



DIVERSIDADE FITOPLANCTÔNICA E ESTADO TRÓFICO COMO INDICADORES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO BILLINGS

João Alexandre Saviolo Osti

Programa de Mestrado em Análise Ambiental da Universidade Guarulhos, Guarulhos, Brasil
jale.osti@gmail.com

Matheus Barbosa Herbst de Oliveira

Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil
mbho2458@gmail.com

Ana Carolina Peixoto Chamizo

Programa de Mestrado em Análise Ambiental da Universidade Guarulhos, Guarulhos, Brasil
carol.peixoto2009@gmail.com

Clóvis Ferreira do Carmo

Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil
clovis.carmo@sp.gov.br

Munique Almeida Bispo Moraes

Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil
muniquebio@gmail.com

Cacilda Thais Janson Mercante

Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo
cacilda.mercante@sp.gov.br

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Resumo

A estrutura fitoplanctônica é influenciada por fatores ambientais, ciclos sazonais e grau de trofia do sistema. O objetivo do estudo foi identificar como a diversidade de espécies fitoplanctônicas responde à fatores ambientais como a sazonalidade e estado trófico do reservatório Billings - RMSP. Variáveis físico-químicas e biológicas foram analisadas no Corpo Central (CC) e Braço Rio Grande (RG), ao longo de um ciclo sazonal (fevereiro a novembro de 2020; n = 6). A densidade fitoplanctônica foi obtida pela contagem de organismos/mL e calculados os índices de diversidade, riqueza e equitabilidade. O cálculo do índice de estado trófico evidenciou gradiente no grau de trofia, sendo RG mesotrófico e CC eutrófico. A composição fitoplanctônica consistiu em 138 táxons, sendo 34 registrados exclusivamente no CC e 33 registrados somente no RG. A riqueza taxonômica, diversidade e equitabilidade apresentaram pequena variação CC e RG. A abundância fitoplanctônica variou espacial e temporalmente, maiores densidade foram registradas no CC, sendo a cianobactéria o grupo mais representativo (80% de contribuição). No RG além das cianobactérias, foi registrada contribuição das algas verdes e diatomáceas. O fitoplâncton se mostrou sensível como ferramenta para monitorar a dinâmica dos processos de eutrofização e formação de florações de algas e de cianobactérias.

Palavras-chave: bioindicador, cianobactéria, diagnóstico ambiental, eutrofização, microalgas.

1. Introdução

Reservatórios são ambientes construídos para produção de energia e abastecimento de água, são sistemas complexos, dinâmicos e sensíveis aos efeitos de atividades antropogênicas. Uma das principais consequências das ações antrópicas na bacia hidrográfica é a ocorrência do processo de eutrofização artificial decorrente do aporte excessivo de nutrientes que desencadeia o crescimento descontrolado do fitoplâncton (algas e cianobactérias). Este fato é uma preocupação atual dos gestores, uma vez que a proliferação de algas nocivas pode interferir na qualidade e inviabilizar o uso múltiplo do reservatório.

Nos reservatórios as mudanças na comunidade fitoplanctônica podem ser rápidas e a distribuição e dinâmica tendem a ser desigual no espaço, notadamente relacionada aos processos de uso e ocupação do entorno e do próprio manejo do reservatório, como por exemplo o controle do volume. Desta forma é essencial a utilização de ferramentas apropriadas para rastrear com exatidão as mudanças ambientais na escala espaço-temporal e que podem servir na predição de eventos de florações de algas e cianobactérias. Estudos realizados em reservatório tropicais e subtropicais demonstraram que a estrutura fitoplanctônica é influenciada por fatores ambientais, ciclos sazonais e do estado trófico do sistema (OLIVEIRA et al., 2020; PINEDA et al., 2020a; RIVERA et al., 2022).

A comunidade fitoplanctônica é formada por um diversificado grupo de algas e cianobactérias e é amplamente utilizado no biomonitoramento dos ambientes aquáticos (CETESB, 2017;



DOCHIN, 2023), uma vez que são bons indicadores da qualidade da água, pois apresentam um ciclo de vida curto (2 a 3 dias) e respondem rapidamente às mínimas alterações nos ambientes aquáticos através da modificação na estrutura de sua comunidade (ROSINI et al., 2016). A distribuição e dinâmica desta comunidade refletem o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, a dinâmica dos processos de eutrofização e a formação de florações de algas e de cianobactérias potencialmente prejudiciais (BRASIL & HUSZAR, 2011; OLIVEIRA et al., 2020; PINEDA et al., 2020a).

Assim, considerando que a comunidade fitoplanctônica tem grande importância ecológica nos ecossistemas aquáticos e que a heterogeneidade espacial é um fator determinante para a distribuição, estrutura e funcionamento das comunidades aquáticas. Neste trabalho buscamos avaliar como a comunidade fitoplanctônica responde às características de qualidade da água de reservatórios de usos múltiplos.

A hipótese que norteia a pesquisa é que há heterogeneidade espaço-horizontal de algas e cianobactérias planctônicas em reservatórios com diferentes graus de trofia. Assim, o objetivo do presente estudo foi identificar como a diversidade de espécies fitoplanctônicas responde à fatores ambientais como a sazonalidade e o estado trófico do reservatório Billings, localizado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

2. Fundamentação teórica

O intenso crescimento da população, a alta demanda e os diferentes usos dados aos recursos hídricos têm colocado em risco a disponibilidade hídrica tanto em quantidade quanto em qualidade, especialmente nos grandes centros urbanos, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A RMSP é o mais populoso aglomerado urbano do país e um dos cinco maiores do Mundo, concentra mais de 21 milhões de habitantes, apresenta um consumo de água de, aproximadamente, 69 m³/s e tem sete vezes menos água por habitante do que a ONU considera como crítico (WHATELY et al., 2009; ANA, 2010; IBGE, 2022).

A maior bacia hidrográfica da região é a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT). Coincidindo com 70% do território da RMSP, a BAT é caracterizada por densidades demográficas e taxas de urbanização elevadas (FABHAT, 2018). A bacia abrange a porção leste do rio Tietê, com nascentes no Parque Ecológico Nascentes do Tietê, no município de Salesópolis, seguindo a direção geral leste-oeste até atingir a Barragem de Rasgão, em Pirapora do Bom Jesus. Dentre os diversos reservatórios da bacia, temos o reservatório Billings, inserido no Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), que colabora com 7,7 m³/s de água para atender 2,3 milhões de munícipes de Cotia; Embu; Itapeperica da Serra; São Paulo; e Taboão da Serra (braço Taquacetuba), e Diadema; Santo André; e São Bernardo do Campo (braço Rio Grande), conforme citado por ANA (2021).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

O reservatório Billings foi construído no ano de 1925 com a finalidade de aumentar a capacidade de geração de energia elétrica da Usina Henry Borden (Cubatão) e atender a demanda crescente por energia do polo industrial próximo ao Porto de Santos (SP). Já em 1958, com o crescimento populacional da região do grande ABC, formado pelas cidades de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Diadema, o reservatório passou a ser utilizado para abastecimento público, iniciando-se a captação de água no braço do Rio Grande (SÃO PAULO, 2011). Atualmente, o Reservatório Billings apresenta múltiplos usos como regulação do nível do rio Pinheiros por transposição de água para controle de inundações, diluição de efluentes, pesca profissional artesanal, abastecimento público de água e lazer (CARMO; TAGNIN, 2001; PENTEADO et al., 2017). Entretanto, além da ocupação irregular para fins residenciais, a presença de contaminantes industriais também gera grande passivo ambiental. Dentre as consequências deste processo está a floração de algas e cianobactérias, que podem contaminar as águas com suas toxinas, causando riscos à saúde humana.

A comunidade fitoplanctônica é um dos elementos chave no biomonitoramento dos ecossistemas aquáticos. Variações na estrutura dessa comunidade implicam em mudanças na estrutura trófica, na dinâmica e fluxos energéticos destes ambientes e consequentemente afetam o crescimento, desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de muitos organismos aquáticos (SANOBE et al., 2019; PINEDA et al., 2020a,b; QIN et al., 2023). Desta forma, um delineamento amostral que associe análises taxonômicas e ecológicas, em ambientes aquáticos, pode garantir a ampliação e a melhor qualificação de informações sobre parâmetros ecológicos das comunidades aquáticas (BICUDO et al., 1995), notadamente para reservatórios de usos múltiplos.

Estudos realizados em reservatório tropicais e subtropicais demonstraram que a estrutura fitoplanctônica é influenciada por fatores ambientais, ciclos sazonais e do estado trófico do sistema (OLIVEIRA et al., 2020; PINEDA et al., 2020a; RIVERA et al., 2022). Para Pineda et al. (2020) mudanças ao longo do tempo são importantes fatores de força em reservatórios, levando a diminuição da riqueza e a mudança nos grupos funcionais. Já Oliveira et al. (2020) avaliaram a estrutura da comunidade fitoplanctônica em cinco reservatórios do estado de São Paulo, e verificaram que as guildas fitoplanctônicas estiveram associadas a um gradiente de trofia. Resultados semelhantes foram observados por Rivera et al. (2022) em quatro reservatórios localizados na cordilheira oriental da Colômbia, onde os autores atribuem as alterações registrados nos gêneros fitoplanctônicos às diferenças nos graus de trofia dos reservatórios.

O índice de estado trófico pode ser uma ferramenta muito útil para gestores de reservatórios pois permitem uma rápida medição do estado do sistema, complementarmente a estrutura da comunidade fitoplanctônica tem sido utilizada como um importante discriminante ambiental em reservatórios. Entretanto, a principal dificuldade na utilização da comunidade fitoplanctônica é a falta de conhecimento sobre a relação entre o ambiente aquático e o fitoplâncton e o



conhecimento limitado sobre a taxonomia dos grupos fitoplanctônicos. Considerando este contexto, é fundamental o desenvolvimento de estudos relacionados a estrutura da comunidade fitoplanctônica e a sua relação com a trofia de reservatórios, notadamente para aqueles localizados próximos a grandes centros urbanos como é o caso do reservatório Billings.

3. Metodologia

3.1. Área de estudo

O Reservatório Billings, está localizada na porção sudeste da Região Metropolitana de São Paulo e integra a bacia hidrográfica do Alto Tietê. Esta bacia hidrográfica é limitada, a oeste, pela bacia hidrográfica do Guarapiranga e, ao Sul pela Serra do Mar. O Reservatório Billings possui uma lâmina de água de aproximadamente 108 km² e sua área intersecta parte dos Municípios de Diadema; Ribeirão Pires; Santo André; São Bernardo do Campo; São Paulo e integralmente o município de Rio Grande da Serra.

A bacia hidrográfica da Billings é protegida pela Lei 13.579, de 13 de julho de 2009 e suas alterações, que define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica da Billings (APRM-B) (SÃO PAULO 2009). Dentre seus diversos objetivos o principal é o desenvolvimento sustentável da bacia.

O reservatório Billings apresenta múltiplos usos, como regulação do nível do rio Pinheiros por transposição de água para controle de inundações, diluição de efluentes, pesca profissional e artesanal, lazer, além do abastecimento público de água (PENTEADO et al., 2017). Devido ao uso e ocupação crescentes no entorno de sua bacia hidrográfica, o reservatório vem sofrendo um processo contínuo de degradação.

No presente estudo, foram utilizadas duas estações amostrais localizadas no Reservatório Billings que apresentam diferenças quanto aos usos preponderantes (Figuras 1 e 2), sendo eles: 1) Rio Grande (RG) - estação amostral próxima à captação de água pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), localizado no Braço Rio Grande (RG). Este reservatório faz parte do Sistema Produtor Rio Grande, formado pelo Ribeirão da Estiva e Rio Grande, responsável por cerca de 6% do abastecimento de água da face leste da RMSP (SABESP, 2023); 2) Corpo Central (CC) – estação amostral no corpo central do reservatório Billings, sendo que este local está isolado do Braço Rio Grande pelo dique da Via Anchieta (SABESP, 2023).

A escolha da área de estudo deteve-se aos usos múltiplos dos reservatórios que fazem parte do Sistema e por estes apresentarem diferentes graus de trofia, além da facilidade de acesso.



Figura 1. Imagem vista de satélite das duas estações amostrais localizadas em diferentes regiões do reservatório Billings, São Bernardo do Campo (SP). Sendo: estação RG = Rio Grande; estação CC = Corpo Central. A seta indica o local aproximado das amostragens. Fonte: Adaptado de *Google Earth Pro*. Imagem obtido em 28 de março de 2023.



3.2. Variáveis Ambientais e Cálculo do Índice de Estado Trófico (IET)

As coletas de água foram realizadas nas duas estações amostrais do reservatório Billings nos meses de março, maio, junho, agosto, setembro e novembro de 2020 ($n = 6$) perfazendo um ciclo sazonal completo.

Em campo, com auxílio de sonda multiparâmetros (marca Horiba – modelo U-50), foram determinados os valores das variáveis temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), turbidez (UNT), sólidos dissolvidos totais (mg L^{-1}) e pH. Amostras de 1,0 L de água foram coletadas para determinação das concentrações dos nutrientes e da biomassa fitoplanctônica em laboratório. A determinação da estimativa da biomassa fitoplanctônica foi realizada por meio da concentração de clorofila *a* (MARKER et al., 1980; SARTORY et al., 1984). As análises para determinação das concentrações de fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) e nitrogênio total (mg L^{-1}) foram realizadas segundo metodologia descrita por Valderrama (1981).

A partir dos resultados de fósforo total e clorofila *a* foi calculado o Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977) adaptado por Lamparelli (2004) para ambientes lênticos.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

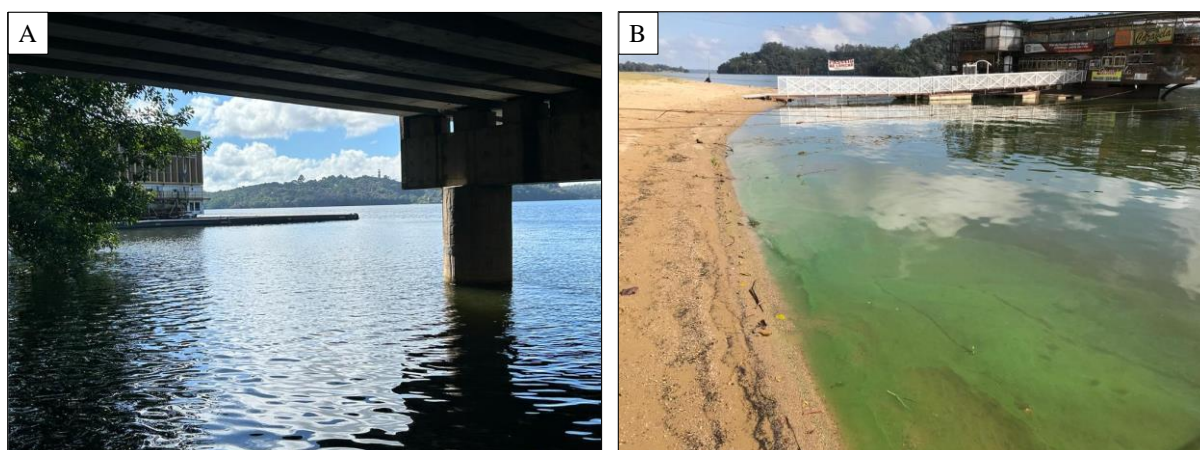
SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Na Figura 2 são apresentadas as imagens dos locais de coleta de água realizadas nas duas estações amostrais (CC e RG) do reservatório Billings nos meses de março, maio, junho, agosto, setembro e novembro de 2020 (n = 6) perfazendo um ciclo sazonal completo.

Figura 2. Vista parcial das estações de coleta, localizadas no reservatório Billings, São Bernardo do Campo-SP. Legenda: A = braço Rio Grande; B = Corpo Central (prainha do Riacho Grande)



3.3. Estrutura da comunidade fitoplanctônica

Amostras para as análises qualitativas da comunidade fitoplanctônica foram obtidas usando rede de plâncton de 20 μm (n = 6) e preservadas em solução de formaldeído a 4%. Os táxons foram identificados em microscópio de luz padrão (Olympus BX51), respaldado por bibliografia especializada. O sistema de classificação adotado para o nível de classe foi o de Wehr and Sheath (2003) e Bicudo and Menezes (2017).

As amostras para as análises quantitativas (n = 6) do fitoplâncton foram fixadas em solução de Lugol a 1%. Populações de fitoplâncton (org mL^{-1}) foram contadas em campos aleatórios usando a técnica de sedimentação (UTERMÖHL, 1958) em microscópio invertido LEICA DMIL (640 x), em câmara de sedimentação de 2 e 10 mL. O tempo de sedimentação foi de 3 h cm^{-1} (LUND et al., 1958). O limite de contagem foi estabelecido através da curva de rarefação de espécies até atingir 100 indivíduos (células, colônias, cenóbios e filamentos) das espécies mais comuns. Os resultados foram expressos em densidade (org mL^{-1}).

A partir dos resultados de densidade (org mL^{-1}) do fitoplâncton foram calculados os seguintes atributos:

- **Riqueza (R):** será considerado o número total de táxons encontrados por amostra.



- **Índice de Diversidade (H') (bits ind^{-1}):** estimada pelo índice de Shannon & Weaver (1963).
- **Índice de Equitabilidade (E'):** avaliada de acordo com Lloyd & Ghelardi (1964).

3.4. Análise dos dados

Os resultados das variáveis ambientais foram analisados por meio da estatística descritiva, utilizando média aritmética como medida de tendência central e desvio padrão (DP) como medida do grau de dispersão absoluta dos dados. A análise de variância One-way (ANOVA) ($p < 0,05$) foi aplicada às variáveis ambientais para testar diferenças significativas entre as médias dos reservatórios e quando foram encontradas diferenças significativas entre as médias, foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$). A análise foi realizada no software estatístico Past 4.01.

Para análise da variabilidade ambiental dos dados bióticos em relação aos meses de estudo (temporal) e aos diferentes pontos de amostragem (espacial), foi realizada análise de similaridade através do Programa PC-ORD versão 6.0 para Windows (McCUNE; MEFFORD, 2011), o algoritmo utilizado foi o Grupos Pareados (UPGMA) e o índice de similaridade utilizado foi o de Jaccard.

4. Resultados e Discussão

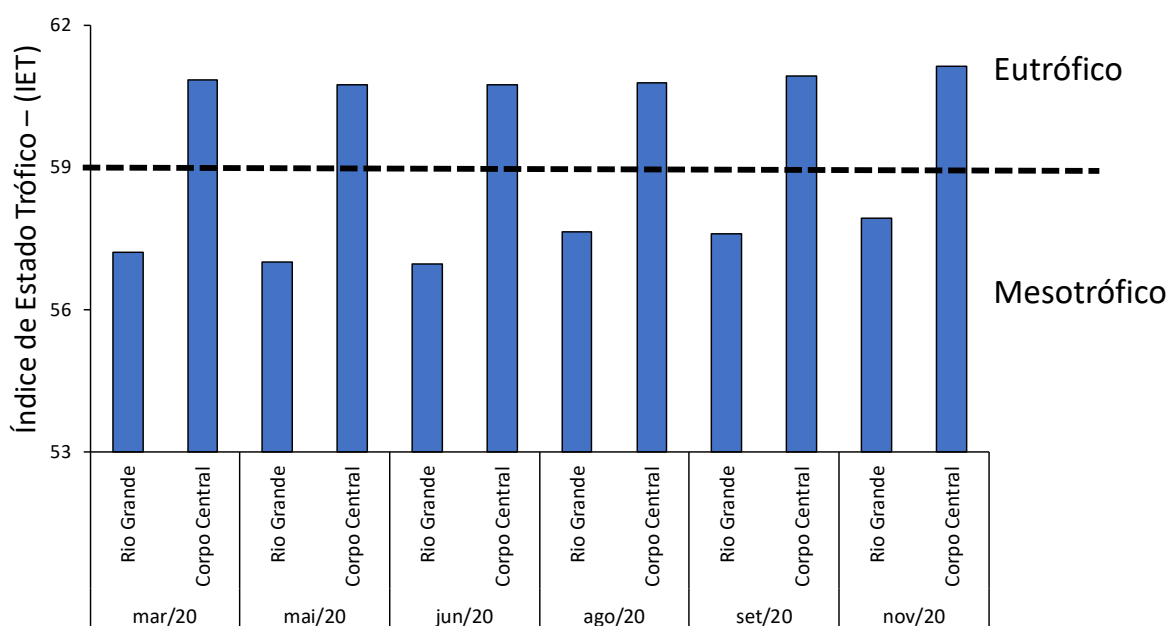
Os reservatórios estudados apresentaram diferenças quanto ao grau de trofia (Figura 3), o Braço do Rio Grande (RG) foi classificado como Mesotrófico ao longo de todo o período de estudo, apresentando concentrações médias de fósforo total de $50 \mu\text{g L}^{-1}$ enquanto que o Corpo Central (CC) classificado como Eutrófico evidenciou concentrações de fósforo total duas vezes mais elevada do que o RG. A separação das características da qualidade da água nos diferentes compartimentos do sistema Billings foi também observada por Cardoso-Silva et al. (2014). Os referidos autores relacionaram a mesotrofia no braço do Rio Grande às atividades desenvolvidas no entorno do reservatório e do constante uso de algicidas. No caso do Corpo Central classificado como eutrófico o aporte de fósforo advém da contribuição de córregos localizados à montante com lançamento de esgotos sem tratamento (ARAÚJO et al., 2018). Estas observações indicam a vulnerabilidade que os reservatórios próximos a grandes centros urbanos podem sofrer com aportes de cargas difusas e pontuais advindas das atividades antrópicas (SANTOS et al., 2018).

Embora a proximidade entre os reservatórios, estes estão isolados pelo dique da Via Anchieta que tem por objetivo preservar a qualidade da água do braço Rio Grande para o abastecimento público (PÔMPEO et al., 2015), sendo que a maior grau de trofia observada no Corpo



Central está relacionada às atividades do entorno, como consequência da intensa ocupação irregular nas décadas de 1960 e 1980, falta de planejamento urbano, saneamento básico precário, descarte inadequado de lixo e perda de cobertura vegetal (CARDOSO-SILVA et al., 2014; ABREU; CUNHA, 2016fi; ARAÚJO et al., 2018; LOBO et al., 2021).

Figura 3. Índice de Estado Trófico (IET) de acordo com o Índice de Carlson (1977) adaptado por Lamparelli (2004), para o reservatório Billings no Braço Rio Grande e Corpo Central, ao longo de um ciclo sazonal completo (n = 6).



Com relação à diversidade fitoplanctônica, foram identificados 138 táxons de microalgas e cianobactérias, sendo 33 táxons registrados exclusivamente em RG e 34 táxons registrados somente em CC. Quanto a riqueza taxonômica foi registrada baixa variação nos reservatórios do sistema Billings, sendo ligeiramente maior ao final do período chuvoso para o Corpo Central (março, maio e junho) e no período seco e início do período chuvoso para o reservatório Rio Grande conforme apresentado na Figura 4

A diversidade e equitatividade (Figura 5) de espécies também não apresentou elevada amplitude entre os ambientes estudados e ao longo do período de estudo (Figura 5). Os maiores valores médios de diversidade e equitatividade foram registrados no RG ($H' 4,49 \pm 0,28$ bits ind^{-1} e $J' 0,82$) quando comparados com os resultados registrados para CC ($H' 4,35 \pm 0,44$ bits ind^{-1} e $J' 0,79$).



Figura 4. Variação temporal e espacial da riqueza fitoplanctônica (número de táxons) no reservatório Billings (Braço Rio Grande e Corpo Central), ao longo do período de estudo (n = 6).

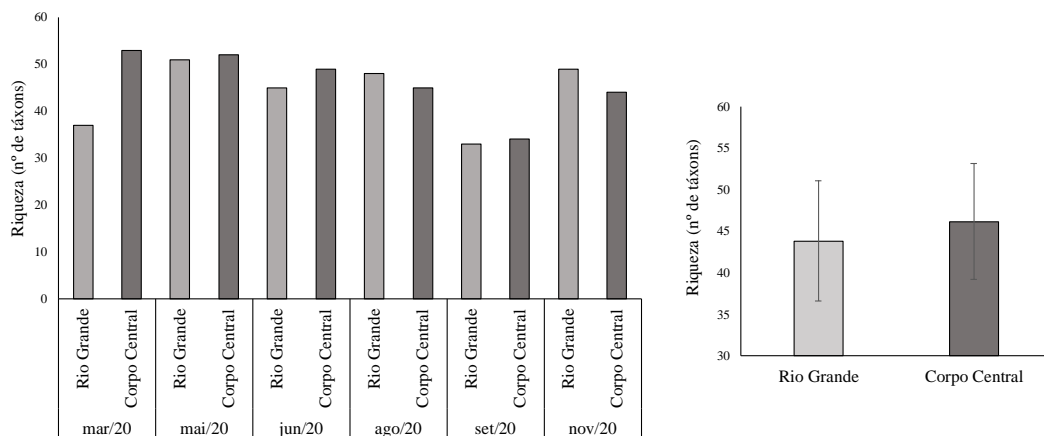
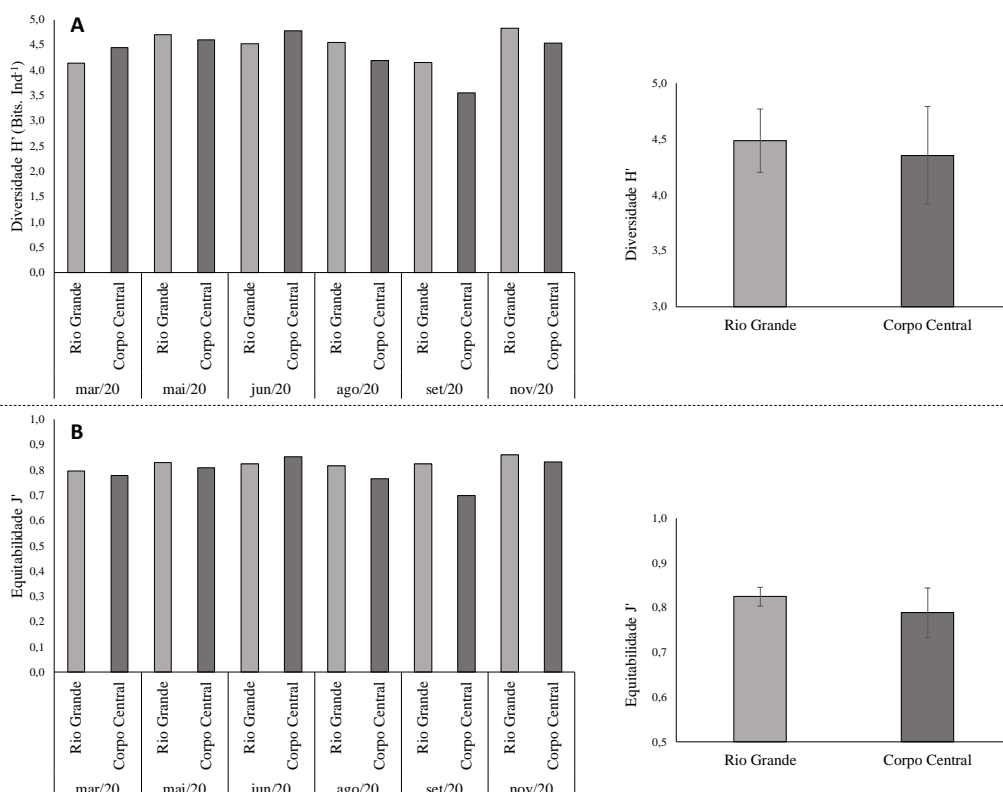


Figura 5. Valores dos índices de diversidade de espécies (bits ind⁻¹) (a) e equitatividade (b) com base na densidade fitoplanctônicas no reservatório Billings (Braço Rio Grande e Corpo Central), ao longo do período de estudo (n = 6).



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

A abundância fitoplanctônica variou entre os ambientes estudados entre as estações de amostragem (espacial-horizontal) e ao longo do período de estudo (temporal). As maiores densidades fitoplanctônicas foram registradas no Corpo Central do reservatório Billings, notadamente em março e maio (período de verão e primavera, respectivamente), quando a densidade esteve próxima aos 30.000 org mL⁻¹ (Figura 6a). Nesta estação amostral, o grupo formado pelas cianobactérias contribuíram com cerca de 80% na estrutura da comunidade fitoplanctônica, formada por gêneros de cianobactérias potencialmente causadoras de florações tóxicas, como *Aphanizomenon*, *Cuspidothrix*, *Dolichospermum* e *Raphidiopsis* (Figura 6b).

No Rio Grande, a densidade máxima foi cerca de 18.000 org mL⁻¹, registrados no outono e primavera (Figura 5a), sendo que além das cianobactérias, também foi registrada a contribuição das algas verdes (*Chlorophyceae* e *Trebouxiophyceae*) e das diatomáceas (Figura 6b).

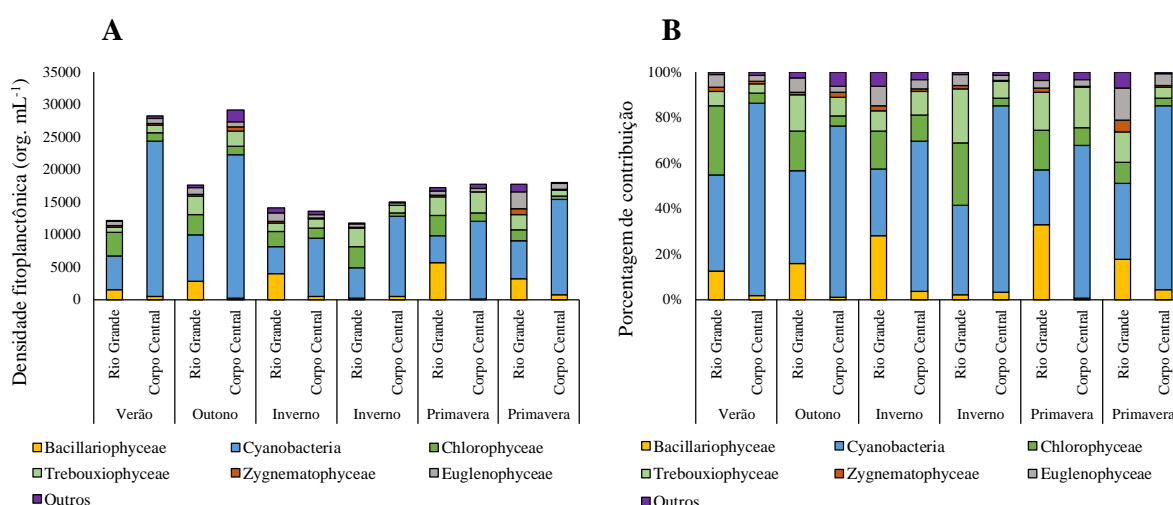
A presença de Cyanobacteria nos ambientes aquáticos relaciona-se à períodos com temperaturas elevadas e maior disponibilidade de nutrientes e podem agregar-se em colônias esféricas, ovoides ou filamentosas e distribuem-se ao longo da coluna d'água, de acordo com a disponibilidade de luz (CHORUS; BARTRAM, 1999).

A ocorrência sazonal de cianobactérias foi relatada em outros estudos (SHERMAN et al., 1998; FIGUEREDO; GIANI, 2001; GOMES et al., 2012; LOZA, PERONA, MATEO, 2014) teria que detalhar os resultados de cada artigo e destacar qual foi relevante para a presença das ciano sazonalmente

A densidade de cianobactérias no Rio Grande variou entre 4.160 e 7.258 org. mL⁻¹, e no Corpo Central entre 8.955 e 23.918 org. mL⁻¹. As densidades observadas no Corpo Central se mostram de importância sanitária, e implica em possíveis restrições quando considerado os diferentes usos ao que reservatório está submetido.



Figura 6. Variação espacial e temporal da densidade fitoplanctônica no reservatório Billings (Braço Rio Grande e Corpo Central), ao longo do período de estudo (n = 6). (Outros = Cryptophyceae; Chrysophyceae; Xanthophyceae e Dinophyceae).

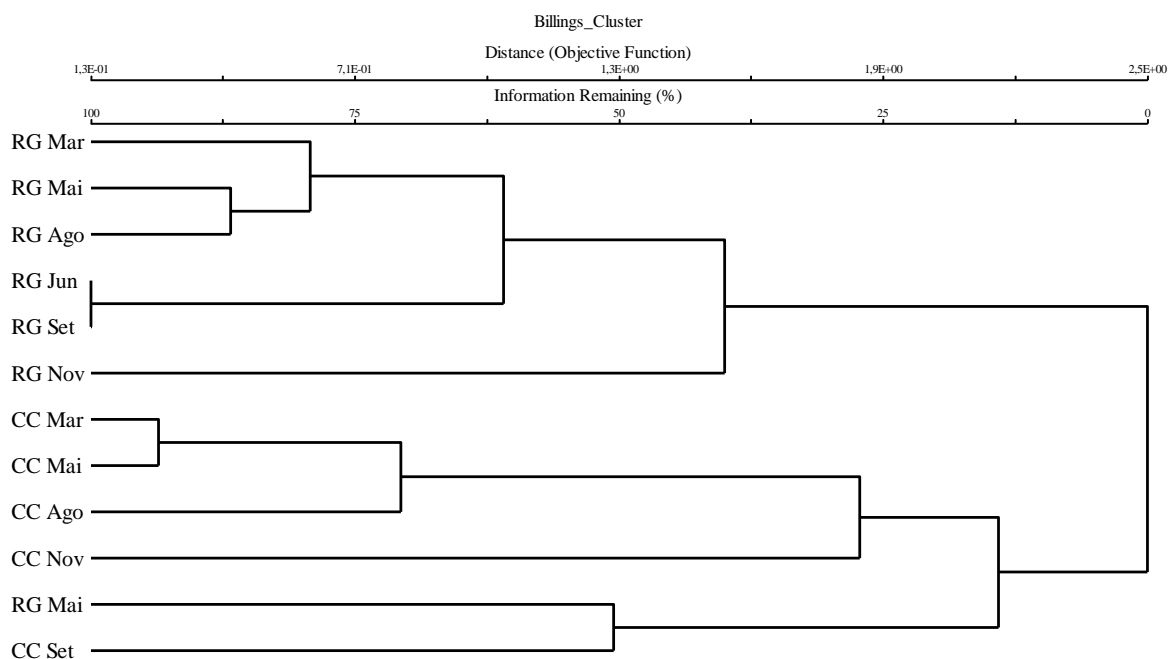


A análise de agrupamento aplicada a abundância fitoplanctônica mostrou a formação de dois grupos de reservatórios (Figura 7). O primeiro formado pelas amostras relacionadas ao Rio Grande independentemente do período amostrado e com a exceção da coletada realizada em maio que esteve associada ao segundo grupo. Neste grupo à similaridade entre o período amostrado foi elevada, acima de 60%. O segundo grupo foi formado por amostras coletadas no Corpo Central com mais de 75% de similaridade. O coeficiente cofenético de 0,861 mostrou que o agrupamento foi consistente.

A entrada de nutrientes, a morfologia dos reservatórios e a dinâmica sazonal, podem provocar uma série de alterações na estrutura da comunidade fitoplanctônica (HENRY et al., 2006; REYNOLDS, 2006). A comunidade fitoplanctônica parece responder a estes filtros ambientais observados entre os reservatórios. Os grupos formados por meio da análise de similaridade demonstraram que a estrutura da comunidade fitoplanctônica respondeu às diferenças no grau de trofia respectivamente mesotrófico para RG e eutrófico para CC registradas entre os reservatórios (Figura 7).



Figura 7. Dendrograma de similaridade da composição da comunidade fitoplanctônicas no reservatório Billings (Braço Rio Grande e Corpo Central), ao longo do período de estudo (n = 6).



5. Conclusões

Reservatórios urbanos situados em locais densamente povoados sofrem todo tipo de aporte e interferência antrópica devido às diferentes atividades que ocorrem na sua microbacia, como é o caso do Reservatório Billings. Por essa razão, a comunidade fitoplanctônica evidenciou-se como excelente indicador ambiental da qualidade da água dos reservatórios Billings. É nítida a elevada porcentagem de contribuição do grupo Cyanobacteria tanto em relação as amostragens temporais (sazonais) quanto horizontais em ambos os locais de coleta, o mesmo ocorrendo para as suas densidades. Os índices de diversidade e equitabilidade corroboram esta conclusão. A presença das cianobactérias em elevada densidade refletiu as condições de eutrofia e hipertrofia do Corpo Central exceto na região do braço do Rio Grande classificado como mesotrófico onde a presença de clorofíceas e diatomáceas também foram observadas no período de estudo. Portanto, concluiu-se neste estudo que o fitoplâncton é importante ferramenta para auxiliar nas tomadas de decisão relacionadas à gestão desse importante reservatório respondendo às alterações ambientais notadamente ao aporte excessivo do elemento fósforo. Como medida preventiva às possíveis alterações na qualidade da água advinda das mudanças climáticas e de eventos extremos que poderão intensificar o processo de eutrofização em reservatórios,

em estudos futuros sugere-se abordar a comunidade fitoplanctônica como sentinela desses eventos.

6. Agradecimentos

Ao Instituto de Pesca pela disponibilização de toda infraestrutura, à Agência Danish Agency for Science and Higher Education pela cooperação internacional (Dinamarca-Brasil).

7. Referências bibliográficas

- ABREU, C. H. M. D.; CUNHA, A. C. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. *Engenharia sanitária e Ambiental*, 22, 45-56, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Atlas Brasil: **Abastecimento Urbano de Água. 2010**. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=24> Acesso em: 19 de junho de 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Atlas Brasil: **Abastecimento Urbano de Água. 2021**. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=24>. Acesso em: 09 mar. 2021.
- ARAUJO, P. L. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo-SP. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 15, 2018.
- BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições**. 3ª Ed, RiMa: São Carlos, 2017.
- BICUDO, D. C. et al. **Periphyton studies in Brazil: present status and perspectives**. In: Tundisi, J. G. et al. (Ed.) *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995. p.37-58.
- BRASIL, J.; HUSZAR, V.L.M. 2011. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. *Oecol. Aust.*, 15(4): 799-834.
- CARDOSO-SILVA, S., NISHIMURA, P. Y., PADIAL, P. R., MARIANI, C. F., MOSCHINI-CARLOS, V., & POMPÊO, M. L. M. Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings. *Bioikos*, 28(1), 2014.
- CARLSON, R.E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22 (2), 361–369.
- CARMO, R. L.; TAGNIN, R. **Uso múltiplo da água e múltiplos conflitos em contextos urbanos: o caso do Reservatório Billings**. In: HOGAN, D. J. et al. (org.). *Migração e ambiente nas aglomerações urbanas*. Campinas: Núcleo de Estudos de População/UNICAMP, 2001: p. 421-4441. Disponível em: http://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/_migracao_urbanas.html. Acesso em: 14 de maio de 2021.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Publicações e Relatórios, 2017**. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 10 de maio de 2021.
- CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. Londres: E & FN Spon. 1999. 400 p.
- DOCHIN, K. Using phytoplankton as a tool for evaluating changes in the ecological status of two Bulgarian reservoirs (2020-2021). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 29(2), 2023.
- FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. **Relatório de situação dos Recursos Hídricos 2019**: Bacia Hidrográfica Alto Tietê UGRHI 06. Ano base 2018. Disponível em: <https://comiteat.sp.gov.br/wp-content/uploads/2020/03/Relat%C3%B3rio-de-Situa%C3%A7%C3%A3o-Bacia-do-Alto-Tiet%C3%AA.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2021.
- FIGUEREDO, C. C.; GIANI, A. A seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 445, 165–174, 2001.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

- GOMES, L. N. L., OLIVEIRA, S. M. A. C., GIANI, A., & VON SPERLING, E. (2012). Association between biotic and abiotic parameters and the occurrence of cyanobacteria in a Brazilian reservoir. **Environmental monitoring and assessment**, 184, 4635-4645.
- HENRY, R.; USHINOHAMA, É.; FERREIRA, R. M. Fitoplâncton em três lagoas marginais ao Rio Paranapanema e em sua desembocadura no Reservatório de Jurumirim (São Paulo, Brasil) durante um período prolongado de seca. **Brazilian Journal of Botany**, 29, 399-414, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2022. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Acesso em: 23/10/23.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. (Tese de Doutorado) 238 p. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia. São Paulo, 2004
- LOBO, F. D. L., NAGEL, G. W., MACIEL, D. A., CARVALHO, L. A. S. D., MARTINS, V. S., BARBOSA, C. C. F., & NOVO, E. M. L. D. M. (2021). AlgaeMAP: Algae bloom monitoring application for inland waters in Latin America. **Remote Sensing**, 13(15), 2874.
- LOZA, V.; PERONA, E.; MATEO, P. Specific responses to nitrogen and phosphorus enrichment in cyanobacteria: Factors influencing changes in species dominance along eutrophic gradients. **Water Research**, 48, 622-631, 2014.
- LUND, J. W. G.; KIPLING, C.; LECREN, E. D. The invert microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. **Hydrobiologia**, v.1986, n.11, p. 143-170, 1958.
- MARKER, A.F.H., NUSCH, E.A., RAI, H. & RIEMANN, B. The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: conclusions and recommendations. **Arch. Hydrobiologie**, v. 14, p. 91-106, 1980.
- MCCUNE, B. AND M. J. MEFFORD. PC-ORD. **Multivariate analysis of Ecological Data**, Version 6.0 for Windows, 2011.
- OLIVEIRA, S. A. D.; FERRAGUT, C.; BICUDO, C. E. D. M. Relationship between phytoplankton structure and environmental variables in tropical reservoirs with different trophic states. **Acta Botanica Brasílica**, 34, 83-93, 2020.
- PENTEADO, C. L. C.; ALMEIDA, D. L.; BENASSI, R. F. Conflitos hídricos na gestão dos reservatórios Billings e Barra Bonita. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 299-322, 2017.
- PINEDA, A.; IATSKIU, P.; JATI, S.; PAULA, A. C.; ZANCO, B. F.; BONECKER, C. C.; ... & RODRIGUES, L. C. Damming reduced the functional richness and caused the shift to a new functional state of the phytoplankton in a subtropical region. **Hydrobiologia**, 847, 3857-3875, 2020 a.
- PINEDA, A.; DE PAULA, A. C. M.; IATSKIU, P.; MORESCO, G. A.; SOUZA, Y. R.; ORTEGA, L. A.; ... & RODRIGUES, L. C. A protection area in a subtropical floodplain influenced the phytoplankton taxonomic and functional diversity. **Oecologia Australis**, 24(2), 505-523, 2020 b.
- POMPÊO, M.; CARDOSO-SILVA, S.; MOSCHINI-CARLOS, V. Rede independente de monitoramento da qualidade da água de reservatórios eutrofizados: uma proposta. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB/USP), v. 460, 2015.
- QIN, M.; FAN, P.; LI, Y.; WANG, H.; WANG, W.; LIU, H.; ... & LI, B. Assessing the Ecosystem Health of Large Drinking-Water Reservoirs Based on the Phytoplankton Index of Biotic Integrity (P-IBI): A Case Study of Danjiangkou Reservoir. **Sustainability**, 15(6), 5282, 2023.
- REYNOLDS, C.S. **Ecology of Phytoplankton**. United Kingdom: Cambridge University Press, 2006. Acesso em: 12 de maio de 2021.
- RIVERA, C. A., ZAPATA, A., VILLAMIL, W., & LEÓN-LÓPEZ, N. Trophic assessment of four tropical reservoirs using phytoplankton genera. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 34, 2022.
- SONOBE, H. G., LAMPARELLI, M. C., & CUNHA, D. G. F. Avaliação espacial e temporal de aspectos sanitários de reservatórios com captação de água para abastecimento em SP com ênfase em cianobactérias e cianotoxinas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 24, 909-918, 2019.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

- SANTOS, L. G.; DOS SANTOS MACHADO, L.; CARLOS, V. M.; POMPEO, M. Os grupos funcionais fitoplanctônicos nos reservatórios do Sistema Cantareira, São Paulo, Brasil. **Iheringia**, Série Botânica., 73(2), 135-145, 2018.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei 13.579, de 13 de julho de 2009. Define a Área de Proteção dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings – APRM-B, e dá providências correlatas. Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, 13 de julho de 2009. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio-legislacao/lei/2009/lei-13579-13.07.2009.html>>. Acesso em 10 de maio de 2021.
- SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Educação Ambiental. **Billings**. (Cadernos de Educação Ambiental – Edição Especial Mananciais, vol. I). - São Paulo: SMA/CEA, 2010. 150p. Disponível em: < <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/2016/12/mananciais-billings-edicao-especial-2011.pdf> >. Acesso em 10 jul. 2023.
- SABESP, 2023. **Dados dos Sistemas Produtores**. Disponível em: <https://mananciais.sabesp.com.br/HistoricoSistemas?SistemaId=1>. Acesso em: 19/06/23.
- SARTORY; GROBELLAR. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. **Hydrobiologia**, n. 114, p. 177-187, 1984.
- SHERMAN, B. S.; WEBSTER, I. T.; JONES, G. J.; OLIVER, R. L. Transitions between Aulacoseira and Anabaena dominance in a turbid river weir pool. **Limnology and Oceanography**, 43, 1902–1915, 1998.
- UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton- Methodik. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen**, v. 9, n 1: p.1-38, 1958.
- VALDERRAMA, J.C. The simultaneous analysis of nitrogen and phosphorus total in natural waters. **Marine Chemistry**, v. 10, p. 109-122, abr/set. 1981.
- WEHR, J.D., SHETH, R.G. **Freshwater algae of north America: Ecology and classification**, Academic, San Diego, 2003. 897p.