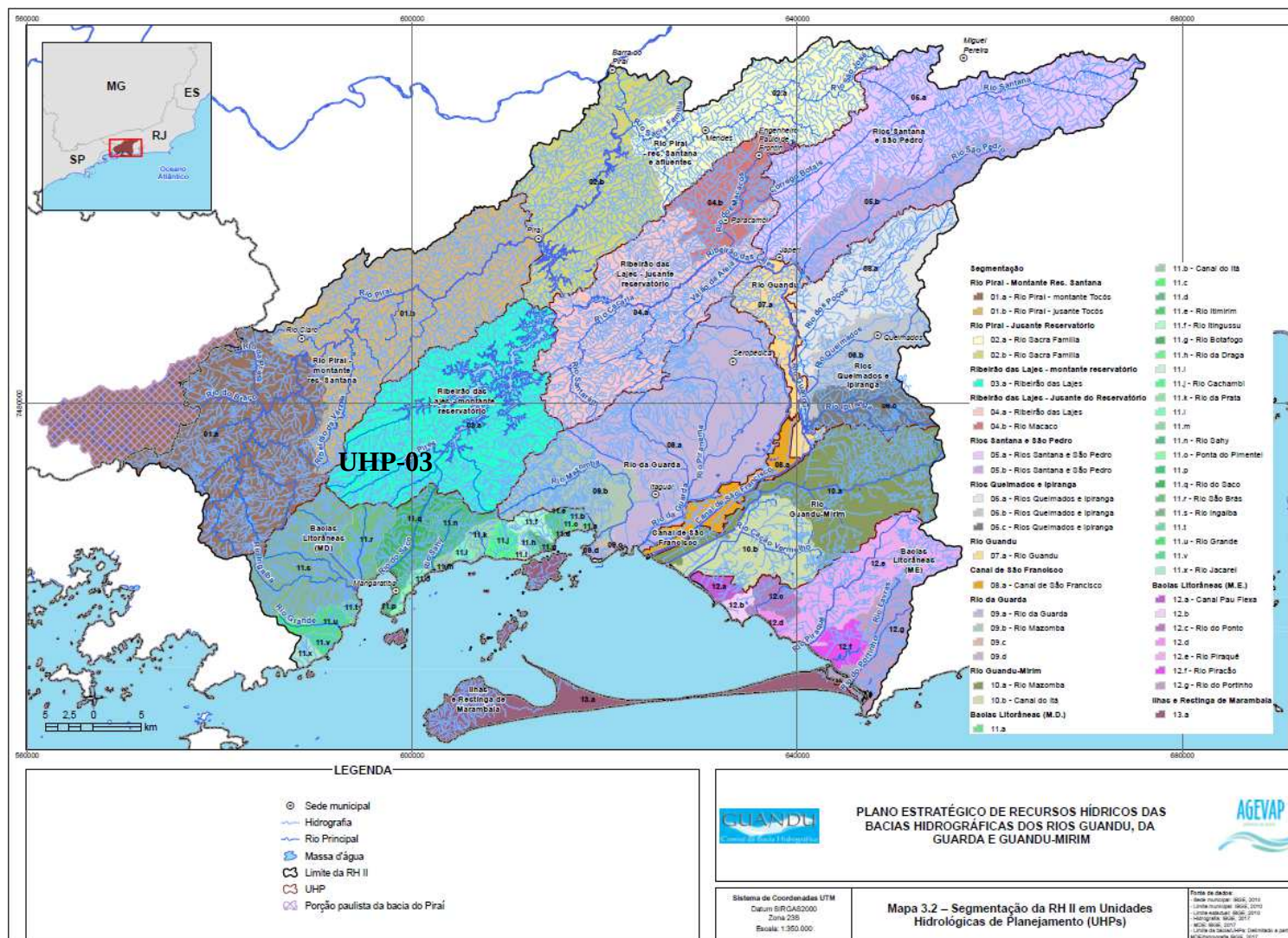
Figura 4 - Imagem de satélite da bacia hidrográfica do Reservatório de Ribeirão das Lajes. Linha vermelha – limite da Bacia Hidrográfica do reservatório de Lajes. Ponto PF-01 (em verde) - Ponto de monitoramento



Fonte: Google Earth - Adaptado por Friedrich Herms, 2019.

A Bacia do Ribeirão das Lajes, é uma sub-bacia do Rio Guandu. Devido a sua importância estratégica para o abastecimento de água de toda a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, foi definida como uma das 13 Unidades Hidrográficas de Planejamento (UHP) (Profill/Agevap, 2017). A UHP-03 (Figura 5), na qual foi inserida, engloba toda a área de contribuição do Reservatório de Lajes, incluindo os afluentes e a área alagada (Figura 4).

Figura 5 - Unidades Hidrológicas de Planejamento da Região Hidrográfica II



Fonte: Adaptado de Profill/Agevap, 2017.

### 3.1.1 Clima

O clima predominante na região do reservatório é classificado como tropical úmido com valores de temperatura média anual entre 20°C e 27°C, apresentando elevados índices pluviométricos, com média anual variando de 1000 mm a 2300 mm. Através do levantamento feito entre 1942-2006 com os dados oriundos da microestação de monitoramento em Piraí, os meses mais chuvosos são dezembro, janeiro e fevereiro, que apresentaram volumes médios de precipitação acumulada de 203,2; 227,3 e 181,0 mm, respectivamente. O volume médio de precipitação anual é de 1298,5 mm (Profill/Agevap, 2017).

As médias das temperaturas máximas neste mesmo período foram 30,8°C; 31,0°C e 30,2°C, nos meses de janeiro, fevereiro e março, respectivamente, enquanto as médias das temperaturas mínimas foram 12,4°C; 11,6°C e 12,6°C nos meses de junho, julho e agosto, respectivamente. Ao longo do ano, as médias das temperaturas máximas e as médias das temperaturas mínimas são de 27,8°C e 16°C, respectivamente (Profill/Agevap, 2017).

Em um estudo mais recente, segundo levantamento feito por Teixeira (2020) os microclimas da região de Resende e Seropédica tem uma influência significativa nas características do reservatório. Teixeira (2020) avaliou que o setor Oeste – Noroeste do reservatório de Lajes é ligeiramente mais frio que o Sudeste – Leste, o Setor Oeste-Noroeste é mais chuvoso que o eixo Leste-Sudeste, sendo os valores extremos de temperatura registrados em Seropédica e a estação seca (inverno) apresentando valores médios mensais baixos de precipitação acumulada (inferiores a 50mm).

### 3.1.2 Hidrografia

Os principais cursos de água da bacia de contribuição do reservatório de Lajes são os rios Pires, Bálsamo, Ponte de Zinco, Passa Vinte, da Prata e Palmeiras e ainda pelas águas do Rio Piraí, que nela chegam através de um túnel de 8.430m (Túnel de Tocos, Figuras 3 e 4) que transpassa a Serra dos Cristais, que é o divisor de águas. A quantidade de água que chega no reservatório proveniente dos rios exclusivamente da bacia é estimada em 5,7 m<sup>3</sup>/s (UERJ, 2019).

O vertimento máximo é de 27 m<sup>3</sup>/s e o médio de 12,8 m<sup>3</sup>/s, sendo essa vazão variável conforme as condições operacionais e climáticas de acordo com a época do ano. As águas represadas no Reservatório de Lajes são utilizadas para movimentar as turbinas das usinas de Fontes Velha e Fontes Nova.

O formato do reservatório é dendrítico, contendo diversos braços e ilhas, seu comprimento e largura máxima, são 20 km e 5 km, respectivamente. O reservatório abrange uma área de 30 km<sup>2</sup> na cota de 415 metros, com perímetro aproximado de 230 km. O nível da água mínimo normal se situa na cota de 405 metros e o máximo maximorum na cota de 419 metros. A profundidade média é de 15 metros, havendo locais com profundidades de até 40 metros. O volume de água armazenado é da ordem de 450.000.000 m<sup>3</sup>, com tempo de retenção médio de aproximadamente 282 dias (Profill/Agevap, 2017), o que contribui para a estratificação térmica, em grande parte do ano e química, durante praticamente o ano todo (TEIXEIRA, 2020).

## 4 METODOLOGIA

Para a construção deste estudo e o alcance dos objetivos traçados, as atividades desenvolvidas foram realizadas em seis etapas:

- a) Levantamento bibliográfico – nesta etapa foi realizada a fundamentação teórica.
- b) Coleta de amostras e análises de campo – Foram realizadas, ao longo de janeiro/2018 a janeiro/2019 amostragens em quatro profundidades no ponto PF-01 próximo da barragem do reservatório de Lajes conforme Figura 3. As medições de oxigênio dissolvido, temperatura da água e transparência foram realizadas *in loco*.
- c) Análises em laboratório – As análises para os parâmetros nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3$ ), ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ), fósforo total ( $\text{P}_{\text{tot}}$ ), clorofila- $\alpha$  (Cl- $\alpha$ ), pH, contagem e identificação de cianobactérias, microcistinas, saxitoxina e cilindrospermopsina foram realizadas no laboratório de controle de qualidade de água da CEDAE.
- d) Organização dos dados – Os dados oriundos das medições de campo e os resultados das análises realizadas em laboratório foram tabeladas utilizando os softwares Excel 2016 e Statistica 10.0.
- e) Análise dos dados – nesta etapa foi verificada a quantidade de dados válidos, e os parâmetros que apresentaram poucos dados e/ou grande parte dos dados abaixo do limite de detecção do método (LD).
- f) Análise estatística dos dados – Foi realizado análise estatística descritiva dos resultados, apresentando tabelas e gráficos Box plot. Foram realizadas análises estatísticas para avaliar a distribuição dos dados e testes de significância na comparação dos dados.

#### 4.1 Ponto de coleta

A Figura 6 indica a localização do ponto de coleta PF-01 definido para o desenvolvimento das amostragens, sendo este, próximo à barragem do Reservatório. Esse ponto foi escolhido ( $43^{\circ}51'47''$  O,  $22^{\circ}41'30''$  S), em função de ser o ponto mais próximo à captação de água tomada pela concessionária de águas com fins para abastecimento público.

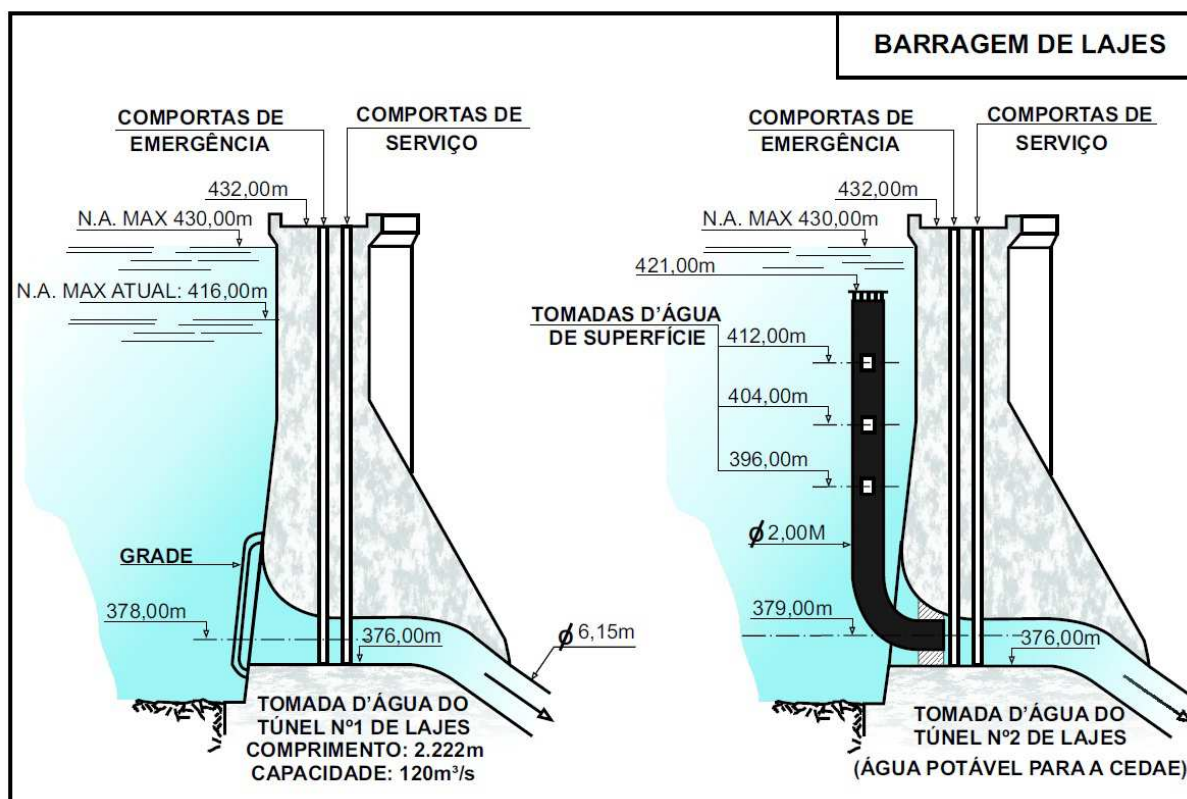
Figura 6 - Imagem da localização onde foi estabelecido o ponto de coleta.



Fonte: Google Earth, 2020. Adaptado pelo Autor, 2019.

Em função da profundidade do reservatório neste ponto, acima de 30 metros, o estudo foi desenvolvido em 4 profundidades de monitoramento: superfície, 5 m, 10 m e 20. Estas profundidades englobam as profundidades das tomadas de água (Figura 7) e permitem uma avaliação da distribuição dos nutrientes e dos gêneros de cianobactérias, na porção da coluna d'água que é captada para o abastecimento público (Calha CEDAE).

Figura 7 - Disposição das comportas de emergência, serviço e da Calha CEDAE da barragem do Reservatório de Lajes.



Fonte: Light.

#### 4.2 Coletas e análises de campo

As amostragens foram realizadas entre os meses de janeiro de 2018 e janeiro de 2019, com frequência semanal. As coletas ocorreram nas profundidades do ponto de monitoramento PF-01: superfície (aproximadamente 30 cm de profundidade), 5 m, 10 m e 20 m, com o objetivo de determinar padrões espaciais e temporais das seguintes variáveis limnológicas: clorofila- $\alpha$ , densidade de cianobactérias, microcistina, saxitoxina, cilindrospermopsina, temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, transparência da água, ortofosfato, fósforo total, amônia, nitrito e nitrato. Todas as amostras foram coletadas em triplicata, exceto as amostras para contagem e identificação de cianobactérias, microcistina, saxitoxina e cilindrospermopsina.

As amostras foram coletadas através da garrafa de Van Dorn de 3L de capacidade.

Figura 8 - Materiais de coleta e de campo utilizado no trabalho (embarcação)



Legenda: A-frascos de coleta para os parâmetros clorofila-*a*, densidade de cianobactérias, microcistina, saxitoxina, cilindrospermopsina, pH, ortofosfato, fósforo total, amônia, nitrito e nitrato; b- frascos disco de secchi; c- oxímetro modelo 550A da fabricante YSI; d- garrafa de Van Dorn de 3L de capacidade.

Fonte: O autor, 2019.

A transparência da água foi medida através do uso do disco de Secchi (Figura 8). A leitura do desaparecimento visual do disco foi realizada, afundando-o na coluna d'água, estando este preso à uma corda graduada. A profundidade do disco de Secchi foi utilizada para avaliação da extensão da zona eufótica, multiplicando-se o valor de sua profundidade por um fator igual a 3 ( $Z_{ds} \times 3$ ). O valor obtido corresponde a 1% da radiação da superfície. (ESTEVES, 1998).

As medições de temperatura da água e o oxigênio dissolvido foram realizadas através do oxímetro modelo 550A da fabricante YSI.

As amostras coletadas para os parâmetros clorofila-*a*, ortofosfato, fósforo total, nitrito, nitrato, amônia, pH, saxitoxina, microcistina, cilindrospermopsina e contagem de cianobactérias foram armazenadas em frascos adequados, previamente descontaminados, preservadas, e transportadas sob refrigeração para o laboratório da CEDAE, onde posteriormente foram conservadas sob temperatura inferior a 4°C até serem analisadas.

As amostras coletadas para análise de ortofosfato e fósforo total foram preservadas com ácido sulfúrico e as amostras coletadas para cianobactérias preservadas com lugol.

#### 4.3 Análises laboratoriais

As amostras coletadas para a determinação das concentrações dos íons nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) foram filtradas através de filtros de 25 mm de diâmetro e porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$  e posteriormente analisadas por cromatografia iônica de ânions. Os resultados foram expressos na forma de N- $\text{NO}_2$  e N- $\text{NO}_3$  em  $\text{mg.L}^{-1}$ . O limite de detecção (LD) para o parâmetro N- $\text{NO}_2$  é de 0,001  $\text{mg.L}^{-1}$  e para o parâmetro N- $\text{NO}_3$  é de 0,002  $\text{mg.L}^{-1}$  (Tabela 8). A metodologia utilizada para análise dos ânions via cromatografia iônica segue os padrões adotados pela APHA; AWWA; WEF (2005).

As concentrações de amônia ( $\text{NH}_3$ ) foram determinadas através de kit da marca Hach modelo TNTplus 830, cuja faixa de concentração é de 0,015 - 2,0  $\text{mg.L}^{-1}$ , sendo os resultados expressos na forma de N- $\text{NH}_3$   $\text{mg.L}^{-1}$ .

As análises de ortofosfato e fósforo total foram realizadas através do método de ácido ascórbico, seguindo a metodologia definida e validada por Rodrigues (2016).

O procedimento experimental para a análise de ortofosfatos e fósforo total são similares, este último é precedido de uma etapa de digestão das amostras com ácido sulfúrico e persulfato de potássio. A digestão foi realizada utilizando forno microondas da marca Anton Paar modelo Multiwave 3000 por 30 minutos à uma potência de 450W. As amostras para análise de ortofosfatos e as amostras digeridas para análise de fósforo total foram separadas retirando-se alíquotas de 5,0 mL, em seguida feito o ajuste de pH utilizando fenolftaleína, adicionando a solução combinada<sup>11</sup>. Dentro do intervalo de 10-30 min após a adição da solução combinada procedeu-se a leitura no espectrofotômetro Hach DR 5000 em um comprimento de onda de 880nm. Os resultados foram expressos nas formas de P- $\text{PO}_4$  e P<sub>total</sub> em  $\text{mg.L}^{-1}$ . O limite de detecção do método é de 0,003  $\text{mg.L}^{-1}$  (Tabela 8).

Para a determinação de pH utilizou-se uma sonda terminal com medidor de bancada da marca Thermo Scientific modelo Orion Versa Star.

---

<sup>11</sup>Solução combinada é uma solução contendo ácido sulfúrico 5N, tartarato de antimônio e potássio, molibdato de amônio e ácido ascórbico 0,1 mol L<sup>-1</sup>.

A concentração de clorofila-*a* foi medida por espectrofotometria de luz visível, seguindo a metodologia estabelecida por APHA; AWWA; WEF (2005). As amostras foram filtradas utilizando filtro de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro com porosidade de 0,45 µm, e posteriormente submetidas a extração utilizando acetona 90% como solvente e armazenados em tubos de ensaio. Após a extração, os tubos contendo os extratos das amostras foram acondicionados sob refrigeração à 4°C pelo período mínimo de 2 horas e máximo de 24 horas. Terminado o período de repouso, os tubos foram centrifugados durante 20 minutos a uma rotação de aproximadamente 3000 rpm. Após a centrifugação, foi realizada a leitura no espectrofotômetro da marca Hach modelo DR 5000. As amostras foram lidas nos comprimentos de onda de 664 e 750 nm, e depois acidificadas com ácido clorídrico 0,1M, após 90 segundos e em seguida, foram lidas novamente nos comprimentos de onda 665 e 750 nm. Os resultados foram expressos em µg.L<sup>-1</sup>. O limite de detecção do método é de 0,67 µg.L<sup>-1</sup>.

A identificação e contagem de cianobactérias foi realizada pelo método de Utermöhl e tem o objetivo de determinar a composição da comunidade de cianobactérias e avaliar suas concentrações relativas. O método de Utermöhl se baseia na concentração de organismos por sedimentação em câmaras de Utermöhl, nas quais a amostra preservada é colocada e levada a uma câmara úmida (caixa de sedimentação), onde repousa o tempo suficiente para a sedimentação de todos os organismos da amostra.

Dependendo da quantidade de organismos e partículas presentes, diferentes volumes de amostra podem ser sedimentados. Amostras com grande concentração de organismos (ex: florações, ambientes lênticos) ou muito turvas são sedimentadas em pequenos volumes (2,5mL) ou até mesmo diluídas caso seja necessário. Amostras com pouca concentração de organismos (ex: ambientes lóticos) podem ser sedimentadas em maiores volumes, com o auxílio de cubetas de sedimentação;

A subamostra é analisada parcialmente, por meio de contagem em transectos ou campos aleatórios, dependendo da quantidade de organismos, com o auxílio de um retículo de Whipple calibrado. O resultado obtido é multiplicado por um fator de conversão apropriado para estimativa do número de células por mL. Esta contagem e identificação foi realizado pelo Laboratório de Controle de Qualidade de Água da CEDAE.

As análises de microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas foram realizadas pelo método de ensaios imunoenzimáticos (ELISA) no laboratório de Controle de Qualidade de Água da CEDAE.

A Tabela 8 apresenta de forma resumida os limites de quantificação de cada metodologia adotada.

Tabela 8 - Parâmetros e limites de detecção utilizados no estudo

| Parâmetro                   | LD    | Unidade                             |
|-----------------------------|-------|-------------------------------------|
| Clorofila <i>a</i>          | 0,67  | $\mu\text{g.L}^{-1}$                |
| Densidade de Cianobactérias | 0     | $\text{cél.mL}^{-1}$                |
| Fósforo total               | 0,003 | $\text{mg.L}^{-1}$ P                |
| Nitrato                     | 0,002 | $\text{mg.L}^{-1}$ N                |
| Nitrito                     | 0,001 | $\text{mg.L}^{-1}$ N                |
| Nitrogênio amoniacal total  | 0,015 | $\text{mg.L}^{-1}$ N                |
| Ortofosfato                 | 0,003 | $\text{mg.L}^{-1}$ P- $\text{PO}_4$ |
| Microcistina                | 0,1   | $\mu\text{g.L}^{-1}$                |
| Saxitoxina                  | 0,02  | $\mu\text{g.L}^{-1}$                |
| Cilindrospermopsina         | 0,05  | $\mu\text{g.L}^{-1}$                |

Fonte: O autor, 2020.

Nesse estudo, as profundidades de coleta foram predefinidas conforme o item 4.1 deste capítulo, portanto, foi utilizado para fins de cálculo as profundidades que mais se aproximaram das profundidades calculadas para utilização do IQAR. Essa aproximação foi possível pela característica do Reservatório de Lajes, que se encontra sempre estratificado quimicamente de forma permanente e altera entre estratificado e não estratificado termicamente nos períodos de verão e inverno, respectivamente, apresentando uma camada superficial de até 5 metros permanentemente misturada abaixo dos 20 m uma camada estável (TEIXEIRA, 2020).

Os dados coletados foram calculados e agrupados por estação climatológica, recebendo um IQAR parcial. O IQAR final foi calculado através da média aritmética dos índices parciais.

O Índice de Estado Trófico (IET) utilizado neste trabalho segue a metodologia adotada pela CETESB (2020), composto pelo Índice de Estado Trófico para o Fósforo IET (PT) e o Índice de Estado Trófico para a Clorofila-*a* IET (CL) modificados por Lamparelli (2004), para reservatórios.

#### 4.4 Avaliação e organização dos dados

Após as etapas de coleta das amostras e as análises laboratoriais, os dados produzidos foram organizados, permitindo calcular os percentuais de dados válidos.

A Tabela 9 relaciona as amostragens realizadas nas diferentes profundidades da coluna d'água no ponto PF-01, em um total de 36 amostragens com monitoramento dos parâmetros clorofila- $\alpha$ , fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, ortofosfato, oxigênio dissolvido, temperatura da água, contagem e identificação de cianobactérias, microcistinas, saxitoxina e cilindrospermopsina totalizando 1578 observações. Além desses parâmetros também foi mensurada a transparência da água.

Tabela 9 - Relação do número de coletas, parâmetros e observações realizadas no ponto de monitoramento PF-01

|                       | Superfície | 5 metros | 10 metros | 20 metros |
|-----------------------|------------|----------|-----------|-----------|
| Total de coletas      | 36         | 36       | 36        | 36        |
| Parâmetros analisados | 13         | 13       | 13        | 13        |
| Número de observações | 418        | 387      | 386       | 387       |

Fonte: O autor, 2020.

Em função da complexidade dos processos de coleta e análises, ocorreram perdas de amostras, ocasionando ausências de dados e, portanto, diferença no número de observações em cada profundidade de monitoramento.

Os 13 parâmetros foram examinados e foi verificada a necessidade de substituição dos resultados inferiores ao LD. Diversos autores realizaram estudos avaliando a metodologia de imputação de um valor arbitrário e pequeno para a substituição do LD (MARTÍN-FERNÁNDEZ; BARCELÓ-VIDAL; PAWLOWSKY-GLAHN, 2003; PALAREA-ALBALADEJO; MARTÍN-FERNÁNDEZ, 2013; MIKŠOVÁ; FILZMOSE; MIDDLETON, 2020). No presente trabalho optou-se pela substituição dos valores menores que o LD pelo valor do LD/2, mais comumente utilizado, para que seja possível realizar as análises estatísticas.

## 4.5 Análises estatísticas

### 4.5.1 Aplicação de testes estatísticos

Para comparação estatística, é necessário avaliar se os dados se encontram normalmente distribuídos ou não. Dados ambientais, como de qualidade da água, de forma geral, não seguem uma distribuição Normal, tornando os testes não-paramétricos mais adequados para a análise de tendência.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, de forma a avaliar o seu padrão de distribuição e depois submetidos aos Testes de Kruskal-Wallis para avaliação da existência de diferenças estatísticas significativas entre as profundidades e a sazonalidade. O primeiro teste de Kruskal-Wallis buscou avaliar se houve diferença significativa entre os resultados de cada parâmetro entre as profundidades da superfície, 5 m, 10 m e 20 m. Posteriormente, foi realizado o teste Kruskal-Wallis avaliando se existiu diferença significativa entre as estações climatológicas para cada parâmetro e dentro de cada estação climatológica, para avaliação da homogeneidade dos dados dentro desses grupos amostrais.

### 4.5.2 Análise descritiva dos resultados

Segundo Naghettini e Pinto (2007), o padrão de distribuição das variáveis pode ser sintetizado através de medidas-resumo, de forma que se permita realizar de forma simples a análise descritiva dos dados. Diversas técnicas estatísticas podem ser empregadas, como por exemplo, a organização tabular dos dados, o cálculo de medidas descritivas (média, desvio padrão, mediana etc.), além da descrição gráfica dos dados.

Nesse estudo, optou-se na apresentação dos dados e dos resultados através de gráficos Box plot (também chamados de diagramas Box plot). Este tipo de gráfico, é um dispositivo conciso e útil para resumir um conjunto de dados, apresentando visualmente a mediana dos dados, o intervalo entre os quartis e os valores outliers presentes na série.

Os diagramas Box plot são importantes ferramentas para fornecer uma visão geral do valor central da dispersão, da assimetria, das caudas e os pontos discordantes. A dispersão é observada pela amplitude inter-quartis e o valor central pela mediana.

Para todas as séries de dados de qualidade de água foram gerados os gráficos Box plot, agrupados por parâmetro de modo que fosse possível observar as variações nos seus valores em todas as profundidades coletadas.

Foram apresentados, também, na forma de tabela, para cada parâmetro, em cada profundidade, os resultados estatísticos básicos: mediana, máximo e mínimo.

Para avaliar o comportamento temporal ao longo do perfil da coluna d'água, foram feitos gráficos em linhas contendo todas as amostragens, por profundidade, para os parâmetros: oxigênio dissolvido e temperatura. Para avaliação da densidade de cianobactérias optou-se pelo gráfico em barras.

Foram identificados os gêneros de cianobactérias e apresentados, avaliando a densidade relativa das espécies predominantes e sua distribuição sazonal, através de gráfico Box plot.

## 5 RESULTADOS

Os resultados do monitoramento do reservatório de Lajes, utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa, cuja amostragens ocorreram através de coletas semanais compreendidas entre janeiro de 2018 e janeiro de 2019, totalizaram, originalmente, 36 coletas, 14 parâmetros (Tabela 10) e 1578 observações.

Tabela 10 - Nome, notação de referência e unidade dos parâmetros estudados, presentes no banco de dados

| Parâmetro                       | Notação de Referência       | Unidade                      |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Clorofila- <i>a</i>             | Cl- <i>a</i>                | $\mu\text{g.L}^{-1}$         |
| Densidade de Cianobactérias     |                             | $\text{cél.mL}^{-1}$         |
| Fósforo total                   | $P_T$                       | $\text{mg.L}^{-1} \text{ P}$ |
| Microcistinas                   | MC                          | $\mu\text{g.L}^{-1}$         |
| Nitrato                         | $\text{N-NO}_3^-$           | $\text{mg.L}^{-1} \text{ N}$ |
| Nitrito                         | $\text{N-NO}_2^-$           | $\text{mg.L}^{-1} \text{ N}$ |
| Nitrogênio amoniacal total      | $\text{N-NH}_4^+ \text{ T}$ | $\text{mg.L}^{-1} \text{ N}$ |
| Oxigênio dissolvido (saturação) | $\text{OD}_{\text{SAT}}$    | $\% \text{ O}_2$             |
| Ortofosfato                     | $\text{P-PO}_4$             | $\text{mg.L}^{-1} \text{ P}$ |
| Saxitoxina                      | STX                         | $\mu\text{g.L}^{-1}$         |
| Cilindrospermopsina             | CYN                         | $\mu\text{g.L}^{-1}$         |
| pH                              | pH                          |                              |
| Profundidade do disco de Secchi | $D_{\text{SEC}}$            | m                            |
| Temperatura da água             | $T_{\text{H}_2\text{O}}$    | $^{\circ}\text{C}$           |

Fonte: O autor, 2020.

### 5.1 Análise Estatística

#### 5.1.1 Teste de Normalidade

Para todos os parâmetros das séries de dados aplicou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk, cujos resultados para as diferentes profundidades monitoradas estão apresentados na Tabela 12. Cerca de 85% dos testes realizados, considerando os diferentes parâmetros de qualidade de água e as profundidades monitoradas, rejeitaram a hipótese de distribuição normal (os valores p-value nos testes supracitados apresentaram-se inferiores a 0,05, sendo este, valor do nível de significância abaixo do qual rejeita-se a hipótese nula de normalidade).

Neste contexto, os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis constituem alternativa metodológica adequada para a análise de testes de significância entre os grupos amostrais.

Tabela 11 - Testes de normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 5% para os pontos monitorados

| Parâmetro                   | p value                |                        |                        |                        |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                             | Superfície             | 5 metros               | 10 metros              | 20 metros              |
| Clorofila- $\alpha$         | $3,35 \times 10^{-03}$ | $2,00 \times 10^{-02}$ | $8,90 \times 10^{-04}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| Densidade de cianobactérias | $4,06 \times 10^{-04}$ | $3,20 \times 10^{-03}$ | $9,82 \times 10^{-04}$ | $3,89 \times 10^{-06}$ |
| Fósforo Total               | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ | $2,30 \times 10^{-04}$ |
| Ortofosfato                 | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| Nitrato                     | $1,49 \times 10^{-03}$ | $1,06 \times 10^{-03}$ | $2,77 \times 10^{-02}$ | $5,44 \times 10^{-02}$ |
| Nitrito                     | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ | $3,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| Nitrogênio Amoniacal        | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| OD <sub>SAT</sub>           | $4,83 \times 10^{-01}$ | $2,41 \times 10^{-01}$ | $1,12 \times 10^{-02}$ | $5,45 \times 10^{-02}$ |
| pH                          | $1,76 \times 10^{-01}$ | $1,49 \times 10^{-02}$ | $6,12 \times 10^{-03}$ | $1,90 \times 10^{-03}$ |
| Temperatura da água         | $1,96 \times 10^{-01}$ | $1,87 \times 10^{-02}$ | $3,61 \times 10^{-04}$ | $3,38 \times 10^{-03}$ |

Legenda: Os valores que apresentaram p-value <0,05 foram destacados em vermelho.

Fonte: O autor, 2020.

### 5.1.2 Teste de Kruskal-Wallis

Após verificar a normalidade, foram aplicados os testes Kruskal-Wallis para verificar a homogeneidade dos resultados destes parâmetros em relação à profundidade do reservatório. Cada parâmetro foi testado para que seja possível identificar se há ou não diferenças significativas na distribuição dos dados entre as profundidades, conforme a Tabela 13.

Tabela 12 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade dos dados entre as profundidades no ponto PF-01.

| Parâmetro                   | Kruskal-Wallis         |
|-----------------------------|------------------------|
|                             | p value                |
| Clorofila- $\alpha$         | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| Densidade de cianobactérias | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| Fósforo Total               | $8,65 \times 10^{-01}$ |
| Ortofosfato                 | $8,35 \times 10^{-01}$ |
| Nitrato                     | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| Nitrito                     | $5,07 \times 10^{-02}$ |
| Nitrogênio Amoniacal        | $2,25 \times 10^{-01}$ |
| OD <sub>SAT</sub>           | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| pH                          | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| Temperatura da água         | $1,00 \times 10^{-05}$ |
| <i>Aphanocapsa</i>          | $1,00 \times 10^{-04}$ |

|                                        |                        |
|----------------------------------------|------------------------|
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | 3,50x10 <sup>-03</sup> |
| <i>Limnococcus</i>                     | 1,00x10 <sup>-05</sup> |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | 1,00x10 <sup>-05</sup> |

Legenda: Os valores que apresentaram p-value <0,05 foram destacados em vermelho.

Fonte: O autor, 2020.

Os parâmetros densidade de cianobactérias, clorofila- $\alpha$ , nitrato, saturação de oxigênio, pH, temperatura da água apresentaram p-value inferiores a 0,05 indicando que há diferença significativa na distribuição dos dados em relação à profundidade de coleta. Os gêneros de cianobactérias *Aphanocapsa*, *Planktolyngbya limnetica*, *Limnococcus* e *Lemmermanniella/Epigloeosphaera*, também apresentaram diferenças significativas em relação à sua distribuição na coluna d'água no ponto PF-01.

As Tabelas 14-18 apresentam os resultados dos testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% de cada parâmetro, em cada profundidade em relação à estação climatológica (as tabelas com os p-value são apresentadas no Apêndice A). Os parâmetros que tiveram diferenças significativas entre as estações climatológicas, foram submetidos a um novo teste de Kruskal-Wallis em cada estação climatológica para avaliação da homogeneidade dos dados em relação à sazonalidade.

Tabela 13 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade

| Parâmetro                              | Profundidade | p value    |          |          |          |
|----------------------------------------|--------------|------------|----------|----------|----------|
|                                        |              | Superfície | 5 m      | 10 m     | 20 m     |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | Superfície   | -          | 1,000000 | 1,000000 | 0,000702 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 1,000000 | 0,000868 |
|                                        | 10 m         | 1,000000   | 1,000000 | -        | 0,005166 |
|                                        | 20 m         | 0,000702   | 0,000868 | 0,005166 | -        |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | Superfície   | -          | 1,000000 | 1,000000 | 0,012498 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 1,000000 | 0,015658 |
|                                        | 10 m         | 1,000000   | 1,000000 | -        | 0,524389 |
|                                        | 20 m         | 0,012498   | 0,015658 | 0,524389 | -        |
| <i>Limnococcus</i>                     | Superfície   | -          | 1,000000 | 1,000000 | 0,000240 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 0,625580 | 0,000021 |
|                                        | 10 m         | 1,000000   | 0,625580 | -        | 0,015227 |
|                                        | 20 m         | 0,000240   | 0,000021 | 0,015227 | -        |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | Superfície   | -          | 1,000000 | 0,070386 | 0,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 0,008928 | 0,000000 |
|                                        | 10 m         | 0,070386   | 0,008928 | -        | 0,000005 |
|                                        | 20 m         | 0,000000   | 0,000000 | 0,000005 | -        |
| Temperatura da água                    | Superfície   | -          | 1,000000 | 0,002519 | 0,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 0,186653 | 0,000002 |
|                                        | 10 m         | 0,002519   | 0,186653 | -        | 0,016864 |
|                                        | 20 m         | 0,000000   | 0,000002 | 0,016864 | -        |
| pH                                     | Superfície   | -          | 1,000000 | 0,000022 | 0,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 0,000009 | 0,000000 |
|                                        | 10 m         | 0,000022   | 0,000009 | -        | 0,060811 |
|                                        | 20 m         | 0,000000   | 0,000000 | 0,060811 | -        |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Superfície   | -          | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 1,000000 | 1,000000 |
|                                        | 10 m         | 1,000000   | 1,000000 | -        | 0,880564 |
|                                        | 20 m         | 1,000000   | 1,000000 | 0,880564 | -        |
| Nitrito                                | Superfície   | -          | 1,000000 | 0,353290 | 1,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 0,353290 | 1,000000 |
|                                        | 10 m         | 0,353290   | 0,353290 | -        | 1,000000 |
|                                        | 20 m         | 1,000000   | 1,000000 | 1,000000 | -        |
| Nitrato                                | Superfície   | -          | 1,000000 | 0,006023 | 0,000437 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 0,003022 | 0,000194 |
|                                        | 10 m         | 0,006023   | 0,003022 | -        | 1,000000 |
|                                        | 20 m         | 0,000437   | 0,000194 | 1,000000 | -        |
| Fósforo Total                          | Superfície   | -          | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 1,000000 | 1,000000 |
|                                        | 10 m         | 1,000000   | 1,000000 | -        | 1,000000 |
|                                        | 20 m         | 1,000000   | 1,000000 | 1,000000 | -        |
| Ortofosfato                            | Superfície   | -          | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 1,000000 | 1,000000 |
|                                        | 10 m         | 1,000000   | 1,000000 | -        | 1,000000 |
|                                        | 20 m         | 1,000000   | 1,000000 | 1,000000 | -        |
| Clorofila- $\alpha$                    | Superfície   | -          | 0,527048 | 1,000000 | 0,000300 |
|                                        | 5 m          | 0,527048   | -        | 0,080097 | 0,000000 |
|                                        | 10 m         | 1,000000   | 0,080097 | -        | 0,006897 |
|                                        | 20 m         | 0,000300   | 0,000000 | 0,006897 | -        |
| Densidade de cianobactérias            | Superfície   | -          | 1,000000 | 0,161724 | 0,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 0,051396 | 0,000000 |
|                                        | 10 m         | 0,161724   | 0,051396 | -        | 0,000000 |
|                                        | 20 m         | 0,000000   | 0,000000 | 0,000000 | -        |
| OD <sub>SAT</sub>                      | Superfície   | -          | 1,000000 | 0,000000 | 0,000000 |
|                                        | 5 m          | 1,000000   | -        | 0,000005 | 0,000000 |
|                                        | 10 m         | 0,000000   | 0,000005 | -        | 0,001447 |
|                                        | 20 m         | 0,000000   | 0,000000 | 0,001447 | -        |

Legenda: Os valores que apresentaram p-value <0,05 foram destacados em vermelho. Fonte: O autor, 2020.

Tabela 14 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade.

| Parâmetro                              | Estação climatológica | p value  |          |          |           |
|----------------------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|
|                                        |                       | Verão    | Outono   | Inverno  | Primavera |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | Verão                 | -        | 0,042419 | 1,000000 | 0,786106  |
|                                        | Outono                | 0,042419 | -        | 0,040816 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,040816 | -        | 0,712605  |
|                                        | Primavera             | 0,786106 | 1,000000 | 0,712605 | -         |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,000325 | 0,000857  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,030529 | 0,069451  |
|                                        | Inverno               | 0,000325 | 0,030529 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,000857 | 0,069451 | 1,000000 | -         |
| <i>Limnococcus</i>                     | Verão                 | -        | 0,457250 | 0,464219 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,457250 | -        | 0,002524 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,464219 | 0,002524 | -        | 0,021992  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 0,021992 | -         |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | Verão                 | -        | 0,050995 | 1,000000 | 0,033212  |
|                                        | Outono                | 0,050995 | -        | 0,498183 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,498183 | -        | 0,348537  |
|                                        | Primavera             | 0,033212 | 1,000000 | 0,348537 | -         |
| Temperatura da água                    | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,000032 | 0,022594  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,001532 | 0,317140  |
|                                        | Inverno               | 0,000032 | 0,001532 | -        | 0,492182  |
|                                        | Primavera             | 0,022594 | 0,317140 | 0,492182 | -         |
| pH                                     | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,097526 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,284340 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,097526 | 0,284340 | -        | 0,050957  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 0,050957 | -         |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Verão                 | -        | 0,777852 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,777852 | -        | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| Nitrito                                | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,447130 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,155273 | 0,951222  |
|                                        | Inverno               | 0,447130 | 0,155273 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,951222 | 1,000000 | -         |
| Nitrato                                | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,049653 | 0,327154  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,008837 | 0,072921  |
|                                        | Inverno               | 0,049653 | 0,008837 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,327154 | 0,072921 | 1,000000 | -         |
| Fósforo Total                          | Verão                 | -        | 0,568351 | 0,678637 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,568351 | -        | 0,007131 | 0,515997  |
|                                        | Inverno               | 0,678637 | 0,007131 | -        | 0,739934  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,515997 | 0,739934 | -         |
| Ortofosfato                            | Verão                 | -        | 0,814276 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,814276 | -        | 0,166373 | 0,138391  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,166373 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,138391 | 1,000000 | -         |
| Clorofila- $\alpha$                    | Verão                 | -        | 0,006711 | 1,000000 | 0,169885  |
|                                        | Outono                | 0,006711 | -        | 0,122969 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,122969 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,169885 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| Densidade de cianobactérias            | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,032398 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,000803 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,032398 | 0,000803 | -        | 0,016829  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 0,016829 | -         |
| OD <sub>SAT</sub>                      | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,001277 | 0,293908  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,001473 | 0,353322  |
|                                        | Inverno               | 0,001277 | 0,001473 | -        | 0,437564  |
|                                        | Primavera             | 0,293908 | 0,353322 | 0,437564 | -         |

ponto PF-01

Legenda: Os valores que apresentaram p-value &lt;0,05 foram destacados em vermelho. Fonte: O autor, 2020.

Tabela 15 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade.

| Parâmetro                              | Estação climatológica | p value  |          |          |           |
|----------------------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|
|                                        |                       | Verão    | Outono   | Inverno  | Primavera |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | Verão                 | -        | 0,309627 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,309627 | -        | 0,941166 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,941166 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| <i>Planktolingbya limnetica</i>        | Verão                 | -        | 0,623412 | 0,000034 | 0,000518  |
|                                        | Outono                | 0,623412 | -        | 0,012778 | 0,097824  |
|                                        | Inverno               | 0,000034 | 0,012778 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,000518 | 0,097824 | 1,000000 | -         |
| <i>Limnococcus</i>                     | Verão                 | -        | 0,418722 | 0,407246 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,418722 | -        | 0,001722 | 0,851004  |
|                                        | Inverno               | 0,407246 | 0,001722 | -        | 0,188668  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,851004 | 0,188668 | -         |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | Verão                 | -        | 0,716304 | 1,000000 | 0,658139  |
|                                        | Outono                | 0,716304 | -        | 0,556763 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,556763 | -        | 0,512557  |
|                                        | Primavera             | 0,658139 | 1,000000 | 0,512557 | -         |
| Temperatura da água                    | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,000044 | 0,004944  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,000682 | 0,045276  |
|                                        | Inverno               | 0,000044 | 0,000682 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,004944 | 0,045276 | 1,000000 | -         |
| pH                                     | Verão                 | -        | 0,790819 | 0,010745 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,790819 | -        | 0,445787 | 0,878069  |
|                                        | Inverno               | 0,010745 | 0,445787 | -        | 0,011007  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,878069 | 0,011007 | -         |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Verão                 | -        | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| Nitrito                                | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,103050 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,086375 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,103050 | 0,086375 | -        | 0,490789  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 0,490789 | -         |
| Nitrato                                | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,032442 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,001561 | 0,285716  |
|                                        | Inverno               | 0,032442 | 0,001561 | -        | 0,762593  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,285716 | 0,762593 | -         |
| Fósforo Total                          | Verão                 | -        | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,820119 | 0,938282  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,820119 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,938282 | 1,000000 | -         |
| Ortofosfato                            | Verão                 | -        | 1,000000 | 1,000000 | 0,952252  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,574480 | 0,124116  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,574480 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,952252 | 0,124116 | 1,000000 | -         |
| Clorofila- $\alpha$                    | Verão                 | -        | 0,001314 | 0,006195 | 0,290750  |
|                                        | Outono                | 0,001314 | -        | 1,000000 | 0,714462  |
|                                        | Inverno               | 0,006195 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,290750 | 0,714462 | 1,000000 | -         |
| Densidade de cianobactérias            | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,078304 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,004402 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,078304 | 0,004402 | -        | 0,111988  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 0,111988 | -         |
| OD <sub>SAT</sub>                      | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,012339 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,012356 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,012339 | 0,012356 | -        | 0,179864  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 0,179864 | -         |

profundidade de 5 m no ponto PF-01

Legenda: Os valores que apresentaram p-value &lt;0,05 foram destacados em vermelho. Fonte: O autor, 2020.

Tabela 16 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade

| Parâmetro                              | Estação climatológica | p value         |                 |                 |                 |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                        |                       | Verão           | Outono          | Inverno         | Primavera       |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | Verão                 | -               | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | 0,577476        | 1,000000        |
|                                        | Inverno               | 1,000000        | 0,577476        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        | -               |
| <i>Planktolingbya limnetica</i>        | Verão                 | -               | 0,478163        | <b>0,000709</b> | <b>0,001281</b> |
|                                        | Outono                | 0,478163        | -               | 0,148177        | 0,244382        |
|                                        | Inverno               | <b>0,000709</b> | 0,148177        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | <b>0,001281</b> | 0,244382        | 1,000000        | -               |
| <i>Limnococcus</i>                     | Verão                 | -               | 0,310454        | <b>0,003837</b> | <b>0,018877</b> |
|                                        | Outono                | 0,310454        | -               | 0,640067        | 1,000000        |
|                                        | Inverno               | <b>0,003837</b> | 0,640067        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | <b>0,018877</b> | 1,000000        | 1,000000        | -               |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | Verão                 | -               | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | 1,000000        | 0,432709        |
|                                        | Inverno               | 1,000000        | 1,000000        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 1,000000        | 0,432709        | 1,000000        | -               |
| Temperatura da água                    | Verão                 | -               | 1,000000        | <b>0,009578</b> | <b>0,002156</b> |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | <b>0,003373</b> | <b>0,000617</b> |
|                                        | Inverno               | <b>0,009578</b> | <b>0,003373</b> | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | <b>0,002156</b> | <b>0,000617</b> | 1,000000        | -               |
| pH                                     | Verão                 | -               | 1,000000        | 0,076960        | <b>0,007947</b> |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | 0,265898        | <b>0,034308</b> |
|                                        | Inverno               | 0,076960        | 0,265898        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | <b>0,007947</b> | <b>0,034308</b> | 1,000000        | -               |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Verão                 | -               | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Inverno               | 1,000000        | 1,000000        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        | -               |
| Nitrito                                | Verão                 | -               | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | 0,243181        | 0,806811        |
|                                        | Inverno               | 1,000000        | 0,243181        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 1,000000        | 0,806811        | 1,000000        | -               |
| Nitrato                                | Verão                 | -               | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Inverno               | 1,000000        | 1,000000        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        | -               |
| Fósforo Total                          | Verão                 | -               | 1,000000        | 0,275108        | 1,000000        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | <b>0,011166</b> | 0,369298        |
|                                        | Inverno               | 0,275108        | <b>0,011166</b> | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 1,000000        | 0,369298        | 1,000000        | -               |
| Ortofosfato                            | Verão                 | -               | 1,000000        | 0,724219        | 0,658139        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | 0,420933        | 0,369298        |
|                                        | Inverno               | 0,724219        | 0,420933        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 0,658139        | 0,369298        | 1,000000        | -               |
| Clorofila- $\alpha$                    | Verão                 | -               | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Inverno               | 1,000000        | 1,000000        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        | -               |
| Densidade de cianobactérias            | Verão                 | -               | <b>0,049132</b> | 0,050182        | 0,293908        |
|                                        | Outono                | <b>0,049132</b> | -               | 1,000000        | 1,000000        |
|                                        | Inverno               | 0,050182        | 1,000000        | -               | 1,000000        |
|                                        | Primavera             | 0,293908        | 1,000000        | 1,000000        | -               |
| OD <sub>SAT</sub>                      | Verão                 | -               | 1,000000        | <b>0,001849</b> | 0,389633        |
|                                        | Outono                | 1,000000        | -               | <b>0,003220</b> | 0,591853        |
|                                        | Inverno               | <b>0,001849</b> | <b>0,003220</b> | -               | 0,414658        |
|                                        | Primavera             | 0,389633        | 0,591853        | 0,414658        | -               |

profundidade de 10 m no ponto PF-01

Legenda: Os valores que apresentaram p-value &lt;0,05 foram destacados em vermelho. Fonte: O autor, 2020.

Tabela 17 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% para avaliação da homogeneidade

| Parâmetro                              | Estação climatológica | p value  |          |          |           |
|----------------------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|
|                                        |                       | Verão    | Outono   | Inverno  | Primavera |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | Verão                 | -        | 0,047653 | 0,227677 | 0,573439  |
|                                        | Outono                | 0,047653 | -        | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,227677 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,573439 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| <i>Planktolingbya limnetica</i>        | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,165591 | 0,006284  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,479804 | 0,027031  |
|                                        | Inverno               | 0,165591 | 0,479804 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,006284 | 0,027031 | 1,000000 | -         |
| <i>Limnococcus</i>                     | Verão                 | -        | 0,714671 | 0,349617 | 0,180009  |
|                                        | Outono                | 0,714671 | -        | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,349617 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,180009 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | Verão                 | -        | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| Temperatura da água                    | Verão                 | -        | 0,362649 | 0,842068 | 0,032087  |
|                                        | Outono                | 0,362649 | -        | 0,005226 | 0,000013  |
|                                        | Inverno               | 0,842068 | 0,005226 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,032087 | 0,000013 | 1,000000 | -         |
| pH                                     | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,091207 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,016830 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,091207 | 0,016830 | -        | 0,146288  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 0,146288 | -         |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Verão                 | -        | 0,104837 | 1,000000 | 0,557157  |
|                                        | Outono                | 0,104837 | -        | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,557157 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| Nitrito                                | Verão                 | -        | 0,245796 | 1,000000 | 0,549575  |
|                                        | Outono                | 0,245796 | -        | 0,762146 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,762146 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,549575 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| Nitrato                                | Verão                 | -        | 0,190080 | 1,000000 | 0,371773  |
|                                        | Outono                | 0,190080 | -        | 0,014232 | 0,000593  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,014232 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,371773 | 0,000593 | 1,000000 | -         |
| Fósforo Total                          | Verão                 | -        | 0,338814 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,338814 | -        | 0,037843 | 0,068999  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,037843 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,068999 | 1,000000 | -         |
| Ortofosfato                            | Verão                 | -        | 0,803500 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 0,803500 | -        | 0,278888 | 0,052214  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 0,278888 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 0,052214 | 1,000000 | -         |
| Clorofila- $\alpha$                    | Verão                 | -        | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 1,000000 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| Densidade de cianobactérias            | Verão                 | -        | 0,394885 | 0,568093 | 0,018204  |
|                                        | Outono                | 0,394885 | -        | 1,000000 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,568093 | 1,000000 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,018204 | 1,000000 | 1,000000 | -         |
| OD <sub>SAT</sub>                      | Verão                 | -        | 1,000000 | 0,077120 | 0,856941  |
|                                        | Outono                | 1,000000 | -        | 0,808316 | 1,000000  |
|                                        | Inverno               | 0,077120 | 0,808316 | -        | 1,000000  |
|                                        | Primavera             | 0,856941 | 1,000000 | 1,000000 | -         |

profundidade de 20 m no ponto PF-01

Legenda: Os valores que apresentaram p-value &lt;0,05 foram destacados em vermelho. Fonte: O autor, 2020.

Tabela 18 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% nos parâmetros entre as estações climatológicas e por estação climatológica para na superfície da coluna d'água no ponto PF-01

| Parâmetros                             | Superfície                                        |                                      |            |         |            |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|---------|------------|
|                                        | Estação climatológica                             | Testes em cada estação climatológica |            |         |            |
|                                        |                                                   | Diferença significativa              |            |         |            |
|                                        | Diferença significativa - agrupamento por estação | Verão                                | Outono     | Inverno | Primavera  |
| Densidade de cianobactérias            | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não     | <b>Sim</b> |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não     | <b>Sim</b> |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não     | Não        |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não     | Não        |
| <i>Limnococcus</i>                     | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não     | <b>Sim</b> |
| pH                                     | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não     | Não        |
| Temperatura da água                    | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | <b>Sim</b> | Não     | Não        |
| Nitrato                                | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não     | Não        |
| OD <sub>SAT</sub>                      | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não     | Não        |
| Clorofila- $\alpha$                    | Não                                               | -                                    | -          | -       | -          |
| Nitrito                                | Não                                               | -                                    | -          | -       | -          |
| Fósforo Total                          | Não                                               | -                                    | -          | -       | -          |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Não                                               | -                                    | -          | -       | -          |

Legenda: Os valores que apresentaram diferença significativa (p-value <0,05) foram destacados em vermelho

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 19 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% nos parâmetros entre as estações climatológicas e por estação climatológica para a profundidade de 5 m no ponto PF-01

| Parâmetros                             | 5 metros                                          |                                      |            |            |            |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                        | Estação climatológica                             | Testes em cada estação climatológica |            |            |            |
|                                        |                                                   | Diferença significativa              |            |            |            |
|                                        | Diferença significativa - agrupamento por estação | Verão                                | Outono     | Inverno    | Primavera  |
| Densidade de cianobactérias            | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não        | Não        |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | Não                                               | -                                    | -          | -          | -          |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não        | Não        |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | Não                                               | -                                    | -          | -          | -          |
| <i>Limnococcus</i>                     | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não        | <b>Sim</b> |
| pH                                     | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não        | Não        |
| Temperatura da água                    | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | <b>Sim</b> | <b>Sim</b> | <b>Sim</b> |
| Nitrato                                | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não        | Não        |
| OD <sub>SAT</sub>                      | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não        | Não        | Não        |
| Clorofila- $\alpha$                    | Não                                               | -                                    | -          | -          | -          |
| Nitrito                                | Não                                               | -                                    | -          | -          | -          |
| Fósforo Total                          | Não                                               | -                                    | -          | -          | -          |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Não                                               | -                                    | -          | -          | -          |

Legenda: Os valores que apresentaram diferença significativa (p-value <0,05) foram destacados em vermelho.

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 20 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% nos parâmetros entre as estações climatológicas e por estação climatológica para a profundidade de 10 m no ponto PF-01

| Parâmetros                             | 10 metros                                         |                                      |        |         |           |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|--------|---------|-----------|
|                                        | Estação climatológica                             | Testes em cada estação climatológica |        |         |           |
|                                        | Diferença significativa - agrupamento por estação | Diferença significativa              |        |         |           |
|                                        |                                                   | Verão                                | Outono | Inverno | Primavera |
| Densidade de cianobactérias            | Sim                                               | Não                                  | Não    | Não     | Não       |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | Não                                               | -                                    | -      | -       | -         |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | Sim                                               | Não                                  | Não    | Não     | Sim       |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | Não                                               | -                                    | -      | -       | -         |
| <i>Limnococcus</i>                     | Sim                                               | Não                                  | Não    | Não     | Não       |
| pH                                     | Sim                                               | Não                                  | Não    | Não     | Não       |
| Temperatura da água                    | Sim                                               | Não                                  | Sim    | Não     | Não       |
| Nitrato                                | Não                                               | -                                    | -      | -       | -         |
| OD <sub>SAT</sub>                      | Sim                                               | Não                                  | Não    | Não     | Sim       |
| Clorofila- $\alpha$                    | Não                                               | -                                    | -      | -       | -         |
| Nitrito                                | Não                                               | -                                    | -      | -       | -         |
| Fósforo Total                          | Não                                               | -                                    | -      | -       | -         |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Não                                               | -                                    | -      | -       | -         |

Legenda: Os valores que apresentaram diferença significativa (p-value <0,05) foram destacados em vermelho

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 21 - Testes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5% nos parâmetros entre as estações climatológicas e por estação climatológica para a profundidade de 20 m no ponto PF-01

| Parâmetros                             | 20 metros                                         |                                      |        |            |           |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|--------|------------|-----------|
|                                        | Estação climatológica                             | Testes em cada estação climatológica |        |            |           |
|                                        | Diferença significativa - agrupamento por estação | Diferença significativa              |        |            |           |
|                                        |                                                   | Verão                                | Outono | Inverno    | Primavera |
| Densidade de cianobactérias            | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não    | Não        | Não       |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não    | Não        | Não       |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não    | Não        | Não       |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | Não                                               | -                                    | -      | -          | -         |
| <i>Limnococcus</i>                     | Não                                               | -                                    | -      | -          | -         |
| pH                                     | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não    | Não        | Não       |
| Temperatura da água                    | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não    | <b>Sim</b> | Não       |
| Nitrato                                | <b>Sim</b>                                        | Não                                  | Não    | Não        | Não       |
| OD <sub>SAT</sub>                      | Não                                               | -                                    | -      | -          | -         |
| Clorofila- $\alpha$                    | Não                                               | -                                    | -      | -          | -         |
| Nitrito                                | Não                                               | -                                    | -      | -          | -         |
| Fósforo Total                          | Não                                               | -                                    | -      | -          | -         |
| Nitrogênio Amoniacal                   | Não                                               | -                                    | -      | -          | -         |

Legenda: Os valores que apresentaram diferença significativa (p-value <0,05) foram destacados em vermelho.

Fonte: O autor, 2020.

A partir das Tabelas 18-21 é observado que há diferença significativa entre as estações climatológicas (efeito da sazonalidade) em todas as profundidades para alguns parâmetros. Considera-se que todos os parâmetros não apresentaram diferença significativa dentro de cada estação climatológica, uma vez que 92,6% dos testes apresentaram como resultado a homogeneidade dos dados.

## **5.2 Análise Descritiva**

Para a avaliação dos dados foram gerados gráficos Box plot para todas as séries dos parâmetros e os dados foram agrupados por profundidade de coleta no ponto PF-01. A Tabela 22 apresentam o número de valores válidos (N), mediana, mínimo, máximo e o período de ocorrência.

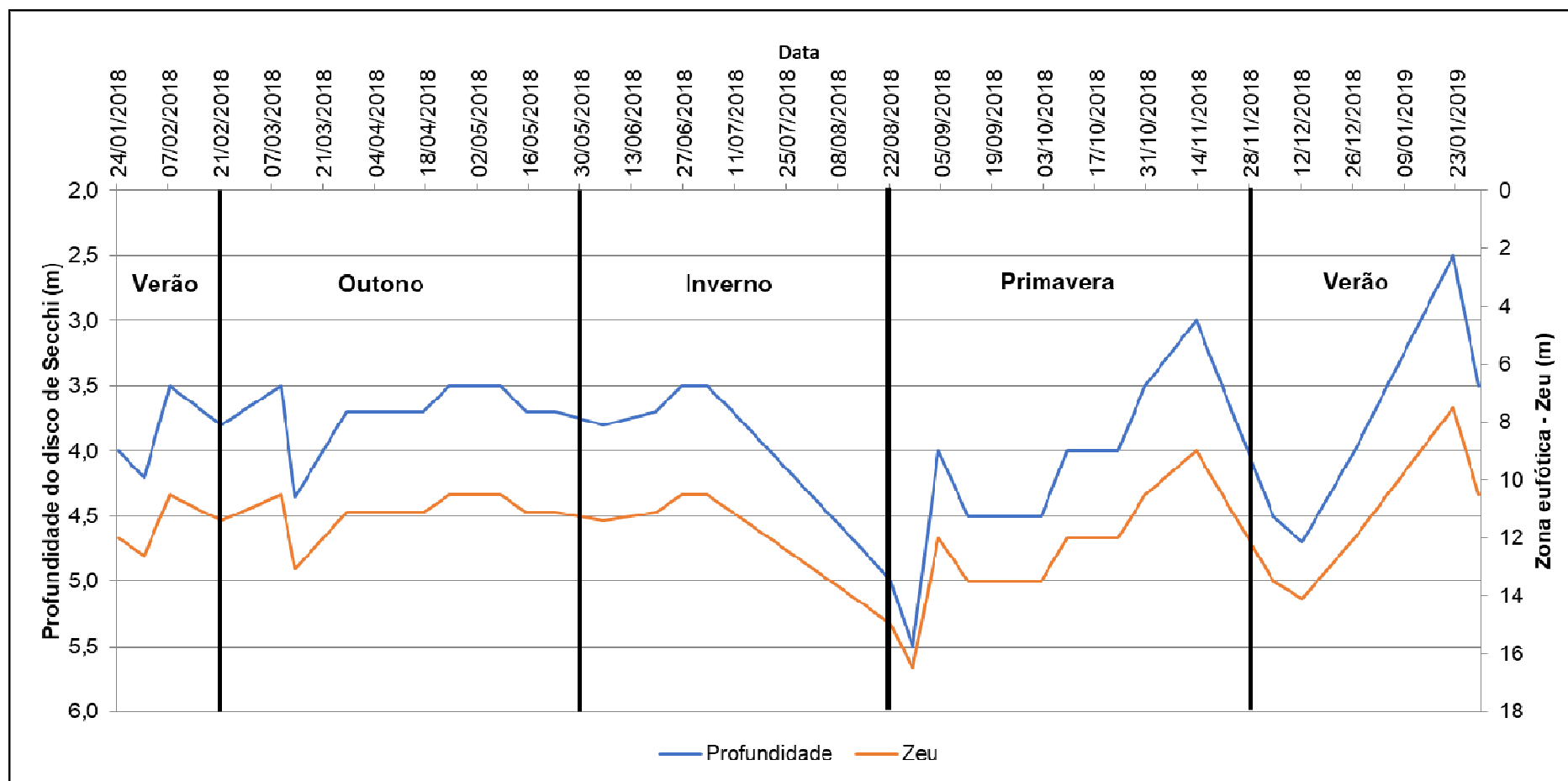
Tabela 22 - Estatística descritiva dos dados das amostras coletadas nas profundidades superfície, 5m, 10m e 20m entre janeiro/2018 e janeiro/2019 no ponto PF-01

| Prof.       | Valores | T <sub>H2O</sub><br>(°C) | pH                  | OD <sub>SAT</sub><br>(% O <sub>2</sub> ) | N-NH <sub>3</sub><br>(mg.L <sup>-1</sup> N) | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>(mg.L <sup>-1</sup> N) | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mg.L <sup>-1</sup> N) | P-PO <sub>4</sub><br>(mg.L <sup>-1</sup> P) | P <sub>T</sub><br>(mg.L <sup>-1</sup> P) | Cl-a<br>(µg.L <sup>-1</sup> )                              | CIAN<br>(cél.mL <sup>-1</sup> ) | MC<br>(µg.L <sup>-1</sup> ) | STX<br>(µg.L <sup>-1</sup> ) | CYN<br>(µg.L <sup>-1</sup> ) |
|-------------|---------|--------------------------|---------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
|             | N       | 36                       | 35                  | 36                                       | 34                                          | 30                                                       | 29                                                       | 36                                          | 36                                       | 34                                                         | 36                              | 28                          | 32                           | 16                           |
|             | Mediana | 26,4                     | 7                   | 80                                       | 0,0075                                      | 0,0003                                                   | 0,021                                                    | 0,002                                       | 0,002                                    | 1,35                                                       | 87835                           | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
|             | Mínimo  | 22                       | 6,4                 | 63,9                                     | 0,0075                                      | 0,0003                                                   | 0,001                                                    | 0,002                                       | 0,002                                    | 0,33                                                       | 15451                           | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
| <b>Sup.</b> | (mês)   | (jun/18<br>-jul/18)      | (jun/18)            | (jun/18)                                 | (jan/18 a<br>jan/19)                        | (jan/18 a jun/18 e<br>ago/18 a jan/19)                   | (fev/18 a mai/18,<br>dez/18 e jan/19)                    | (fev/18, abr/18<br>a jan/19)                | (mai/18 a<br>jan/19)                     | (jan/18,mar/18,<br>jun/18 a<br>ago/18, dez/18<br>e jan/19) | (ago/18)                        | (jan/18 a<br>jan/19)        | (jan/18 a<br>jan/19)         | (jan/18 a<br>jan/19)         |
|             | Máximo  | 32,8                     | 7,4                 | 94,6                                     | 0,059                                       | 0,004                                                    | 0,13                                                     | 0,011                                       | 0,021                                    | 3,14                                                       | 395684                          | 0,344                       | 0,01                         | 0,03                         |
|             | (mês)   | (jan/19)                 | (jan/18)            | (jan/18)                                 | (jan/19)                                    | (jun/18)                                                 | (jun/18)                                                 | (mar/18-<br>abril/18)                       | (mai/18)                                 | (jun/18)                                                   | (nov/18)                        | (jun/18)                    | (jan/18 a<br>jan/19)         | (jan/18 a<br>jan/19)         |
|             | N       | 36                       | 35                  | 36                                       | 34                                          | 30                                                       | 29                                                       | 36                                          | 36                                       | 34                                                         | 36                              | 17                          | 17                           | 12                           |
|             | Mediana | 24,5                     | 7,2                 | 77,8                                     | 0,0075                                      | 0,0003                                                   | 0,032                                                    | 0,002                                       | 0,005                                    | 2,04                                                       | 102447                          | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
|             | Mínimo  | 21,4                     | 6,3                 | 57,3                                     | 0,0075                                      | 0,0003                                                   | 0,001                                                    | 0,002                                       | 0,002                                    | 0,33                                                       | 10077                           | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
| <b>5m</b>   | (mês)   | (ago/18)                 | (jun/18)            | (jun/18)                                 | (jan/18 a<br>jan/19)                        | (jan/18 a jun/18 e<br>ago/18 a jan/19)                   | (fev/18 a mai/18 e<br>jan/19)                            | (abr/18 a<br>jan/19)                        | (mai/18 a<br>set/18, nov/18 a<br>jan/19) | (jan/18,fev/18,<br>ago/18 e<br>jan/19)                     | (jun/18)                        | (jan/18 a<br>jan/19)        | (jan/18 a<br>jan/19)         | (jan/18 a<br>jan/19)         |
|             | Máximo  | 30,6                     | 7,5                 | 91,9                                     | 0,046                                       | 0,004                                                    | 0,121                                                    | 0,011                                       | 0,031                                    | 3,74                                                       | 428596                          | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
|             | (mês)   | (jan/19)                 | (set/18-<br>out/18) | (mar/18)                                 | (jan/19)                                    | (jun/18)                                                 | (jun/18)                                                 | (jun/19)                                    | (abr/18)                                 | (mai/18 e<br>ago/18)                                       | (nov/18)                        | (jan/18 a<br>jan/19)        | (jan/18 a<br>jan/19)         | (jan/18 a<br>jan/19)         |
|             | N       | 36                       | 35                  | 36                                       | 34                                          | 30                                                       | 29                                                       | 36                                          | 36                                       | 33                                                         | 36                              | 17                          | 17                           | 12                           |
|             | Mediana | 22,9                     | 6,5                 | 43,3                                     | 0,0075                                      | 0,0003                                                   | 0,073                                                    | 0,002                                       | 0,002                                    | 1,04                                                       | 41651                           | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
|             | Mínimo  | 21,3                     | 6,2                 | 19,7                                     | 0,0075                                      | 0,0003                                                   | 0,01                                                     | 0,002                                       | 0,002                                    | 0,33                                                       | 6891                            | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
| <b>10m</b>  | (mês)   | (ago/18)                 | (abr/18)            | (dez/18)                                 | (jan/18 a<br>jan/19)                        | (jan/18 a jun/18,<br>ago/18, set/18 e<br>jan/19)         | (fev/18 e jan/19)                                        | (abr/18 a<br>jan/19)                        | (mai/18 a<br>jan/19)                     | (fev/18,abr/18,<br>jun/18,jul/18,<br>dez/18 e jan/19)      | (out/18)                        | (jan/18 a<br>jan/19)        | (jan/18 a<br>jan/19)         | (jan/18 a<br>jan/19)         |
|             | Máximo  | 26,5                     | 7                   | 67,3                                     | 0,032                                       | 0,005                                                    | 0,127                                                    | 0,01                                        | 0,037                                    | 3,28                                                       | 178388                          | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
|             | (mês)   | (abr/18)                 | (mai/18-<br>ago/18) | (set/18)                                 | (dez/19)                                    | (jun/18)                                                 | (fev/18)                                                 | (mar/18-<br>abr/18)                         | (mai/18)                                 | (ago/18)                                                   | (jan/19)                        | (jan/18 a<br>jan/19)        | (jan/18 a<br>jan/19)         | (jan/18 a<br>jan/19)         |
|             | N       | 36                       | 35                  | 36                                       | 34                                          | 30                                                       | 29                                                       | 36                                          | 36                                       | 33                                                         | 36                              | 17                          | 17                           | 12                           |
|             | Mediana | 21,9                     | 6,4                 | 11,5                                     | 0,0075                                      | 0,0003                                                   | 0,103                                                    | 0,002                                       | 0,006                                    | 0,33                                                       | 2458                            | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
|             | Mínimo  | 20,5                     | 5,7                 | 2                                        | 0,0075                                      | 0,0003                                                   | 0,001                                                    | 0,002                                       | 0,002                                    | 0,33                                                       | 0                               | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
| <b>20m</b>  | (mês)   | (set/18)                 | (abr/18)            | (dez/18)                                 | (jan/18 a out/18<br>e jan/19 )              | (jan/18 a out/18)                                        | (mar/18)                                                 | (jan/18, mar/18<br>a jan/19)                | (mai/18 a<br>jan/19)                     | (jan/18 a<br>jan/19)                                       | (jul/18,set/18<br>e out/18)     | (jan/18 a<br>jan/19)        | (jan/18 a<br>jan/19)         | (jan/18 a<br>jan/19)         |
|             | Máximo  | 24,4                     | 6,7                 | 27,3                                     | 0,059                                       | 0,007                                                    | 0,22                                                     | 0,015                                       | 0,023                                    | 1,44                                                       | 21161                           | 0,05                        | 0,01                         | 0,03                         |
|             | (mês)   | (abr/18)                 | (ago/18)            | (jun/18)                                 | (jan/19)                                    | (jan/19)                                                 | (jun/18)                                                 | (mai/18)                                    | (mai/18)                                 | (ago/18)                                                   | (jan/19)                        | (jan/18 a<br>jan/19)        | (jan/18 a<br>jan/19)         | (jan/18 a<br>jan/19)         |

Fonte: O autor, 2020.

A transparência da água teve uma variação entre 2,5 metros e 5,5 metros, definindo uma zona eufótica ( $Z_{eu}$ ) variando entre 7,5 metros e 16,5 metros. Durante o verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e o outono (março, abril e maio) estações caracterizadas por períodos de maior pluviosidade, foi observado redução na  $Z_{eu}$ , enquanto no inverno (junho, julho e agosto), há um aumento da profundidade da  $Z_{eu}$  e na primavera observa-se uma maior instabilidade (Figura 09). O aumento na transparência da água ocorrido entre final de junho e final de agosto coincide com a redução significativa da comunidade de cianobactérias, desestratificação térmica do reservatório e o período seco.

Figura 9 - Evolução temporal da variação da profundidade do Disco de Secchi e da  $Z_{eu}$  no ponto PF-01 entre janeiro/2018 e janeiro/2019



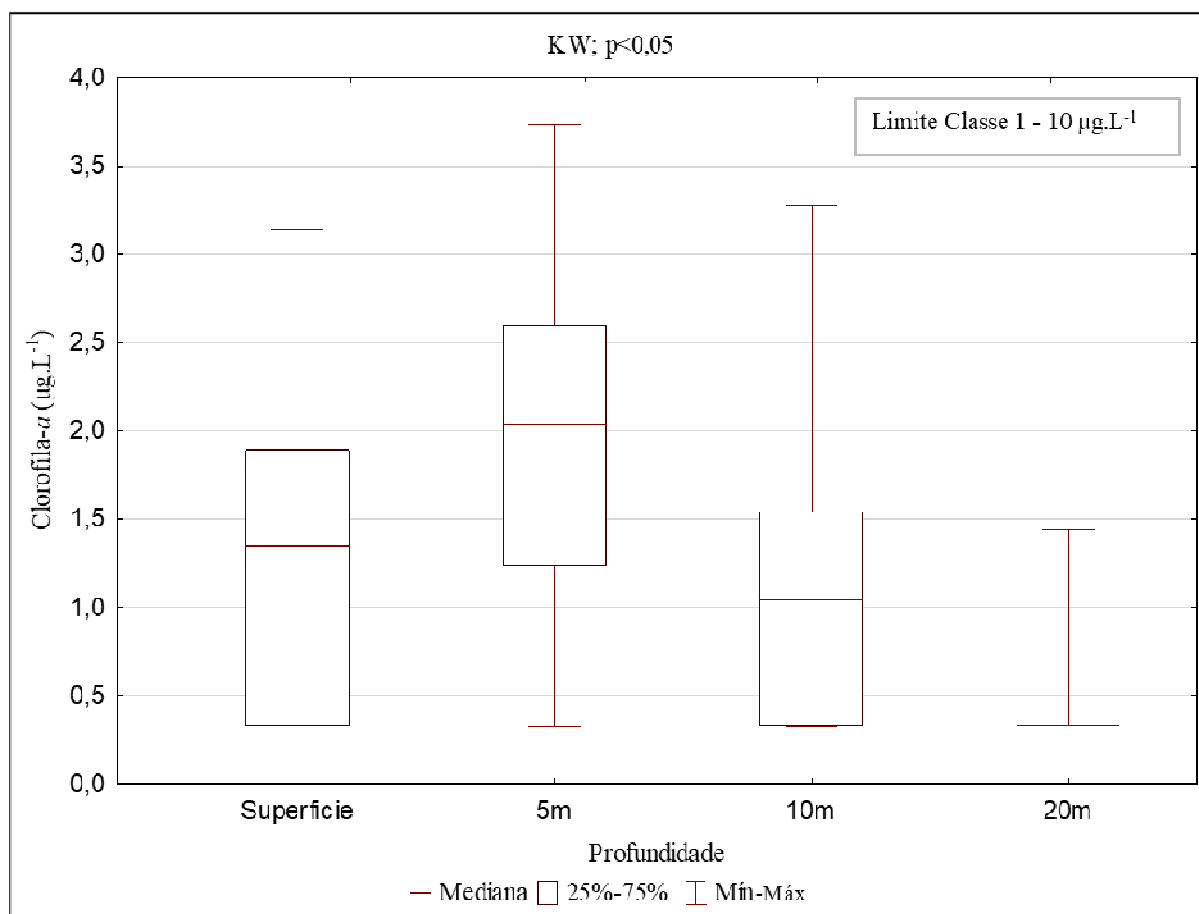
Fonte: O autor, 2020.

As Figuras de 10 a 35 representam através de diversos gráficos os parâmetros clorofila-*a* (Figura 10), oxigênio dissolvido (Figuras 11 a 14), temperatura da água (Figura 15 a 17), pH (Figura 18), nitrogênio amoniacal (Figura 19), nitrato (Figura 20), nitrito (Figura 21), fósforo total (Figura 22), ortofosfato (Figura 23) e da densidade de cianobactérias (e distribuição dos principais gêneros) (Figura 24 a 35).

A partir da Figura 10 é possível observar que ao longo do período estudado, os valores obtidos da concentração de clorofila-*a* foram significativamente diferentes nas profundidades monitoradas (KW,  $p < 0,05$ ). A mediana da concentração de clorofila-*a* na superfície foi  $1,35 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Tabela 22), com os menores valores ocorrendo nos meses jan/18, mar/18, jun/18 a ago/18, dez/18 e jan/19 ( $0,33 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) (Tabela 22) e o maior valor ocorrendo no mês de jun/18 ( $3,14 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) (Tabela 22).

Os valores de clorofila-*a* em todas as profundidades foram baixos e inferiores ao limite de  $10,0 \mu\text{g.L}^{-1}$  estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 para águas do tipo classe 1 (Figura 10).

Figura 10 - Valores medianos, mínimo (Min) e máximo (Máx) da concentração de clorofila-*a* na superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

A partir da Figura 10 é possível observar que ao longo do período estudado, os valores obtidos da saturação de oxigênio dissolvido foram significativamente diferentes nas profundidades monitoradas (KW,  $p < 0,05$ ). A mediana da saturação de oxigênio dissolvido na superfície foi igual a 80%  $\text{O}_2$  (Tabela 22), com menor valor ocorrendo no mês de junho de 2018 (63,9%  $\text{O}_2$ ) (Tabela 22) e o maior valor em jan/18 (94,6 %  $\text{O}_2$ ) (Tabela 22).

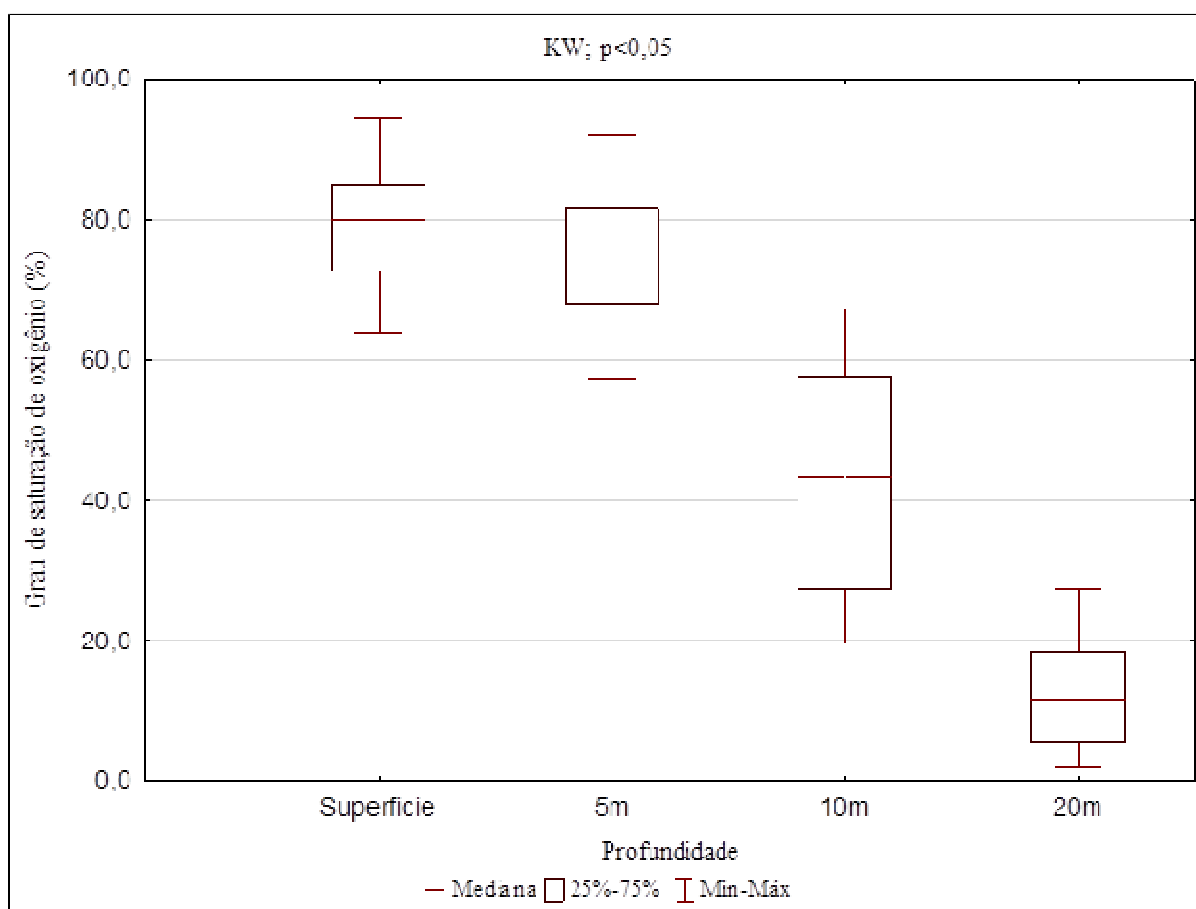
Durante todo o período de estudo, não foi observada diferença significativa entre os valores de saturação de oxigênio dissolvido na superfície e em 5 m (KW,  $p = 1,0$ ) (Tabela 14). Os valores da saturação de oxigênio dissolvido para a profundidade de 10m foram significativamente diferentes das demais profundidades (KW<sub>Superfície</sub>,  $p < 0,05$ ; KW<sub>5m</sub>,  $p < 0,05$ ; KW<sub>20m</sub>,  $p < 0,05$ ) (Tabela 14), apresentaram a maior variabilidade, oscilando na mínima de 19,7%  $\text{O}_2$ , atingida dez/18 (Tabela 22), a 67,3 %  $\text{O}_2$  obtida em set/18 (Tabela 22). Na

profundidade de 20m houve redução significativa na saturação de oxigênio, apresentando valores medianos próximos a 10% O<sub>2</sub>.

Os valores de oxigênio dissolvido nas profundidades superficial, 5m e 10m, foram inferiores ao limite de concentração mínima de 6,0 mg.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> estabelecida pela resolução CONAMA 357/05 para águas do tipo classe 1 (Figura 11) (limite estabelecido para profundidade superficial) em algumas amostragens. A partir da profundidade de 20m, os valores de oxigênio dissolvido em todas as amostragens foram inferiores ao limite supracitado.

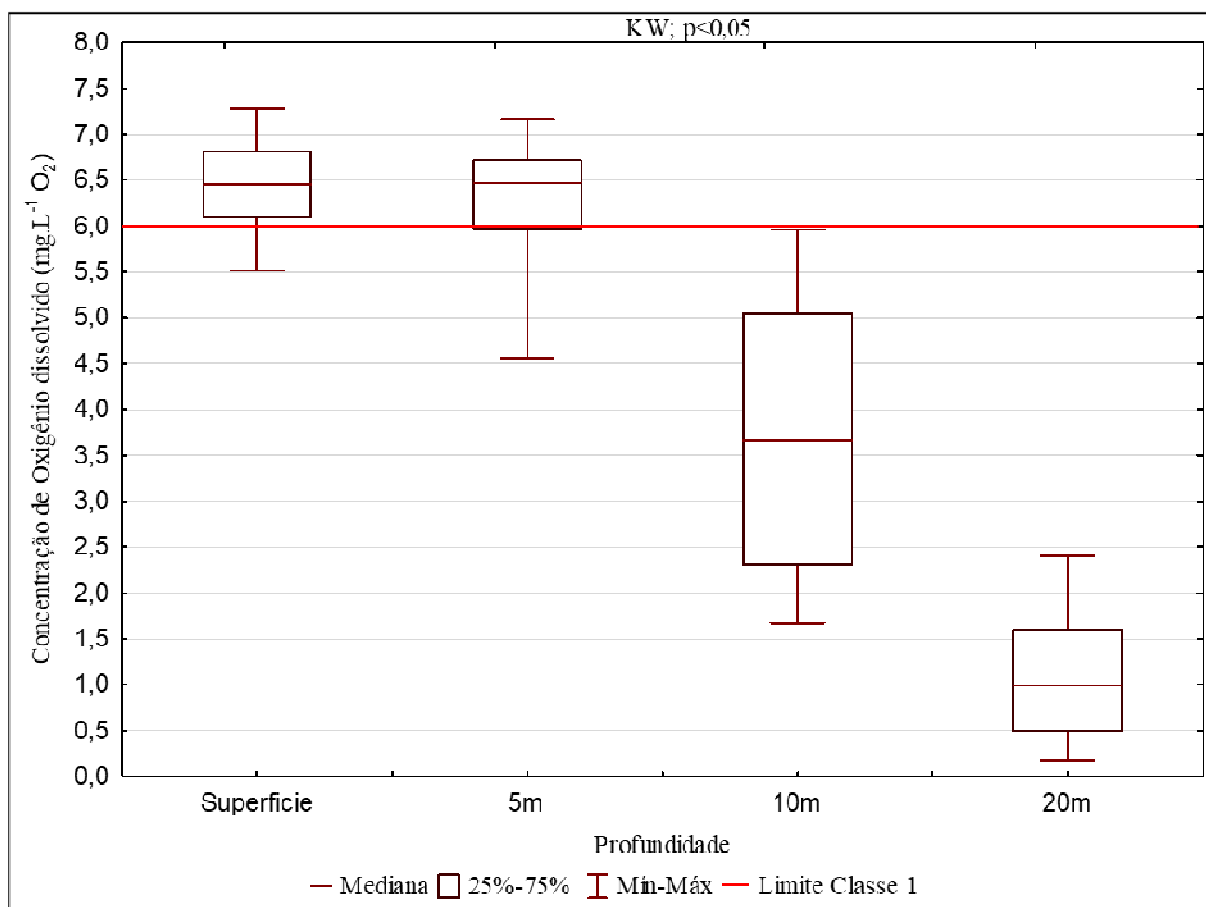
A Figura 12 apresenta os dados de saturação de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água, em todas as amostragens e a Figura 13 por estação climatológica. Entre jan/18 e mai/18 há um perfil bem definido entre as camadas superficiais e as mais profundas. Nesse período, a saturação de oxigênio na superfície e a 5 m segue um mesmo padrão, enquanto as camadas mais profundas, de 10m e 20m, apresentam níveis bem mais baixos de saturação de oxigênio. Entre final de mai/18 e final de ago/18 ocorre uma homogeneização da coluna d'água até os 10m de profundidade. A partir de set/18 até jan/19, a saturação na profundidade de 10m volta a diminuir, enquanto nas camadas superiores, superfície e 5m, os valores seguem estáveis e elevados. Ao longo de todo o período estudado a camada mais profunda tem pouca alteração na saturação de OD, variando entre 2,0 % O<sub>2</sub> e 27,3 % O<sub>2</sub>, demonstrando a estabilidade dessa camada.

Figura 11 – Valores medianos, mínimo (Min) e máximo (Máx) de saturação de oxigênio dissolvido na superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



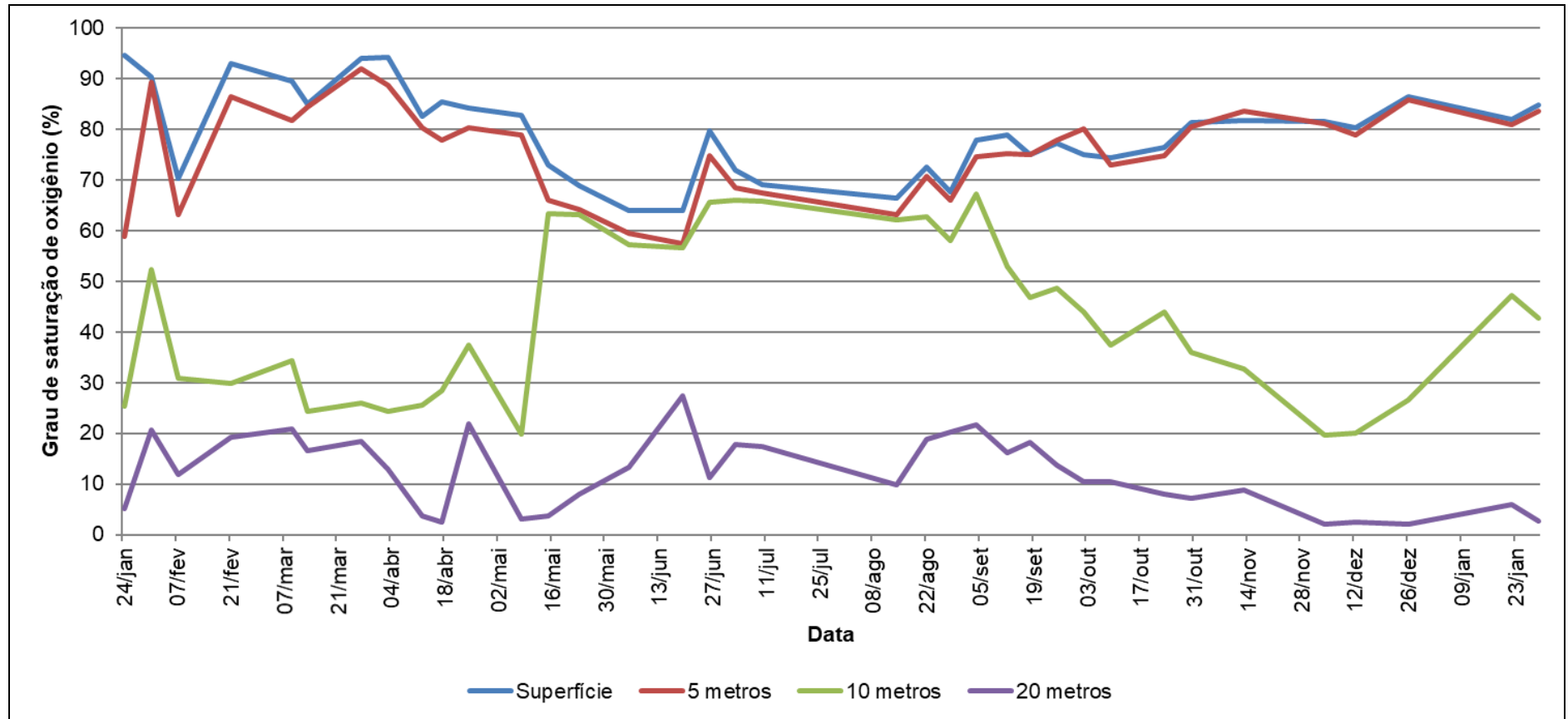
Fonte: O autor, 2020.

Figura 12 - Valores medianos, mínimo (Min) e máximo (Máx) de saturação de oxigênio dissolvido na superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

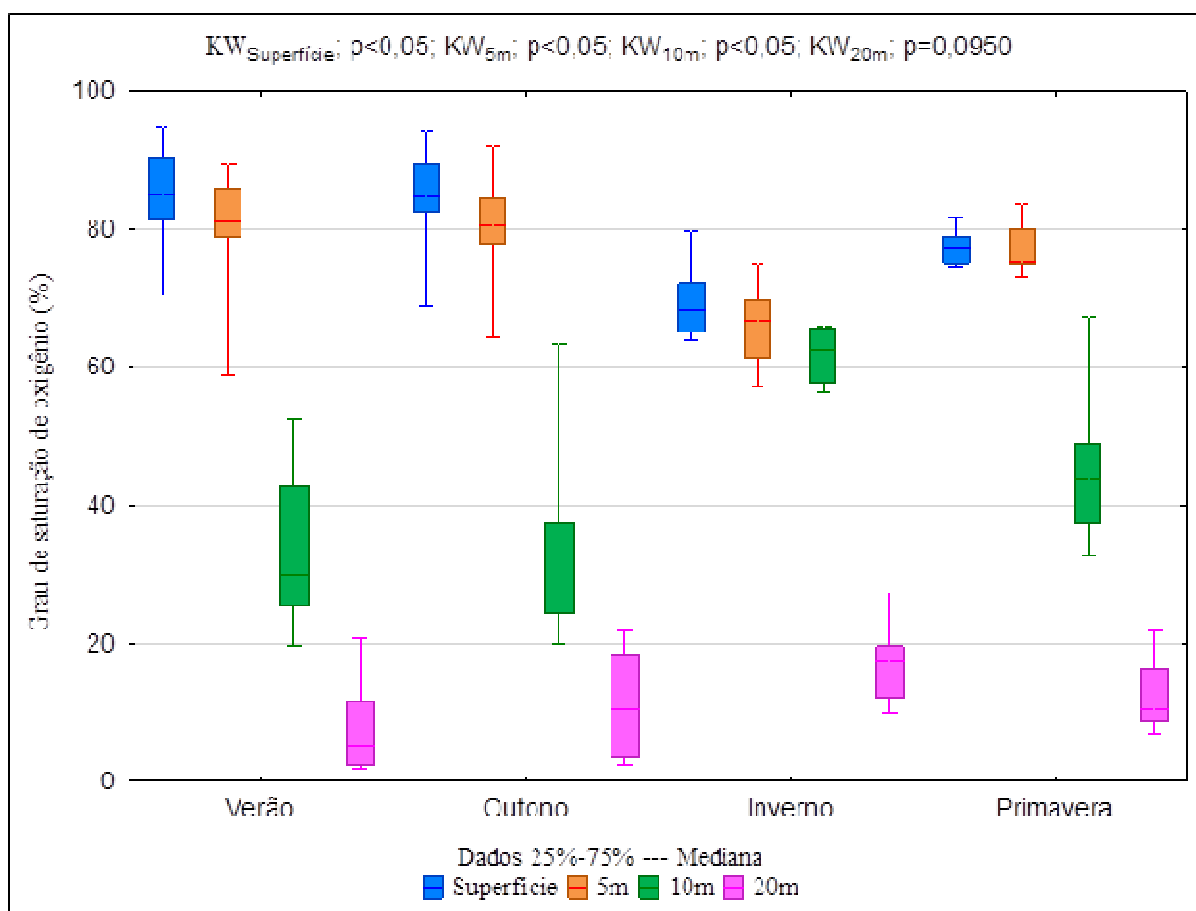
Figura 13 – Variação por data de amostragem da saturação de oxigênio dissolvido na superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: O autor, 2020.

A Figura 14 demonstra que o impacto da sazonalidade nos valores de saturação de oxigênio dissolvido é evidente. Durante o verão, outono e primavera é observado três agrupamentos das profundidades em função da saturação de oxigênio, enquanto no inverno, há somente dois agrupamentos.

Figura 14 - Estudo da sazonalidade da saturação de oxigênio dissolvido nas profundidades superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

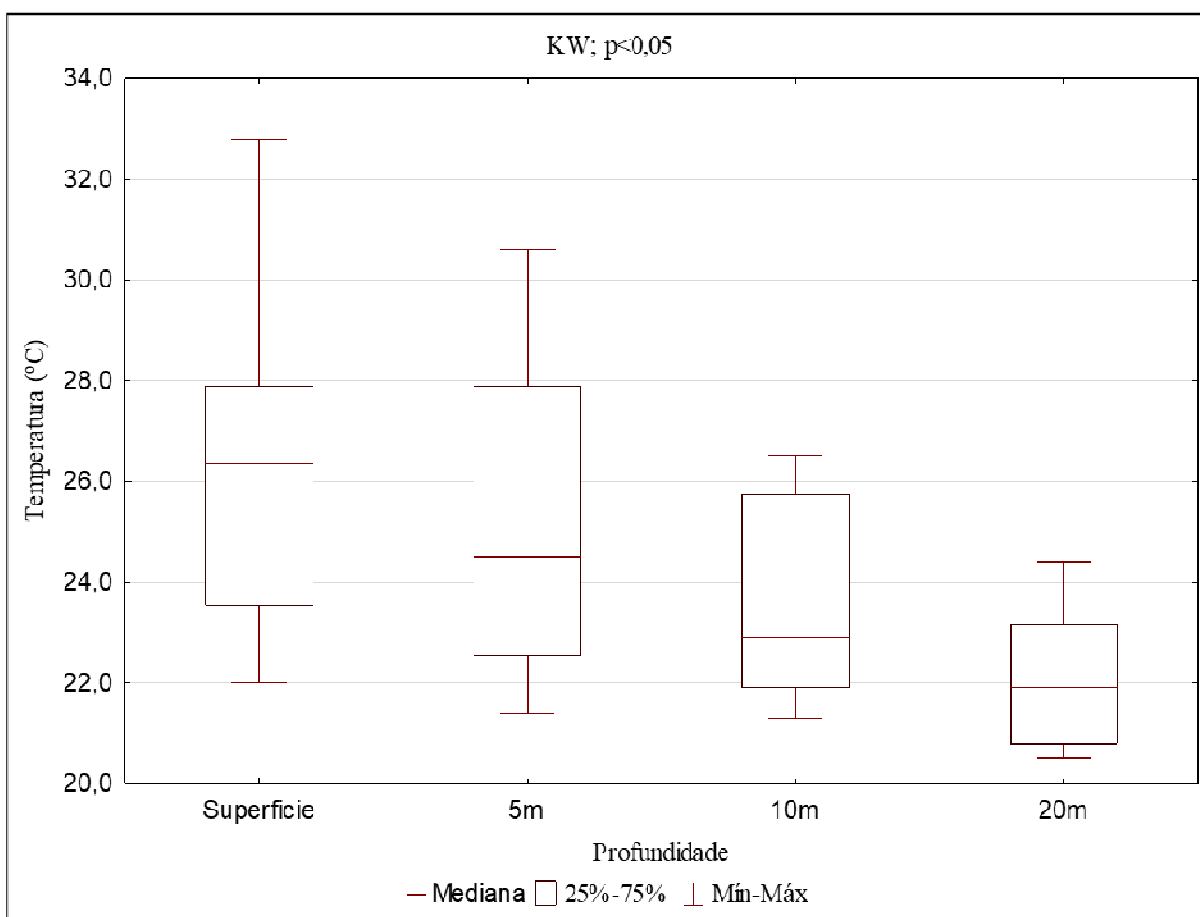
Os gráficos da série de temperatura apresentados na Figura 15, indicam que os valores obtidos da temperatura da água foram significativamente diferentes nas profundidades monitoradas ( $KW, p < 0,05$ ). A mediana da temperatura da água na superfície é 26,4 °C, atingiu os valores mínimos de 22,0 °C nos meses de jun/18 e jul/18 e temperatura máxima de 32,8 °C em jan/2019 (Tabela 22).

Durante todo o período de estudo, não foi observada diferença significativa entre os valores de temperatura da água na superfície e em 5 m ( $KW, p = 1,0$ ) (Tabela 14). Os valores de temperatura da água para a profundidade de 20m foram significativamente diferentes das

demais profundidades ( $KW_{\text{Superfície}}$ ,  $p < 0,05$ ;  $KW_{5m}$ ,  $p < 0,05$ ;  $KW_{10m}$ ,  $p < 0,05$ ) (Tabela 14), apresentaram a menor variabilidade, oscilando na mínima de 20,5 °C em set/18 (Tabela 22) a máxima de 24,4 °C em abr/18 (Tabela 22).

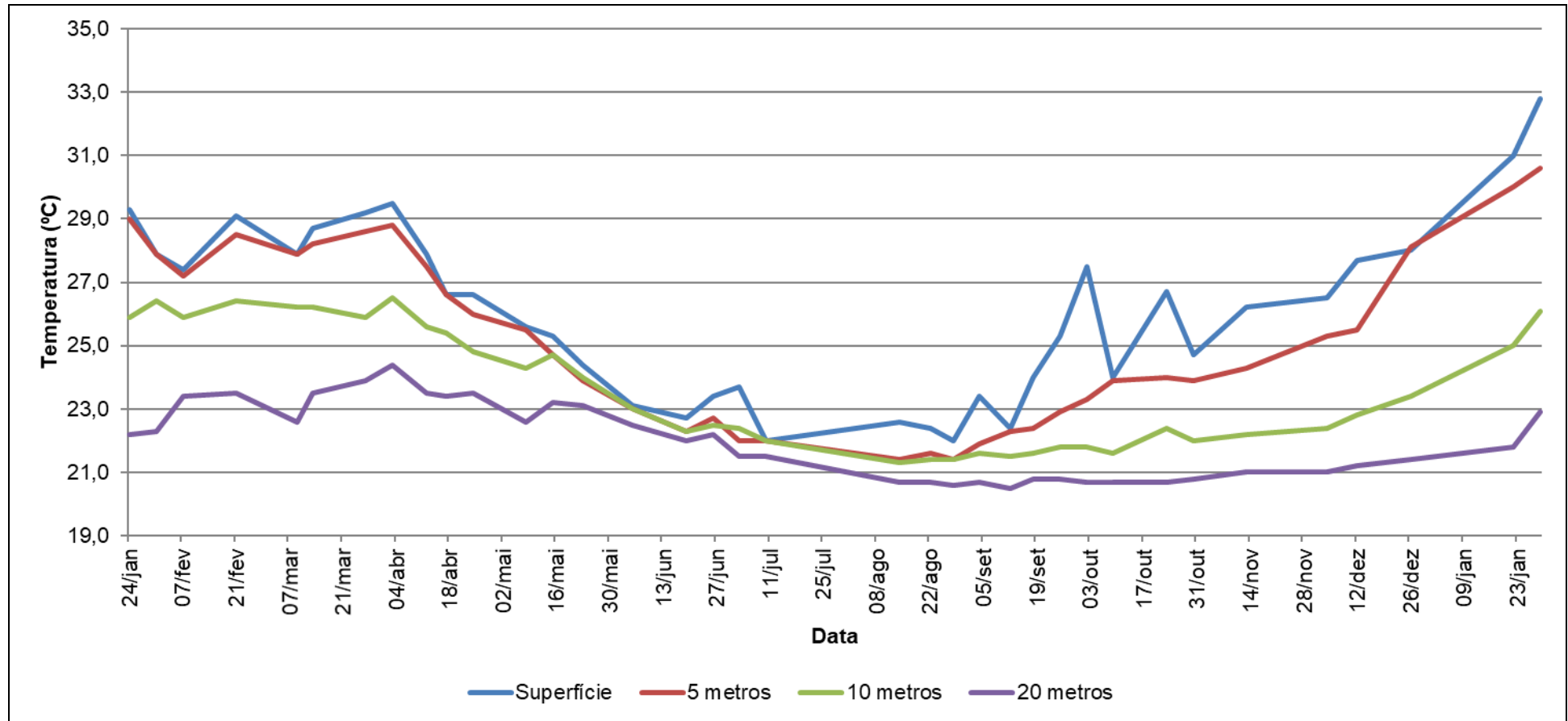
Os valores medianos da temperatura da água reduzem conforme aumenta a profundidade (Figuras 15 e 16). A variação na temperatura na superfície do reservatório no ponto PF-01 foi maior sendo observado menor amplitude nos valores da temperatura a partir da profundidade de 10m, indicando maior estabilidade das temperaturas em profundidades maiores.

Figura 15 - Gráficos Box plot para o parâmetro temperatura da água agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

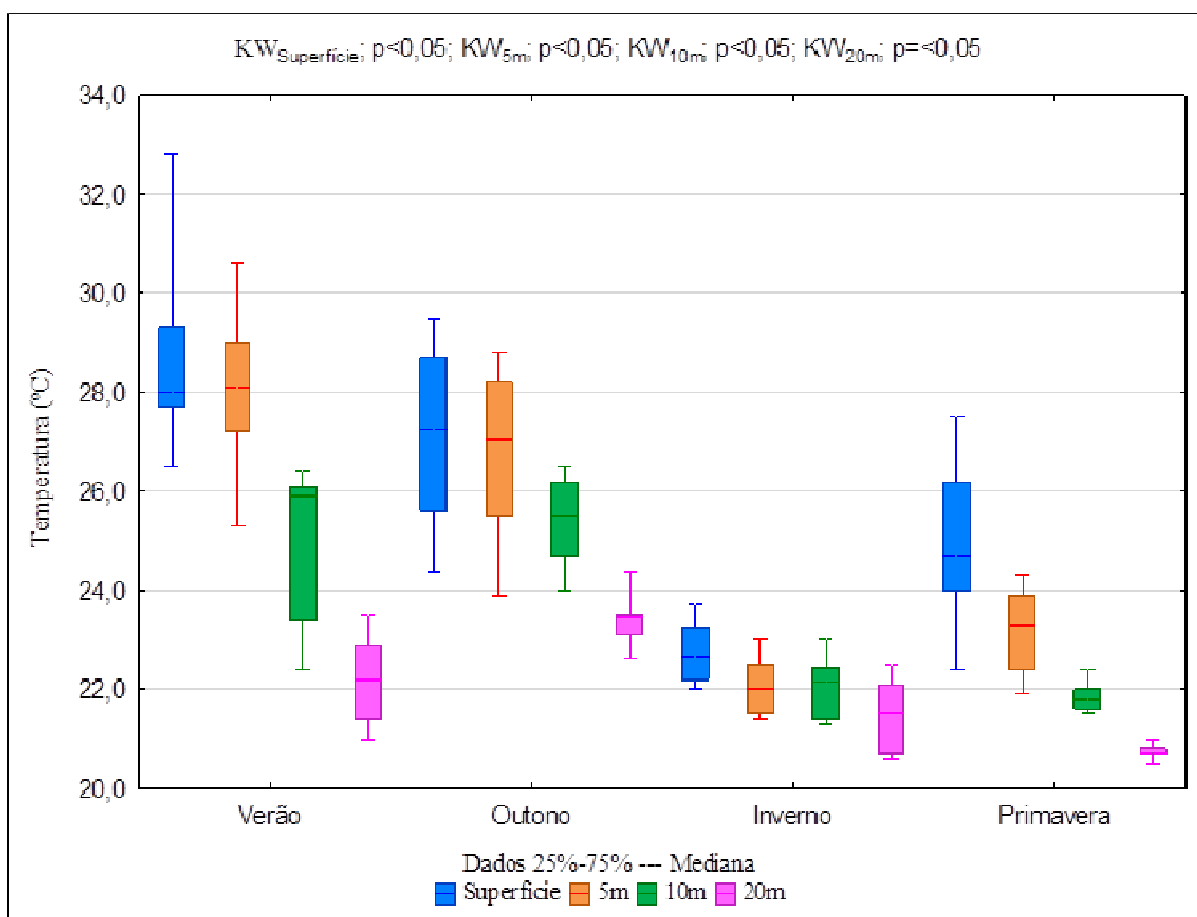
Figura 16 - Evolução temporal da variação da temperatura da água nas profundidades superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: O autor, 2020.

A temperatura da água segue um comportamento similar ao ocorrido com a saturação de oxigênio (Figuras 16 e 17). Entre os meses de abr/18 e jul/18 há uma tendência de redução e uniformização da temperatura ao longo da coluna d'água de forma mais homogênea durante o inverno e volta a subir a partir de set/18 até jan/19. A temperatura da água na camada superficial atinge seu valor mínimo de 22,0 °C no inverno, enquanto a máxima atingida no verão foi de 32,8°C. Em 12/12/2018, observou-se diferença de até 5 °C entre as profundidades mais superficiais e a profundidade de 10 m e essa diferença chegou a ser de quase 10 °C entre a temperatura da água da superfície e a temperatura da profundidade de 20m no dia 29/01/19, ocorrências essas características do verão.

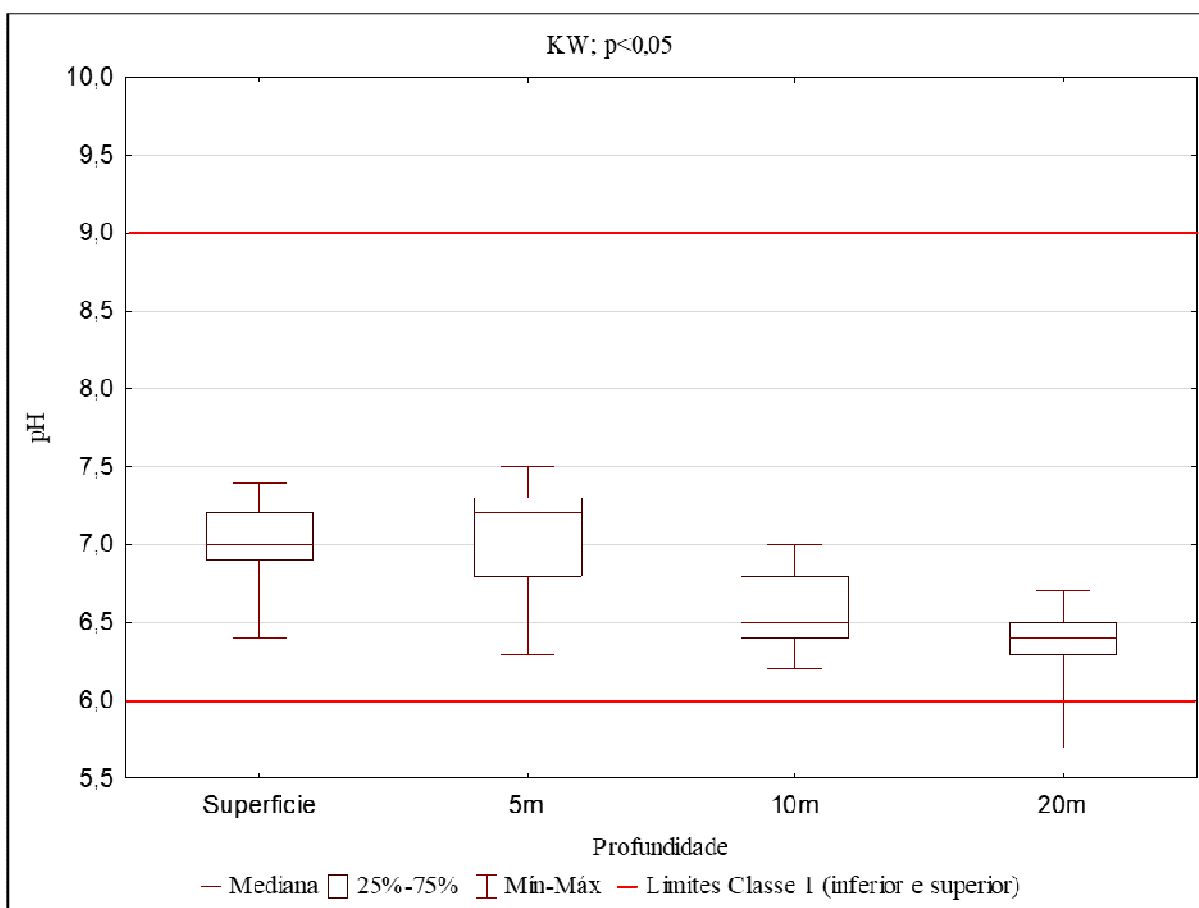
Figura 17 - Estudo da sazonalidade da temperatura da água nas profundidades superfície, 5, 10 e 20 m, do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

A partir da Figura 18 é possível observar que os valores de pH obtidos, nas coletas realizadas entre jan/18 e jan/19 foram significativamente diferentes entre as profundidades monitoradas (KW,  $p < 0,05$ ). O maior valor de pH foi observado nos meses de set/18 e out/18 na profundidade de 5m (pH 7,2) e o valor mínimo foi observado em ago/18 na profundidade de 20m (pH 5,7). Observa-se que os valores medianos de pH são mais elevados nas camadas mais superficiais (valores medianos pH 7,0 e 7,2 na superfície e na profundidade de 5m, respectivamente) e sofrem pequena redução na medida em que se ultrapassa a profundidade de 10m (Tabela 13). É relevante ressaltar que para todas as profundidades, todos os registros atendem ao padrão de qualidade recomendado para águas superficiais de classe tipo 1 estabelecido pela resolução CONAMA 357/05, com valores medianos entre 6,0 e 9,0.

Figura 18 - Gráficos Box plot para o parâmetro pH agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019

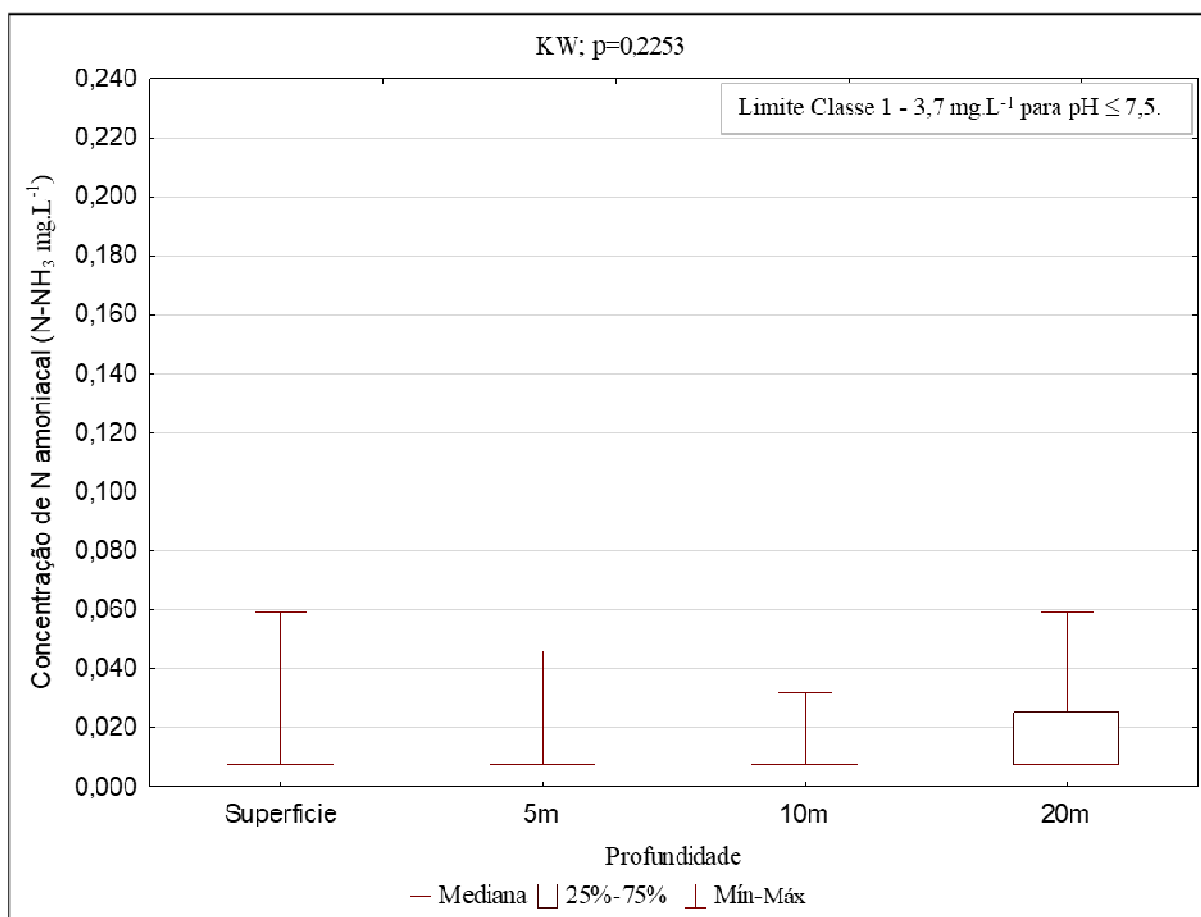


Fonte: O autor, 2020.

Os valores de  $\text{N-NH}_3$  obtidos durante o período de jan/18 e jan/19 indicam baixa disponibilidade na coluna d'água. Os valores medianos em todas as profundidades foi  $0,0075 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$ . As concentrações máximas  $\text{N-NH}_3$  foram observadas em jan/19 ( $0,059 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$ ) na superfície e em 20m de profundidade ( $0,059 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$ ).

A Figura 19 indica que não há diferença significativa (KW;  $p=0,2253$ ) nas concentrações de  $\text{N-NH}_3$  na coluna d'água. Os valores medianos das concentrações de nitrogênio amoniacal são baixos e não superam o padrão de qualidade mais rigoroso estabelecido para águas de classe tipo 1 estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 ( $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$ ) associado ao  $\text{pH} > 7,5$ .

Figura 19 - Gráficos Box plot para o parâmetro nitrogênio amoniacal total agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



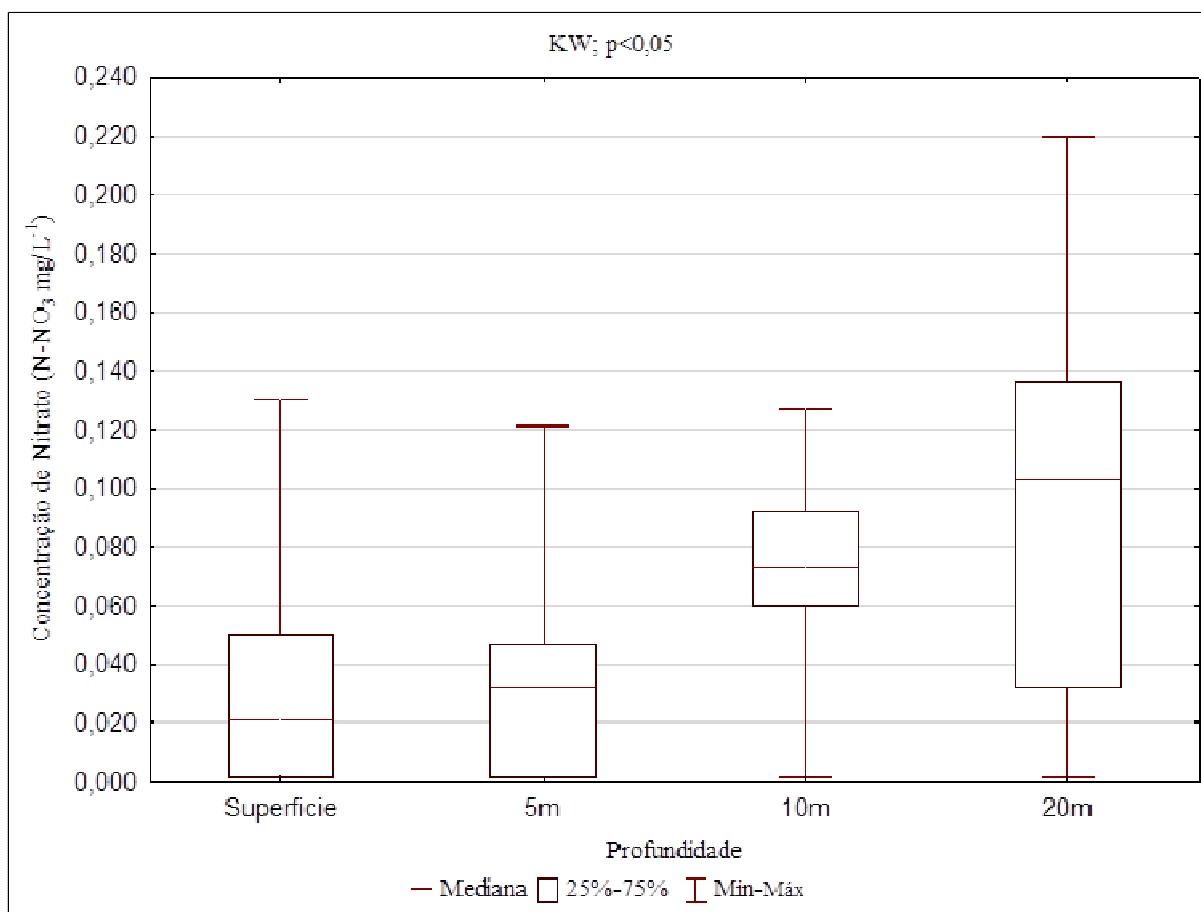
Fonte: O autor, 2020.

Na Figura 20 estão representadas as concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  nas profundidades da superfície, 5m, 10m e 20m no ponto PF-01 para o período de jan/18 a jan/19. Verifica-se que as concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  foram significativamente diferentes entre as profundidades monitoradas (KW,  $p < 0,05$ ).

As concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  aumentaram conforme o aumento da profundidade, sendo  $0,021 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$  e  $0,103 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$  as concentrações medianas da superfície e da profundidade de 20m (Tabela 13). As maiores concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  foram observadas em jun/18 ( $0,130 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$  e  $0,220 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$  na superfície e na profundidade de 20m, respectivamente).

As concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  são homogêneas entre a superfície e a profundidade de 5 m ( $\text{KW}_{\text{Superfície}}, p=1,00$ ;  $\text{KW}_{5\text{m}}, p=1,00$ ) e entre as profundidades de 10m e 20m ( $\text{KW}_{10\text{m}}, p=1,00$ ;  $\text{KW}_{20\text{m}}, p=1,00$ ) conforme Tabela 14. As concentrações de nitrato que foram encontradas nas profundidades monitoradas são baixas e todos os resultados ficaram dentro do limite do padrão de qualidade para águas de classe tipo 1 estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 para o nitrato ( $10 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

Figura 20 - Gráficos Box plot para o parâmetro nitrato agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019

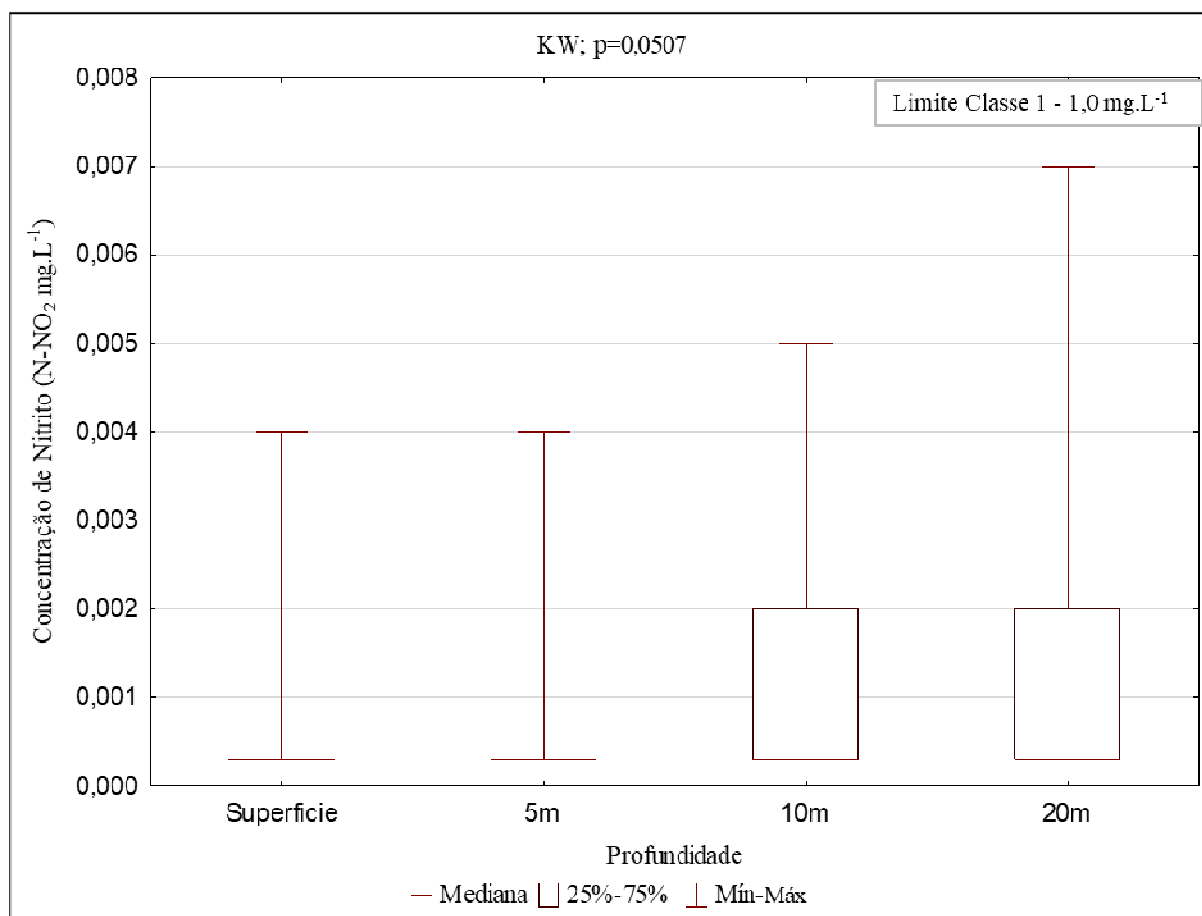


Fonte: O autor, 2020.

Na Figura 21 estão representadas as concentrações de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> nas profundidades da superfície, 5m, 10m e 20 m no ponto PF-01 para o período de jan/18 a jan/19. Verifica-se que não há diferença significativa (KW;  $p=0,0507$ ) nas concentrações de concentrações de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> na coluna d'água.

Os valores medianos das concentrações de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> em todas as profundidades foi 0,0003 mg.L<sup>-1</sup> N. As concentrações máximas N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> foram observadas em jun/18 (0,004 mg.L<sup>-1</sup> N) na superfície e na profundidade de 20m 0,007 mg.L<sup>-1</sup> N em jan/19. As concentrações de nitrito que foram encontradas nas profundidades monitoradas são baixas e todos os resultados ficaram dentro do limite do padrão de qualidade para águas de classe tipo 1 estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 para o nitrato (1,0 mg.L<sup>-1</sup>).

Figura 21 - Gráficos Box plot para o parâmetro nitrito agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

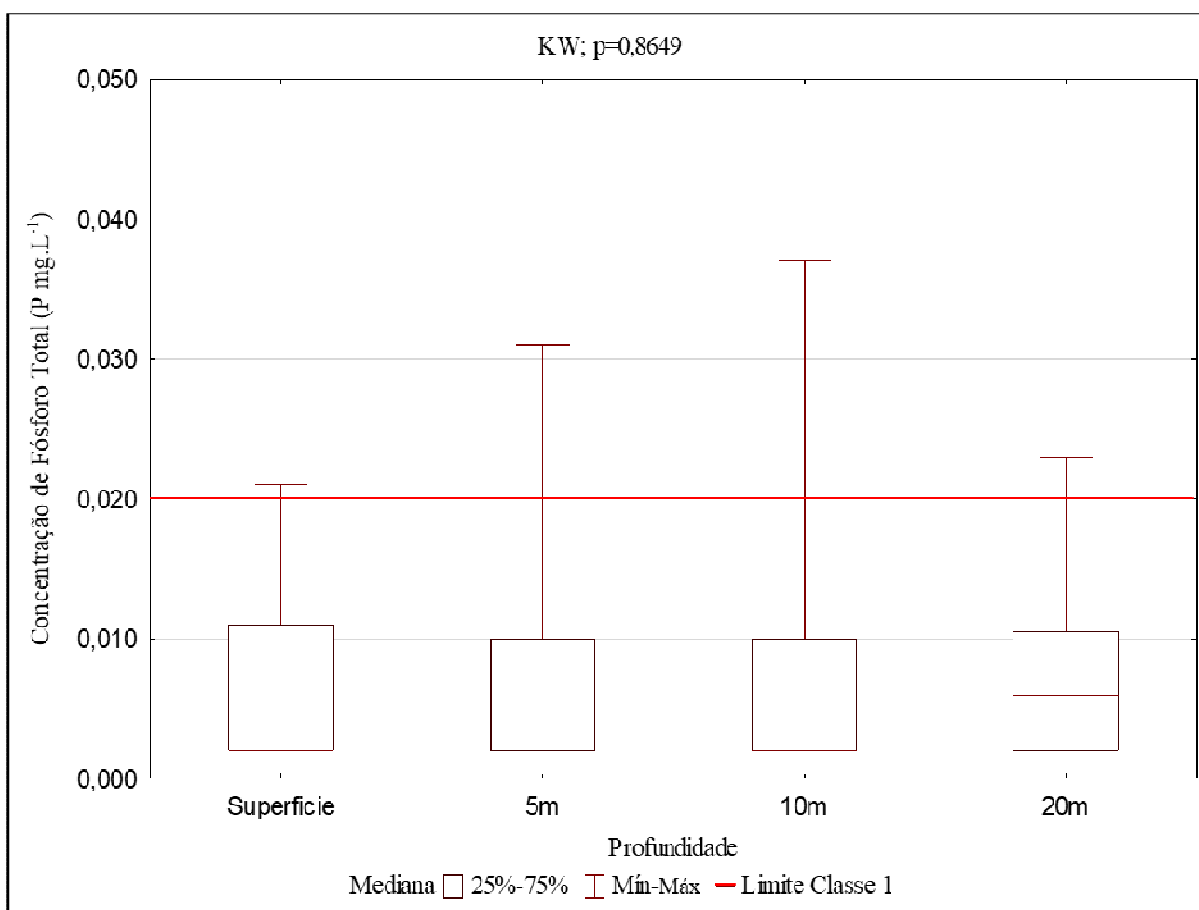
Na Figura 22 estão representadas as concentrações de  $P_T$  nas profundidades da superfície, 5m, 10m e 20m no ponto PF-01 para o período de jan/18 a jan/19. Verifica-se que as concentrações de fósforo total não têm diferença significativa entre as profundidades monitoradas (KW,  $p=0,8649$ ), portanto, os valores medianos de fósforo total são similares e homogêneos ao longo da coluna d'água até os 20m.

A concentração mediana, máxima e mínima de  $P_T$  na superfície são de  $0,002 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$ ,  $0,021 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$  (mai/18) e  $0,002 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$  (mai/18 a jan/19), respectivamente. Na profundidade de 20m a concentração mediana, máxima e mínima de  $P_T$  são de  $0,006 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$ ,  $0,023 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$  (mai/18) e  $0,002 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$  (jan/18 e de mar/18 a jan/19), respectivamente. As concentrações de  $\text{P-PO}_4$  seguiram o mesmo padrão de distribuição homogênea na coluna d'água até os 20m de profundidade (KW,  $p=0,8353$ ).

Na Figura 23 estão representadas as concentrações de  $P-PO_4$  nas profundidades da superfície, 5m, 10m e 20m no ponto PF-01 para o período de jan/18 a jan/19. As concentrações mediana, máxima e mínima de  $P-PO_4$  na superfície são de  $0,002 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$ ,  $0,011 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$  (mar/18 e abr/18) e  $0,002 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$  (fev/2018, abr/2018 a jan/2019), respectivamente. Na profundidade de 20m a concentração mediana, máxima e mínima de  $P_T$  são de  $0,002 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$ ,  $0,015 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$  (mai/2018) e  $0,002 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$  (jan/2018 e mar/2018 a jan/2019), respectivamente.

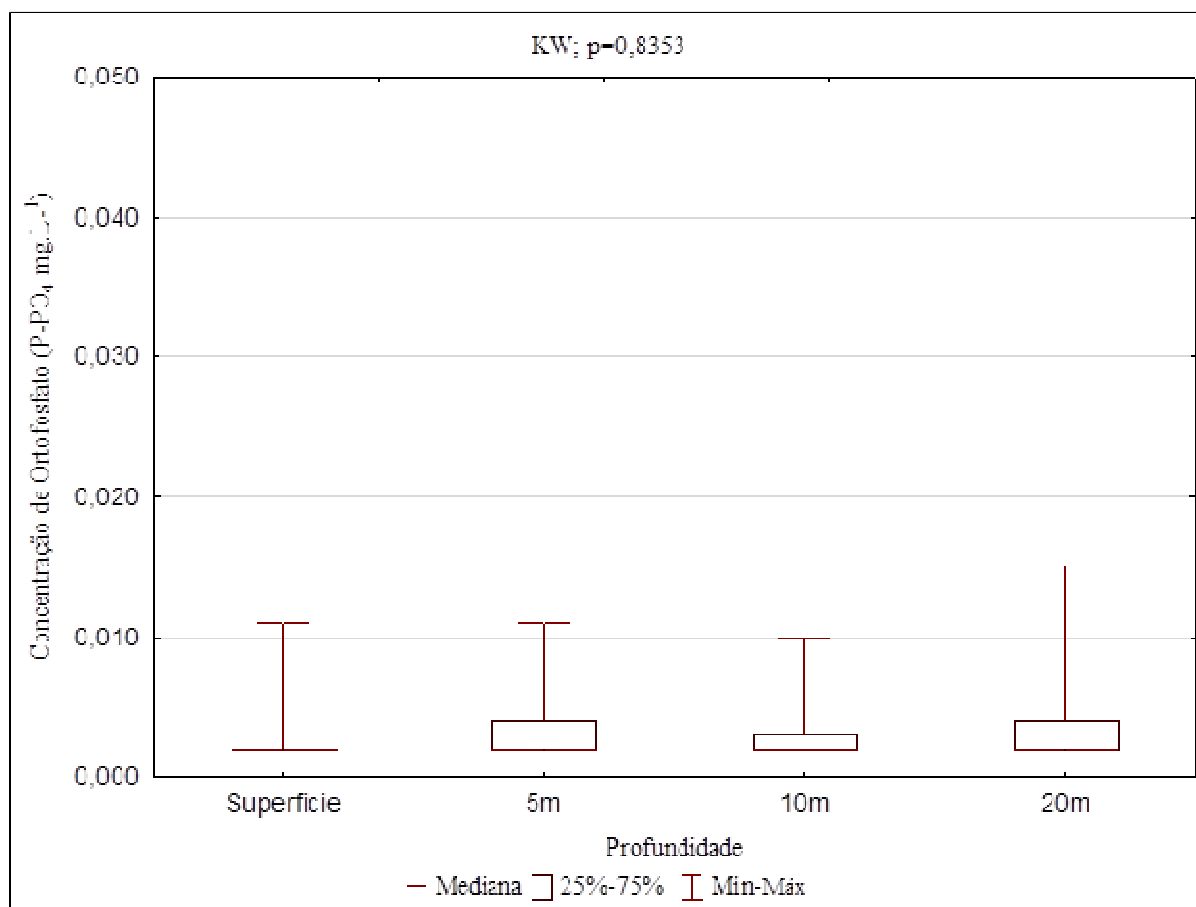
É relevante ressaltar que para todas as profundidades, as concentrações de  $P_T$  atendem ao padrão de qualidade recomendado para águas de classe tipo 1 em ambientes lênticos ( $0,020 \text{ mg.L}^{-1}$ ) estabelecido pela resolução CONAMA 357/05.

Figura 22 - Gráficos Box plot para o parâmetro fósforo total agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

Figura 23 - Gráficos Box plot para o parâmetro ortofosfato agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

Os resultados de cianobactérias estão apresentados na Figura 24. A linha vermelha indica o valor limite de 20.000 cel.mL<sup>-1</sup>, estabelecido pela CONAMA 357/05 para águas de classe tipo 1. O Anexo XX da PCMS 5/2017, estabelece a obrigatoriedade de realização de monitoramento semanal de cianotoxinas quando a densidade de cianobactérias ultrapassa o limite de 20.000 cel.mL<sup>-1</sup>.

A partir da Figura 24 é possível observar que ao longo do período estudado que as densidades de cianobactérias foram significativamente diferentes nas profundidades monitoradas (KW,  $p<0,05$ ). O valor mediano da densidade de cianobactérias na superfície foi de 87.835 cél.mL<sup>-1</sup> (Tabela 22), o valor mínimo foi 15.451 cél.mL<sup>-1</sup> e ocorreu nos mês de ago/2018 (Tabela 22) e o maior valor 395.684 cél.mL<sup>-1</sup> ocorreu no mês de nov/18 (Tabela 22).

Durante todo o período de estudo, não foi observada diferença significativa entre os valores densidade de cianobactérias na superfície até a profundidade de 10m ( $KW_{5m}$ ,  $p=1,00$ ;  $KW_{10m}$ ,  $p=0,161724$ ) (Tabela 14). Os valores da densidade de cianobactérias para a profundidade de 20m foram significativamente diferentes das demais profundidades ( $KW_{Superfície}$ ,  $p<0,05$ ;  $KW_{5m}$ ,  $p<0,05$ ;  $KW_{10m}$ ,  $p<0,05$ ) (Tabela 14), apresentaram a menor variabilidade, oscilando na densidade mínima de  $2.458 \text{ cél.mL}^{-1}$ , verificadas em jul/18, set/2018 e out/18 (Tabela 22) a  $21.161 \text{ cél.mL}^{-1}$  verificadas jan/19 (Tabela 22).

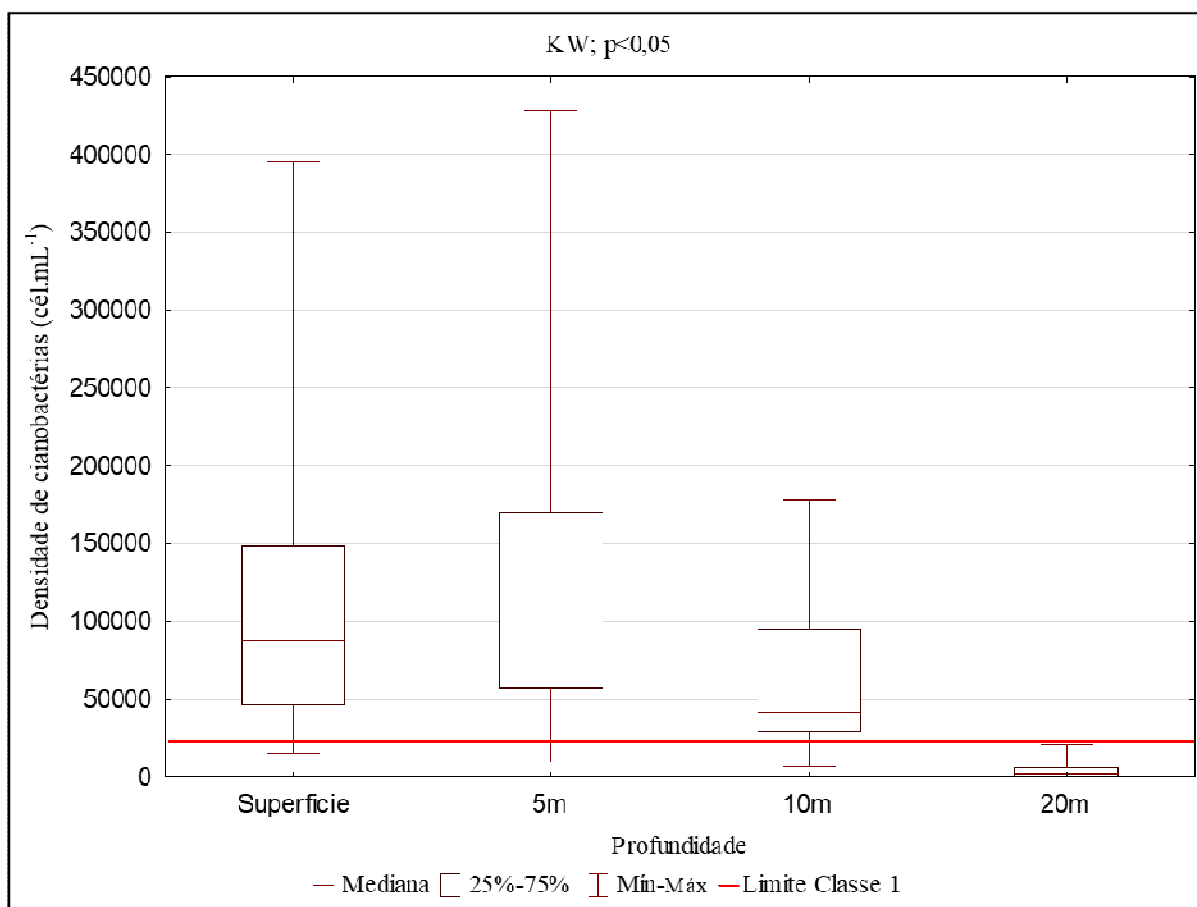
Nas profundidades da superfície e 5m os valores das medianas são similares, com distribuição simétrica em relação a mediana, com grandes variações entre os valores mínimo e máximo, indicando maiores variabilidades e dispersão dos dados. As densidades de cianobactérias variam de aproximadamente  $20.000 \text{ cél.mL}^{-1}$  até cerca de  $400.000 \text{ cél.mL}^{-1}$ . A partir da profundidade de 10m, há uma redução no valor mediano da densidade de cianobactérias, com menor variabilidade e menor dispersão dos dados, atingindo valores menos elevados. Na profundidade de 20m as densidades de cianobactérias são relativamente baixas.

É relevante ressaltar que ao longo da coluna d'água até os 10m, grande parte dos registros extrapolam ao padrão de qualidade para águas do tipo classe 1 (para águas superficiais) definidos pela CONAMA 357/05 e ultrapassa o limite estabelecidos da PCMS 5/2017, indicando a necessidade de monitoramento semanal de cianotoxinas.

A Tabela 16 apresenta a lista de gêneros de cianobactérias identificadas ao longo do estudo no reservatório. Alguns gêneros apresentaram números pequenos de células, embora identificados, não representam populações significativas frente a outros gêneros.

Dentre estes gêneros identificados, três são potenciais produtores de cianotoxinas. Os gêneros *Aphanocapsa* e *Radiocystis* são potenciais produtores de microcistina, enquanto o gênero *Cylindrospermopsis* é potencial produtor de saxitoxina e cilindrospermopsina. Vale ressaltar que os gêneros *Radiocystis* e *Cylindrospermopsis* foram identificados, porém apresentaram baixas densidades (Tabela 23). Durante o período estudado não foram detectadas concentrações de microcistina, saxitoxina ou cilindrospermopsina em nenhuma profundidade estudada.

Figura 24 - Gráficos Box plot para o parâmetro cianobactérias agrupados por profundidade no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

Tabela 23 - Identificação dos gêneros de cianobactérias encontradas na Barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes

| Gêneros de Cianobactérias              | Observações                                                  |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <i>Aphanocapsa</i>                     | Nunca ultrapassou 5% de densidade relativa de cianobactérias |
| <i>Borzia</i>                          |                                                              |
| <i>Cyanodictyon</i>                    | Nunca ultrapassou 5% de densidade relativa de cianobactérias |
| <i>Cyanogranis ferruginea</i>          |                                                              |
| <i>Cylindrospermopsis</i>              | Nunca ultrapassou 5% de densidade relativa de cianobactérias |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> |                                                              |
| <i>Limnococcus</i>                     | Houve dificuldade na diferenciação dos gêneros               |
| <i>Merismopedia</i>                    |                                                              |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        |                                                              |
| <i>Pseudanabaena</i>                   |                                                              |
| <i>Radiocystis</i>                     | Nunca ultrapassou 5% de densidade relativa de cianobactérias |
| <i>Spirulina</i>                       | Nunca ultrapassou 5% de densidade relativa de cianobactérias |
| <i>Synechocystis aquatilis</i>         | Nunca ultrapassou 5% de densidade relativa de cianobactérias |

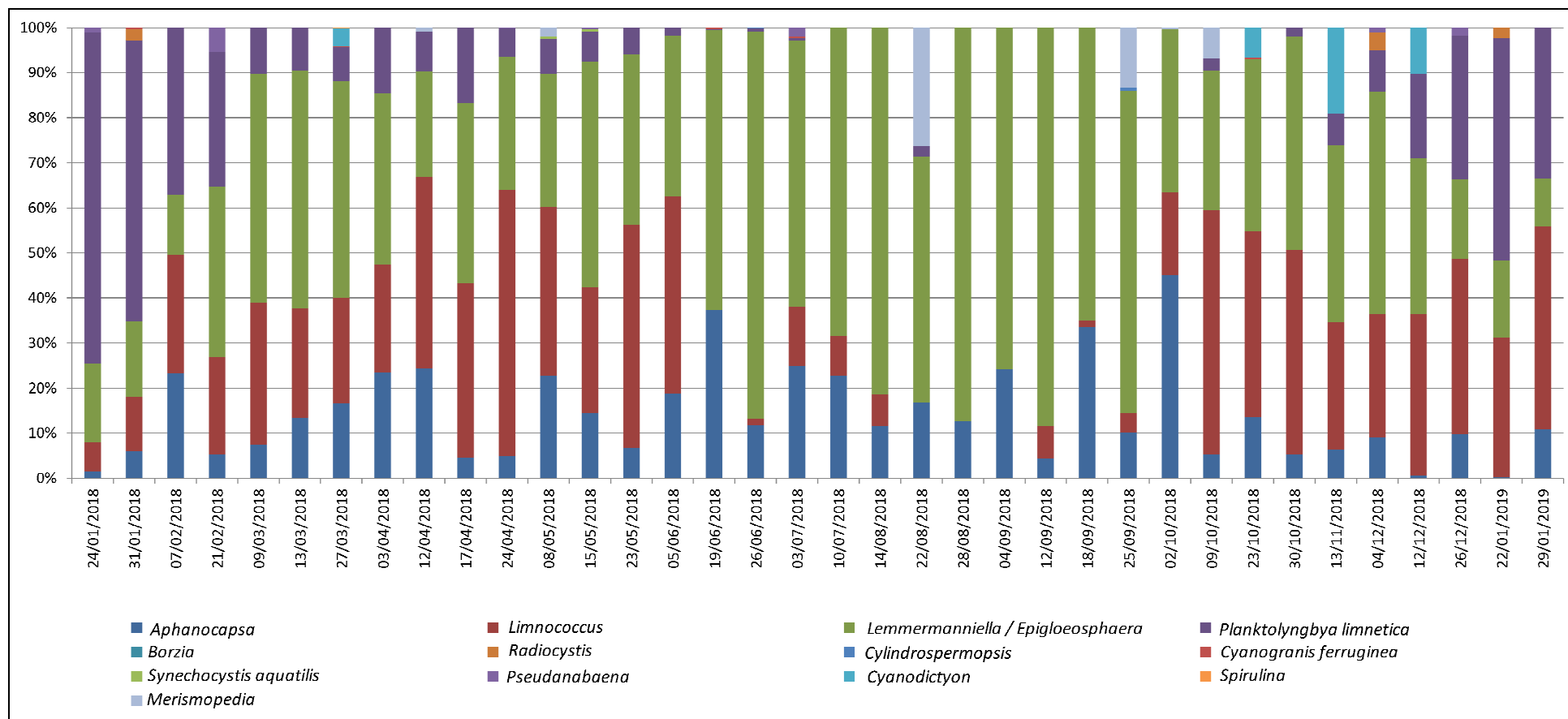
Fonte: O autor, 2020.

A Figura 25 apresenta a distribuição relativa de cada gênero de cianobactéria ao longo das coletas. É possível observar a predominância de 4 gêneros em diferentes momentos: *Aphocanapsa*, *Limnococcus*, *Lemmermanniella/Epigloeosphaera*<sup>12</sup>. e *Planktolyngbya limnetica*.

---

<sup>12</sup>Não foi possível diferenciar as espécies, portanto, foi considerado que é possível de ambos os gêneros terem sido contados juntos para cálculo da densidade.

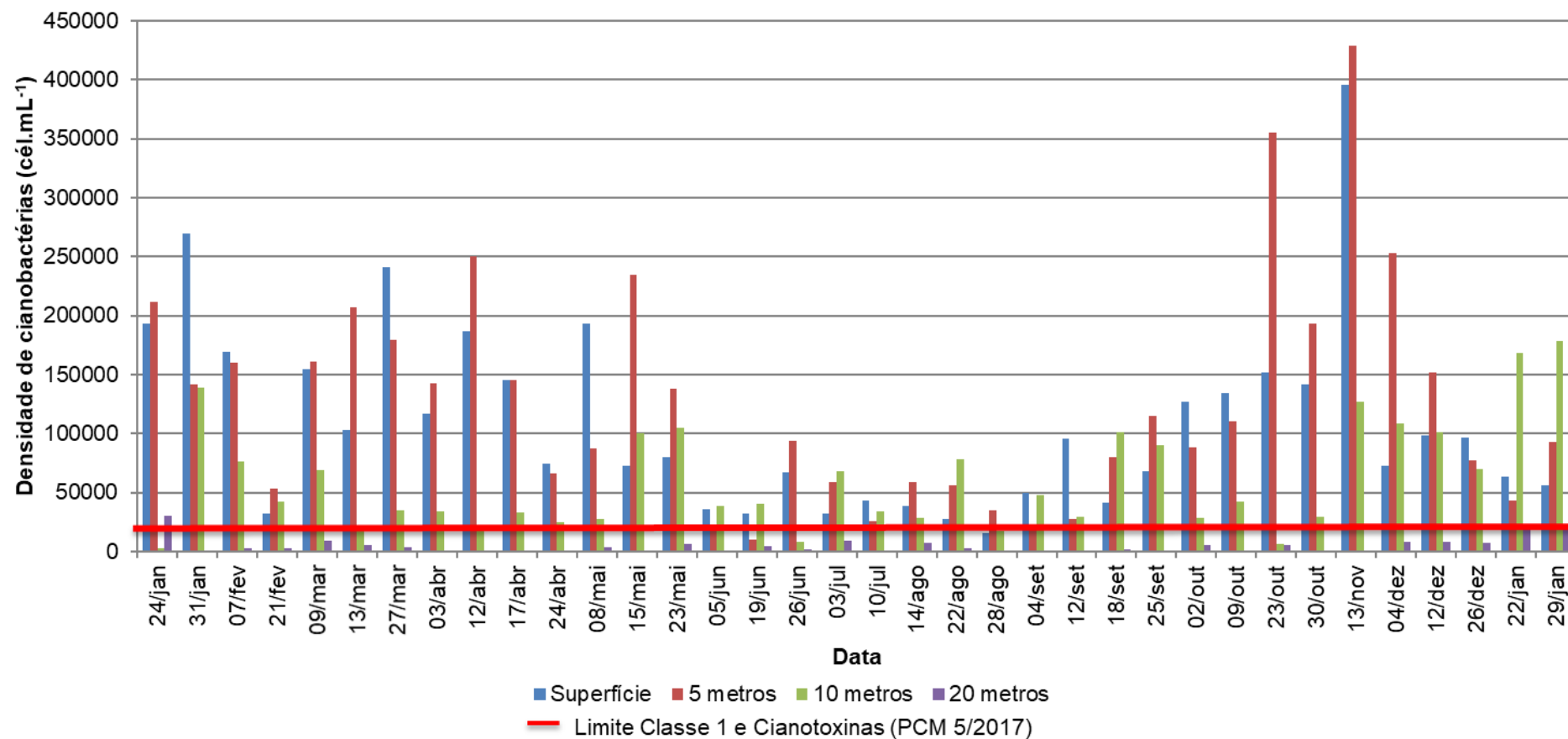
Figura 25 - Distribuição relativa dos gêneros de cianobactérias na coluna d'água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: O autor, 2020.

A Figura 26 apresenta a densidade de cianobactérias por profundidade e por amostragem, mostrando que durante em jun/18 foram atingidos os níveis mais baixos da densidade de cianobactérias, enquanto as máximas foram determinadas em nov/18, ultrapassando o valor de  $400.000 \text{ cél.mL}^{-1}$  na profundidade de 5 m.

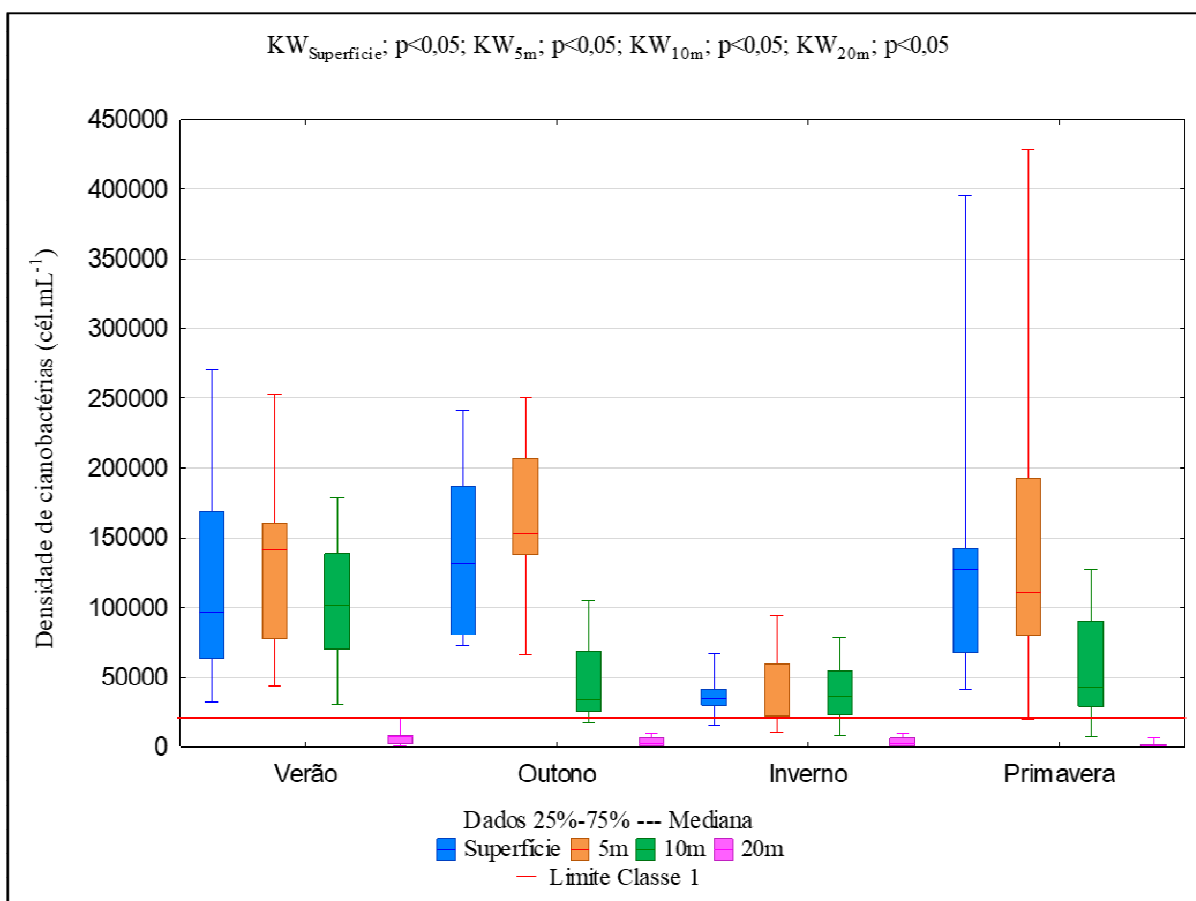
Figura 26 - Densidade total de cianobactérias por profundidade e por amostragem no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: O autor, 2020.

A Figura 27 apresenta de forma mais objetiva o impacto da sazonalidade na comunidade de cianobactérias nas camadas mais superficiais do reservatório de Lajes. Na superfície e na profundidade de 5m, durante as estações do verão, outono e primavera, os valores oscilaram entre 50.000 cél.mL<sup>-1</sup> à 250.000 cél.mL<sup>-1</sup>. No inverno, mesmo com valores medianos inferiores, observou-se que os limites de 20.000 cél.mL<sup>-1</sup> foram igualmente violados. O inverno é a estação climatológica onde ocorrem as menores incidências de cianobactérias no reservatório, havendo redução de valores para as profundidades superficial, 5m e 10m. Nesse período há uma maior homogeneidade na coluna d'água, em função de ser a estação seca e ocorrer o processo de desestratificação térmica reservatório. Os maiores picos populacionais ocorreram durante a primavera, embora as medianas não sejam as maiores.

Figura 27 - Estudo da sazonalidade das cianobactérias por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



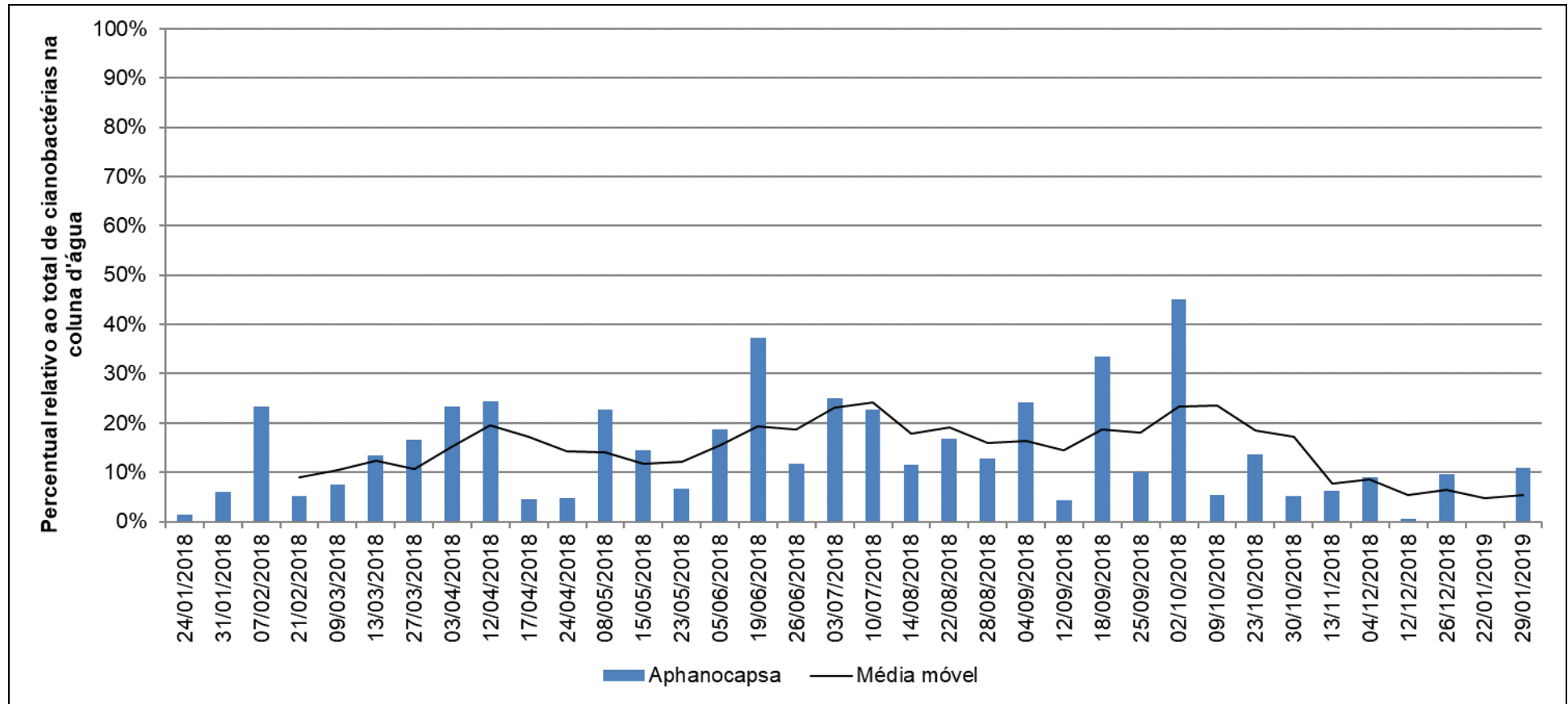
Fonte: O autor, 2020.

Dentre os gêneros de cianobactérias os gêneros *Aphanocapsa*, *Limnococcus*, *Lemmermanniella/Epigloeosphaera* e *Planktolyngbya limnetica*, foram os que somados

representaram quase que a totalidade das populações de cianobactérias. Em vista disso, foram avaliadas suas respectivas densidades relativas e distribuição na coluna d'água ao longo do estudo.

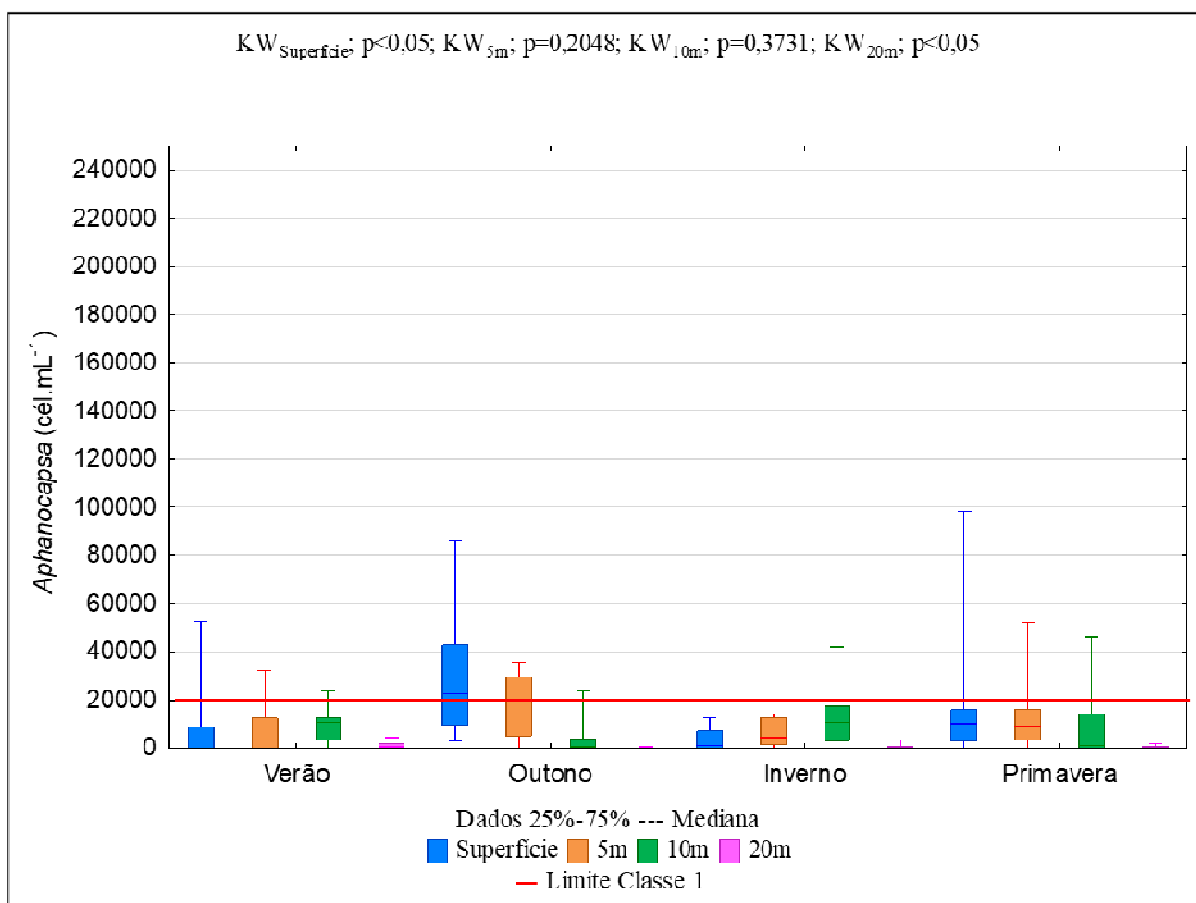
As Figuras 28 e 29 apresentam a distribuição do gênero *Aphanocapsa* ao longo de toda a coluna d'água. A densidade deste gênero oscilou em grande parte do período estudado entre 10 a 25% da densidade total. Foi observado valores mais elevados durante as estações do outono e da primavera. Durante o inverno, este gênero passa representar um percentual maior na densidade relativa de cianobactérias, não em função do seu aumento populacional, mas sim da redução de forma significativa de grande parte dos demais gêneros de cianobactérias, o que foi não observado para a densidade de cianobactérias do gênero *Aphanocapsa*.

Figura 28 - Evolução temporal da variação da densidade de cianobactérias para o gênero *Aphanocapsa* na coluna d'água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: O autor, 2020.

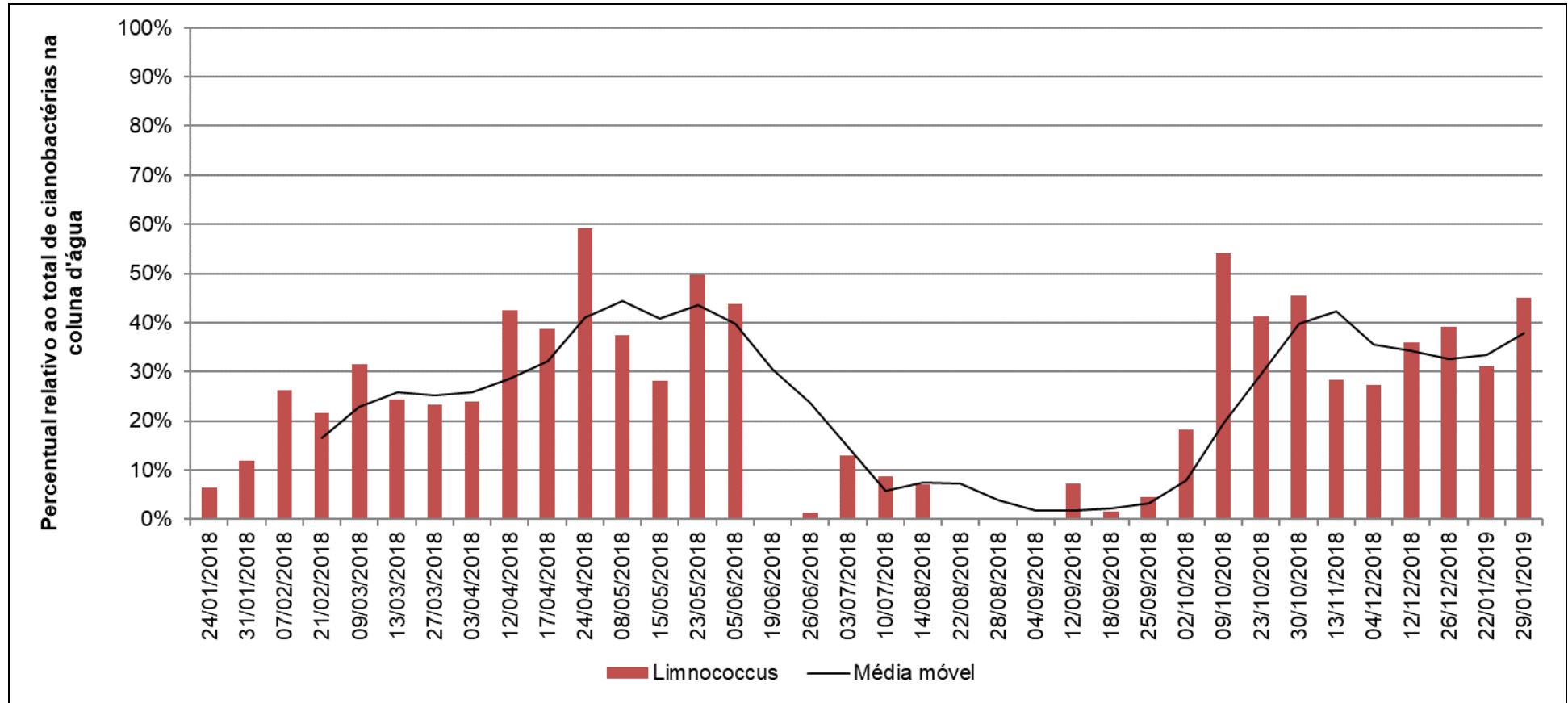
Figura 29 - Estudo da sazonalidade do gênero *Aphanocapsa* por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

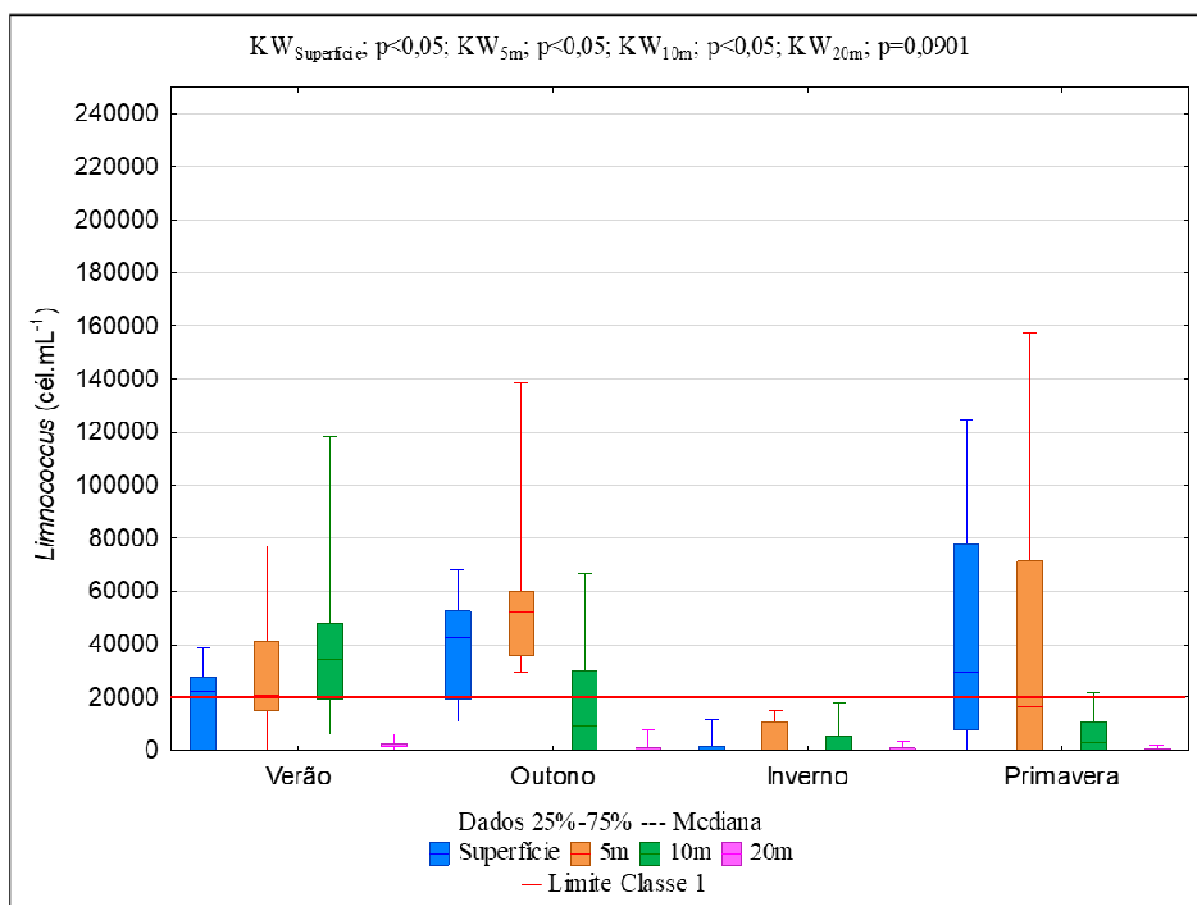
O gênero *Limnococcus* apresentou densidades que oscilaram entre 20% e 60% da densidade total de cianobactérias ao longo da coluna d'água. As máximas atingidas foram na primavera. Durante o período do inverno há uma redução significativa na densidade de cianobactérias, muito impactada pela redução deste gênero, que chegou a ter densidades insignificantes (Figuras 30 e 31).

Figura 30 - Evolução temporal da variação da densidade de cianobactérias para o gênero *Limnococcus* na coluna d'água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: O autor, 2020.

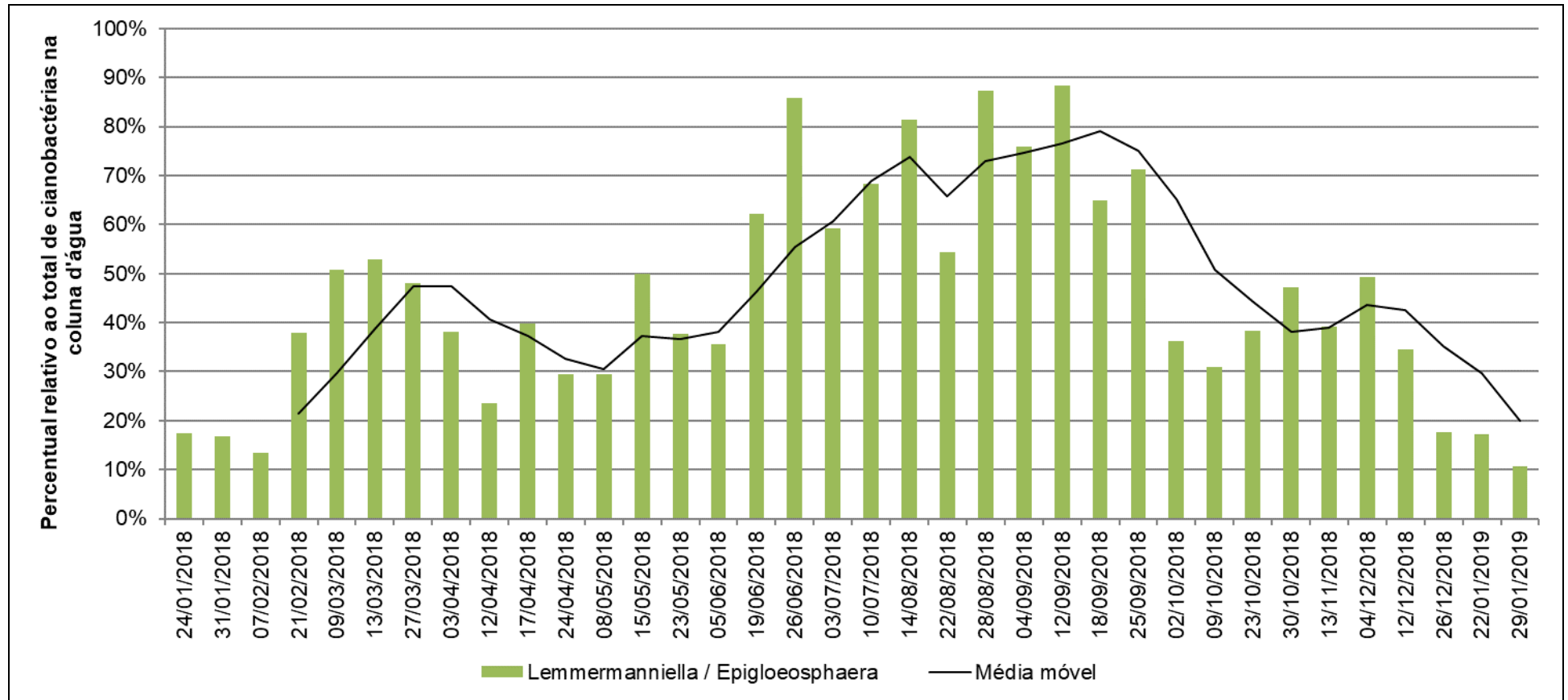
Figura 31 - Estudo da sazonalidade do gênero *Limnococcus* por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

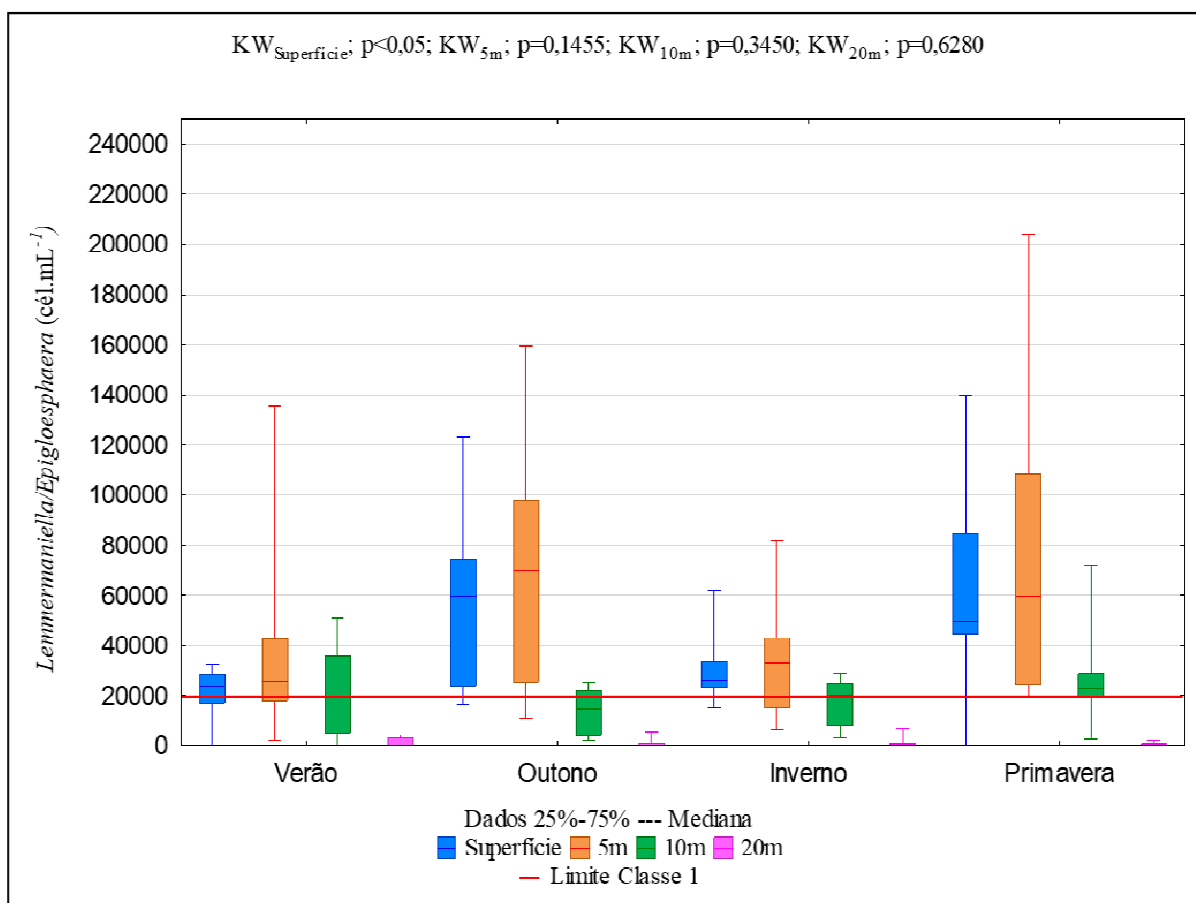
As Figuras 32 e 33 apresentam as densidades de *Lemmermanniella/ Epigloeosphaera* e sua distribuição ao longo da coluna d'água em cada estação climatológica do ano. As estações climatológicas mais favoráveis ao crescimento desse gênero foram no outono e na primavera, chegando a ter picos de 150.000 cél.mL<sup>-1</sup> e 200.000 cél.mL<sup>-1</sup>. Apesar do aumento na densidade relativa de cianobactérias durante o inverno, não houve aumento na densidade de cianobactérias deste gênero. Cerca de 80% de toda a densidade de cianobactérias identificada durante o inverno corresponde a este gênero, enquanto nas demais estações climatológicas esta incidência oscila entre 15% a 50%.

Figura 32 - Evolução temporal da variação da densidade de cianobactérias para o gênero *Lemmermanniella*/*Epigloeosphaera* na coluna d'água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: O autor, 2020.

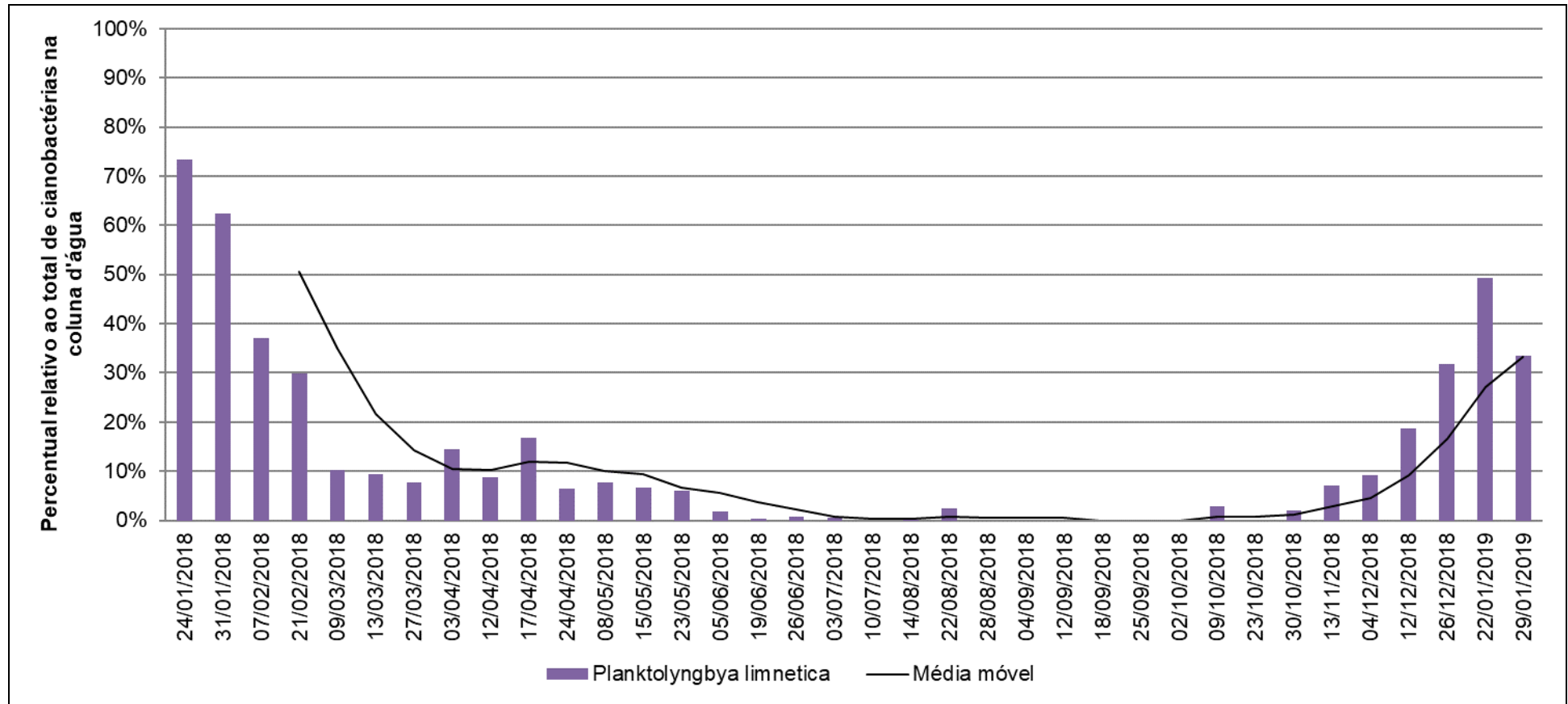
Figura 33 - Estudo da sazonalidade do gênero *Lemmermanniella* / *Epigloeosphaera* por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

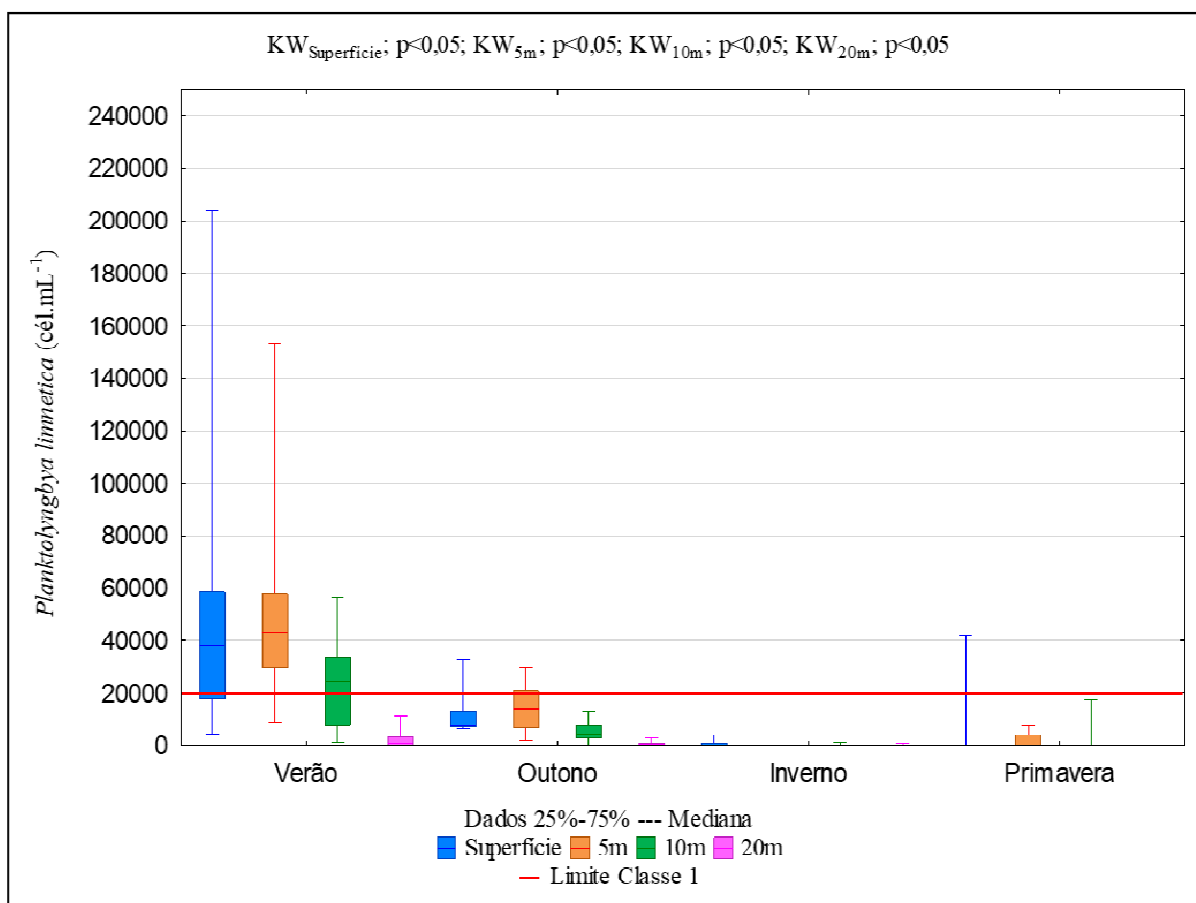
A densidade relativa do gênero de cianobactérias *Planktolyngbya limnetica* aumentou no verão, onde houve picos de cerca de 200.000 cél.mL<sup>-1</sup> na superfície. Nas demais estações climatológicas há um declínio acentuado na sua densidade, (Figuras 32 e 33).

Figura 34 - Evolução temporal da variação da densidade de cianobactérias para o gênero *Planktolyngbya limnetica* na coluna d'água no do ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 35 - Estudo da sazonalidade do gênero *Planktolyngbya limnetica* por profundidade no ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019



Fonte: O autor, 2020.

### 5.3 Índice de Estado Trófico (IET)

A Tabela 24 apresenta o IET calculado para o reservatório, agrupado por estação climatológica. Em função de grande parte dos resultados para os parâmetros fósforo total e clorofila- $\alpha$  serem baixos, o IET calculado para o reservatório é majoritariamente classificado em ultraoligotrófico chegando a oligotrófico em períodos com maior pluviosidade que costumam ocorrer no verão e no outono.

Tabela 24 - Índice de Estado Trófico calculado para o ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Piraí, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019 agrupado por estação climatológica

| Data da coleta | Estação Climatológica | IET Clorofila- <i>a</i><br>(mg.m <sup>-3</sup> ) | IET P-total - P<br>(mg.m <sup>-3</sup> ) | Classificação do Estado Trófico |
|----------------|-----------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|
| 24/01/2018     | Verão                 | 41,34                                            | 48,42                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 31/01/2018     | Verão                 | 49,36                                            | 52,31                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 07/02/2018     | Verão                 | 46,68                                            | 47,06                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 21/02/2018     | Verão                 | 46,53                                            | 49,52                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 09/03/2018     | Outono                | 50,98                                            | 48,42                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 13/03/2018     | Outono                | 49,85                                            | 48,99                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 27/03/2018     | Outono                | 41,34                                            | 48,99                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 03/04/2018     | Outono                | 46,32                                            | 50,01                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 12/04/2018     | Outono                | 50,77                                            | 49,52                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 17/04/2018     | Outono                | 49,66                                            | 49,52                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 24/04/2018     | Outono                | 50,1                                             | 50,01                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 08/05/2018     | Outono                | 51,97                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 15/05/2018     | Outono                | 51,02                                            | 52,91                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 23/05/2018     | Outono                | 51,24                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 05/06/2018     | Inverno               | 52,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 19/06/2018     | Inverno               | -                                                | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 26/06/2018     | Inverno               | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 03/07/2018     | Inverno               | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 10/07/2018     | Inverno               | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 14/08/2018     | Inverno               | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 22/08/2018     | Inverno               | 48,85                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 28/08/2018     | Inverno               | 47,5                                             | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 04/09/2018     | Primavera             | 51,64                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 12/09/2018     | Primavera             | 49,12                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 18/09/2018     | Primavera             | -                                                | 50,01                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 25/09/2018     | Primavera             | 45,12                                            | 42,86                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 02/10/2018     | Primavera             | 49,8                                             | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 09/10/2018     | Primavera             | 48,78                                            | 42,86                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 23/10/2018     | Primavera             | 45,63                                            | 46,26                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 30/10/2018     | Primavera             | 49,27                                            | 48,42                                    | OLIGOTRÓFICO                    |
| 13/11/2018     | Primavera             | 49,44                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 04/12/2018     | Verão                 | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 12/12/2018     | Verão                 | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 26/12/2018     | Verão                 | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 22/01/2019     | Verão                 | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |
| 29/01/2019     | Verão                 | 41,34                                            | 38,66                                    | ULTRAOLIGOTRÓFICO               |

Fonte: O autor, 2020

#### 5.4 Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR)

A Tabela 25 apresenta o IQAR calculado para o reservatório, agrupado por estação climatológica.

Tabela 25 - Índice de Qualidade de Água de Reservatórios do Reservatório para o ponto de PF-01, situado próximo a barragem do Reservatório de Ribeirão das Lajes, Pirai, RJ, para o período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019 agrupado por estação climatológica

| Variáveis                      | Unidade              | Verão           | Outono                  | Inverno         | Primavera               |
|--------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Déficit oxigênio dissolvido    | %                    | 48,9%           | 47,7%                   | 46,5%           | 46,8%                   |
| Fósforo total                  | P mg.L <sup>-1</sup> | 0,007           | 0,011                   | 0,003           | 0,005                   |
| Nitrogênio Inorgânico Total    | N mg.L <sup>-1</sup> | 0,075           | 0,025                   | 0,115           | 0,0106                  |
| Clorofila- $\alpha$            | $\mu\text{g.L}^{-1}$ | <2,0            | 2,49                    | 3,14            | 2,72                    |
| Profundidade (disco de Secchi) | metros               | 3,9             | 3,7                     | 4,2             | 4,1                     |
| Densidade de cianobactérias    | cél.mL <sup>-1</sup> | 116927          | 136943                  | 36738           | 134020                  |
| Profundidade média             | metros               | 15              | 15                      | 15              | 15                      |
| Tempo de residência            | dias                 | 282             | 282                     | 282             | 282                     |
| <b>IQAR</b>                    |                      | 2,44            | 2,75                    | 2,26            | 2,61                    |
| <b>Legenda</b>                 |                      | Pouco Degradado | Moderadamente Degradado | Pouco Degradado | Moderadamente Degradado |

Fonte: O autor, 2020.

Segundo a classificação pelo IQAR, o reservatório de Ribeirão das Lajes, no ponto próximo à barragem se enquadra na classe III, sendo considerado moderadamente degradado, apresentando um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna de água (abaixo de 20m), podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo, em determinados períodos. Essa classificação considera como médio o aporte de nutrientes e matéria orgânica, com elevada densidade de cianobactérias, podendo haver dominância de algumas espécies. Classifica o reservatório com qualidade de água regular/aceitável, com tendência moderada a eutrofização e com tempo de residência das águas consideravelmente alto.

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADO

O reservatório de Lajes apresentou, considerando o uso para abastecimento público, ao longo do período estudado, ocorrências de elevadas densidades de cianobactérias, com impactos significativos dos efeitos da sazonalidade e pluviosidade, principalmente no inverno, apresentando valores mais baixos.

Durante o período estudado em grande parte do ano a densidade de cianobactérias foi de aproximadamente 150.000 a 250.000 cél.mL<sup>-1</sup>, tendo momentos com picos de 400.000 cél.mL<sup>-1</sup> e mínimas de 15.000 cél.mL<sup>-1</sup> na camada superficial. Destaca-se o aumento nas densidades de cianobactérias nos últimos anos, nos estudos apresentados por Gomes (2005) e Unirio (2006) a quantificação de cianobactérias não excedeu 20.000 ind.mL<sup>-1</sup> ou 36.000 cél.mL<sup>-1</sup>. A CONAMA 357/05 estabelece para águas classe tipo 1 o limite de 20.000 cél.mL<sup>-1</sup> enquanto o Anexo XX da PCMS 5/2017 estabelece a obrigatoriedade de monitoramento semanal das cianotoxinas. Nesse sentido é imprescindível a vigilância e monitoramento contínuo da qualidade da água.

Apesar do aumento nas densidades de cianobactérias nos últimos anos, não foi observado incremento nas concentrações de N e P na coluna d'água, tendo sido observados em baixas concentrações.

O estudo realizado por Gomes (2005) no reservatório indica que embora este seja classificado como oligo-mesotrófico, há dominância das cianobactérias na estrutura do fitoplâncton.

Os dados obtidos neste trabalho indicam que o reservatório foi classificado como ultraoligotrófico para oligotrófico, apontando para ligeira melhoria na qualidade da água comparado aos resultados obtidos por Gomes (2005), entretanto, é importante ampliar o período de monitoramento visando uma análise mais efetiva de tendência.

Ao comparar o reservatório de Lajes com outros seis reservatórios do complexo de hidrelétricas da LIGHT, Puga (2016) concluiu que diferentemente do esperado, os reservatórios com menores graus de trofia não apresentaram as menores biomassas em carbono na comunidade planctônica. Puga (2016) aponta que o elevado tempo de detenção da água no reservatório como fator importante ao comparar as biomassas do fitoplâncton, tendo Lajes como destaque com maiores valores em relação aos demais reservatórios.

Foram identificados 13 gêneros de cianobactérias, dentre eles os gêneros *Aphanocapsa* e *Radiocystis* são potenciais produtores de microcistina, enquanto o

gênero *Cylindrospermopsis* é potencial produtor de saxitoxina e cilindrospermopsina, esta última ainda não se tem registros no Brasil.

Vale ressaltar que os gêneros *Radiocystis* e *Cylindrospermopsis* foram identificados, porém apresentaram baixas densidades e nunca ultrapassaram a densidade relativa de 5% de cianobactérias. Durante o período estudado não foram detectadas concentrações de microcistina, saxitoxina ou cilindrospermopsina em nenhuma profundidade estudada.

Dentre os gêneros encontrados, *Aphocanapsa*, *Limnococcus*, *Lemmermanniella/Epigloeosphaera* e *Planktolyngbya limnetica* tiveram maiores densidades, o que justificou uma análise mais detalhada deles. Gomes (2005) ao estudar as espécies de cianobactérias dominantes no reservatório de Lajes relatou a presença dos gêneros *Leptolyngbya* e *Cyanodictyon* como espécies dominantes, chamando a atenção para o fato dessas espécies não serem as clássicas formadoras de florações no Brasil nem no Mundo. Unirio (2006) identificou os gêneros *Aphanocapsa*, *Coelomorion*, *Lemmermanniella*, *Leptolyngbya*, *Merismopedia* e *Synechococcus*, chamando a atenção para a dominância do gênero *Leptolyngbya*, corroborando com o estudo de Gomes (2005).

Neste estudo, diferentemente dos estudos anteriores, houve alternância entre os gêneros dominantes, tendo destaque a presença estável ao longo do ano inteiro do gênero *Aphocanapsa*. Este gênero desperta atenção pelo seu potencial de produção de toxinas.

Durante o período do inverno houve uma redução significativa na densidade de cianobactérias, impactada pela redução do gênero *Limnococcus*, que chegou a ter densidades muito reduzidas. Neste mesmo período, o gênero *Lemmermanniella/Epigloeosphaera* se destacou com 80% de toda a densidade de cianobactérias, enquanto nas demais estações climatológicas esta incidência oscilou entre 15% a 50%.

A densidade relativa do gênero de cianobactérias *Planktolyngbya limnetica* aumentou no verão, onde houveram picos de cerca de 200.000 cél.mL<sup>-1</sup> na superfície. Nas demais estações climatológicas houve um declínio acentuado da sua incidência.

A estrutura da comunidade fitoplanctônica sofre impactos em função das diferentes condições de estabilidade. Teixeira (2020) ao estudar a estabilidade térmica e química no reservatório de Lajes demonstra ocorrência de forte estabilidade e instabilidade da coluna d'água, com significativa sazonalidade associada ao regime climatológico. Costa (2014) associou o maior biovolume do fitoplâncton ao período de estratificação térmica mais pronunciado da coluna d'água, em função do aumento da temperatura da água, um modesto incremento na disponibilidade de fósforo (controle ascendente) e a uma redução da biomassa

do zooplâncton herbívoro (controle descendente). Em relação a composição do fitoplâncton, Costa (2014) associou os efeitos diretos (metabolismo) e indiretos (estratificação) da temperatura e, potencialmente, pela ação seletiva do zooplâncton herbívoro.

Os resultados deste trabalho obtidos para o grau de saturação de oxigênio e temperatura da água, variaram ao longo das profundidades estudadas, apresentando homogeneidade entre as profundidades da superfície até a profundidade de 5 m durante o período inteiro. Teixeira (2020) aponta uma forte estratificação térmica nos primeiros 6 m de profundidade da coluna d'água no ponto da barragem do reservatório de Lajes, dificultando a mistura dessas águas. A fraca ação dos ventos é apontada como fator importante nos fenômenos de mistura das camadas d'água do reservatório, favorecendo aos processos de estratificação térmica e química (TEIXEIRA, 2020).

Durante o inverno os resultados do grau de saturação de oxigênio e da temperatura da água, apresentaram maior homogeneidade entre a superfície até os 10 m de profundidade. Por ser um reservatório profundo, o grau de saturação de oxigênio varia bastante ao longo do perfil vertical, sendo abaixo dos 20 m, um ambiente próximo a hipóxico. O impacto da sazonalidade no grau de saturação de oxigênio dissolvido e temperatura da água é evidente. Durante o verão, outono e primavera é observado três camadas no grau de saturação de oxigênio e temperatura da água, enquanto no inverno, há somente duas camadas, com redução dos valores nas camadas superficiais. A temperatura da água na camada superficial atinge seu valor mínimo de  $22^{\circ}\text{C} \pm 0,9^{\circ}\text{C}$  no inverno, enquanto no verão atingiu  $32,5^{\circ}\text{C} \pm 0,9^{\circ}\text{C}$ , sendo esta, uma oscilação expressiva, impactando a dinâmica do reservatório. No verão há uma diferença estabelecida entre as camadas, chegando a apresentar  $5^{\circ}\text{C} \pm 0,9^{\circ}\text{C}$  de diferença entre a camada superficial e a profundidade de 10 m na coleta dia 12/12/18 e de quase  $10^{\circ}\text{C} \pm 0,9^{\circ}\text{C}$  entre a superfície o ponto de 20 m no dia 29/01/19.

Teixeira (2020) demonstra que apesar de ocorrer a desestratificação térmica na camada superficial do reservatório no inverno, as águas não sofrem mistura completa, com permanente estratificação química.

A espécie preponderante de nitrogênio inorgânico até a profundidade de 20 m é o nitrato, corroborando com o estudo realizado por (UERJ, 2019) que constatou a predominância do nitrato até a profundidade de 30 m e a partir dessa, a amônia apresenta valores mais elevados, justificados pela redução da presença de oxigênio. Com a anoxia, a respiração da matéria orgânica se dá pela via de geração de amônia, aumentando o pH e aumentando os teores de amônia.

Os valores medianos de fósforo total se mantiveram estáveis ao longo da coluna d'água, indicando disponibilidade suficiente deste elemento, diferentemente do ortofosfato, que praticamente não foi detectado, sendo este, um elemento importante na regulação do controle de cianobactérias. O estudo desenvolvido por (UERJ, 2019) aponta o ortofosfato como principal constituinte do fósforo total corroborando para importância da limitação deste composto. Costa (2014) aponta o fósforo como elemento limitante no reservatório de Lajes, não havendo limitação por nitrogênio. Isto pode ocorrer devido ao consumo deste nutriente pelas cianobactérias em seu metabolismo, utilizando o ortofosfato para seu crescimento

As concentrações de clorofila- $\alpha$  no reservatório de Lajes, durante o período estudado foram baixas, com valor mediano de  $1,35 \mu\text{g.L}^{-1}$  na profundidade superficial, resultados que corroboram com os encontrados por Costa (2014)  $1,4 \mu\text{g.L}^{-1}$  e Soares *et al.* (2008)  $1,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

A clorofila- $\alpha$  é muitas vezes utilizada como indicador para monitoramento indireto da densidade de cianobactérias. Em casos como o encontrado no reservatório de Lajes, essa relação entre clorofila e densidade de cianobactérias não é adequada, uma vez são encontradas baixas concentrações de clorofila- $\alpha$  e elevadas densidades de cianobactérias.

O reservatório, no ponto estudado, próximo à barragem, apresentou baixo grau de trofia, quando analisados os índices de estado trófico (IET) em função dos resultados das concentrações do fósforo e clorofila- $\alpha$ , podendo ser incluído como um sistema ultraoligotrófico a oligotrófico. No entanto, o reservatório pode ser classificado como classe III pelo Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR), sendo considerado moderadamente degradado, apresentando um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna de água (abaixo de 20m), podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo, fato este corroborado por Teixeira (2020). Essa classificação considera a elevada densidade de cianobactérias, indicando haver dominância de algumas espécies, entretanto, não foi observada floração durante o período estudado. Classifica o reservatório com qualidade de água regular/aceitável, com tendência moderada a eutrofização e com tempo de residência das águas consideravelmente alto.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reservatório de Ribeirão das Lajes apresentou, durante o estudo, ocorrência de elevadas densidades de cianobactérias, violando os limites estabelecidos pela CONAMA 357/05 para águas do tipo classe 1 em praticamente todo o ano, com diferenças significativas entre as estações climatológicas, tendo apresentado valores mais baixos no inverno.

Dos gêneros de cianobactérias identificados, os gêneros *Aphanocapsa*, *Limnococcus*, *Lemmermanniella/Epigloeosphaera* e *Planktolyngbya limnetica* se alternaram entre os gêneros dominantes, sendo influenciadas pelas estações climatológicas. Esses gêneros não foram citados como dominantes em estudos anteriores conduzidos por Gomes (2005) e Unirio (2006), que apontavam *Leptolyngbya* e *Cyanodictyon* como gêneros dominantes. Apesar da ocorrência do gênero *Aphanocapsa* ao longo de todo o período estudado, não foi detectado a presença das cianotoxinas (microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas).

Os resultados obtidos para os parâmetros de oxigênio dissolvido e temperatura da água corroboram estudos desenvolvidos no reservatório que avaliaram a estratificação térmica do reservatório durante o verão, outono e primavera, ocorrendo a desestratificação térmica na camada superficial do reservatório no inverno.

O reservatório é classificado como ultraoligotrófico para oligotrófico, apresentou baixas concentrações de clorofila- $\alpha$ , nitrogênio e fósforo, praticamente não sendo quantificadas concentrações de ortofosfato.

Apesar da classificação de baixo grau de trofia pelo IET (CETESB, 2020) o reservatório foi enquadrado como classe III pelo IQAR (IAP, 2017) apresentando características de reservatório moderadamente degradado.

Embora a represa de Lajes seja considerada de ótima qualidade com baixo estado de trofia, situada em região onde ocorra pouca contaminação antropogênica, é necessária uma permanente preocupação com as ocorrências de cianobactérias, devido ao aumento nas densidades de cianobactérias ao longo dos anos e a presença de gêneros com potencial produção de cianotoxinas.

## REFERÊNCIAS

- ADLOFF, C. T. et al. Analysis of the Phytoplankton Community Emphasizing Cyanobacteria in Four Cascade Reservoirs System of the Iguazu River, Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 23, 1 fev. 2018. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2318-03312018000100203&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312018000100203&lang=pt)>.
- AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. *Relatório de Gestão da Região Hidrográfica do Guandu*. Resende, RJ, 2016.
- AGUILERA, A. et al. The polyphasic analysis of two native Raphidiopsis isolates supports the unification of the genera Raphidiopsis and Cyindrospermopsis (Nostocales, Cyanobacteria). *Phycologia*, v. 57, n. 2, p. 130–146, 1 mar. 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.2216/17-2.1>>.
- ALCOCER, J; BERNAL-BROOKS, F. W. Limnology in Mexico. *Hydrobiologia*, v. 644, n. 1, p. 15-68, 2010.
- ALLENDE, L. et al. Phytoplankton functional group classifications as a tool for biomonitoring shallow lakes: a case study. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, v. 2019-Janua, n. 420, 2019.
- APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington, DC: American Public Health Assosiation, 2005.
- APRILE, F.M . *Thermal structure of the Poraquê lake, Central Amazonian, Brazil*. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 33, n. 2, p. 171-178, 2011.
- ARAÚJO, J. A. F.; SALES, R. J. M.; SOUZA, R. O. *Risco de eutrofização em reservatórios de regiões semiáridas com uso da teoria dos conjuntos difusos*. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 10, nº 1. 2013.
- BARTRAM, J et al. *Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. E & FN Spon, p. 1-14, 1999.
- BECKER, V. et al. Driving factors of the phytoplankton functional groups in a deep Mediterranean reservoir. *Water Research*, v. 44, n. 11, p. 3345–3354, 2010.
- BECKER, V; HUSZAR, V. L. M; CROSSETTI, L. O. Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. *Hydrobiologia*, v. 628, p. 137-151, 2009.
- BINA, B. *Fatores ambientais e dinâmica de população de cianobactérias em um reservatório tropical no Sudeste*. Belo Horizonte, MG, 2008. Tese (Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

BORGES, P. A. F; TRAIN, S; RODRIGUES, L. C. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. *Hydrobiologia*, v. 607, p. 63-74, 2008.

BORTOLINI, J. C. et al. Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. *Hydrobiologia*, v. 830, n. 1, p. 45-61, 2019.

BOUVY, M et al. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, v. 23, p. 13-27, 2000.

BRAGA, G. G.; BECKER, V. Influence of water volume reduction on the phytoplankton dynamics in a semiarid man-made lake: A comparison of two morphofunctional approaches. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, v. 92, n. 1, p. 1-17, 2020.

BRANCO, C. W. C et al. Impact of climate on the vertical water column structure of Lajes Reservoir (Brazil): A tropical reservoir case. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, v. 14, n. 3, p. 175-191, 2009.

BRANDÃO, L.; DOMINGOS, P. Ambiente. *FATORES AMBIENTAIS PARA A FLORAÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS TÓXICAS ENVIRONMENTAL FACTORS FOR TOXICS CYANOBACTERIA BLOOM*, n. Saude & em revista Ambiente, p. 40-50, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como esclarece condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 5, de 28 de setembro de 2017. ANEXO XX. Diário Oficial da União. Brasília, 28 de setembro de 2017.

CABECINHA, E et al. Ecological relationships between phytoplankton communities and different spatial scales in European reservoirs: implications at catchment level monitoring programs. *Hidrobiologia*, v. 628, p. 27-45, 2009.

CALIJURI, M. C et al. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir. *Journal of Plankton Research*, Barra Bonita, SP - Brazil, v. 24, p. 617-634, 2002.

CARACO, N. F.; MILLER, R. Effects of Co<sub>2</sub> on competition between a cyanobacterium and eukaryotic phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 55, n. 1, p. 54-62, 1998.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnology Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 261-269, 1977.

CARMICHAEL, W. W. The toxins of cyanobacteria. *Scientific American*, v. 270, n. 1, p. 78-86, jan. 1994. Disponível em: <<https://www.scientificamerican.com/article/the-toxins-of-cyanobacteria>>.

CARMICHAEL, W. W. The cyanotoxins. *Adv Bot Res*, v. 27, p. 211-12, 1997.

CETESB. *IET- Índice do estado trófico . COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-C-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas-2.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2020.

CETESB. *Manual de Cianobactérias Planctônicas: Legislação, Orientações para o Monitoramento e Aspectos Ambientais*. São Paulo, 2013.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim – COMITÊ GUANDU. *Monitoramento da qualidade da água do rio Pirai à montante de Tócos, na Região Hidrográfica II – Guandu*. Seropédica. 2013.

CORDEIRO, E. M. S.; ROCHA, F. N. S.; PEQUENO, M. N. C.; BUARQUE, H. L. B. *Avaliação comparativa dos índices de estado trófico das lagoas do opaia e da sapiranga, Fortaleza-CE*. In: IX Encontro de pesquisa e pós-graduação, IX Encontro de iniciação científica, III Simpósio de Inovação Tecnológica. Fortaleza, 2009.

COSTA, A. R. *Fatores que controlam a composição e o biovolume do fitoplâncton do Reservatório de Ribeirão das Lajes*. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Botânica) – UFRJ/Museu Nacional, 2014.

CROSSETI, L. O et al. Phytoplankton biodiversity changes in a shallow tropical reservoir during the hypertrophication process. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, p. 1061-1067, 2008.

CUNHA, D. G. F. *Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal do Reservatório de Itupararanga: uma contribuição ao manejo sustentável dos recursos hídricos da Bacia do Rio Sorocaba (SP)*. São Carlos, f. 235, 2012. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, 2012.

CUNHA, D. G. F; CALIJURI, M. C. Variação sazonal dos grupos funcionais fitoplanctônicos em braços de um reservatório tropical de usos múltiplos no estado de São Paulo (Brasil). *Acta Botânica Brasílica*, v. 25, p. 822-831, 2011.

Danish Lakes. n. 1990, 1994. Disponível em: <[www.nrcresearchpress.com](http://www.nrcresearchpress.com)>

DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J et al. Phytoplankton taxonomic composition and temporal changes in a tropical reservoir. *Fundamental and Applied Limnology Archiv für Hydrobiologie*, v. 171, p. 27-38, 2008.

DODDS, W. K. *Freshwater Ecology: Concepts and Enviromental Applications*. 1. ed. San Diego, California: Academic Press, 2002.

DOS SANTOS, A. C. A; CALIJURI, M. C. *Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita Reservoir*. *Hydrobiologia*. São Paulo, Brazil, v. 367, 1998, p. 139-152.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ESTEVEES, F. A. Fundamentos de limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

ESTEVEES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1988.

FALCO, P. B; CALIJURI, M. C. Longitudinal phytoplankton community distribution in a tropical reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Americana, SP - Brazil, v. 14, p. 27-37, 2002.

FALCONER, I. Potential impact on human health of toxic cyanobacteria. *Phycologia*, v. 35(6), p. 6-11, 1996.

FERNANDES, S. S. *Biodisponibilidade de Cianotoxinas em Bivalves*. Porto, 2008. Dissertação (Ecologia Aplicada) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal, 2008.

FIGUEREDO, C. C; GIANI, A. *Phytoplankton community in the tropical lake of Lagoa Santa (Brazil): Conditions favoring a persistent bloom of *Cylindrospermopsis raciborskii**: *Limnologia* . 2009.

FIGUEREDO, C. C; GIANI, A. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, v. 445, p. 165-174, 2001.

FOGG, G. E; THAKE, B. *Algae cultures and phytoplankton ecology*. 3. ed. The University of Wisconsin (Ed.), 1987.

GANF, G. G. Diurnal Mixing and the Vertical Distribution of Phytoplankton in a Shallow Equatorial Lake (Lake George, Uganda). *The Journal of Ecology*, v. 62, n. 2, p. 611, 1974.

GOMES, A. M. A. *Impacto Da Atividade De Piscicultura Intensiva E Da Adição De Nutrientes Inorgânicos (N E P) Na Qualidade Da Água Do Reservatório De Ribeirão Das Lajes*. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GUEDES, I. A. *Diversidade e Dinâmica de cianobactérias e produção de microcistinas no Reservatório do Funil- RJ*. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

HANEY, J. F. Field studies on zooplankton □ cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, v. 21, n. April 1987, p. 467–475, 1987.

HANEY, J. F. Field studies on zooplankton-Cyanobacteria interactions. *Marine Freshwater Research*, N.Z.J, v. 21, p. 467-475, 1987.

HUSZAR, V; DA SILVA, L. A. A Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica no Brasil: Cinco Décadas de Estudos. *Limnotemas*, v. 2, p. 1-22, 1999.

IAP. *Qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná*. Curitiba, PR, 2017.

IMBERGER, J; HAMBLIN, P. F. Dynamics of Lakes, Reservoirs, and Coolong Ponds. *Annu. Re. Fluid Mech*, p. 153-187, 1982.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Comissão Técnica de Química CT05. *Orientação sobre validação de métodos analíticos: documento de caráter orientativo: DOQCGCRE-008: revisão 04*. Brasília, DF, 2011. 19 p.

JENSEN, P. et al. mpad of Nu Factors on the Shift from bacterial to ance in Shallow

KALFF, J. *Limnology: Inland Water Ecosystems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2002.

LAMPARELLI, M.C. *Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. São Paulo, f. 238, 2004. Tese (Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEWIS, W. M. *Perspectives in Tropical Limnology: Tropical lakes: how latitude makes a difference*. 1996b, p. 43-64.

LEWIS, W. M. Tropical limnology. *Ann. Rev. Ecol. Syst*, v. 18, n. 1, p. 59-84, 1987.

MARTÍN-FERNANDEZ, J. .; BARCELÓ-VIDAL, C.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Dealing With Zeros and Missing Values in Compositional Data Sets Using Nonparametric Imputation. *Mathematical Geology*, v. 35, n. 3, 2003.

MARTINS, R. Q. A. *CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DO IMPACTO DE CIANOBACTÉRIAS NA SAÚDE ANIMAL*. 2020. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, 2020.

MATSUMURA-TUNDISI, T et al. The Ecological Significance of the Metalimnion in Lakes of Middle Rio Doce Valley. *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. São Paulo: Brazilian Academy of Science, p. 528, 1997.

MCINTIRE, C. D; LARSON, G. L; TRUITT, R. E. Seasonal and interannual variability in the taxonomic composition and production dynamics of phytoplankton assemblages in Crater Lake, Oregon. *Hydrobiologia*, v. 574, p. 179-204, 2007.

MCQUEEN, D. J.; LEAN, D. R. S. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in Lake St. George, Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 44, n. 3, p. 598–604, 1987.

MIKŠOVÁ, D.; FILZMOSE, P.; MIDDLETON, M. Imputation of values above an upper detection limit in compositional data. *Computers and Geosciences*, v. 136, n. November 2018, p. 104383, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.104383>>.

MORAES, D. S. de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos

MOURA, A. N et al. Phytoplanktonic Associations: A Tool to Understand Dominance Events in a Tropical Brazilian Reservoir. *Acta Botanica Brasilica*, v. 21, p. 641-648, 2007.

NYENJE, P. M. et al. Eutrophication and nutrient release in urban areas of sub-Saharan Africa - A review. *Science of the Total Environment*, v. 408, n. 3, p. 447–455, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.020>>.

PAERL, H. W.; OTTEN, T. G. Harmful Cyanobacterial Blooms :Causes, Consequences, and Controls. *Environmental Microbiology*, 2013.

PALAREA-ALBALADEJO, J.; MARTÍN-FERNÁNDEZ, J. A. Values below detection limit in compositional chemical data. *Analytica Chimica Acta*, v. 764, p. 32–43, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2012.12.029>>.

PANOSSO, R. et al. Cianobactérias e Cianotoxinas em Reservatórios do Estado do Rio Grande do Norte e o Potencial Controle das Florações pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Oecologia brasiliensis*, p. 11 (3): 443-449, 2007.

PEREIRA CASALI, Simone. *A comunidade fitoplanctônica no reservatório de Itupararanga (bacia do rio Sorocaba, SP)*. São Carlos, 2014. Tese (Ciência, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento.) - Universidade de São Paulo, 2014.

PETTERSSON, K.; HERLITZ, E.; ISTVÁNOVICS, V. The role of *Gloeotrichia echinulata* in the transfer of phosphorus from sediments to water in Lake Erken. *Hydrobiologia*, v. 253, n. 1–3, p. 123–129, 1993.

PROFILL/AGEVAP. *PLANO ESTRATÉGICO DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS GUANDU, DA GUARDA E GUANDU-MIRIM*. Rio de Janeiro, 2017. 554 p.

PUGA, A. *Biomassa em carbono nas comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica de sete reservatórios tropicais*. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical)) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2016.

RAMÍREZ, J. J; BICUDO, C. E. M. Variation of climatic and physical co-determinants of phytoplankton community in four nictemeral sampling days in a shallow tropical reservoir, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 62, p. 1-14, 2002.

REYNOLDS, C. S. The response of phytoplankton communities to changing lake environments. *Swiss Journal of Hydrology*, v. 49, n. 2, p. 220–236, jun. 1987. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02538504>>.

REYNOLDS, C. S. Cyanobacterial water-blooms. *Advances in botanical research. Academic Press*, London, v. 13, p. 67-143, 1987.

RIO DE JANEIRO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERHI. *Resolução nº. 127, de 27 de agosto de 2014: aprova o enquadramento de corpos d'água em classes de uso para 24 trechos de rio da região hidrográfica Guandu*. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

ROCHA, M. *Estudo da variação sazonal do fitoplâncton e zooplâncton e da concentração de microcistinas nesses dois níveis tróficos no Reservatório do Funil (Resende-RJ)*. Rio de Janeiro, 2007. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

ROCHA, M. *Avaliação de fatores que contribuem para a dominância de cianobactérias no Reservatório do Funil e proposição de medidas para a melhoria da qualidade da água*. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biofísica)) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

RODRIGUES, F. *Proposta e avaliação dos métodos de digestão ácida e digestão básica via bloco digestor e micro-ondas para análise de fósforo total*. Rio de Janeiro, f. 36, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência Ambiental) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2016.

SAKER, M. L. et al. First report and toxicological assessment of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* from Portuguese freshwaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 55, p. 243–250, 2003.

SAKER, M. L.; NOGUEIRA, I. C. G.; VASCONCELOS, V. M. First report and toxicological assessment of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* from Portuguese freshwaters. *Ecotox. Environ*, v. 55, p. 243-250, 2003.

SALMASSO, N; PADISÁK, J. Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). . *Hydrobiologia*, v. 578, p. 97-112, 2007.

SANT'ANNA, C. L et al. *Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais*. Interciência, 2006. 60 p.

SANTOS, V. L. *CIANOBACTÉRIAS TÓXICAS E PROCESSOS DE REMOÇÃO*. Belo Horizonte, 2009. Monografia (Especialização em Microbiologia Ambiental e Industrial) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

SILVA, C. A; TRAIN, S; RODRIGUES, L. C. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, v. 537, p. 99-109, 2005.

SILVA, L. *A influência das condições de estabilidade da coluna d'água na estrutura das comunidades planctônicas (fito e zooplâncton) do reservatório de Ribeirão das Lajes, RJ*. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade do Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, M. S. et al. Química das Águas de Superfícies dos Rios da Bacia Amazônica: Uma Contribuição para Classificação de Acordo com seus Usos Preponderantes. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Maceió, 2011.

SMITH, V. H. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in lake phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 43, n. 1, p. 148–153, 1986.

SMITH, V. H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, v. 221, n. 4611, p. 669–671, 1983.

SMITH, V. H; TILMAN, G. D; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, p. 179-196, 1999.

SOARES, M. C. S., MARINHO, M. M., HUSZAR, V. L., BRANCO, C. W., & AZEVEDO, S. M. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 13(4), 257-269. 2008.

Sobre a saúde humana. *Revista de Saúde Pública*, v. 36, n. 3, p. 370–374, jun. 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89102002000300018&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102002000300018&lng=pt&tlng=pt)>.

SOONG, F. S et al. Ilnes associated with blue green algae. *The Medical Journal of Australia*, v. 156, p. 67, 1992.

TAVERA, R.; MARTINÉZ-ALMEIDA, V. Atelomixis as a possible driving force in the phytoplankton composition of Zirahuén, a warm-monomictic tropical lake. *Hydrobiologia*, v. 533, n. 1, p. 199-208, 2005.

TEIXEIRA, G. Z. *Estabilidade Térmica e Química de Reservatórios: Um estudo de caso do Reservatório de Ribeirão das Lajes localizado no município de Piraí, RJ*. 2020. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2020.

TEIXEIRA, V. *Análise da integração dos principais atores nos processos de decisão da bacia do rio Paraíba do Sul na escassez hídrica de 2014- 2015*. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2018.

TRAIN, S et al. Distribuição Espacial e Temporal do Fitoplâncton em Três Reservatórios da Bacia do Rio Paraná: Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais. In: RODRIGUES, L., 167 S. M. THOMAZ, A. A. AGOSTINHO & L. C. GOMES (EDS). 2005, São Carlos, 2005. 73-85 p.

TSUTSUMI, T et al. *Antiidiotype monoclonal antibodies against anti-microcystin antibody and the use in enzyme immunoassay*. *Toxicon*, v. 36, p. 235-245, 1998.

TUCCI, A; SANT'ANNA, C. L. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, SP - Brazil, v. 26, p. 97-112, 2003.

TUNDISI, J. G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. 2. ed. São Carlos: RIMA, 2003.

TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUPINAMBÁ, M; TEIXEIRA, W; HEILBRON, M. Neoproterozoic western Gondwana assembly and subduction-related plutonism: the role of the Rio Negro Complex in the Ribeira Belt.. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 7-11, 2000.

UNIRIO. *Aspectos limnológicos e de qualidade da água do reservatório de Ribeirão das Lajes*. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - Núcleo de Estudos Limnológicos. 2006.

VASCONCELOS, V. Cianobactérias como fontes de compostos naturais de interesse biotecnológico. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Biotecnologia*, v. 2, n. 5, p. 24–26, 2014.

VIALLE, C. et al. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water Research*, v. 45, n. 12, p. 3765–3775, 2011.

Von SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte - MG: DESA-UFGM, p. 243.1996.

WHITTON, B. A; POTTS, M. The Ecology of Cyanobacteria. In: WHITTON, B. A; POTTS, M. (eds). *Introduction to the cyanobacteria*. London: Introduction to the cyanobacteria, 2000.

YOO, R. S et al. *Cyanobacterial (Blue-Green Algal) Toxins: A Resource Guide*. U.S.A: American Water Works Association – Research Foundation, 1995. 229 p.

YUNES, J. S et al. Toxic blooms of cyanobacteria in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, v. 5, p. 223-229, 1996.

**APÊNDICE A** - Testes de Kruskal-Wallis aplicados a cada profundidade, entre cada parâmetro, a estação climatológica e em cada estação climatológica

| Parâmetros                             | Superfície            |        |                                      |         |               |
|----------------------------------------|-----------------------|--------|--------------------------------------|---------|---------------|
|                                        | Estação climatológica |        | Testes em cada estação climatológica |         |               |
|                                        | p-value               | Verão  | Outono                               | Inverno | Primavera     |
| Densidade de cianobactérias            | <b>0,0011</b>         | 0,1577 | 0,5463                               | 0,4054  | <b>0,0357</b> |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | <b>0,0124</b>         | 0,5531 | 0,9910                               | 0,5386  | <b>0,0446</b> |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | <b>0,0000</b>         | 0,1998 | 0,4455                               | 0,6671  | 0,0821        |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | <b>0,0116</b>         | 0,6149 | 0,1372                               | 0,7549  | 0,2203        |
| <i>Limnococcus</i>                     | <b>0,0023</b>         | 0,5084 | 0,5463                               | 0,4984  | <b>0,0347</b> |
| pH                                     | <b>0,0339</b>         | 0,6211 | 0,3033                               | 0,3453  | 0,6739        |
| Temperatura da água                    | <b>0,0000</b>         | 0,1577 | <b>0,0450</b>                        | 0,2773  | 0,1786        |
| Nitrato                                | <b>0,0028</b>         | 1,0000 | 0,7408                               | 0,6514  | 1,0000        |
| OD <sub>SAT</sub>                      | <b>0,0003</b>         | 0,3555 | 0,0795                               | 0,7066  | 0,2231        |
| Clorofila- <i>a</i>                    | <b>0,0047</b>         | -      | -                                    | -       | -             |
| Nitrito                                | <b>0,0223</b>         | -      | -                                    | -       | -             |
| Fósforo Total                          | <b>0,0060</b>         | -      | -                                    | -       | -             |
| Ortofosfato                            | <b>0,0047</b>         | -      | -                                    | -       | -             |
| Nitrogênio Amoniacal                   | 0,1213                | -      | -                                    | -       | -             |

| Parâmetros                             | 5 metros              |        |                                      |               |               |
|----------------------------------------|-----------------------|--------|--------------------------------------|---------------|---------------|
|                                        | Estação climatológica |        | Testes em cada estação climatológica |               |               |
|                                        | p-value               | Verão  | Outono                               | Inverno       | Primavera     |
| Densidade de cianobactérias            | <b>0,0069</b>         | 0,4346 | 0,5849                               | 0,7066        | 0,0907        |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | 0,2048                | -      | -                                    | -             | -             |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | <b>0,0000</b>         | 0,1998 | 0,1478                               | 1,0000        | 0,1487        |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | 0,1455                | -      | -                                    | -             | -             |
| <i>Limnococcus</i>                     | <b>0,0036</b>         | 0,1025 | 0,1530                               | 0,7335        | <b>0,0412</b> |
| pH                                     | <b>0,0041</b>         | 0,7984 | 0,2030                               | 0,2558        | 0,4914        |
| Temperatura da água                    | <b>0,0000</b>         | 0,1341 | <b>0,0429</b>                        | <b>0,0407</b> | <b>0,0347</b> |
| Nitrato                                | <b>0,0017</b>         | 1,0000 | 1,0000                               | 0,6514        | 1,0000        |
| OD <sub>SAT</sub>                      | <b>0,0064</b>         | 1,0000 | 0,0514                               | 0,7066        | 0,2913        |
| Clorofila- <i>a</i>                    | <b>0,0007</b>         | -      | -                                    | -             | -             |
| Nitrito                                | <b>0,0014</b>         | -      | -                                    | -             | -             |
| Fósforo Total                          | 0,3535                | -      | -                                    | -             | -             |
| Ortofosfato                            | <b>0,0278</b>         | -      | -                                    | -             | -             |
| Nitrogênio Amoniacal                   | 0,3233                | -      | -                                    | -             | -             |

| Parâmetros                             | 10 metros             |        |                                      |         |               |
|----------------------------------------|-----------------------|--------|--------------------------------------|---------|---------------|
|                                        | Estação climatológica |        | Testes em cada estação climatológica |         |               |
|                                        | p-valeu               | Verão  | Outono                               | Inverno | Primavera     |
| Densidade de cianobactérias            | <b>0,0247</b>         | 0,1998 | 0,2826                               | 0,7897  | 0,0721        |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | 0,3731                | -      | -                                    | -       | -             |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | <b>0,0000</b>         | 0,3080 | 0,2346                               | 0,4346  | <b>0,0183</b> |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | 0,3450                | -      | -                                    | -       | -             |
| <i>Limnococcus</i>                     | <b>0,0023</b>         | 0,1577 | 0,0835                               | 0,2895  | 0,1929        |
| pH                                     | <b>0,0019</b>         | 0,3830 | 0,7997                               | 0,1795  | 0,3529        |
| Temperatura da água                    | <b>0,0000</b>         | 0,1167 | <b>0,0420</b>                        | 0,0601  | 0,1414        |
| Nitrato                                | 0,9043                | -      | -                                    | -       | -             |
| OD <sub>SAT</sub>                      | <b>0,0007</b>         | 0,1836 | 0,7275                               | 0,1194  | <b>0,0357</b> |
| Clorofila- <i>a</i>                    | 0,7380                | -      | -                                    | -       | -             |
| Nitrito                                | 0,1231                | -      | -                                    | -       | -             |
| Fósforo Total                          | <b>0,0071</b>         | -      | -                                    | -       | -             |
| Ortofosfato                            | <b>0,0165</b>         | -      | -                                    | -       | -             |
| Nitrogênio Amoniacal                   | 0,2240                | -      | -                                    | -       | -             |

| Parâmetros | 20 metros |
|------------|-----------|
|------------|-----------|

|                                        | Estação climatológica | Testes em cada estação climatológica |        |               |           |
|----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------|---------------|-----------|
|                                        | p-value               | p-value                              |        |               |           |
|                                        |                       | Verão                                | Outono | Inverno       | Primavera |
| Densidade de cianobactérias            | <b>0,0299</b>         | 0,0719                               | 0,0500 | 0,9862        | 0,5063    |
| <i>Aphanocapsa</i>                     | <b>0,0241</b>         | 0,3340                               | 0,4680 | 0,1489        | 0,5945    |
| <i>Planktolyngbya limnetica</i>        | <b>0,0011</b>         | 0,0821                               | 0,1912 | 0,7335        | 1,0000    |
| <i>Lemmermanniella/Epigloeosphaera</i> | 0,6280                | -                                    | -      | -             | -         |
| <i>Limnococcus</i>                     | 0,0901                | -                                    | -      | -             | -         |
| pH                                     | <b>0,0138</b>         | 0,2213                               | 0,1212 | 0,7756        | 0,1317    |
| Temperatura da água                    | <b>0,0000</b>         | 0,0719                               | 0,1484 | <b>0,0407</b> | 0,2546    |
| Nitrato                                | <b>0,0005</b>         | 0,0916                               | 0,5658 | 0,8071        | 1,0000    |
| OD <sub>SAT</sub>                      | 0,0950                | -                                    | -      | -             | -         |
| Clorofila- $\alpha$                    | 0,4375                | -                                    | -      | -             | -         |
| Nitrito                                | 0,0509                | -                                    | -      | -             | -         |
| Fósforo Total                          | <b>0,0158</b>         | -                                    | -      | -             | -         |
| Ortofosfato                            | <b>0,0092</b>         | -                                    | -      | -             | -         |
| Nitrogênio Amoniacal                   | <b>0,0316</b>         | -                                    | -      | -             | -         |