



## **Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água do reservatório Biritiba Mirim (Sistema Produtor Alto-Tietê/SP)**

### **José Antônio Fermoseli Júnior**

Mestrando em análise geoambiental, Universidade Guarulhos - UNG, Brasil.  
fermoselijunior@gmail.com

### **Edna Ferreira Rosini**

Professora Doutora, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Brasil.  
ednaferos@yahoo.com.br

### **Andréa Tucci**

Pesquisadora Doutora, Instituto de Pesquisas Ambientais - IPA, Brasil.  
atuccic@gmail.com

### **Renata Cristina Araújo Costa**

Professora Doutora, Universidade Guarulhos - UNG, Brasil.  
Renata.criscosta@gmail.com

### **João Alexandre Saviolo Osti**

Professor Doutor, Universidade Guarulhos - UNG, Brasil.  
jale.osti@gmail.com

## RESUMO

A região metropolitana de São Paulo apresenta cerca de 21 milhões de habitantes, para o abastecimento de água desta população são utilizados oito sistemas produtores de água, entre eles o Sistema Produtor Alto Tietê, responsável por 15% do abastecimento e composto por cinco reservatórios. A atividade agrícola é a base econômica na região do reservatório Biritiba Mirim e o uso do solo para este fim, por vezes, se estende até o seu entorno, o que pode comprometer a qualidade da água devido ao uso excessivo de fertilizantes, defensivos agrícolas, entre outros. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água do reservatório Biritiba Mirim, localizado no município de Biritiba Mirim/SP, e relacionar com uso e ocupação do solo. Foram realizadas quatro coletas trimestrais (agosto e novembro de 2019 e fevereiro e maio de 2020) em dez estações amostrais distribuídas espacialmente no reservatório (próximas à área com presença de mata ciliar e áreas agrícolas). Foram mensuradas variáveis física, químicas e microbiológicas da água, além de calculado o Índice de Qualidade da Água e Índice de Estado Trófico. Análises revelaram que as variáveis analisadas estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005, com exceção do fósforo total, cujos valores, em duas diferentes áreas, atingiram concentrações acima do limite legal. Ressalta-se que os maiores valores foram registrados em áreas próximas ao cultivo agrícola e a maior concentração de fósforo total nestas áreas pode estar relacionada à adubação fosfatada, realizada a cada plantio, cujos resíduos acabam carregados para o interior do corpo hídrico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de Estado Trófico. Reservatório de abastecimento hídrico. Região Metropolitana de São Paulo.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é privilegiado em relação aos recursos hídricos, possuindo aproximadamente 12% da disponibilidade mundial. Entretanto, analisando a sua distribuição pela superfície do território, observa-se grandes diferenças regionais. Isso fica evidenciado na região Norte, que representa 44% da extensão territorial e detém cerca de 70% dos recursos hídricos contando com apenas 4,5% da população brasileira, enquanto as regiões do Nordeste e Sudeste do Brasil, com 13% e 15% da população do país, apresenta 0,5% e 2%, respectivamente, da disponibilidade hídrica (GALLI; ABE, 2010).

A Região Metropolitana de São Paulo - RMSP é o mais populoso aglomerado urbano da América Latina, com cerca de 22.048,504 habitantes (IBGE, 2021) e apresenta demanda hídrica extremamente elevada em função de sua alta densidade demográfica, onde a população está quase que totalmente inserida na bacia do Alto Tietê (IBGE, 2021). De acordo com Whately e Diniz (2009) a RMSP tem sete vezes menos água por habitante do que a Organização das Nações Unidas (ONU) considera como crítico. A população da RMSP está espalhada por uma área de 8.051 km<sup>2</sup>, cerca de 0,1% do território brasileiro, mas concentrada em uma expansão urbana de cerca de 2.209 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). Surge então, um primeiro desafio: levar água de qualidade e em quantidade a mais de 10% da população brasileira concentrada em menos de 0,1% do território nacional.

Para atender a demanda atual de abastecimento da população da RMSP são necessários oito sistemas produtores de água, dentre eles o Sistema Alto Tietê que, em seu funcionamento normal, disponibiliza 15 m<sup>3</sup>/s de água para a RMSP, contribuindo para o abastecimento de, aproximadamente 4,5 milhões de pessoas (SIRVINKAS, 2020). O Sistema Produtor Alto Tietê é composto por cinco reservatórios, dentre eles, o reservatório Biritiba Mirim, localizado na cidade de Biritiba Mirim e Mogi das Cruzes, uma região que tem parte da

sua economia baseada na agricultura. Nos locais próximos ao reservatório Biritiba Mirim a mata ciliar vem sendo removida e o uso do solo para produção agrícola acaba se estendendo até o seu entorno, favorecendo o carreamento de material oriundo dessa atividade para o corpo hídrico, o que pode comprometer as características geoquímicas naturais da área e, conseqüentemente, a qualidade da água (SARTORI, 2015; TRINDADE, 2016), impactando diversos usos, como o equilíbrio ecológico (aves, peixes, plantas), inclusive para o consumo humano.

Assim sendo, os reservatórios, como parte das bacias hidrográficas, sofrem os efeitos das ações antropogênicas, que podem alterar de maneira significativa os corpos hídricos. Portanto, reservatórios localizados próximos a lugares com intensa atividade agrícola podem apresentar maiores concentrações de sedimentos, nutrientes e minerais metálicos, devido à presença de defensivos agrícolas (MALLASEN et al., 2012), como foi observado por Trindade (2016) e Sartori (2015) ao registrarem alteração da qualidade das águas do reservatório Biritiba Mirim em função, principalmente, das atividades agrícolas.

Essas atividades envolvem a disposição inadequada de resíduos, defensivos agrícolas e aplicações de fertilizantes fosfatados que, além de provocarem contaminação do solo, contribuem para a eutrofização dos corpos d’água, um dos principais problemas responsáveis pela redução na qualidade das águas para abastecimento humano (TRINDADE, 2016).

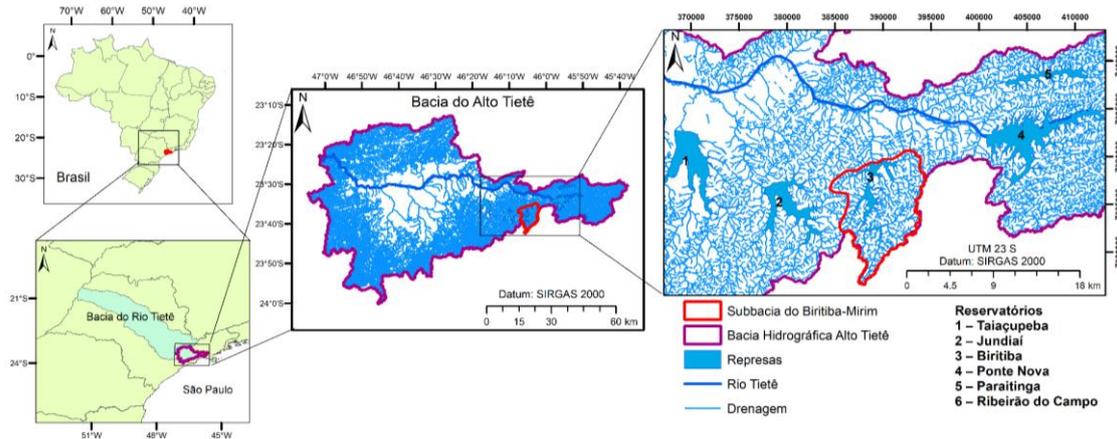
Desse modo, a hipótese levantada é que o uso e ocupação do solo do entorno do reservatório Biritiba Mirim influencia a característica limnológica da água, ocorrendo maiores concentrações de fósforo total, nitrogênio total e clorofila *a* e, conseqüentemente, observa-se o aumento do grau de trofia em locais próximos à área com ausência de matas ciliares. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar as características limnológicas espacial (horizontal) e temporais (sazonais) do reservatório Biritiba Mirim e compará-los quanto ao uso e ocupação do entorno do reservatório incluindo a sua bacia contribuinte.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

O reservatório de Biritiba Mirim localiza-se na região leste do Estado de São Paulo, integra a bacia hidrográfica do Alto Tietê, mais especificamente na região central da sub-bacia do Alto Tietê Cabeceiras, que faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 06 do Alto Tietê (Figura 1). O clima da região é subtropical. A temperatura média anual é de 20° C, sendo julho o mês mais frio (média de 15° C) e fevereiro o mais quente (média de 23° C). O índice pluviométrico médio anual é de 1300 mm.

Figura 1 – Localização do reservatório Biritiba Mirim na bacia do Alto Tietê



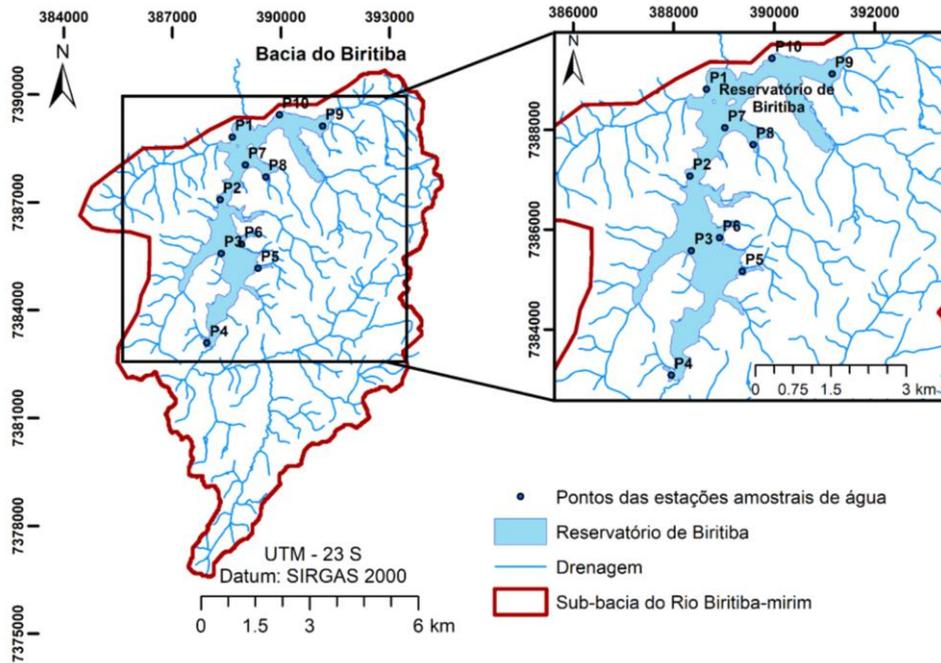
Fonte: Dados próprios.

Este reservatório faz parte do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), responsável por 15% do abastecimento de água da face leste da RMSP. Este sistema funciona de forma interligada (Figura 1), composto pelos reservatórios Paraitinga e Ponte Nova, no município de Salesópolis, reservatório Biritiba Mirim, mesmo nome da cidade, reservatório Jundiá em Mogi das Cruzes e reservatório de Taiaçupeba em Suzano, onde é feita a captação de água, tratamento e distribuição gerenciado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP. O reservatório de Biritiba Mirim apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 75 km<sup>2</sup>, formado pelo represamento das águas do rio Biritiba Mirim, afluente da margem esquerda do rio Tietê (TRINDADE, 2016).

## 2.2 Delineamento experimental

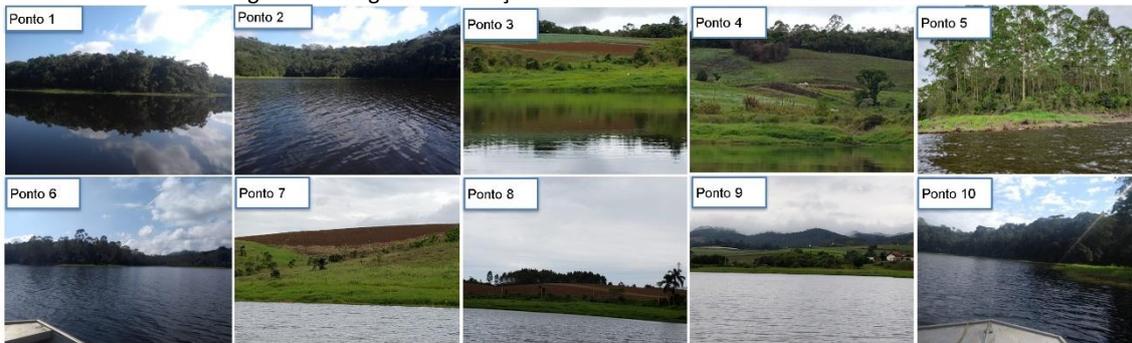
Amostras de água foram coletadas trimestralmente ao longo de um ciclo sazonal (entre agosto e novembro de 2019 e fevereiro e maio de 2020) e em dez diferentes estações amostrais no reservatório Biritiba Mirim. A definição das estações de amostragem teve como critério o uso e ocupação do solo nas margens do reservatório, como definido por Trindade (2016), sendo cinco estações próximas à área com presença de mata ciliar e 5 estações próximas a áreas com atividade agrícola (Figuras 2 e 3). As estações de amostragem foram demarcadas com o auxílio de um sistema de posicionamento global de satélites (GPSMAP 76CS/Garmin) (Tabela 1).

Figura 2 – Localização do reservatório Biritiba Mirim, destaque para a localização das estações de coleta



Fonte: Dados próprios.

Figura 3 – Imagens das estações amostrais no reservatório Biritiba Mirim



Fonte: Dados próprios.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas e características do entorno das estações amostrais de água do reservatório Biritiba Mirim, SP

Estação	Coordenadas	Característica do entorno
1	- 23.6074, - 46.0914	Presença de mata ciliar
2	- 23.6231, - 46.0948	Presença de mata ciliar
3	- 23.6366, - 46.0946	Presença de agricultura
4	- 23.6591, - 46.0987	Presença de agricultura
5	- 23.6404, - 46,0847	Presença de mata ciliar
6	- 23.6343, - 46.0891	Presença de mata ciliar
7	- 23.6144, - 46.0879	Presença de agricultura
8	- 23.6175, - 46.0824	Presença de agricultura
9	- 23.6048, - 46.0669	Presença de agricultura
10	- 23.6019, - 46.0786	Presença de mata ciliar

Fonte: Dados próprios.

### 2.3 Análise das variáveis limnológicas

Amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna d’água, transportadas e acondicionadas em frascos próprios seguindo os procedimentos do Guia de Coleta e Preservação de Amostras, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas ( CETESB, 2011). *In situ* foram analisadas: temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH e turbidez (Sonda Marca Horiba - Modelo U22). As amostras de água foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Água do Instituto de Pesca do Estado de São Paulo e do laboratório de Ciências Ambientais da Universidade UNG. No laboratório, foram analisadas a demanda bioquímica de oxigênio, o nitrogênio total, íon amônio, nitrito, nitrato, fósforo total, ortofosfato, sólidos totais, alcalinidade, *Escherichia coli* e clorofila *a*. A demanda bioquímica foi analisada via método manométrico (VELP CIENTÍFICA, 2016), o nitrogênio total e fósforo total foram analisados de acordo com Valderrama (1981), o íon amônio, nitrito e nitrato seguiram a metodologia de análise de Mackereth et al. (1978), o ortofosfato a de Strickland e Parson (1960), a alcalinidade e a *Escherichia coli* a metodologia descrita em APHA (2012).

Para a análise da clorofila *a* foram utilizados filtros de microfibras de vidro (AP 20) de 47 mm de diâmetro. Após a filtração, os filtros foram envolvidos em papel alumínio e estocados em freezer até a análise em laboratório. A extração por meio do etanol como solvente, bem como a análise, seguiu a técnica proposta por Wetzel e Likens (2000).

A partir dos resultados das análises limnológicas foram calculados o Índice de Estado Trófico (IET) de acordo com Lamparelli (2004) e o Índice de Qualidade da Água (IQA) de acordo com a CETESB (2020).

### 2.3 Mapeamento do Uso e Ocupação da Terra

Para a realização dos mapas de uso e ocupação da terra do reservatório de Biritiba, utilizou-se os softwares livres e imagens do satélite Sentinel-2.

Os Sentinel-2A e 2B formam uma missão imageadora Sentinel-2 multiespectral do Programa GMES (Global Monitoring for Environment and Security), administrado conjuntamente pela Comunidade Europeia e a European Space Agency (ESA) para observação da Terra, realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos e umidade, rios e áreas costeiras, além de dados para correção atmosférica (absorção e distorção) em alta resolução (10 m), e com alta capacidade de revisita (5 dias), para garantir a continuidade dos dados fornecidos pelo SPOT 5 e Landsat 7 (ENGESAT, 2017), cujas imagens são disponibilizadas gratuitamente no site da USGS – Earth Explorer.

A área definida para o mapa de uso e ocupação foi a Bacia contribuinte do reservatório de Biritiba Mirim (Figura 2); as classes foram definidas com base no potencial de poluição às águas e ao verificar como é a concentração de clorofila *a* existente próxima a essas classes.

A metodologia para a caracterização e mapeamento de categorias de uso da terra baseou-se nas seguintes etapas:

- Elaboração de um mapa-base que contenha os limites da área de estudo, drenagem, coordenadas e pontos de coleta;
- Elaboração de uma chave de classes espectrais;
- O tipo de classificação escolhido foi a classificação de imagens orientada a objetos (Geobia) no software livre SAGA GIS. Na parte avançada vamos fazer uma análise mais robusta utilizando vários softwares, tais como o Geodma 0.2.2a, QGIS, GeoDa e por fim o SAGAGIS. O objetivo dessas análises avançadas é explorar os pontos desses programas e obtermos mais elementos para executar uma boa classificação orientada a objetos.

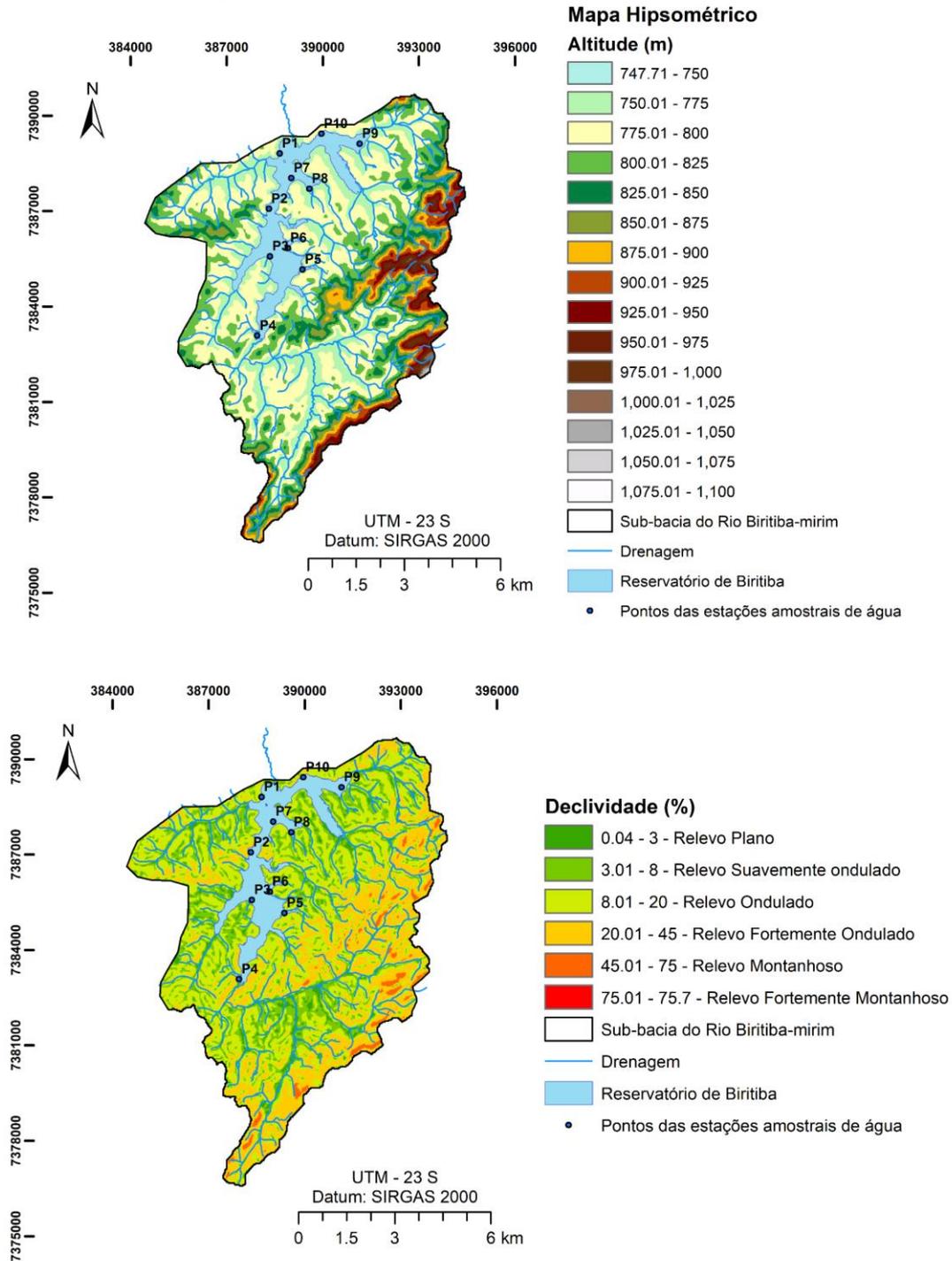
Assim, em posse dos mapas de uso e ocupação da terra elaborados e da documentação fotográfica atualizada da região, foi possível aplicar o processo de Análise de Multicritérios (ou Álgebra de Mapas). Este processo foi fundamental para cruzar os resultados obtidos e elaborar um diagnóstico final, preciso e completo da situação de uso e ocupação da terra e suas implicações para o reservatório de Biritiba Mirim. Todas as fases descritas foram realizadas no laboratório de Geoprocessamento da Universidade UNG, que já apresenta ampla experiência em tal procedimento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização da bacia hidrográfica contribuinte do reservatório Biritiba Mirim

A bacia contribuinte do reservatório Biritiba Mirim apresenta uma área de drenagem aproximada de 75 km<sup>2</sup>, formado pelo represamento das águas do rio Biritiba Mirim. O mapa hipsométrico (Figura 4A) representa a variação de altitude de uma área em relação ao nível do mar, onde a altitude é zero, usando uma escala de cores. Percebe-se que na borda leste da área estuda temos as maiores altitudes. Já na parte central e na borda oeste temos altitudes por volta de 800 a 850 metros. Quanto a declividade (Figura 4B) observa-se que há predominância de relevo e suavemente ondulado. E na borda leste presença de relevo montanhoso e fortemente montanhoso.

Figura 4 - Mapas Hipsométrico e declividade do Reservatório Biritiba Mirim

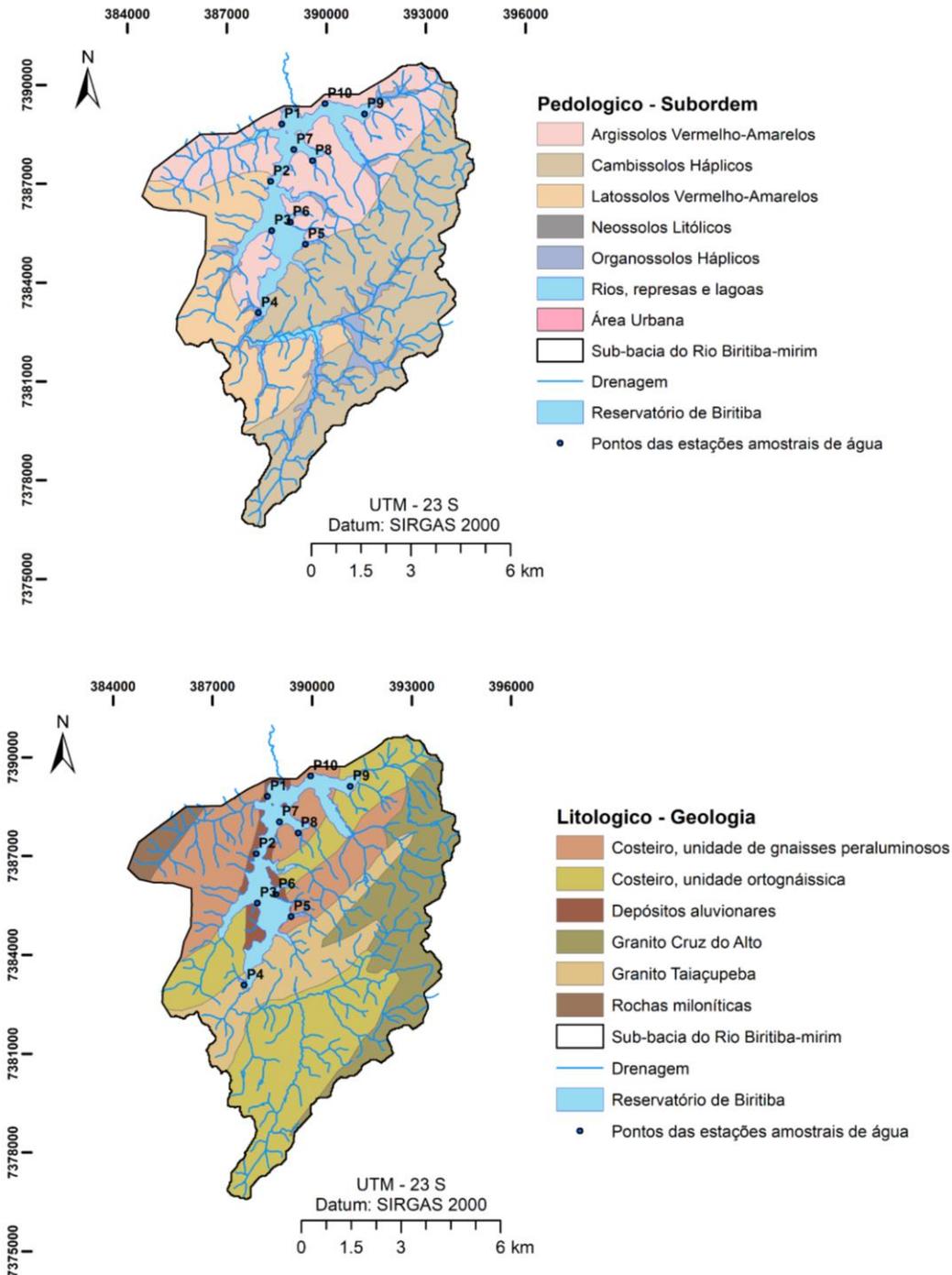


Fonte: Dados próprios.

Mapas pedológicos são documentos e base de dados importantes no planejamento e gestão territorial. São fontes básicas de pesquisas e estudos sobre agricultura, geotecnia, geografia, biologia, geologia, ciências ambientais, entre outras. Analisando as características pedológicas da área estudada verifica-se a presença ao norte de Argissolos Vermelho-Amarelos, na parte centro leste encontram-se Cambissolos Háplicos e na borda oeste Latossolos Vermelho-

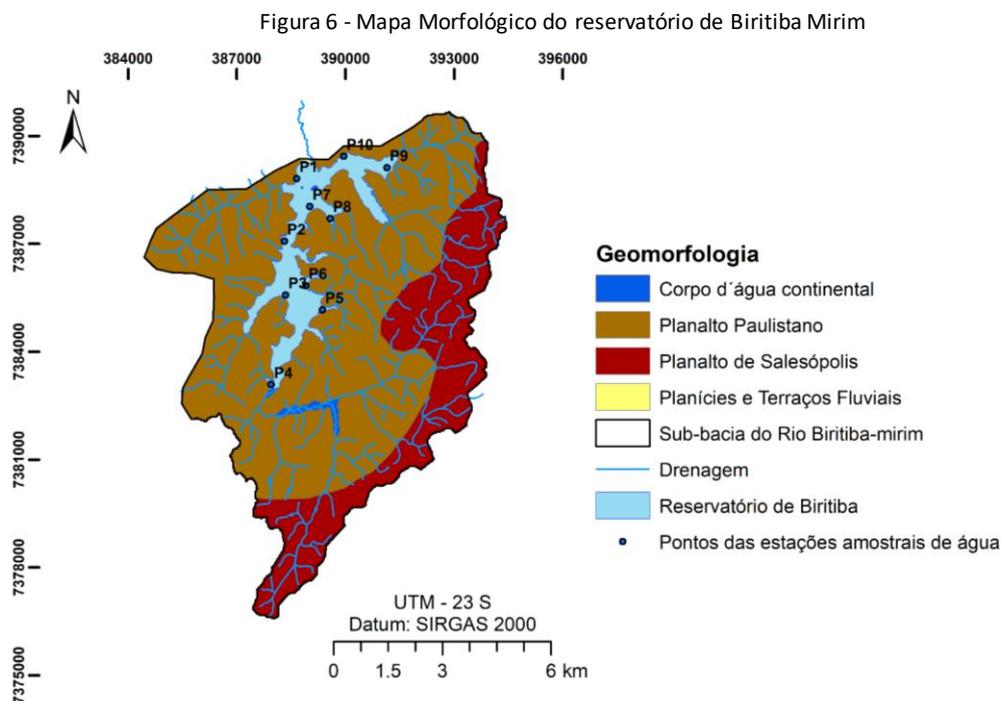
Amarelos (Figura 5A). Já o mapa litológico possui uma grande variedade de formações rochosas na área estudada com presença de Granito Cruz do Alto na borda leste, nas partes do norte e oeste e ao sul verifica a presença de costeiro, unidade ortognáissica (Figura 5B).

Figura 5 - Mapas Pedológico e litológico do Reservatório Biritiba Mirim



Fonte: Dados próprios.

Sobre a formação geomorfológica verifica-se a presença do Planalto Paulistano na sua maior parte e Planalto de Salesópolis na borda leste e Sul (Figura 6).

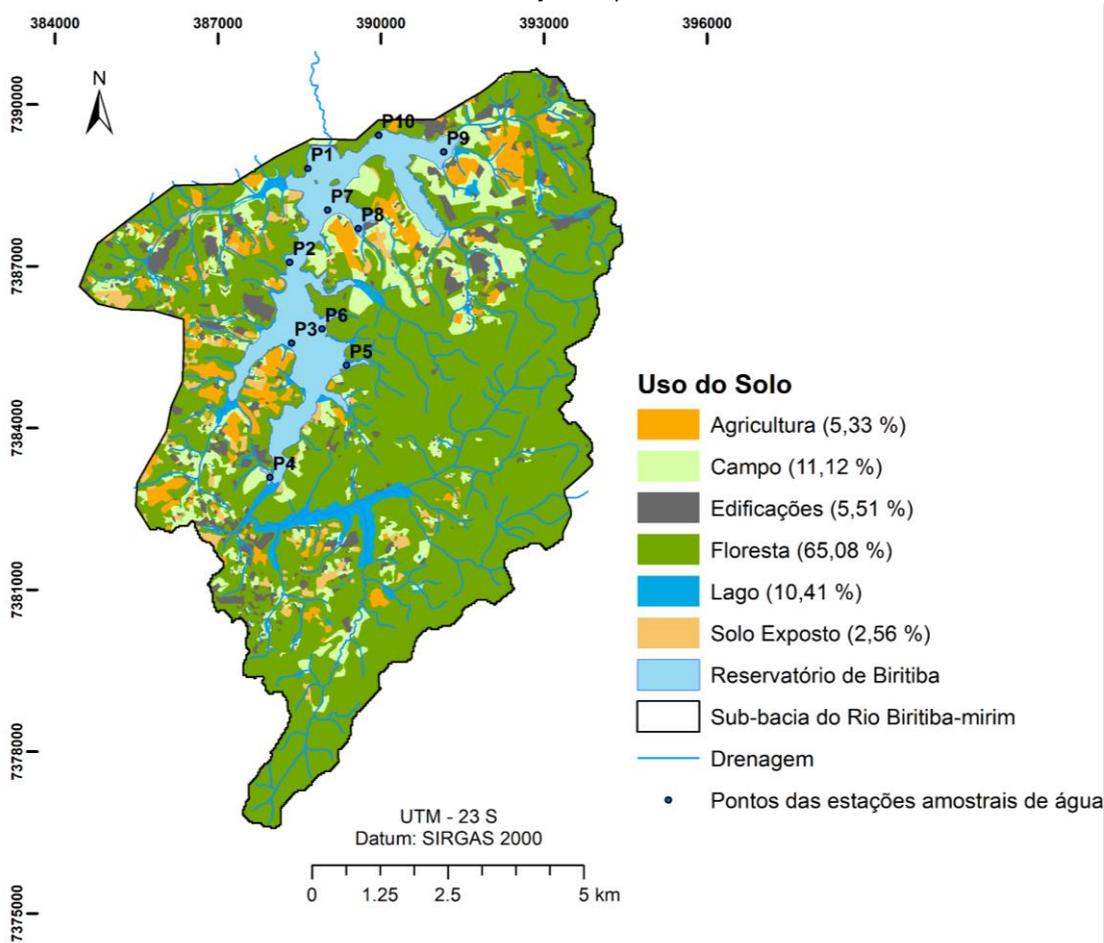


Fonte: Dados próprios.

### 3.2 Análise do Uso e Ocupação da Terra

A bacia contribuinte do reservatório Biritiba Mirim apresenta características de uma bacia rural, onde foram identificadas cinco classes de uso da terra (Figura 7). A cobertura florestal (mata) foi a classe que melhor representa a bacia, correspondendo a 65,08% do uso da terra, no entanto, 24,5% da área ocupada na bacia corresponde a áreas antropizadas, dividida entre 5,33% destinada à agricultura, 5,5% a edificações rurais, 2,56% de solo exposto, que deverão receber novos cultivos, e 11,12% área de campo e áreas que foram utilizadas para agricultura e que se encontram cobertas por gramíneas e eucaliptos.

Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo do entorno da bacia contribuinte do reservatório Biritiba Mirim com a localização dos pontos amostrados



Fonte: Dados próprios.

### 3.3 Análise das variáveis limnológicas

Em relação às características limnológicas da água, observou-se que a maioria das variáveis analisadas, com exceção do fósforo total, da *E. coli* e da DBO estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 10.755/77 para corpos de água doce classe 1, na qual o reservatório Biritiba Mirim está inserido (SÃO PAULO, 1977).

Os valores de fósforo total, nas duas diferentes áreas, no período seco - agosto de 2019 - variaram de 23,73 µg/L a 34,11 µg/L, ou seja, concentrações acima do limite estabelecido pelo CONAMA 357/05 de 20 µg/L (BRASIL, 2005) e condizente com ambientes mesotróficos (LAMPARELLI, 2004; PIRES et al., 2016) (Tabela 2).

No período chuvoso as concentrações de fósforo total foram menores (17,12 µg/L a 24,11 µg/L), mas a condição mesotrófica permaneceu nos pontos 4, 5, 6, 9 e 10. Ressalta-se que os maiores valores de fósforo total, de maneira geral, foram registrados nas áreas próximas ao cultivo agrícola, especialmente no período seco (P 7 = 34,10 µg/L; P 8 = 30,40 µg/L; P 9 = 31,80 µg/L).

Elevadas concentrações de fósforo na água favorecem o crescimento da comunidade fitoplanctônica que pode ter a biomassa estimada com base na clorofila *a*. Os resultados de clorofila *a* corroboram esta afirmação uma vez que as maiores concentrações desta variável semelhante ao fósforo, também foram maiores no período seco, especialmente nas estações 7, 8, 9, e 10.

As concentrações de *E. coli* esteve ausente na maioria dos pontos analisados no período seco, presente apenas nas estações 5 e 6, no entanto com valores abaixo do limite estabelecido pela CONAMA 357/2005 (120 UFC/100mL). Por outro lado, no período chuvoso, esta bactéria esteve presente nos pontos 3 (500 UFC/100mL), 4 (100 UFC/100mL) e 7 (1000 UFC/100mL), com valores muito acima do permitido pela legislação nas estações 3 e 7. Isto se deve a contaminação fecal por animais, visto que essa bactéria habita usualmente o intestino de mamíferos, como os bovinos, cuja criação é comum nas áreas rurais próximas ao reservatório Biritiba Mirim e, provavelmente as características geomorfológicas da área estudada, uma vez que as estações 3 e 7 estão próximos a áreas com maior declividade que favorecem o escoamento dessas bactérias para o reservatório durante o período chuvoso. Embora algumas cepas de *E. coli* não sejam patogênicas, outras podem causar doenças gastrointestinais severas, como as enterohemorrágicas que são consideradas as mais patogênicas para os seres humanos, evidenciando a importância da gestão do uso e ocupação do solo do entorno do reservatório para manutenção da qualidade da água (SOUZA et al., 2016).

Em relação a DBO, no período seco, as concentrações estiveram abaixo do limite de detecção do método na maioria dos pontos analisados, no entanto, observou-se aumento significativo desta variável no período chuvoso, provavelmente, devido ao carreamento de material orgânico para o corpo d'água com consequente aumento na decomposição da matéria orgânica, especialmente na estação 2 (22,5 mg/L) e 5 (3,2 mg/L), que apresentaram valores acima do limite CONAMA 357/2005 (<3 mg/L). Esta afirmação é corroborada pelos valores de pH, cujos valores foram maiores no período chuvoso e OD que tiveram as menores concentrações no período seco.

Os resultados, de maneira geral, sugerem que além do uso do solo do entorno do reservatório, das características geomorfológicas da região e da sazonalidade, as características morfométricas e hidrodinâmicas do reservatório influenciam na qualidade da água deste corpo hídrico. As estações 7, 8, 9 e 10, foram observadas as maiores concentrações de fósforo total e nitrogênio total estão localizados em um braço do reservatório onde o fluxo da água é menor favorecendo o acúmulo destes nutrientes no ambiente.

Tabela 2 – Valores médios e desvio padrão das variáveis limnológicas do reservatório Biritiba Mirim ao longo de ciclo sazonal (agosto e novembro de 2019 e fevereiro e maio de 2020) (n = 4).

	P1 MC	P2 MC	P3 AG	P4 AG	P5 MC	P6 MC	P7 AG	P8 AG	P9 AG	P10 MC	CONAMA 357/2005
Trans	1,49±0,02	1,41±0,1	1,28±0,3	1,33±0,1	1,45±0,3	1,35±0,1	1,41±0,1	1,32±0,2	1,50±0,1	1,63±0,1	---
NT	407,4±26,8	395,6±13,1	430,3±16,2	476,1±23,4	434,6±15,6	427,8±18,1	327,1±2,1	427,7±27,4	314,8±31,6	366,8±46,1	---
NH <sub>4</sub>	0,39±0,1	0,40±0,0	0,43±0,1	0,48±0,1	0,43±0,0	0,42±0,0	0,32±0,0	0,41±0,1	0,29±0,1	0,34±0,1	< 3,7
NO <sub>2</sub>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	< 1,0
NO <sub>3</sub>	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	< 10,0
PT	18,01±0,1	18,07±0,1	17,26±0,2	<b>21,35±0,6</b>	<b>21,79±0,9</b>	<b>21,01±0,2</b>	19,67±1,3	19,04±1,3	<b>23,65±0,5</b>	<b>21,51±0,7</b>	< 20
PO <sub>4</sub>	5,70±1,4	4,96±0,9	4,78±0,8	5,01±1,7	6,9±2,0	7,30±3,2	7,90±4,2	7,23±3,4	7,73±2,9	6,86±2,4	---
Cl a	2,00±0,2	2,26±0,3	2,38±0,4	2,36±0,4	1,85±0,1	1,9±0,2	3,04±1,0	2,81±0,9	2,85±0,5	2,90±0,7	< 10
Alc	12,92±1,0	14,36±2,0	14,64±0,9	12,09±1,1	13,21±0,6	13,2±0,3	12,16±1,2	13,25±0,1	15,09±2,6	11,73±0,2	---
<i>E. coli</i>	6,3±12,53	1,3±2,5	<b>126,3±249,2</b>	31,3±47,3	13,8±24,3	12,5±25,0	<b>252,5±498,4</b>	5,0±10,0	17,5±23,6	17,5±35,0	< 120
DBO	0	<b>7,50±13,0</b>	0	0	<b>3,83±5,6</b>	0	1,20±1,4	0,70±1,2	0,90±1,6	1,20±1,2	< 3
pH	6,81±0,4	7,33±0,4	6,71±0,5	6,63±0,3	6,56±0,4	6,69±0,3	6,62±0,3	6,38±0,4	6,35±0,2	6,54±0,4	<b>6 a 9</b>
CE	49,75±4,2	49,5±4,4	49,5±4,5	43,25±3,3	47,25±4,0	47,5±4,7	49,25±3,8	50,50±4,182	57,00±5,6	51,75±3,4	---
Turb	2,40±1,8	1,13±0,1	1,2±0,2	3,23±3,7	1,1±0,0	1,0±0,2	1,17±0,3	3,43±4,4	1,20±0,2	1,00±0,3	< 40
OD	7,87±0,5	7,33±0,7	7,51±0,8	7,36±0,9	7,3±1,0	7,31±1,0	7,73±1,1	6,91±0,7	6,97±0,8	7,79±1,0	> 6
Temp	18,22±2,8	17,58±3,1	17,27±3,2	17,92±3,1	18,21±3,5	18,55±4,0	18,10±3,6	17,96±3,4	18,07±3,7	17,78±2,6	---
ST	0,03±0,0	0,03±0,0	0,03±0,0	0,03±0,0	0,03±0,0	0,03±0,0	0,13±0,2	0,03±0,0	0,04±0,0	0,03±0,0	---

Fonte: próprio autor.

Observação: Abreviações: Trans (transparência) (m), NT (nitrogênio total) (mg/L), NH<sub>4</sub> (íon amônio) (mg/L), NO<sub>2</sub> (nitrito) (µg/L), NO<sub>3</sub> (nitrato) (µg/L), PT (fósforo total) (µg/L), PO<sub>4</sub> (ortofosfato) (µg/L), Cl a (clorofila a) (µg/L), Alc (Alcalinidade) (mg/L), *E. coli* (*Escherichia coli*) (UFC/100mL), DBO (demanda Bioquímica de oxigênio) (mg/L), CE (condutividade elétrica) (µS/cm); Turb (turbidez) (NTU), OD (oxigênio dissolvido) (mg/L), Temp (temperatura) (°C) e ST (sólidos totais) (mg/L). \*Em negrito são os valores acima do recomendado pela Resolução CONAMA 357/05, para ambientes lênticos Classe 1.

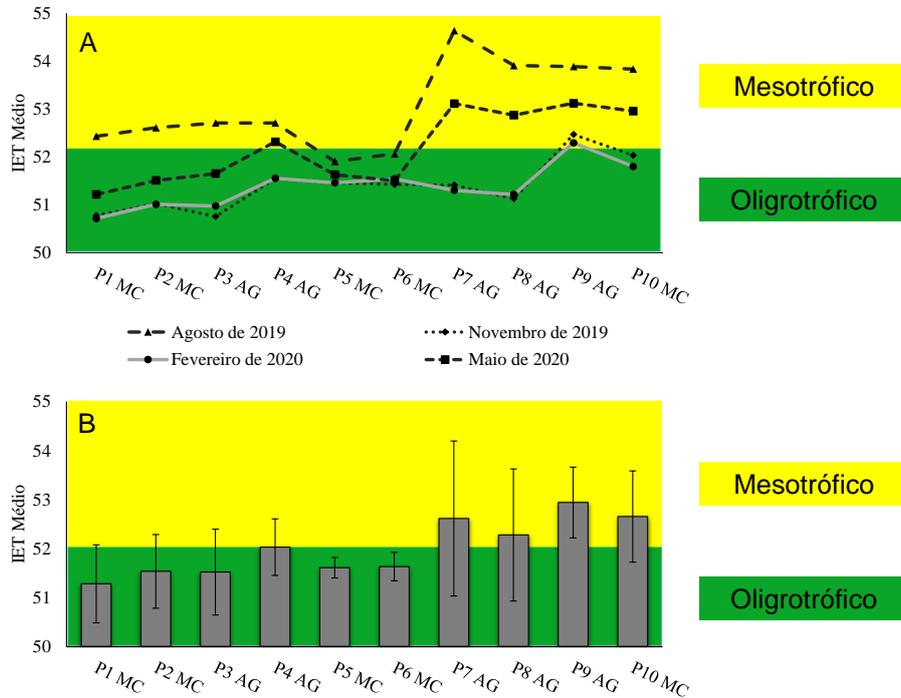
### 3.4 Indicadores ambientais: Índice de Estado Trófico e Índice de Qualidade da Água

Em relação a análise do índice de estado trófico (IET), todas as estações amostradas foram classificadas como mesotrófico no inverno (exceção as estações 5 e 6), assim também como as estações 4, 7, 8, 9 e 10 no outono (Figura 8A). Já no período chuvoso (primavera e verão) as estações de coletas foram classificadas como oligotróficas (Figura 8A).

Apesar da semelhança no grau de trofia entre as estações amostradas é possível observar uma tendência a maior trofia nas estações próximas a áreas agrícolas localizados no braço do reservatório.

Esses resultados indicam que a característica morfológica e hidrodinâmica neste braço do reservatório favorece o acúmulo de nutrientes levando a uma piora no nível trófico desse ambiente, devido ao aporte de fertilizantes utilizados nas plantações da região oriundo das atividades agrícolas no entorno do reservatório (TRINDADE, 2016).

Figura 8 – Índice de Estado Trófico do reservatório Biritiba Mirim nas dez diferentes estações amostrais analisada. (A) variação do IET entre as estações amostrais e os períodos de coleta. (B) valores médios e desvio padrão dos valores do IET entre as estações amostrais

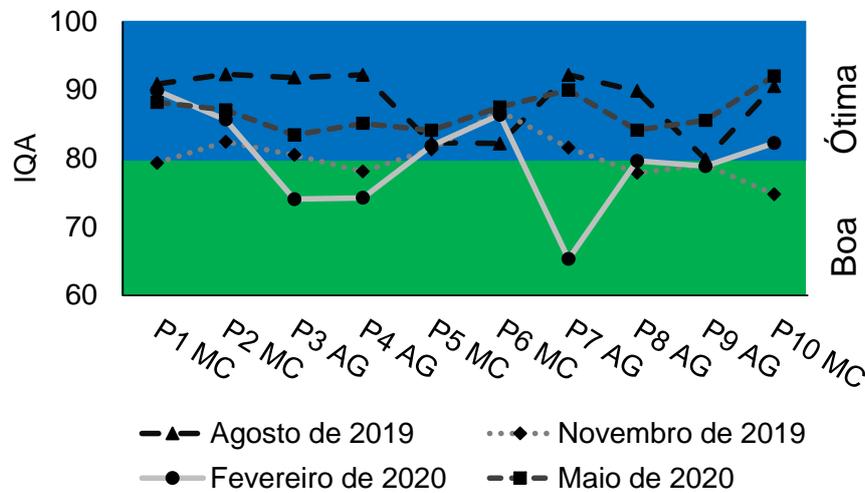


Fonte: autoria própria.

Com relação aos resultados do IQA, as águas do reservatório Biritiba Mirim foram classificadas como “ÓTIMA” em todos os pontos analisados durante o período seco, bem como no período chuvoso, exceto nos pontos 3 e 7 onde foram classificadas como “BOA” (Figura 9).

A qualidade das águas nesses dois pontos foi prejudicada por contaminação fecal, provavelmente, oriundas da criação de animais comuns no entorno do reservatório. As concentrações de *E. coli* foram altas nesses dois pontos e foi a variável que mais pesou na classificação do IQA nestes pontos.

Figura 9 – Índice de Qualidade da água - IQA do reservatório Biritiba Mirim nas dez diferentes estações analisadas ao longo de um ciclo sazonal



Fonte: próprio autor.

Os resultados demonstraram que a qualidade das águas do reservatório Biritiba Mirim é ótima, entretanto, com tendências a condições mesotróficas e com sinais de degradação oriundas de atividades agrícolas e da criação de animais.

Estes sinais se acentuam em áreas localizadas no braço do reservatório onde as características hidrodinâmicas e morfométricas favorecem o acúmulo de nutrientes e maior biomassa fitoplancônica, assim como em áreas do reservatório próximas a terrenos adjacentes com maior declividade que favorecem o escoamento de material alóctone no período chuvoso para o reservatório.

#### 4 CONCLUSÃO

Nota-se que o reservatório de Biritiba Mirim apresenta em seu entorno um mosaico quanto ao uso preponderante do solo, com áreas mais preservadas cobertas por florestas, representando 65,08% da cobertura do solo da bacia, mas principalmente pela sua vocação rural, seja pelo uso agrícola (5,33%), edificações rurais (5,5%), solo exposto devido a processo agrícola (2,56%) e área de campo encobertas por gramíneas e vegetação exótica (11,12%).

Como resposta desta vocação ao uso rural da região, observa-se concentrações de fósforo total e *E. coli*, por vezes com valores acima do recomendado pela legislação vigente, CONAMA 357/2005, notadamente para as estações amostrais localizadas próximas as áreas com atividades agrícolas.

A sazonalidade também parece ser um fator determinante para o estudo do reservatório, percebe-se que as maiores concentrações de PT e NO<sub>2</sub> são registradas no período de inverno. Fato este que deve servir de alerta a possíveis formações de florações de algas e cianobactérias nos meses subsequentes e que podem restringir ao uso da água pelos agricultores locais e para a captação de água para abastecimento público.

Os indicadores de qualidade da água mostram ser uma ótima ferramenta para o monitoramento do reservatório, refletindo as diferentes características de uso do solo, do período sazonal e sua morfometria.

Por fim, conclui-se que a boa qualidade de água registrada no reservatório de Biritiba Mirim reflete o uso do solo observado no seu entorno direto. Nesse contexto, esse trabalho pode ser atualizado por estudantes e especialistas das áreas limnológicas e afins, bem como referência a estudos posteriores na área de pesquisa, para regiões de características semelhantes, ou mesmo por órgãos governamentais que necessitem de dados específicos para o desenvolvimento de políticas públicas.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo teve o financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo no. 2017/21641-5). Agradecemos ao Luís Henrique Nunes de Souza, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

## 5 REFERÊNCIAS

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd. ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2012.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (2005). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 053, p. 58-63, 17 mar. 2005.

CETESB (SÃO PAULO). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos -Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo/ Apêndice D Índice de Qualidade de água**. São Paulo: CETESB, 2020.

ENGESAT. **Soluções em Imagens de Satélite e Geoprocessamento**. 2017. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>. Acesso em: 07 ago. 2017.

GALLI, C. S.; ABE, D. S. Disponibilidade, poluição e eutrofização das águas. In: BICUDO, Carlos Eduardo de Mattos. TUNDISI, José Galisia. SCHEUENSTUHL, Marcos Cortesão. Barnsley (orgs.). **Águas do Brasil: Análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, pp. 165-174.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo**: Avaliação dos métodos de monitoriamento. 238f. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologist**. London: Freshwater Biological Association. 1978.

PIRES, D. A.; TUCCI, A.; CARVALHO, M. C.; LAMPARELLI, M. C. Water quality in four reservoirs of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 4, p. 370-380, 2016.

SÃO PAULO. Decreto no 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto no 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 1977.

SARTORI, A. C. **Qualidade Física e Química da água e sedimentos de fundo da porção SW do reservatório de Biritiba Mirim (SP) e sua implicação ambiental**, 2015. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2015.

SIRVINSKAS, L. P. **Manual de direito ambiental**. São Paulo: Saraiva Educação, 2020.

SOUZA, C. O.; MELO, T. R. B.; MELO, C. S. B.; MENEZES, E. M. CARVALHO, A.C.; MONTEIRO, L. C. R. *Escherichia coli* enteropatogênica: uma categoria diarreioogênica versátil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 7, n.2, p.79-9, 2016.

STRICKLAND, J. D.; PARSONS, T. R. A. A manual of seawater analysis. **Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada**, 125: 1-185, 1960.

TRINDADE, C. S. **Relação entre a qualidade da água e sedimentos no reservatório de Biritiba-Mirim-SP face ao uso do solo em áreas sob vegetação natural e áreas agrícolas**. 239f.. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental). Instituto de Energia e Meio Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016.

VALDERRAMA, G. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Marine Chemistry**. v. 10, p.109-122, 1981.

VELP CIENTIFICA. **BOD Analysis**. 2016. Disponível em:  
[http://www.velp.com/en/products/lines/2/family/31/bod\\_analysis](http://www.velp.com/en/products/lines/2/family/31/bod_analysis). Acesso em: 14 abr. 2016.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological analysis**. New York: Springer-Verlag, 2000.

WHATELY, M.; DINIZ, L.T. **Água e esgoto na grande São Paulo: situação atual, nova lei de saneamento e programas governamentais propostos**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2009.