

**Indicadores de Eutrofização na Represa Billings, São Paulo: Apoio ao Planejamento Urbano e à Gestão de Mananciais****Fabiano Sampaio Rodrigues dos Santos**Mestrando, Uninove, Brasil.  
fabianorodrigues.eng@uni9.edu.br  
ORCID 0009-0008-8676-4859**Andreza Portella Ribeiro**Professora Doutora, Uninove, Brasil.  
andrezp@uni9.pro.br  
ORCID 0000-0002-1763-4558**Anderson de Oliveira**Mestre, Uninove, Brasil.  
Doutorando, USP, Brasil  
anderx100@gmail.com  
ORCID 0000-0001-6720-6394**Jorge L Gallego**Professor Doutor, Universidad de Medellín, Colômbia.  
jlgallego@udemedellin.edu.co  
ORCID 0000-0002-8462-1124

Submissão: 15/07/2025

Aceite: 5/10/2025

SANTOS, Fabiano Sampaio Rodrigues dos; RIBEIRO, Andreza Portella; OLIVEIRA, Anderson de; GALLEGU, Jorge L. Indicadores de Eutrofização na Represa Billings, São Paulo: Apoio ao Planejamento Urbano e à Gestão de Mananciais. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S. I.], v. 13, n. 89, 2025.DOI: [10.17271/23188472138920255957](https://doi.org/10.17271/23188472138920255957). Disponívelem: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento\\_de\\_cidades/article/view/5957](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5957)Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## **Indicadores de Eutrofização na Represa Billings, São Paulo: Apoio ao Planejamento Urbano e à Gestão de Mananciais**

### **RESUMO**

**Objetivo:** Avaliar a qualidade da água da Represa Billings mediante cálculo do Índice de Estado Trófico (IET), utilizando fósforo total (PT) e clorofila-a (CL) como indicadores, para subsidiar o planejamento urbano e a gestão de mananciais na Região Metropolitana de São Paulo.

**Metodologia:** Análise de dados secundários da CETESB (2020-2022) para 9 estações de monitoramento, em relação à quantificação dos indicadores em amostras coletadas em períodos seco e chuvoso. A relação entre PT e CL foi observada por meio de testes de inferência estatística, controlando-se as variabilidades espaciais entre pontos de coleta. O IET foi calculado segundo metodologia de Lamparelli (2004) e os resultados foram espacializados em mapas temáticos utilizando o software QGIS.

**Originalidade/relevância:** O estudo fornece diagnóstico atualizado de um dos mais importantes mananciais do Brasil, que abastece cerca de 21 milhões de habitantes, e contextualiza limitações institucionais e socioeconômicas que dificultam a gestão hídrica na Região Metropolitana de São Paulo.

**Resultados:** O reservatório apresentou condição predominantemente supereutrófica e hipereutrófica, com concentrações máximas de PT e CL de 510 µg/L e 511 µg/L, respectivamente. Os valores chegam a superar em 51 vezes os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. A ANCOVA confirmou que o PT é o fator preponderante na variação da CL ( $F=30,65$ ;  $p<0,001$ ). Os pontos receptores diretos do bombeamento do Rio Pinheiros mantiveram as maiores concentrações e IET, especialmente no período chuvoso.

**Contribuições teóricas/metodológicas:** A integração de análise estatística com espacialização do IET facilita a comunicação dos resultados técnicos para gestores públicos, constituindo-se em uma abordagem replicável para avaliação de outros reservatórios urbanos.

**Contribuições sociais e ambientais:** O estudo fornece diagnóstico técnico atualizado que subsidia a priorização de investimentos em saneamento básico e tratamento de efluentes na bacia da Billings. A quantificação do impacto do bombeamento do Rio Pinheiros sobre a qualidade da água oferece elementos para decisões de gestão operacional do sistema. O trabalho também evidencia a situação de ocupação irregular (~1 milhão de pessoas sem saneamento adequado), apoiando a elaboração de programas de recuperação de mananciais alinhados aos ODS 6 e 14 da Agenda 2030.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eutrofização. Qualidade da Água. Reservatório Billings.

## **Eutrophication Indicators in Billings Reservoir, São Paulo: Support for Urban Planning and Water Resource Management**

### **ABSTRACT**

**Objective:** To assess water quality in the Billings Reservoir by calculating the Trophic State Index (TSI) using total phosphorus (TP) and chlorophyll-a (Chl-a) as indicators, in order to support urban planning and water resource management in the Metropolitan Region of São Paulo.

**Methodology:** Analysis of secondary data from CETESB (2020-2022) for 9 monitoring stations regarding indicator quantification in samples collected during dry and rainy seasons. The relationship between TP and Chl-a was assessed through statistical inference tests, controlling for spatial variability among sampling sites. TSI was calculated according to Lamparelli's (2004) methodology, and results were spatially distributed in thematic maps using QGIS software.

**Originality/Relevance:** The study provides an updated diagnosis of one of Brazil's most important water sources, supplying approximately 21 million inhabitants, while contextualizing institutional and socioeconomic constraints that hinder water resource management in the Metropolitan Region of São Paulo.

**Results:** The reservoir exhibited predominantly supereutrophic and hypereutrophic conditions, with maximum TP and Chl-a concentrations of 510 µg/L and 511 µg/L, respectively, exceeding by up to 51 times the limits established by CONAMA Resolution 357/2005. ANCOVA confirmed that TP is the predominant factor in Chl-a variation ( $F=30.65$ ;  $p<0.001$ ). Sampling sites directly receiving water pumped from the Pinheiros River maintained the highest concentrations and TSI values, especially during the rainy season.

**Theoretical/Methodological Contributions:** The integration of statistical analysis with TSI spatial distribution facilitates communication of technical results to public managers, constituting a replicable approach for assessing other urban reservoirs.

**Social and Environmental Contributions:** The study provides an updated technical diagnosis supporting investment prioritization in basic sanitation and effluent treatment in the Billings basin. Quantification of the impact of Pinheiros River pumping on water quality offers elements for operational management decisions. The work also highlights the situation of irregular occupation (~1 million people without adequate sanitation), supporting the development of watershed recovery programs aligned with SDGs 6 and 14 of the 2030 Agenda.

**KEYWORDS:** Eutrophication. Water Quality. Billings Reservoir.

## **Indicadores de eutrofización en el embalse Billings, São Paulo: Apoyo a la planificación urbana y a la gestión de manantiales**

### **RESUMEN**

**Objetivo:** Evaluar la calidad del agua del Embalse Billings mediante el cálculo del Índice de Estado Trófico (IET) utilizando fósforo total (PT) y clorofila-a (CL) como indicadores, con el fin de apoyar la planificación urbana y la gestión de recursos hídricos en la Región Metropolitana de São Paulo.

**Metodología:** Análisis de datos secundarios de CETESB (2020-2022) para 9 estaciones de monitoreo en relación con la cuantificación de indicadores en muestras recolectadas durante períodos secos y lluviosos. La relación entre PT y CL fue evaluada mediante pruebas de inferencia estadística, controlando la variabilidad espacial entre los sitios de muestreo. El IET fue calculado según la metodología de Lamparelli (2004), y los resultados fueron espacializados en mapas temáticos utilizando el software QGIS.

**Originalidad/Relevancia:** El estudio proporciona un diagnóstico actualizado de una de las fuentes hídricas más importantes de Brasil, que abastece aproximadamente 21 millones de habitantes, contextualizando las limitaciones institucionales y socioeconómicas que dificultan la gestión de recursos hídricos en la Región Metropolitana de São Paulo.

**Resultados:** El embalse presentó condiciones predominantemente supereutróficas e hipereutróficas, con concentraciones máximas de PT y CL de 510 µg/L y 511 µg/L, respectivamente, superando hasta 51 veces los límites establecidos por la Resolución CONAMA 357/2005. El ANCOVA confirmó que el PT es el factor preponderante en la variación de CL ( $F=30,65$ ;  $p<0,001$ ). Los sitios de muestreo que reciben directamente el agua bombeada del Río Pinheiros mantuvieron las mayores concentraciones y valores de IET, especialmente durante la temporada lluviosa.

**Contribuciones Teóricas/Metodológicas:** La integración del análisis estadístico con la distribución espacial del IET facilita la comunicación de resultados técnicos a los gestores públicos, constituyendo un enfoque replicable para la evaluación de otros embalses urbanos.

**Contribuciones Sociales y Ambientales:** El estudio proporciona un diagnóstico técnico actualizado que apoya la priorización de inversiones en saneamiento básico y tratamiento de efluentes en la cuenca de Billings. La cuantificación del impacto del bombeo del Río Pinheiros sobre la calidad del agua ofrece elementos para decisiones de gestión operacional del sistema. El trabajo también evidencia la situación de ocupación irregular (~1 millón de personas sin saneamiento adecuado), apoyando la elaboración de programas de recuperación de cuencas alineados con los ODS 6 y 14 de la Agenda 2030.

**PALABRAS CLAVE:** Eutrofización. Calidad del Agua. Embalse de Billings.

## 1 INTRODUÇÃO

O acesso à água potável está ligado diretamente ao desenvolvimento humano, social e econômico da sociedade, tal como para consumo humano, agricultura, processos industriais, produção de energia, transporte aquaviário, recreação e descarga de detritos de todas as espécies (VIANA, 2005).

Em setembro de 2015, na cidade de Nova York (EUA), ocorreu a Assembleia Geral das Nações Unidas, com a participação de 193 estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU). Esse encontro resultou em plano de ação global, a Agenda 2030<sup>1</sup>, não qual foram estabelecidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que em conjunto visam, até 2030, erradicar todas as formas de pobreza, combater as desigualdades e enfrentar as mudanças climáticas, garantindo que "ninguém seja deixado para trás". Entre os diversos ODS, dois deles, o ODS 6 - Água Potável e Saneamento e o ODS 14 - Vida na Água, estão diretamente ligados à proteção e ao fornecimento de água no mundo (ONU HABITAT, 2020).

Estima-se que 97,5% da água disponível no planeta seja salgada; portanto, não adequada para o consumo humano, irrigação agrícola, processos industriais, geração de energia hidrelétrica e manutenção dos ecossistemas de água doce. Os 2,5% de água doce disponível é, em sua maior parte, de difícil acesso, por estarem localizadas nas geleiras (69%), ou por ficarem acondicionadas nos aquíferos subterrâneos (30%). Somente 1% dessa água doce está disponível em rios, lagos, represas e mananciais ao redor do mundo. Destaca-se que, o Brasil é um país privilegiado, pois deste total, 12% estão disponíveis em seu território (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2023).

As cidades, durante o seu processo de desenvolvimento econômico e industrial, por diversas vezes não apresentaram planos de desenvolvimento social, gerando impactos em todas as esferas públicas, principalmente no setor habitacional, onde ocorre o desenvolvimento de construções irregulares e, muitas vezes, em áreas protegidas de mananciais, colocando em risco a segurança hídrica e comprometendo a qualidade da água armazenada (OLIVEIRA, 2021). Essa é a realidade da Represa Billings, que também é um dos principais mananciais da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com cerca de 15% do seu território, ocupado por construções irregulares; ou seja, quase 1 milhão de pessoas que vivem em assentamentos informais, que não dispõem de sistemas adequados de captação e tratamento de efluentes (Instituto Socioambiental - ISA, 2008).

A fiscalização e o controle da qualidade da água armazenada em represas ou aquíferos são realizados por órgãos federais, tais como Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), com suas resoluções (357/2005) e (396/2008), que definem padrões aceitáveis de qualidade das águas superficiais e subterrâneas. O Ministério da Saúde do Brasil (MS), por meio da portaria (888/2021), estabeleceu os parâmetros de potabilidade da água para consumo humano e demais fins.

Em âmbito regional, no estado de São Paulo, esta fiscalização e controle são realizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Nesse sentido, a CETESB utiliza diversos protocolos em campo e em laboratórios, com amostragens periódicas

---

<sup>1</sup>Resolução da Assembleia Geral A/RES/70/1

para os ensaios químicos, físicos e biológicos, incluindo análise de pH, condutividade, turbidez, coliformes fecais, fósforo (P), nitrogênio (N), clorofila a, entre outros (CETESB, 2022).

Um dos principais problemas relacionados à integridade dos recursos hídricos é a alteração do estado trófico, que pode ocorrer com a variação da carga de nutrientes no corpo d'água. O aporte significativo de P e N causa a eutrofização, que pode ser um fenômeno natural ou antrópico. No primeiro caso, resulta de um lento envelhecimento do ambiente, pois a entrada de nutrientes e matéria orgânica é consequência da erosão do solo e do transporte de sedimentos pelas chuvas ao longo dos anos (VAN-GINGEL, 2011; TROMBONI; DODDS, 2017).

A eutrofização antrópica é consequência da descarga de efluentes domésticos e industriais ricos em nutrientes, o que favorece o crescimento excessivo de plantas, como o fitoplâncton, algas microscópicas que vivem suspensas na coluna d'água e possuem clorofila, principalmente do tipo 'a', um pigmento essencial para que esses organismos realizem a fotossíntese, convertendo luz solar em energia química (DOERING et al., 2006; LIANG et al., 2020). Com a eutrofização, a utilização da água se torna inadequada, pois a proliferação de algas resulta em alta concentração de toxinas e bactérias, aumento da turbidez, mau cheiro, entre outros parâmetros afetados (ANSARI et al., 2011), o que implica em consideráveis custos adicionais no processo de tratamento (CETESB, 2017).

A floração excessiva de algas (biomassa) também indica que o corpo hídrico está enriquecido com matéria orgânica que será decomposta, o que aumentará a demanda por oxigênio dissolvido e reduzirá sua disponibilidade. Esse fenômeno, denominado hipoxia, pode ser prejudicial à vida aquática, resultando na morte de peixes e outros organismos (LIANG et al., 2020).

Assim, a avaliação do estado trófico é um parâmetro utilizado para avaliar a qualidade da água. Para isso, determina-se a biomassa existente com base nos teores de PT, clorofila a (CL) e turbidez (LAMPARELLI, 2004). O estado trófico deve ser monitorado constantemente em mananciais utilizados para abastecimento público, recreação, funcionamento de hidrelétricas, entre outros usos (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013).

No caso da Billings, apesar do monitoramento contínuo da qualidade da água, realizado pela CETESB, em diferentes pontos georreferenciados, verifica-se que ainda existe a possibilidade em explorar a relação entre as atividades humanas, o despejo de efluentes domésticos e industriais e sua contribuição à intensificação da poluição hídrica.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade da água da Represa Billings, utilizando-se parâmetros para calcular o índice de estado trófico, com intuito de levantar informações mais detalhadas sobre o impacto do aporte de efluentes não tratados diretamente no sistema aquático do reservatório.

## 1.2 Contextualização da Área de Estudo

A Política Estadual de Recursos Hídricos do estado de São Paulo, instituída pela Lei nº 7.663/1991, representou um marco na gestão dos recursos hídricos no Brasil. Seu objetivo principal era garantir que os corpos hídricos do estado oferecessem água em quantidade suficiente e com padrões de qualidade adequados para diversas finalidades, como o abastecimento humano, o desenvolvimento econômico e a preservação dos ecossistemas

aquáticos. A lei também previa a criação de um Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), com a definição de divisões e unidades hidrográficas, para permitir uma gestão regionalizada que levasse em consideração as especificidades das diferentes bacias hidrográficas.

A elaboração do primeiro PERH e a criação e estruturação das 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do estado de São Paulo foram consolidadas pela Lei nº 9.034/1994. Esse plano estabeleceu os instrumentos de gestão e planejamento, como os Comitês de Bacias Hidrográficas e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, que passaram a atuar na coordenação das ações e na promoção da gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos.

A Lei nº 16.337/2016, que revogou a Lei nº 9.034/1994, manteve a estrutura de gestão das UGRHI, mas incorporou novas diretrizes para aprimorar o gerenciamento integrado e participativo da água, com maior participação de entidades privadas e institutos de pesquisa na elaboração de planos para sub-bacias e áreas específicas, além de fortalecer a integração com o Plano Plurianual (PPA) e incentivar o reuso de água.

No presente artigo será dada atenção à UGRHI 06 – Alto do Tietê (AT), uma das bacias mais importantes, pois seus limites coincidem praticamente com os da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Assim, atende quase metade da população do estado - 20,8 milhões de habitantes, dos 39 municípios da RMSP. A UGRHI 06-AT conta com a coleta de 83% do esgoto produzido, e possui um índice de tratamento muito baixo, da ordem de 52% do esgoto gerado, e incorpora a Represa Billings e os Reservatórios Rio Grande e Guarapiranga (SÃO PAULO, 2020).

O reservatório da Represa Billings - a área de estudo - foi construído no ano de 1925, com o único intuito de gerar energia para o município de Cubatão através da Usina Henry Borden. Porém, devido ao desenvolvimento industrial e ao grande crescimento populacional desordenado, na região do Grande ABC nas décadas seguintes, iniciou-se, em 1958, o processo de captação da água da represa para abastecimento da população, e o bombeamento da água para os reservatórios Rio Grande e Guarapiranga (SÃO PAULO, 2020).

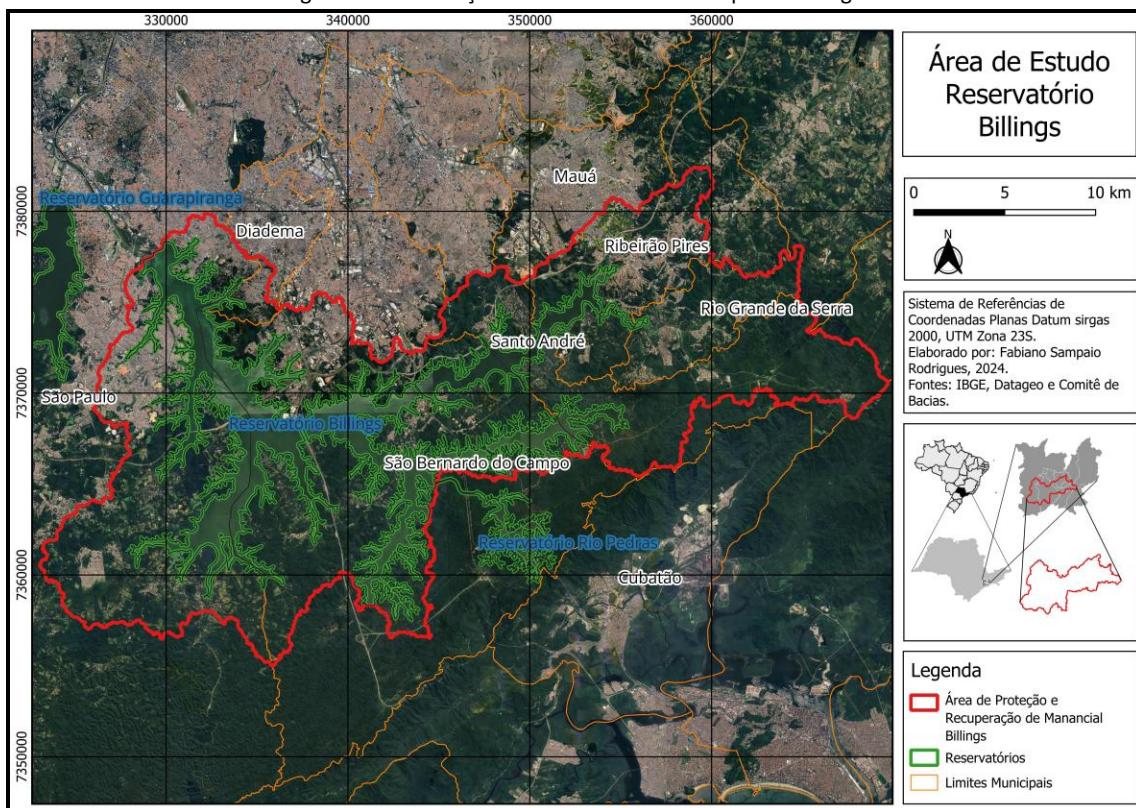
Com cerca de 127 km<sup>2</sup>, um espelho d'água de 100 km<sup>2</sup> e profundidade máxima de 19 m (Figura 1), a Billings está subdividida em oito unidades, denominadas braços e afluentes: Rio Grande, Rio Pequeno, Capivari, Pedra Branca, Taquacetuba, Bororé, Cocaia e Alvarenga. Sua área abrange integralmente o município de Rio Grande da Serra, e parcialmente os municípios de Diadema, Ribeirão Pires, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo (GEOTEC, 2021).

As subdivisões dentro do reservatório existem por motivos operacionais e de gestão da qualidade da água. O Braço do Rio Pequeno serve como ponto de transferência de água da Represa Billings para o Reservatório Rio Grande, que atua como um reservatório, recebendo água da Represa Billings e direcionando-a para o sistema produtor do Alto Tietê. Da mesma forma que o Braço do Taquacetuba, que é utilizado para reversão de água para o Reservatório Guarapiranga, auxiliando também o abastecimento do Alto Tietê.

De acordo com a Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, a Represa Billings é um importante manancial para a RMSP, e sua gestão envolve diversos desafios, como a ocupação irregular dos mananciais, os conflitos pelo uso da água e a necessidade de garantir a qualidade da água à população (SÃO PAULO, 2020).

A Represa Billings é classificada, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, como pertencente à Classe Especial e à Classe 2. As águas de Classe Especial são destinadas ao abastecimento humano com tratamento simplificado e visam à preservação dos ecossistemas aquáticos, bem como à proteção de locais de reprodução de espécies naturais, como áreas de preservação ambiental. Já as águas de Classe 2 são adequadas para consumo humano, com tratamento convencional, atividades de recreação de contato primário, irrigação e pesca. No entanto, os afluentes que desaguam na Billings são classificados como Classe 4, indicando que esses corpos d'água só são adequados para navegação e fins paisagísticos, não sendo próprios para consumo ou contato humano. Essa discrepância entre a qualidade da água do reservatório e de seus afluentes resulta em um grande desafio para o abastecimento RMSP.

Figura 1 - Delimitação da Área de Estudo - Represa Billings



Fonte: Santos (2024).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

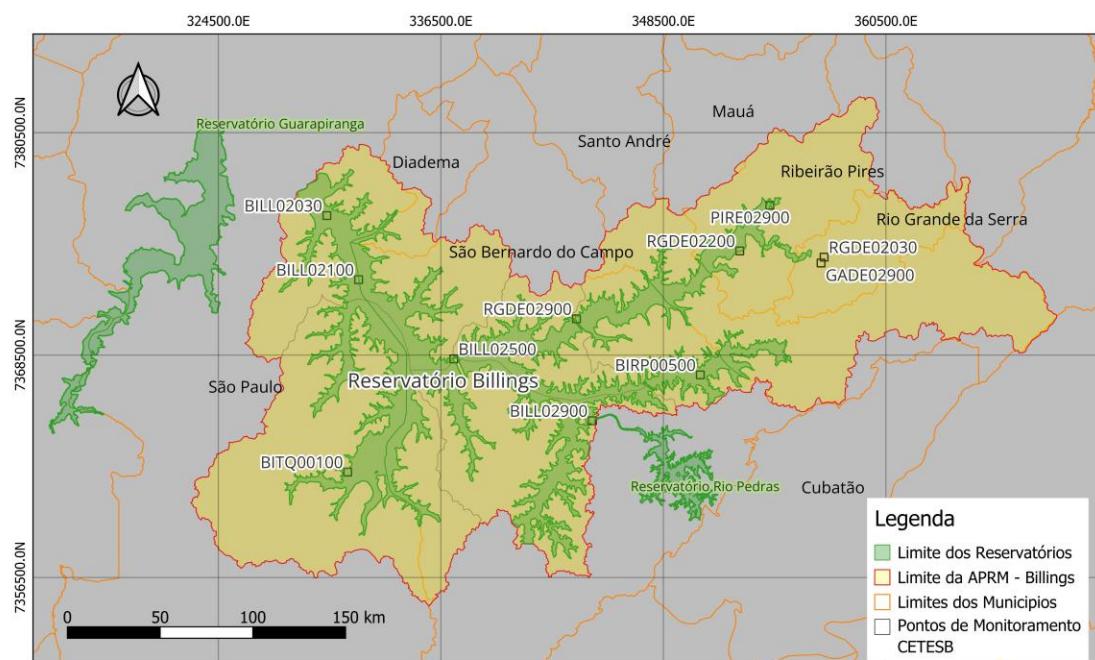
Anualmente, a CETESB emite o relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, no qual é apresentado um compilado de informações de todas as UGRHI, com uma comparação dos resultados analíticos dos últimos 5 (cinco) anos e os métodos aplicados para a realização da amostragem e dos ensaios laboratoriais (CETESB, 2022).

Embora a rede de amostragem da CETESB apresente 11 pontos de monitoramento na Represa Billings, o que inclui seus afluentes (Figura 2), a pesquisa dará ênfase a 09 pontos, cujas características são apresentadas no Quadro 1.

É importante também destacar que a CETESB não segue um padrão fixo para as coletas. As campanhas ocorrem de acordo com critérios logísticos e de prioridade, definidos pela própria agência (CETESB, 2020; 2021; 2022). A coleta dos dados foi realizada a partir da plataforma INFOAGUAS<sup>2</sup>, com referência à quantificação da concentração de PT e CL, publicados pela CETESB, para as campanhas de monitoramento da qualidade da água da Represa Billings, entre 2020 e 2022. No Quadro 02, indicam-se como o número de amostras, por ponto e sazonalidade variou ao longo de três anos; totalizando 102 amostras, das quais 45 correspondem aos meses chuvosos e 57 aos meses secos.

Os dados quantitativos sobre a concentração de PT e CL foram organizados em planilhas do excel e apresentados na de Tabela e gráficos, tipo boxplot, considerando o período estudado.

Figura 2 - Mapa de localização dos 11 pontos de coleta e monitoramento de água na Represa Billings.



Fonte: Comitê de Bacias (2021); elaborado pelos autores (2023).

<sup>2</sup>Recuperado - <https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br/AguasSuperficiais/RelatorioQualidadeAguasSuperficiais>

Quadro 1 – Pontos de monitoramento na Represa Billings, considerados neste estudo.

| Código Ponto (CETESB) | Característica  | Classe*  | Captação Sabesp |
|-----------------------|---|----------|-----------------|
| BILL 02030            | Indica a condição de qualidade da água na entrada do reservatório   | 2        | Não             |
| BILL 02100            | A 7 km da barragem de Pedreira -reflete a diluição da água bombeada do rio Pinheiros para o reservatório  | 2        | Não             |
| BILL 02500            | No afunilamento (da largura do canal) próximo à Rodovia dos Imigrantes, afeta a dispersão de poluentes  | 2        | Não             |
| BILL 02900            | Indica a qualidade das águas na saída do reservatório, na Estação Automática Summit Control, as quais fluem para a Usina Hidrelétrica Henry Borden para fins de geração de energia. | 2        | Não             |
| BIRP 00500            | A 2 km à montante (rio acima) em relação à Rodovia Caminhos do Mar  | Especial | Não             |
| BITQ 00100            | Na baía situada no final da rua Tomekichi Inouye (captação da SABESP)   | Especial | Sim             |
| RGDE 02030            | A 1 Km depois da desembocadura do Rio Grande ou Jurubatuba, próximo a transposição da SABESP.   | 2        | Não             |
| RGDE 02200            | No Clube Prainha Tahiti Camping Náutica, na altura do Km 42 da rodovia SP-31  | 2        | Não             |
| RGDE 02900            | Próximo à rodovia Anchieta, junto à captação da SABESP  | 2        | Sim             |

Fonte: CETESB (2020); \*CONAMA 357/2005.

Quadro 2 – Número de coletas realizadas por ponto, na Billings, considerando a sazonalidade.

| Código Ponto (CETESB) | Chuvoso   |      |      | Total | Seco      |      |      | Total |
|-----------------------|-----------|------|------|-------|-----------|------|------|-------|
|                       | 2020      | 2021 | 2022 |       | 2020      | 2021 | 2022 |       |
| BILL02030             | 1         | 1    | 2    | 4     | 0         | 3    | 2    | 5     |
| BILL02100             | 2         | 1    | 2    | 5     | 2         | 3    | 2    | 7     |
| BILL02500             | 1         | 1    | 2    | 4     | 0         | 3    | 2    | 5     |
| BILL02900             | 1         | 1    | 2    | 4     | 0         | 3    | 2    | 5     |
| BIRP00500             | 1         | 0    | 2    | 3     | 0         | 3    | 2    | 5     |
| BITQ00100             | 2         | 1    | 2    | 5     | 3         | 3    | 2    | 8     |
| RGDE02030             | 2         | 2    | 2    | 6     | 2         | 2    | 2    | 6     |
| RGDE02200             | 1         | 3    | 3    | 7     | 2         | 4    | 2    | 8     |
| RGDE02900             | 1         | 3    | 3    | 7     | 2         | 4    | 2    | 8     |
| <b>Coletas</b>        | <b>45</b> |      |      |       | <b>57</b> |      |      |       |

Fonte: Infoágua (CETESB); adaptado pelos autores.

## 2.1 Tratamento Estatístico

Ao conjunto de dados de PT e CL, aplicou-se a Análise de Covariância (ANCOVA), uma abordagem estatística que combina elementos da análise de variância (ANOVA) e da regressão linear, permitindo o ajuste de covariáveis e proporcionando uma compreensão mais precisa das diferenças entre grupos (SHIEH, 2023). A ANCOVA ajusta (ou controla) as diferenças naturais entre os pontos de coleta, evitando que essas variações interfiram na avaliação da influência significativa de PT sobre as concentrações de CL. Esse ajuste reduz o erro residual – ou seja, a variação não explicada entre os grupos – e, consequentemente, aumenta o poder estatístico do teste, conferindo maior precisão às comparações. Dessa forma, é possível inferir se a relação observada entre CL e PT reflete, de fato, a influência de PT sobre a quantidade de biomassa, isolando a influência das singularidades de cada ponto de coleta.

Previamente à aplicação da ANCOVA, para ajustar a assimetria, os valores extremos e a alta variabilidade do conjunto de dados (102 observações), as concentrações de PT e CL foram normalizadas usando o logaritmo natural. Todas as premissas foram testadas: (i) a homogeneidade das inclinações entre PT e CL foi confirmada, indicando que a relação entre

essas variáveis se manteve em todos os pontos de coleta; (ii) a linearidade da relação entre PT e CL foi atendida, assim como a homocedasticidade entre os grupos e a normalidade na distribuição dos dados (DOS ANJOS, 2006). A ANCOVA foi realizada utilizando o programa estatístico *Python*, com o pacote *statsmodels*, para ajustar o modelo e conduzir os testes necessários.

## 2.1 Índice de Estado Trófico

Como já mencionado, o Índice de Estado Trófico (IET) permite classificar a qualidade dos reservatórios e corpos d'água em diferentes graus de trofia, com base na presença de nutrientes e seu efeito no crescimento de algas, indicado pela concentração de clorofila a (LAMPARELLI, 2004).

O IET desenvolvido por Lamparelli (2004) foi uma inovação importante para o monitoramento da qualidade da água em corpos d'água subtropicais, como os reservatórios do Brasil. Esse índice foi projetado para capturar, com maior precisão, as condições e a resposta dos corpos hídricos em regiões com características climáticas e ecológicas específicas, que diferem dos padrões observados em áreas temperadas, para as quais outros índices de trofia foram originalmente desenvolvidos (CARLSON, 1977).

Os corpos hídricos em regiões subtropicais, normalmente, apresentam características específicas, como temperaturas mais elevadas. A água mais “quente” acelera o metabolismo dos organismos aquáticos, pois são espécies adaptadas a estes ambientes, incluindo macrófitas e as algas (SOUZA, 2024). O ecossistema subtropical é mais responsável; ou seja, pequenas variações na concentração de P, que é o fator limitante para a produção primária, podem gerar grandes mudanças no estado trófico (LAMPARELLI, 2004).

Para apresentação dos graus de trofia nos pontos de coleta da CETESB, utilizou-se o sítio digital da ANA, no qual foram identificados arquivos referentes à UGRHI 6 – AT: Reservatório Billings, em formato “shape file”. As classificações e tratamentos de imagens foram realizadas por meio do *software livre QGIS*.

Os cálculos de IET, no presente estudo, foram realizados com base nas Equações 1 a 3 (Quadro 3). As classes de trofia, para os resultados de IET, encontram-se no Quadro 4.

Quadro 3 – Cálculo do IET adotado pela CETESB, para corpos lênticos.

| Corpo Hídrico Lêntico (Reservatórios)                                |     | Onde   |
|--|-----|--|
| $IET (CL) = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln CL)) / \ln 2))$ | [1] | PT: em µg/L; medida à superfície da água, em µg/L;                           |
| $IET (PT) = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln PT)) / \ln 2))$  | [2] | CL: em µg/L; medida à superfície da água, em µg/L;<br>ln: logaritmo natural. |
| $IET = [ IET (PT) + IET (CL) ] / 2$                                  | [3] | CETESB: nos meses em que estejam disponíveis dados de ambas as variáveis     |

Fonte: Lamparelli (2004); CETESB (2021).

Quadro 4 – Graus de trofia com base em cálculos de IET e seus intervalos.

| Classe            | Ponderação    | Descrição  |
|-------------------|---------------|--|
| Ultraoligotrófico | IET ≤ 47      | Baixa concentração de nutrientes; não prejudicial ao meio ambiente.  |
| Oligotrófico      | 47 < IET ≤ 52 | Corpo d'água com baixa produção de nutrientes; não prejudicial.  |
| Mesotrófico       | 52 < IET ≤ 59 | Produção de nutrientes em nível intermediário; possibilidade de interferência.   |
| Eutrófico         | 59 < IET ≤ 63 | Alta produção de nutrientes, baixa transparência, ambiente afetado por ações antrópicas; seu uso pode ser comprometido.                                    |
| Supereutrófico    | 63 < IET ≤ 67 | Alta produção de nutrientes, baixa transparência, frequentes alterações por ações antrópicas; floração de macrófitas.                                      |
| Hipereutrófico    | IET > 67      | Corpo d'água com elevadas concentrações de materiais orgânicos, baixa oxigenação na água; mortes de espécies aquáticas, atividades pecuárias prejudicadas. |

Fonte: Lamparelli (2004); CETESB (2021).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, será apresentada a análise realizada para os dados (PT e CL) publicados pela CETESB, entre 2020 e 2022, considerando as variações sazonais: período seco, referente às coletas realizadas entre os meses de abril a setembro, e chuvoso, para as coletas realizadas entre janeiro-março e outubro-dezembro.

Os resultados da Tabela 1 indicam que os níveis de PT e CL frequentemente excederam os valores de referência de qualidade da Resolução CONAMA 357/2005, cujos valores máximos permitidos são 20 µg/L para PT e 10 µg/L para CL, em águas destinadas ao abastecimento humano. Os níveis críticos encontrados na Represa Billings contribuem para a condição hipertrófica do reservatório, caracterizado pela proliferação de algas e comprometimento da qualidade da água.

Tabela 1 - Intervalo de Concentrações de Fósforo Total (PT) e Clorofila (CL) no Reservatório Billings (2020-2022).

| Código (CETESB) | 2020                               |                                   | 2021                               |                                    | 2022                               |                                    |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                 | PT (µg/L)                          | CL (µg/L)                         | PT (µg/L)                          | CL (µg/L)                          | PT (µg/L)                          | CL (µg/L)                          |
| Bill 02030      | 60 <sup>c</sup> - *                | 79 <sup>c</sup> - *               | 30 <sup>s</sup> - 370 <sup>c</sup> | 30 <sup>s</sup> - 508 <sup>c</sup> | 60 <sup>s</sup> - 390 <sup>c</sup> | 37 <sup>s</sup> - 270 <sup>c</sup> |
| Bill 02100      | 50 <sup>c</sup> - 350 <sup>c</sup> | 57 <sup>c</sup> - *               | 30 <sup>s</sup> - 510 <sup>c</sup> | 30 <sup>s</sup> - 510 <sup>c</sup> | 50 <sup>s</sup> - 410 <sup>c</sup> | 28 <sup>s</sup> - 395 <sup>c</sup> |
| Bill 02500      | 80 <sup>c</sup> - *                | 58 <sup>c</sup> - *               | 20 <sup>s</sup> - 250 <sup>c</sup> | 23 <sup>s</sup> - 270 <sup>c</sup> | 30 <sup>c</sup> - 170 <sup>c</sup> | 34 <sup>s</sup> - 210 <sup>c</sup> |
| Bill 02900      | 30 <sup>c</sup> - *                | 27 <sup>c</sup> - *               | 20 <sup>s</sup> - 60 <sup>s</sup>  | 17 <sup>c</sup> - 37 <sup>s</sup>  | 10 <sup>c</sup> - 60 <sup>s</sup>  | 16 <sup>c</sup> - 70 <sup>c</sup>  |
| BIRP 00500      | 10 <sup>c</sup> - *                | 28 <sup>c</sup> - *               | 20 <sup>s</sup> - 200 <sup>c</sup> | 16 <sup>s</sup> - 37 <sup>s</sup>  | 10 <sup>c</sup> - 70 <sup>s</sup>  | 31 <sup>c</sup> - 42 <sup>c</sup>  |
| BITQ 00100      | 30 <sup>s</sup> - 100 <sup>s</sup> | 38 <sup>c</sup> - 55 <sup>c</sup> | 20 <sup>s</sup> - 190 <sup>s</sup> | 34 <sup>s</sup> - 81 <sup>c</sup>  | 50 <sup>c</sup> - 60 <sup>c</sup>  | 31 <sup>c</sup> - 106 <sup>c</sup> |
| RGDE 02030      | 20 <sup>s</sup> - 100 <sup>c</sup> | 12 <sup>c</sup> - 53 <sup>c</sup> | 20 <sup>c</sup> - 70 <sup>c</sup>  | 1 <sup>c</sup> - 2 <sup>c</sup>    | 20 <sup>s</sup> - 290 <sup>s</sup> | 0,5 <sup>s</sup> - 3 <sup>c</sup>  |
| RDGE 02200      | 20 <sup>s</sup> - 60 <sup>s</sup>  | 17 <sup>c</sup> - *               | 20 <sup>s</sup> - 100 <sup>c</sup> | 14 <sup>s</sup> - 111 <sup>s</sup> | 40 <sup>c</sup> - 300 <sup>s</sup> | 17 <sup>s</sup> - 33 <sup>c</sup>  |
| RGDE 02900      | 20 <sup>c</sup> - 130 <sup>s</sup> | 18 <sup>c</sup> - *               | 20 <sup>c</sup> - 130 <sup>s</sup> | 4 <sup>s</sup> - 29 <sup>c</sup>   | 20 <sup>c</sup> - 260 <sup>s</sup> | 6 <sup>s</sup> - 23 <sup>s</sup>   |

c: chuvoso; s: seco; \*apenas uma coleta no ano ou valor não informado

Fonte: Infoágua (CETESB 2020; 2021; 2023); adaptado pelos autores.

Para os parâmetros apresentados na Tabela 1, em 2020, a menor concentração de PT, de 10 µg/L, foi registrada no ponto BIRP 00500, durante o período chuvoso, enquanto o valor máximo, de 130 µg/L, foi encontrado no ponto RGDE 02900 no período seco. Para CL, o ponto RGDE 02030 apresentou a menor concentração, com 12 µg/L, e o ponto Bill 02030 a maior, com 79 µg/L, ambos no período chuvoso.

Em 2021, a concentração mínima de PT foi de 20 µg/L, observada no ponto RGDE 02900 tanto no período seco quanto no chuvoso, enquanto o valor máximo foi de 510 µg/L, foi registrado no ponto Bill 02100, no período chuvoso. Para CL, o ponto RGDE 02030 teve a menor concentração, com 1 µg/L, e o ponto Bill 02100 a maior, também com 510 µg/L, ambos no período chuvoso.

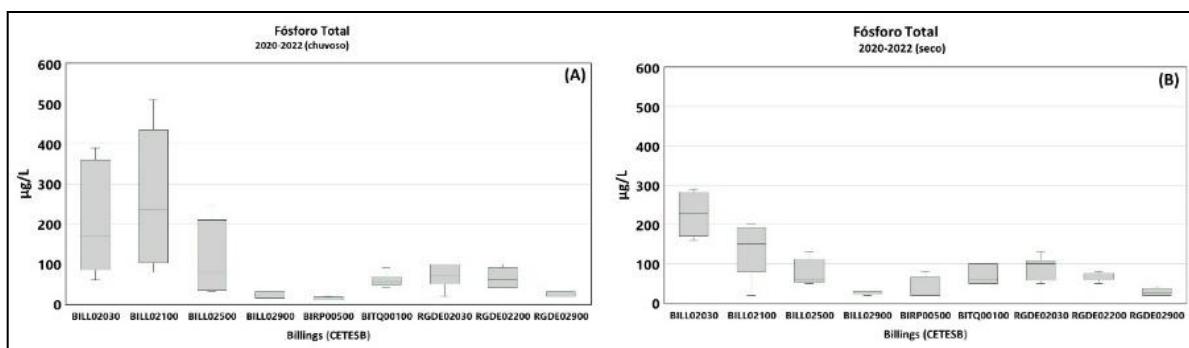
Em 2022, a menor concentração de PT foi de 10 µg/L, registrada nos pontos Bill 02900 e BIRP 00500 no período chuvoso. O valor máximo de PT foi de 410 µg/L no ponto Bill 02100, que também apresentou a maior concentração de CL, com 395 µg/L, enquanto a menor concentração de CL, de 0,5 µg/L, foi observada no ponto RGDE 02030.

Os dados na Tabela 1 mostram que, apesar da variação no número de coletas, os pontos Bill 02100 e Bill 02030 mantiveram tendências de concentrações elevadas, superando em mais de 20 vezes os níveis recomendados para PT e em mais de 50 vezes os para CL, conforme a CONAMA 357/2005. O ponto RGDE 02900 também apresentou níveis elevados de PT, com um máximo de 130 µg/L em 2020 e 2021, alcançando 260 µg/L em 2022.

Na Figuras 3 (A e B) e 4 (A e B), apresentam-se, graficamente, os parâmetros estudados (Tabela 1), considerando a sazonalidade das coletas.

A variação das concentrações de PT, para o período chuvoso (Figura 3A), sugere que os pontos BILL 02030 [60; 390 µg/L] e BILL 02100 [80; 510 µg/L] recebem maior aporte de nutrientes no período chuvoso, visto que os mesmos pontos, apesar de permanecerem sendo os mais críticos, apresentaram uma diminuição nas concentrações, bem como uma amplitude menor entre os teores de PT, em relação ao período seco (Figura 3B).

Figura 3 - Variação das Concentrações de PT na Billings (A) Chuvoso e (B) Seco



Fonte: Infoágua (CETESB 2020; 2021; 2023); adaptado pelos autores.

O padrão observado é coerente com as características dos pontos, pois o BILL 02030 permite à CETESB monitorar a água do Rio Pinheiros, bombeada pela Usina Elevatória de Pedreira, imediatamente à sua entrada na Represa Billings; ou seja, reflete as condições da água sem mistura significativa com o restante da água do reservatório. Enquanto o BILL 02100 permite monitorar a água bombeada do rio, mas que já passou por algum nível de diluição e mistura com outras fontes locais e afluentes, pois o ponto está a 7 km de distância do BILL 02030.

Não há um período específico para o bombeamento; contudo, ele ocorre com mais frequência na estação chuvosa, como estratégia para evitar enchentes no Rio Pinheiros, aumentar as reservas hídricas na Represa Billings para períodos de seca e auxiliar na diluição de poluentes trazidos pelo escoamento urbano.

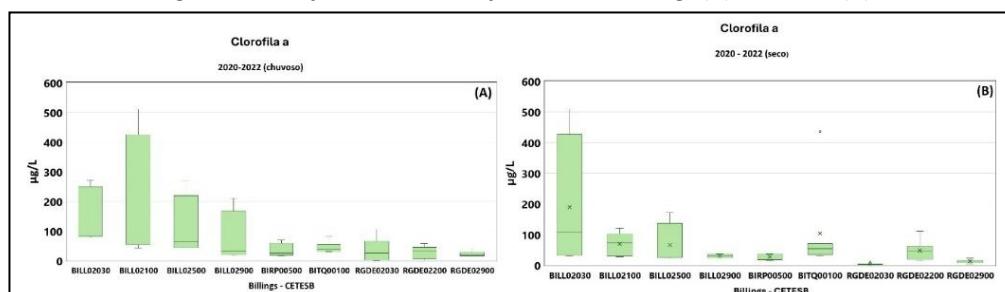
Embora o ponto BILL02500 também apresente maior variabilidade no período chuvoso (30–250 µg/L), verifica-se uma tendência de diminuição nas concentrações de PT, como mostrado na Figura 3A, possivelmente relacionada à sua posição a jusante dos pontos de

entrada (Figura 2). Outra característica importante é que o ponto está localizado sob a ponte da Rodovia dos Imigrantes, em São Bernardo do Campo, onde ocorre um estreitamento físico que reduz a velocidade da água. Esse afunilamento cria condições favoráveis para a sedimentação de partículas em suspensão e facilita processos de atenuação natural de poluentes, como a decomposição de matéria orgânica por microrganismos. No período seco, como a entrada de água bombeada do Rio Pinheiros é menos frequente, a influência do aporte de nutrientes em BILL02500 é significativamente reduzida, o que resulta em uma menor variabilidade e valores de concentração PT [50;78 µg/L].

A partir do ponto BILL02900 até RGDE02900, observa-se uma tendência de diminuição nas concentrações e na amplitude dos dados PT, em cada ponto, tanto no período chuvoso quanto no seco (Figuras 3A e 3B). Esse comportamento sugere que o reservatório possui uma capacidade de autodepuração em relação à carga inicial PT, independentemente das variações sazonais entre o período chuvoso e seco.

A variação das concentrações de CL entre os períodos chuvoso e seco (Figuras 4A e 4B) reflete uma tendência semelhante à observada para PT, com pontos críticos apresentando aumento de biomassa, no período chuvoso. Os pontos BILL02030 [43; 271 µg/L] e BILL02100 [57; 511 µg/L] registram os maiores valores e maior amplitude de CL, durante o período chuvoso, sugerindo que o aporte elevado de nutrientes ricos em PT é o principal fator impulsionador para a floração de algas.

Figura 4 - Variação das Concentrações de CL na Billings (A) Chuvoso e (B) Seco



Fonte: Infoágua (CETESB 2020; 2021; 2023); adaptado pelos autores.

No ponto BILL02500, a CL também exibe maior variabilidade no período chuvoso ([39; 269 µg/L]), com uma tendência de queda nas concentrações. Esse ponto, localizado em uma área de estreitamento que promove a atenuação de partículas e matéria orgânica, naturalmente contribui para diminuir os níveis de CL. No período seco, com a redução do bombeamento da água que vem do Rio Pinheiros, a CL em BILL02500 estabiliza em valores mais baixos [23; 171 µg/L]. A partir de BILL02900 até RGDE02900, observa-se uma tendência de diminuição tanto nas concentrações quanto na variabilidade de CL, em consonância com a estabilização observada em PT.

### 3.1 Relação entre PT e CL

Conforme apresentado nas Figuras 3A e 3B, a variação das concentrações de PT ao longo dos anos apresentou um padrão de distribuição, semelhante ao verificado para as concentrações de CL (Figuras 4A e 4B), sugerindo a potencial influência do PT à presença de

biomassa. Com a aplicação da ANCOVA, pôde-se inferir que a variável PT mantém forte relação com os níveis de CL, conforme informações da Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da ANCOVA aplicada ao conjunto de dados.

| Descrição*   | F     | p-valor |
|--|-------|---------|
| Interação entre as concentrações de PT e os Pontos de Coleta | 1,66  | 0,11    |
| Diferenças entre Pontos de Coleta                            | 22,32 | < 0,001 |
| Efeito das concentrações de PT sobre as concentrações de CL  | 30,65 | < 0,001 |

\*Dados transformados – logaritmo natural

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados da ANCOVA indicaram que a relação entre as concentrações de PT e CL é significativa (Tabela 2). Portanto; pode-se inferir que, para o período estudado, a disponibilidade PT é um fator preponderante às concentrações de CL, que possui relação direta com a quantidade de biomassa presente no reservatório da Billings. Por outro lado, os valores de F e p (Tabela 2) indicaram que, embora cada ponto possua características singulares, que influenciam a entrada de nutrientes, para o conjunto de dados (102 observações), sem considerar a sazonalidade, tais singularidades não afetaram significativamente o aporte de PT; contudo, para a CL, verifica-se que os pontos de coleta influenciam significativamente sua concentração. Por último, os valores de F (30,65) e p (< 0,001) permitem inferir que a variação de CL é estatisticamente explicada, em maior parte, pela variação nas concentrações de PT.

### 3.3 Índices do Estado Trófico - IET

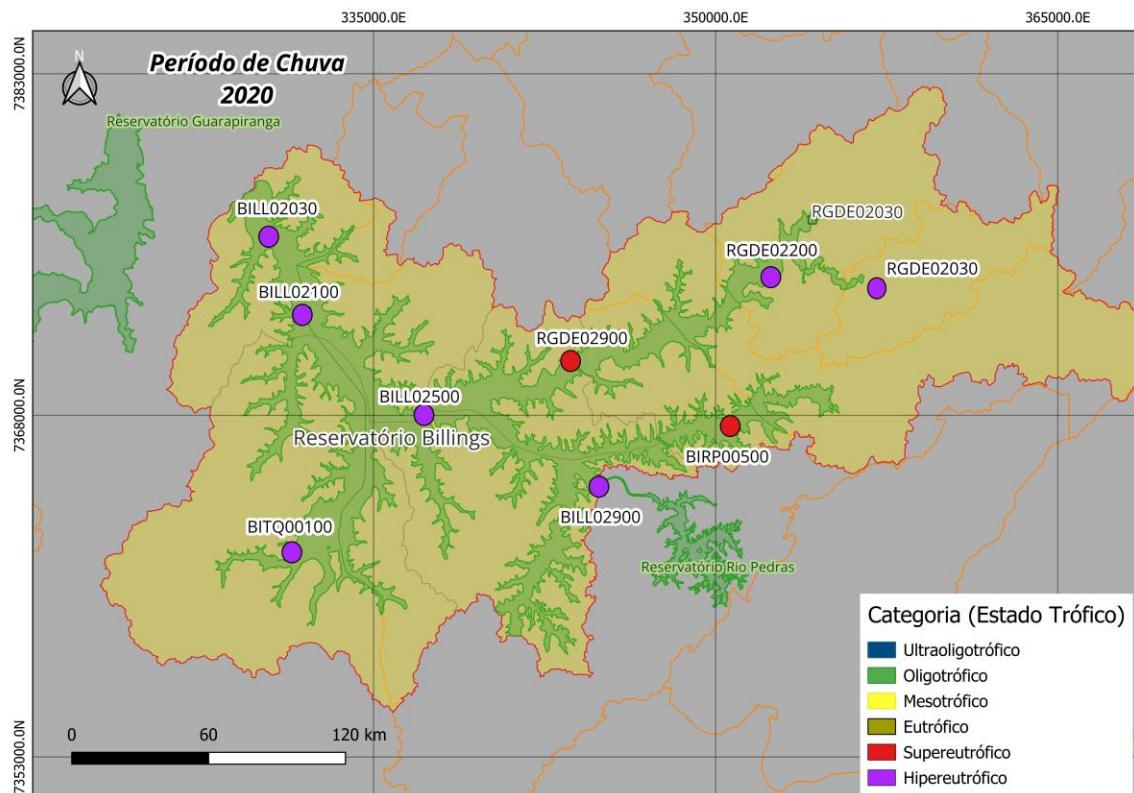
As Figuras 5A e 5B permitem a comparação das classes de IET para os pontos da Billings, referentes ao ano de 2020, entre o período chuvoso e seco. Considerando-se que as concentrações de PT e CL, frequentemente, excederam várias vezes, em todos os pontos, os limites definidos pela CONAMA 357/2005 (Tabela 1), esperava-se que os mapas evidenciassem valores de IET que classificariam a Represa Billings como um ambiente supereutrófico [64;66] e hipereutrófico [68;75]. Na prática, ambos indicam um nível muito alto de biomassa e de produtividade primária, o que afetará parâmetros importantes à qualidade da água. Normalmente, ambientes com classes de eutrofização extremas favorecem "blooms" de cianobactérias, que resultam em redução de oxigênio dissolvido e podem liberar toxinas prejudiciais aos ecossistemas aquáticos e à saúde humana (ANSARI, 2011).

Em relação aos IET calculados para 2021, exceto para RGDE 02900, classificado como supereutrófico (Figuras 6A e 6B), permaneceu a predominância de ambiente hipereutrófico. Entretanto, os valores de IET ficaram acima de 160, no período chuvoso (Figura 6A). De acordo com os relatórios da CETESB (2022), a precipitação em outubro (cerca de 150 mm) foi acima da média histórica (110 mm), enquanto em dezembro (130 mm) ficou um pouco abaixo da média esperada (150 mm). Portanto, como observado na Figuras 3A, os mais altos valores de PT são condizentes com o aporte de águas, com alta carga poluidora que é bombeada para o reservatório, para evitar a inundação do Rio Pinheiros.

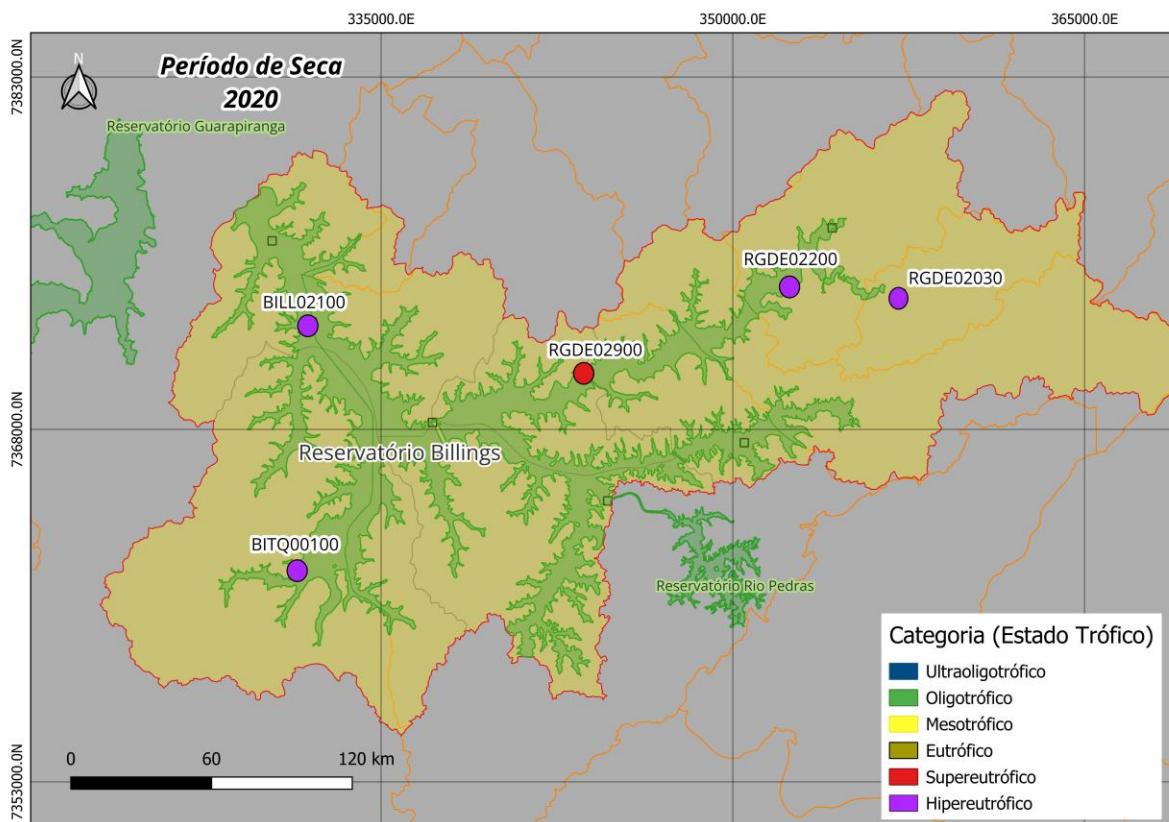
No período seco (Figura 6B), o ponto BITQ 00100 chamou a atenção, pois apresentou IET maior que 170. Nos demais pontos, a variação de IET seguiu o mesmo padrão observado em 2020. O BITQ 00100 está localizado na reversão do braço do Taquacetuba para o

reservatório Guarapiranga. Informações sobre a precipitação em São Bernardo do Campo<sup>3</sup>, indicaram que em setembro (o mês da coleta), observou-se a frequência de dias secos, com poucas chuvas fracas; contudo, mantendo-se o padrão típico de transição para período chuvoso. Com poucas chuvas, a renovação limitada de água reduz a diluição de nutrientes acumulados. A baixa vazão de água também pode favorecer o acúmulo sólidos em suspensão, que tendem a se depositar no fundo devido à falta de fluxo, liberando o PT em futuros eventos de chuva, que seriam esperados para o fim do período seco.

Figura 5 - Classes de IET na Represa Billings em 2020: (A) Chuvoso; (B) Seco.

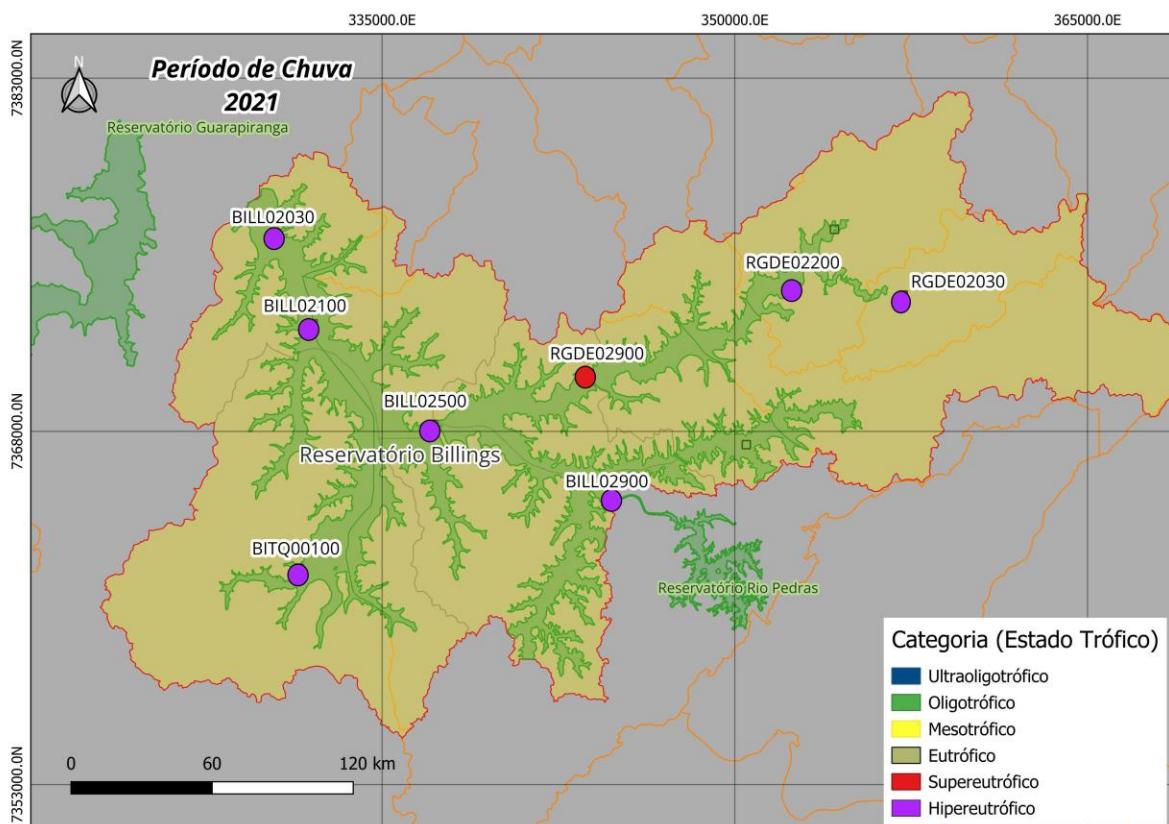


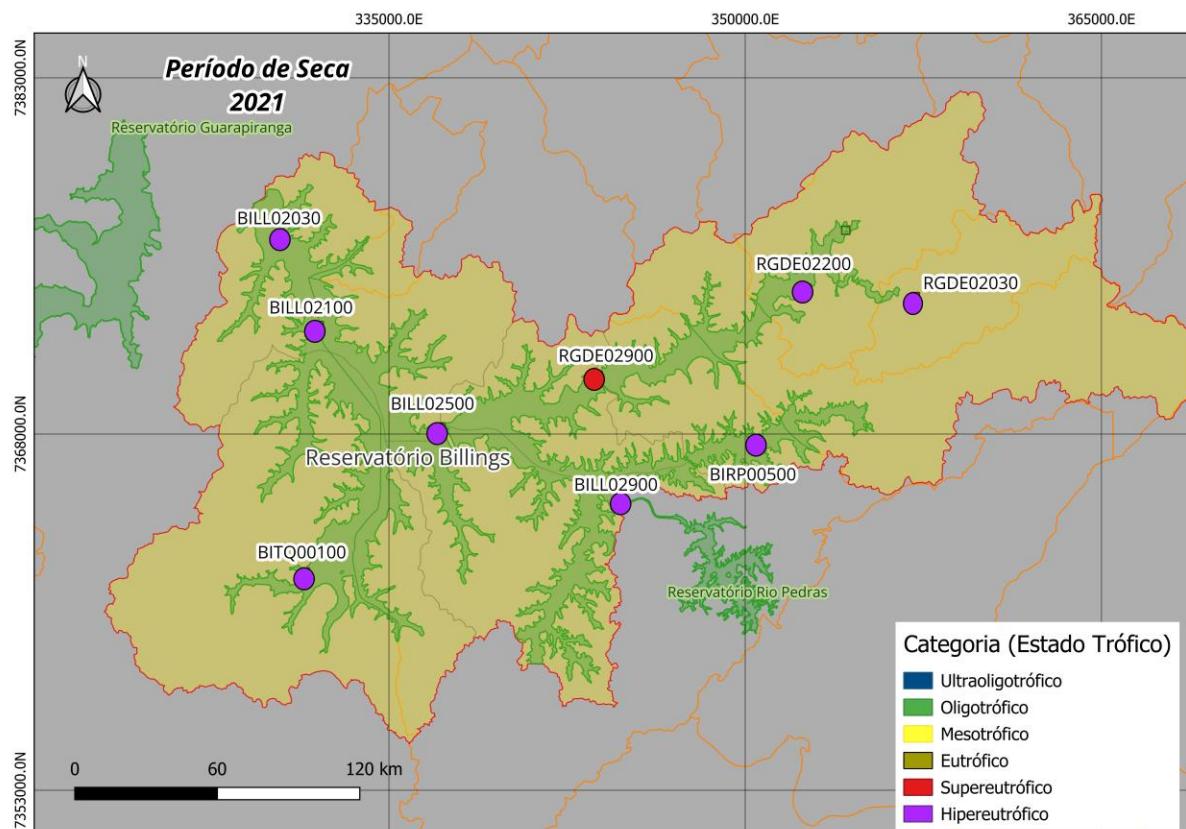
<sup>3</sup>Weather Spark- Plataforma online que fornece dados climáticos históricos e previsões detalhadas para locais ao redor do mundo.



Fonte: Comitê de Bacias (2021); IET calculado pelos autores a partir de Infoágua - CETESB.

Figura 6 - Classes de IET na Represa Billings em 2021: (A) Chuvoso; (B) Seco.





Fonte: Comitê de Bacias (2021); IET calculado pelos autores a partir de Infoágua-CETESB.

Para as coletas de 2022, verifica-se que maior variabilidade nos IET, com tendência à diminuição; ainda que prevaleçam as classes super e hipereutróficas, tanto para o período chuvoso como para o seco (Figuras 7A e 7B). Valores anômalos; isto é, IET acima de 160, foram observados nos pontos BIRP 00500 (chuvisco e seco) e RGDE 02200 (chuvisco).

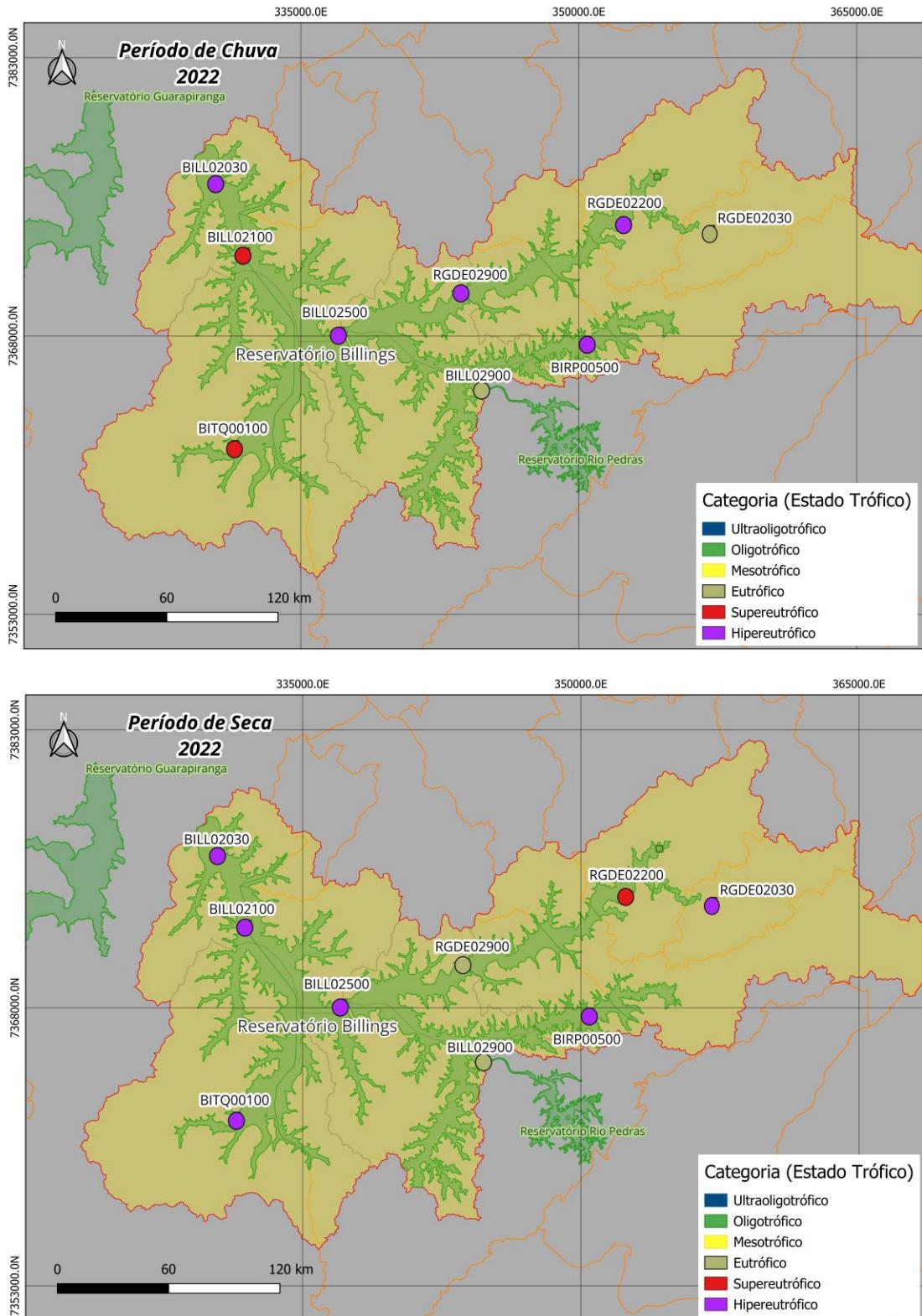
O monitoramento do BIRP 00500, localizado no Braço do Rio Pequeno, ocorre para avaliar a qualidade da água no ponto de transferência do Reservatório Billings para o Reservatório do Rio Grande, cujas águas, de fato, são direcionadas ao abastecimento público. Seus valores de IET (160 no período chuvoso; 165 no período seco) podem ser em virtude de este ponto receber contribuições de bacias urbanas e periurbanas, tornando-o suscetível ao enriquecimento de poluentes oriundos do escoamento superficial.

O valor anômalo de IET (177), para RGDE 02200 (Figura 7A), que está inserido na área do Clube Praia Tahiti, às margens da Represa Billings, pode ser devido às características de seu entorno, com vegetação abundante e áreas de lazer. Este ponto vem registrando aumento na densidade de cianobactérias, que pode estar associado a processos internos no corpo d'água, como a ciclagem de nutrientes, intensificada pelas condições ambientais do período chuvoso.

Com as informações levantadas, pode-se verificar a complexidade dos processos eutróficos em ambientes urbanos, nos quais fatores naturais se entrelaçam a pressões antrópicas. É importante ressaltar, no entanto, que a superação dos problemas identificados não depende apenas do entendimento técnico-científico das variáveis ambientais, mas

também de condicionantes sistêmicos e organizacionais que influenciam diretamente a eficácia das intervenções e a gestão integrada da represa.

Figura 7 - Classes de IET na Represa Billings em 2022: (A) Chuoso; (B) Seco.



Fonte: Comitê de Bacias (2021); IET calculado pelos autores a partir de Infoágua-CETESB.

### 3.4 Limitações Estruturais à Gestão da Represa Billings

A gestão da Represa Billings envolve uma multiplicidade de atores institucionais — entre eles, órgãos governamentais das esferas federal, estadual e municipal, empresas concessionárias, organizações da sociedade civil e a população. Essa configuração complexa, embora represente uma oportunidade para a construção de uma governança colaborativa, também impõe desafios significativos à coordenação de ações, à definição de responsabilidades e à implementação de políticas públicas eficazes.

A literatura especializada aponta que a gestão das águas é, em essência, uma gestão de conflitos (Wolf, 2009). À medida que se diversificam os usos e usuários dos recursos hídricos, cresce também a dificuldade de construir soluções consensuais entre agentes públicos, privados e comunitários (Raulino, 2024). Apesar dessas tensões, os recursos hídricos oferecem potencial para benefícios compartilhados — como melhoria da qualidade ambiental, dinamização econômica, turismo e uso recreativo — desde que adequadamente geridos (Sadoff & Grey, 2002). Entretanto, a indefinição de competências entre os entes responsáveis compromete o controle efetivo sobre os impactos ambientais. O Plano Estadual de Recursos Hídricos 2020–2023, por exemplo, identifica diversos conflitos pelo uso da água na região e apresenta estratégias para seu gerenciamento, com envolvimento de instituições como DAEE, ANA, SABESP, CETESB, EMAE, entre outras.

No campo econômico, as limitações orçamentárias e os entraves na aplicação de instrumentos de cobrança dificultam a sustentabilidade das ações de gestão. A legislação brasileira evoluiu no sentido de reconhecer a água como bem econômico: o Código das Águas (Decreto nº 24.643/1934) já previa a possibilidade de uso retribuído; a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) introduziu o princípio do usuário-pagador; e o Código Civil (Lei nº 10.406/2002) previu a remuneração pelo uso de bens públicos de uso comum. Esses princípios foram incorporados à Política Nacional de Recursos Hídricos, que estabelece a cobrança como instrumento de incentivo à racionalização do uso, de valorização do recurso e de financiamento de programas previstos nos planos de bacia.

No Estado de São Paulo, a cobrança é regulamentada pela Lei nº 12.183/2005, e busca também internalizar os custos socioambientais do uso da água, especialmente em casos de degradação e conflitos pelo recurso. No entanto, mesmo com a aplicação desses instrumentos, os recursos arrecadados nem sempre são suficientes para fazer frente às demandas estruturais. O relatório de prognóstico do PERH 2020–2023 destaca os investimentos da SABESP na UGRHI-06 (Alto Tietê), onde se insere a Represa Billings, os quais têm contribuído para avanços na cobertura de saneamento. Ainda assim, persistem lacunas importantes no que se refere à coleta e ao tratamento de efluentes, bem como à redução das cargas poluidoras que impactam os corpos hídricos (Nilson, 2013).

As limitações institucionais e econômicas se somam às barreiras de natureza social. A presença de assentamentos precários e ocupações irregulares nas áreas de mananciais compromete não apenas a qualidade da água, mas também a efetividade das ações de fiscalização e recuperação ambiental. Nesse sentido, a educação e a conscientização da população são fundamentais para promover o uso sustentável dos recursos hídricos. De acordo com Silva (2020), o Programa Hidroanel, articulado com o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Reservatório Billings, desenvolveu ações voltadas à

sensibilização sobre os principais problemas ambientais e urbanos da região. Essas ações abordaram questões como ocupação de áreas naturais, saneamento básico, disposição inadequada de resíduos sólidos e impactos sobre a saúde pública, buscando mobilizar a população para a corresponsabilidade na conservação dos mananciais (Frias, 2020).

#### **4 CONCLUSÕES**

O estudo sobre a Represa Billings apresentou um quadro preocupante de grau de eutrofia, com a predominância de estados supereutrófico e hipereutrófico. A análise, baseada em dados da CETESB (2020 a 2022), indicou que as concentrações de PT e CL, frequentemente, excedem os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, comprometendo a qualidade da água.

Verificou-se, estatisticamente, que PT é o fator preponderante à floração de algas, sobretudo, em meses chuvosos, quando o bombeamento de água do Rio Pinheiros é intensificado para prevenir enchentes. Isso contribui para o maior aporte de nutrientes, favorecendo a eutrofização. No período chuvoso também foram observados os valores mais elevados de IET.

Os achados da pesquisa evidenciam a relevância do monitoramento de corpos hídricos como subsídio à gestão hídrica e à tomada de decisões. A análise de parâmetros como PT e CL pode auxiliar estratégias de controle de nutrientes e práticas de manejo ambiental. No caso da Billings, essas informações têm potencial para orientar políticas públicas voltadas à preservação da qualidade da água e à sustentabilidade do reservatório, essencial ao abastecimento público da RMSP.

Outro ponto relevante é o fato de gerar a integração entre as partes interessadas no uso da água como recurso, seja para utilização em processo, turismo, lazer e outros. Nesse contexto, como discutido anteriormente, a ausência de articulação entre os múltiplos atores institucionais e a limitação de recursos financeiros dificultam a efetividade das ações de preservação e recuperação da represa, o que reforça a necessidade de medidas coordenadas e investimentos sustentáveis.

A análise realizada demonstra que os problemas enfrentados pela Billings vão além dos aspectos técnicos e ambientais. Indica-se, portanto, a necessidade de priorizar a adoção de medidas estruturais que considerem as especificidades territoriais, assim como o papel do planejamento ambiental orientado à redução das desigualdades e à garantia da segurança hídrica.

#### **Agradecimentos**

FSRS e AO agradecem à UNINOVE pela bolsa de mestrado concedida. APR agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (CNPq -317071/2021-1; 313775/2025-7) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - 2020/05383-9), pelo suporte financeiro ao desenvolvimento de seus projetos de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. **Água no mundo**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 186-205, 2013.
- CAMPOS, N. B. A gestão integrada dos recursos hídricos: uma perspectiva histórica. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 111–121, 2013. DOI: 10.9771/gesta.v1i1.7109.
- CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes 1. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.
- CETESB – Companhia Ambiental de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo 2020**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>.
- CETESB – Companhia Ambiental de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo 2021**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>.
- CETESB – Companhia Ambiental de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo 2022**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>.
- CETESB. **Atualização de Metodologias Analíticas para Avaliação e Monitoramento dos Impactos dos Efluentes Dispostos nas Águas Superficiais da Bacia do Alto Tietê – São Paulo**. São Paulo, 2017. p. 1-77. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Atualiza%C3%A7%C3%A3o-de-metodologias-anal%C3%ADticas-para-avalia%C3%A7%C3%A3o-e-monitoramento-nas-%C3%A1guas-superficiais-no-Alto-Tiet%C3%AA.pdf>. Acesso em: 2023.
- DOS ANJOS, A. **Planejamento de experimentos I**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. p. 98.
- FRIAS, D. F. R. et al. Variação espaço-temporal da concentração de *Escherichia coli* em águas superficiais e a saúde pública. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 60, p. 77-86, 2020. DOI: 10.17271/2318847286020202422.
- GEOTEC Hídrica. **Represa Billings – Monitoramento contínuo da qualidade da água**. São Paulo, 2021.
- HABITAT. Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-Habitat). **Implementando a Nova Agenda Urbana**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/bit.ly/NAUIlustradaPT>.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Almanaque Brasil socioambiental: uma nova perspectiva para entender a situação do Brasil e a nossa contribuição para a crise planetária**. São Paulo, 2008.
- LIANG, Z.; SORANNO, P. A.; WAGNER, T. The role of phosphorus and nitrogen on chlorophyll a: Evidence from hundreds of lakes. **Water Research**, v. 185, p. 116236, 2020.
- OLIVEIRA, A. **Sensoriamento remoto para estimar indicadores de qualidade da água em área de manancial e subsidiar o planejamento urbano**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2021. Disponível em: <http://bibliotecade.uninove.br/handle/tede/2981>.
- RAULINO, R. N. S.; ANDRADE, M. V. F. Multimodel TSI Evaluation to Characterize Eutrophication in a Tropical Semi-Arid Reservoir: a case study of the Araras Reservoir. **Journal of Environmental Management & Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 1-35, 2024. DOI: 10.5585/2024.25183.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Volume 1: Diagnóstico síntese – Tomo I: Caracterização e situação dos recursos hídricos**. São Paulo, 2020. Contrato SSRH nº 006/2018. Disponível em: <https://drive.google.com/drive/folders/1ULvrqlylMgoapgh22SfsQk0QjOYZMz>. Acesso em: 1 nov. 2024.
- SHIEH, G. Assessing standardized contrast effects in ANCOVA: Confidence intervals, precision evaluations, and sample size requirements. **PLOS ONE**, v. 18, n. 2, p. e0282161, 2023.
- SOUZA, L. L.; SILVA, C. R. Advancement of urban development and regularization of consolidated occupations on the margin of an artificial reservoir through spectral indexes. **Revista de Gestão Ambiental e Sociedade – GeAS**, v. 13, n. 1, p. 1-31, 2024. DOI: 10.5585/2024.25592.

TROMBONI, F.; DODDS, W. K. Relationships Between Land Use and Stream Nutrient Concentrations in a Highly Urbanized Tropical Region of Brazil: Thresholds and Riparian Zones. **Environmental Management**, v. 60, n. 1, p. 30–40, 2017. DOI: 10.1007/s00267-017-0858-8.

VAN GINKEL, C. E. Eutrophication: Present reality and future challenges for South Africa. **Water SA**, v. 37, n. 5, p. 693-702, 2011.

VIANNA, R. C.; VIANNA JUNIOR, C. C.; VIANNA, R. M. Os recursos de água doce no mundo – situação, normatização e perspectiva. **JURIS – Revista da Faculdade de Direito**, v. 11, p. 247–270, 2008. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/juris/article/view/598/141>.

WOLF, M. **Teorias da comunicação**. 10. ed. Lisboa: Editorial Presença, 2009.

---

## DECLARAÇÕES

---

### CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

- **Concepção e Design do Estudo:** APR e FSRS.
- **Curadoria de Dados:** APR, FSRS e AO
- **Análise Formal:** APR, FSRS e AO
- **Aquisição de Financiamento:** APR.
- **Investigação:** APR, FSRS e AO
- **Metodologia:** APR, FSRS e AO
- **Redação - Rascunho Inicial:** APR e FSRS
- **Redação - Revisão Crítica:** APR, FSRS e JLG
- **Revisão e Edição Final:** APR, FSRS e JLG
- **Supervisão:** APR.

---

### CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, os autores **Fabiano Sampaio Rodrigues dos Santos; Andreza Portella Ribeiro; Anderson de Oliveira e Jorge L. Gallego**, declaramos que o manuscrito intitulado “*Indicadores de Eutrofização na Represa Billings, São Paulo: Apoio ao Planejamento Urbano e à Gestão de Mananciais*”:

- Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou a interpretação do estudo.
- Não possui relações profissionais que possam impactar a análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
- Os autores (APR e JLG) mantêm vínculo empregatício com as respectivas instituições listadas em suas afiliações, enquanto os autores FSRS e AO concluíram seus cursos de pós-graduação na UNINOVE com bolsas integrais.

Declaramos que não há quaisquer conflitos de interesse com outros grupos ou instituições acadêmicas e de pesquisa