

ANA MARGARITA LOAIZA RESTANO

Biodiversidade e distribuição do fitoplâncton em três represas em cascata no sul do Estado de São Paulo

Biodiversidade e distribuição do fitoplâncton em Tese apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Área de Concentração Plantas Avasculares e Fungos em Análises Ambientais.

São Paulo
2018

ANA MARGARITA LOAIZA RESTANO

Biodiversidade e distribuição do fitoplâncton em três represas em cascata no sul do Estado de São Paulo

Orientador: Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Área de Concentração Plantas Avasculares e Fungos em Análises Ambientais.

São Paulo
2018

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

Loaiza Restano, Ana Margarita

L795b Biodiversidade e distribuição do fitoplâncton em três represas em cascata no sul do Estado de São Paulo / Ana Margarita Loaiza Restano -- São Paulo, 2018.
163 p. ; il.

Tese (Doutorado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2018.
Bibliografia.

1. Algas. 2. Ecologia. 3. Represas. I. Título.

CDU: 582.26



"As algas são as plantas mais interessantes do mundo."

"Um cosmos aquático só pode ser interpretado em termos de nossas limitadas experiências humanas."

L.H. Tiffany

(em "Algae: the grass of many waters")



"Minha razão original para estudá-las (algas continentais) foi que elas me forneceram uma desculpa para estar perto de rios, lagos e falésias úmidas."

"No entanto, é a perspectiva ecológica que talvez seja mais intrigante nas algas, como na biologia em geral. As relações nas comunidades em que as algas vivem são infinitamente interessantes."

Herman S. Forest

(em "About Algae")

AGRADECIMENTOS

Tudo começou a partir de um sonho: aperfeiçoar-me na área da taxonomia e da ecologia de microalgas. Posteriormente, veio-me a ideia de realizar este sonho no exterior. Destino? O maravilhoso Brasil. E como por arte de magia, uma porta se abriu no Instituto de Botânica, em São Paulo, pela mão do Professor Carlos Eduardo de Mattos Bicudo. Não esperei muito para não perder essa grande oportunidade e, desde então, já se passaram seis anos de estudo acompanhados tanto de alegrias quanto de tristezas e saudades. Contudo, se Deus simplesmente não houvesse querido, nada desta sequência de fatos teria acontecido. Como resultado realizei uma dissertação de mestrado em taxonomia, “Família Hydrodictyaceae (Sphaeropleales, Chlorophyceae) no Estado de São Paulo: levantamento florístico” e a presente tese de doutorado, com ênfase ecológica, surgida após vários bate-papos “on line” sobre o atual tema dos reservatórios em cascata.

Gostaria de agradecer os valiosos aportes tanto científicos quanto no nível pessoal de todos os que, de alguma forma, me ajudaram a concluir este trabalho. Qualquer omissão de alguém neste agradecimento não significa falta de gratidão.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo, o “Ori”, que me deu a oportunidade de vir ao Brasil em 2011 e matricular-me no Programa de Pós-Graduação do Instituto de Botânica para realizar o mestrado e, posteriormente, permitir continuar meus estudos no nível doutorado. Admiro seu talento de ordenação de ideias e de inspirar perguntas simples e interessantes que me levaram à reflexão de ideias concretas. Sinto-me muito grata de ter podido expandir o conhecimento com seu apoio e de ter tido espaço para a liberdade de aventurar-me no misterioso mundo aquático.

Às Prof^a Dr^a Carla Ferragut e Dr^a Denise de Campos Bicudo agradeço tanto o acesso irrestrito à suas bibliotecas pessoais quanto as considerações em leitura; também os vários comentários científicos sempre construtivos, que foram tão importantes para desenvolver meu trabalho. Admiro em vocês a excelente qualidade científica.

À Prof^a Dr^a Carla Ferragut e à Dr^a Gisele Carolina Marquardt, colega de laboratório que trabalhou a ecologia das diatomáceas nos mesmos reservatórios, pelo apoio e participação no artigo intitulado “*Spatial and temporal variation of the phytoplankton community structure in oligotrophic*

cascading reservoirs” (Variação espacial e temporal da estrutura do fitoplâncton em reservatórios oligotróficos em cascata), submetido à revista *Acta Limnologica Brasiliensia* em 2017 e que tornou possível a prorrogação da bolsa concedida.

À Prof^a Dr^a Andréa Tucci do Núcleo de Pesquisa em Ficologia do Instituto de Botânica pela grande disponibilidade em auxiliar com material bibliográfico recente e esclarecimento taxonômico de algumas microalgas que, inicialmente, apelidamos simplesmente de “bolinhas”. Aprecio na senhora a magnífica qualidade científica.

À Prof^a Dr^a Célia Leite Sant’Anna do Núcleo de Pesquisa em Ficologia do Instituto de Botânica pela confirmação taxonômica de algumas cianobactérias problemáticas desta tese. Aprecio também na senhora a magnífica qualidade científica.

À Dr^a Kátia Mazzei do Instituto Florestal pelo tempo gentilmente dedicado às “Gis-terapias” que tanto me ajudaram a concretizar os mapas ora apresentados.

À equipe do barco que realizou as coletas em 2014 nos seis reservatórios integrada pelos Dr. Stéfano Zorzal de Almeida e Dr^a Gisele Carolina Marquadt, pela técnica de laboratório Maria Auxiliadora “Dorinha” do Instituto de Botânica e ao Sr. Luís Evangelista do Instituto de Pesca.

Ao “Povo das Águas” que me ajudou nas análises de laboratório no mesmo dia da coleta, como também aos que já estavam ou vieram depois e ajudaram partilhando com seminários, “workshops” e artigos da área: Ângela Silva, Camila Araújo, Diego Tavares, Elaine Bartozek, Elton Lehmkuhl, Gabrielle Medeiros, Gisele Marquardt, Jeniffer Sati Pereira, Krysna Moraes, Livia Costa, Lucineide Santana, Mayara Casartelli, Pryscilla Almeida, Richard Wilander, Samantha Faustino, Simone Oliveira, Simone Wengrat, Stefania Biolo, Stéfano Zorzal e Thiago dos Santos.

Às “panteras” Amariles, Marli e Maria Auxiliadora, a Dorinha, por todo auxílio, alegria, festas, cafezinho tão gostoso e, especialmente, à Dorinha pela parceria na análise da alcalinidade do projeto de coletas no Lago das Garças idealizado pelo “Ori” e sua esposa Dr^a Denise há mais de 20 anos e que todos chamamos carinhosamente de “projeto”.

Ao Yukio Hayashi da Silva pelo seu cuidadoso e aprimorado apoio técnico e em me proporcionar dicas variadas durante o doutorado. Grata de ter podido contar com sua ajuda.

À Simone Sayuri Sumida por sua cordial disposição em me ajudar na preparação do mapa final, como também pelas palavras de coragem e entusiasmo nos momentos complexos do doutorado. Sinto-me muito grata de ter podido contar com sua ajuda.

Ao pessoal da biblioteca do Instituto de Botânica, Lúcia, Rodrigo e colaboradores, sempre tão prestativos na busca dos livros e por ceder-me um espaço silencioso para estudar.

Agradeço, igualmente, ao pessoal do Núcleo de Ilustração e Divulgação (revista *Hoehnea*), principalmente à Karina Silva, à Secretária do Centro de Pesquisa em Plantas Vasculares e Fungos,

Marina Santos e à Secretária da Diretoria Geral do Instituto de Botânica, Flávia Evaristo, pelas palavras de ânimo e sempre disposição em ajudar.

Ao Instituto de Botânica pela oportunidade concedida de morar no alojamento durante o primeiro ano e os dias finais deste doutorado.

Ao programa de pós-graduação do Instituto de Botânica pela bolsa de doutorado concedida pelo CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, processo 155376/2014-4, para a realização deste trabalho.

Aos meus pais pela força e entusiasmo dado através da distância e ao Daniel, meu irmão, que me alentou a estudar no Brasil.

Foi ótimo ter podido estudar no Instituto de Botânica, onde fui tratada com apreço e pude aprimorar meu conhecimento tanto na Taxonomia como na Ecologia. Ficarão muitos amigos por aqui.

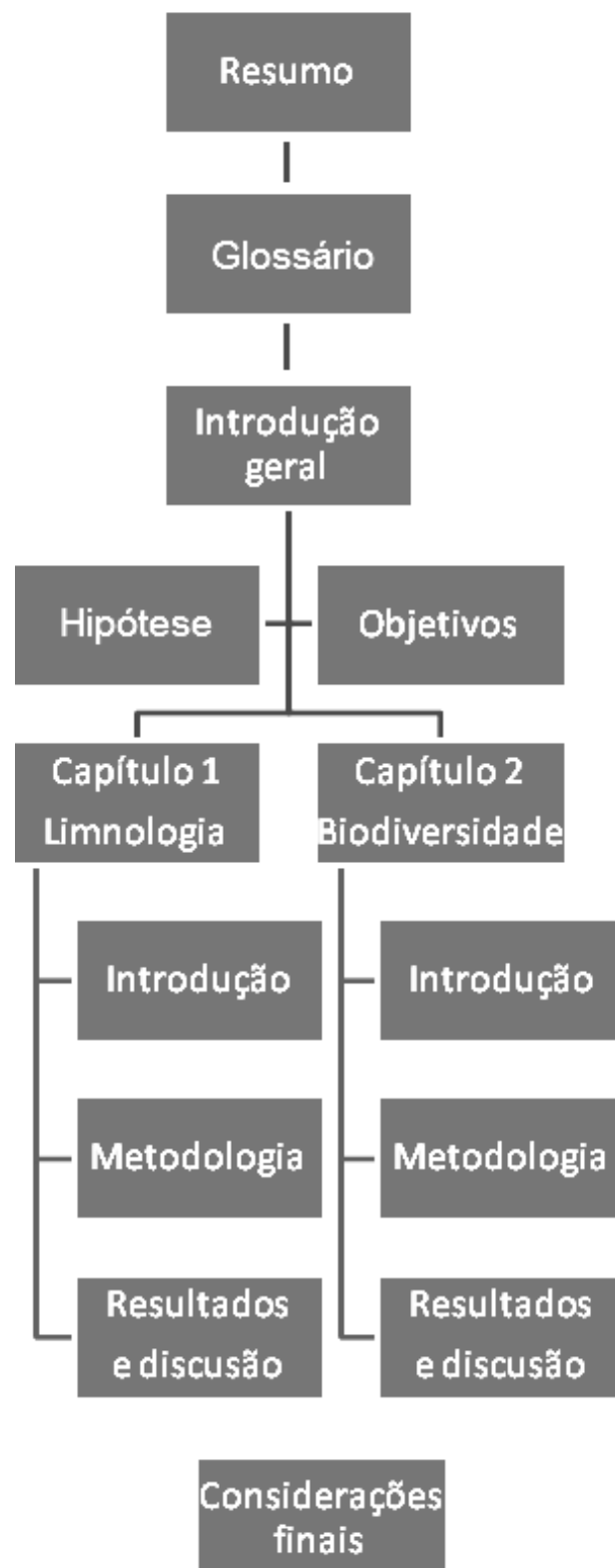


CONTEÚDO

CONTEÚDO	viii
ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	x
GLOSSÁRIO	1
RESUMO	4
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO GERAL	8
1. APRESENTAÇÃO	8
2. OBJETIVOS	11
3. MÉTODOS UTILIZADOS	12
3.1. Área de estudo	12
UHE Cachoeira do França	17
UHE Cachoeira da Fumaça	18
UHE Serraria	19
3.2. Bacia Ribeira do Iguape/Litoral Sul	20
3.2.1. Geologia	21
3.2.2. Clima	21
3.2.3. Precipitação	22
4. MÉTODOS	22
4.1. Variáveis climáticas	22
4.2. Delineamento amostral e coleta de material	24
5. REFERÊNCIAS CITADAS	28
CAPÍTULO 1 Caracterização limnológica de três reservatórios em cascata da região sudeste do Estado de São Paulo	31
1. INTRODUÇÃO	31
2. MÉTODOS	35
2.1. Área de estudo	35
2.2. Variáveis climáticas	38
2.3. Delineamento amostral e coleta de material	40
2.4. Análise numérica de dados	41
2.5. Análise estatística	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1. Variáveis climáticas	42
3.2. Locais de amostragem	42

3.3. Zona eufótica e perfil térmico	44
3.4. Gases dissolvidos, condutividade elétrica e pH	51
3.5. Nutrientes	60
3.6. Clorofila <i>a</i>	74
3.7. Índice de Estado Trófico (IET)	76
3.8. Análise conjunta das variáveis limnológicas	79
4. CONCLUSÃO E SUGESTÕES	81
5. REFERÊNCIAS CITADAS	82
CAPÍTULO 2 Spatial e temporal variation of the phytoplankton community in cascading oligotrophic reservoirs of southeast Brazil	90
Abstract	90
Resumo	91
1. Introduction	92
2. Material and methods	93
2.1. Study area	93
2.2. Samplings	94
2.3. Climate, hydrological and abiotic variables	96
2.4. Biological variables	96
2.5. Statistical analyses	96
3. Results	97
3.1. Climate, abiotic variables and TSI	97
3.2. Phytoplankton	98
4. Discussion	106
5. Conclusion	108
Acknowledgements	108
6. References cited	109
CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
ANEXOS	116
ILUSTRAÇÕES	153

ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO



GLOSSÁRIO

Anammox: do inglês “anaerobic ammonium oxidation”, é o processo de transformação do nitrogênio, restrito à zona subóxica, logo abaixo da camada aeróbica dos sedimentos, onde inexistente oxigênio, mas que ainda existe disponibilidade de nitrito e nitrato. É realizado pelas bactérias anammox e consiste na oxidação dissimilatória do íon amônio em condição de anaerobiose pelo nitrito, assim: $NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2H_2O$

Bacia de Conservação Ambiental: áreas naturais passíveis de proteção por suas características especiais (elevada disponibilidade hídrica de boa qualidade, pequena demanda de uso, baixo potencial de poluição e alta porcentagem de cobertura vegetal).

CNEC WorleyParsons Engenharia: companhia fundada em 2009 em São Paulo é uma das empresas que elabora estudos de impacto ambiental (EIA) para as maiores usinas hidrelétricas do país.

Período seco: o período mais seco e frio do ano na região sudeste do Brasil é o inverno representado pelo trimestre junho/julho/agosto, que contabiliza o mais baixo índice pluviométrico e o registro das mais baixas temperaturas. Na maior parte do Estado de São Paulo, a temperatura mínima varia entre 10°C e 14°C, mas nas regiões serranas podem ser inferiores a 6°C. A temperatura máxima varia, no entanto, entre 20°C e 24°C na porção centro-leste e entre 26°C e 30°C no centro-oeste do Estado; e as mais elevadas ocorrem nos setores norte e noroeste do Estado. As chuvas são bastante escassas e os maiores valores concentram-se na faixa leste do Estado. Com isso, a umidade relativa do ar diminui consideravelmente. A redução da precipitação pluviométrica (chuva) e a baixa umidade do ar deixam os dias secos e contribuem para o aumento da poluição do ar. No inverno chove, em média, cinco vezes menos do que no verão.

Pequena Central Hidrelétrica: usina hidrelétrica de pequeno porte com capacidade superior a 5 mil kW e igual ou inferior a 30 mil kW e área de reservatório de até 13 km², excluindo a calha do leito regular do rio. As PCHs são regulamentadas pela ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, através da resolução nº 673 de 04 de agosto de 2015.

Região neotropical: ecossistemas do trópico americano, que compreende desde a América Central

incluindo parte do sul do México e da península da Baixa Califórnia, o sul da Flórida, todas as ilhas do Caribe e a América do Sul. A região abrange desde regiões de clima tropical até climas temperados e de altitude.

Resolução CONAMA 357/2005: dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e estabelece as diretrizes ambientais para seu enquadramento e as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT): sistema formado por reservatórios interligados através de sistemas de túneis e canais, para aumentar a captação de água para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Trópico de Capricórnio: linha geográfica imaginária paralela ao equador terrestre e situada ao sul deste. Corta três continentes, 11 países e três oceanos. No Brasil, passa pelos estados Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo.

Zona trofогênica: zona eufótica, ou seja, onde ocorrem os processos metabólicos de síntese (O_2) mais próximo da superfície.

Zona trofолítica: zona profunda de um lago onde predominam os processos de decomposição da matéria orgânica (alta concentração de CO_2).

Siglas utilizadas

ANA: Agência Nacional de Águas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

CBA: Companhia Brasileira de Alumínio

CBH: Comitê de Bacia Hidrográfica

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNEC: Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A., abreviatura de CNEC WorleyParsons Engenharia S.A., hoje WorleyParsons Engenharia S.A.

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CORHI: Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos

CSPE: Comissão de Serviços Públicos de Energia

DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica

IAG: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (antigo Instituto Astronômico e Geofísico)

IAP: Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IET: Índice de Estado Trófico

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IQA: Índice de Qualidade das Águas

IVA: Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática

PCH: Pequena Central Hidrelétrica

PEFI: Parque Estadual das Fontes do Ipiranga

PEJU: Parque Estadual de Jurupará

PERH: Plano Estadual de Recursos Hídricos

RMSP: Região Metropolitana de São Paulo

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UC: Unidade de Conservação

UGRHI: Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UHE: Unidade Hidrelétrica

RESUMO

A influência da autocorrelação espacial (vertical e horizontal) e temporal na estrutura e dinâmica do fitoplâncton foi pesquisada na região subtropical brasileira, em três reservatórios inseridos em área preservada de Mata Atlântica, de caráter privado, situada na área da bacia Ribeira do Iguape/Litoral Sul, Estado de São Paulo, sobre o rio Juquiá Guaçu. Os reservatórios são: Cachoeira do França (23°56'S, 47°11'W, altitude 640 m, área 12,7 km²), Cachoeira da Fumaça (24°00'S, 47°15'W, altitude 531 m, área 6,92 km²) e Serraria (24°09'S, 47°33'W, altitude 83 m, área 2,2 km²). As amostragens foram realizadas em 2014, nas épocas de verão (janeiro-fevereiro) e inverno (julho-agosto), em três ou quatro locais (perto de um tributário, região mais ou menos central do reservatório e próximo da barragem); e em três profundidades (subsuperfície, cerca de metade da coluna d'água e 1 m acima do fundo) totalizando 60 unidades amostrais. As variáveis analisadas foram: temperatura do ar e da água, precipitação pluvial, transparência, pH, condutividade elétrica, concentração de CO₂ livre, OD, NO₃, NH₄, NT, PO₄, PT e SRS, além da biomassa fitoplancônica estimada a partir do biovolume de cada espécie. O estudo teve como objetivo: (1) avaliar a estrutura do fitoplâncton em três reservatórios e os fatores ambientais a eles associados (escala local); (2) determinar as contribuições local e regional das variáveis abióticas e da estrutura e dinâmica do fitoplâncton, bem como estratégias e grupos funcionais e sua possível utilização como indicador ecológico nesses sistemas; (3) avaliar a distribuição horizontal das variáveis físicas, químicas e biológicas ao longo de cada um dos reservatórios; e (4) investigar a dinâmica e a estrutura das cianobactérias e os fatores ligados à sua disseminação entre os ambientes. As seguintes hipóteses foram consideradas: (1) riqueza de espécies, diversidade e biomassa estão relacionadas com fatores ambientais estruturados pelo nicho; (2) abundâncias relativas das espécies associadas a condições ambientais são um tanto semelhantes entre as três represas; e (3) as represas mostram semelhanças em sua composição e dominância de espécies. As represas foram classificadas oligotróficas e apresentaram estratificação térmica e química no verão, verificando-se a maior disponibilidade de nutrientes (amônio, nitrogênio total e fósforo total) e anóxia no fundo do sistema, sugerindo intenso processo de decomposição da matéria orgânica no fundo do reservatório. O período do inverno foi caracterizado pela instabilidade térmica e pela mistura total da coluna d'água, com

distribuição química homogênea, porém, com altas concentrações de OD, especialmente na superfície, e maiores concentrações de clorofila *a* nos locais mais próximos da entrada dos tributários na represa Cachoeira do França (39-44 $\mu\text{g L}^{-1}$). Das 60 unidades amostrais, foram identificadas 37 espécies de algas e cianobactérias descritoras classificadas em 18 grupos funcionais ‘*sensu*’ Reynolds (**A, B, E, F, H1, J, K, L_M, L_O, MP, NA, P, S1, S_N, W2, X1, X2 e Y**), associadas às condições limnológicas. Concluiu-se que a estrutura da comunidade foi influenciada pela sazonalidade. O grupo funcional **B**, constituído principalmente por *Discostella stelligera*, foi o mais frequente em todas as represas em ambos os períodos de amostragem.

Palavras-chave: estratificação, grupos funcionais, mistura, subtropical.

ABSTRACT

Effect of spatial and temporal auto-correlation on the structure and dynamics of phytoplankton was investigated for three private reservoirs located in a preserved area of Atlantic Forest, at the Ribeira do Iguape/Litoral Sul basin, Brazilian Subtropical region, state São Paulo, over the Juquiá Guaçu river. Reservoirs are: Cachoeira do França (23°56'S, 47°11'W, altitude 640 m, surface 12,7 km²), Cachoeira da Fumaça (24°00'S, 47°15'W, altitude 531 m, surface 6,92 km²) and Serraria (24°09'S, 47°33'W, altitude 83 m, surface 2,2 km²). Samplings were carried out both during the rainy (January-February) and dry seasons (July-August) of year 2014, at three or four localities depending on the reservoir, *i.e.* close to the main tributary, more or less central region of reservoir, and close to the dam; and at three depths (subsurface, c. half the water column height and c. 1 m above the reservoir sediments) totaling 60 sampling unities. Environment variables studied were: air and water temperature, rain precipitation, transparency, pH, electric conductivity, free CO₂, DO, NO₃, NH₄, TN, PO₄, TP and SRS concentration, as well as the phytoplankton biomass estimated from each species biovolume. Study aimed at: (1) evaluate the phytoplankton structure for each reservoir and the limnological variables associated to all three reservoirs (local scale); (2) determine the local and regional environmental variables and the structure and dynamics of the phytoplankton contributions, as well as the functional groups strategies and their possible use as ecological indicators for the three reservoirs; (3) evaluate the horizontal distribution of physical, chemical and biological variables for each reservoir; and (4) investigate the Cyanobacteria dynamics and structure, and the limnological features connected to their distribution among the three reservoirs. The following hypotheses were considered at that occasion: (1) species richness, diversity and biomass are related to local environment factors that are structured by niche; (2) species relative abundances associated to environmental conditions are somewhat similar among the three reservoirs; and (3) reservoirs show similarities in their species composition and dominance. Reservoirs classified oligotrophic showed thermal and chemical stratification during the summer, leading to the greatest nutrient (ammonium, total nitrogen and total phosphorus) availability at the bottom of reservoirs and anoxia, that was suggested by the existence of an extended decomposition process of the organic matter at the bottom of each reservoir. The dry period was characterized by some thermal instability and total mixing of the water column, with homogeneous chemical distribution, however, high DO

concentrations, especially at the surface, and greater chlorophyll *a* concentration at the sampling sites of localities near to the entrance into the reservoir Cachoeira do França (39-44 µg L⁻¹). Thirty seven algae and Cyanobacteria species were identified and classified into 19 functional groups ‘*sensu*’ Reynolds (**A**, **B**, **E**, **F**, **H1**, **J**, **K**, **L_M**, **L_O**, **MP**, **NA**, **P**, **S1**, **S_N**, **W2**, **X1**, **X2** and **Y**), associated to the environment conditions. Functional group **B**, mainly built by *Discostella stelligera*, was the most frequent in all reservoirs, in both seasons.

Key-words: functional groups, mixing, stratification, subtropics

INTRODUÇÃO GERAL

1. APRESENTAÇÃO

Thomas Lovejoy, o “Pai da Biodiversidade” e ganhador do Prêmio “Planeta Azul” em 2012, predisse em 1980 que para o ano 2020 haverá a extinção de 10 a 20% de todas as espécies do mundo. Foi o primeiro cientista a relacionar diversidade biológica à crise ambiental.

Vörösmarty *et al.* (2010) examinaram as ameaças globais à biodiversidade dos rios e à suficiência de água e apresentaram um mapa mundial (fig. 1) onde ilustraram as regiões com agricultura intensiva e denso assentamento populacional e representam, com isso, alta ameaça incidente tanto à biodiversidade quanto à escassez de água. No Brasil, essas regiões correspondem ao nordeste e à cidade de São Paulo no sudeste do país.

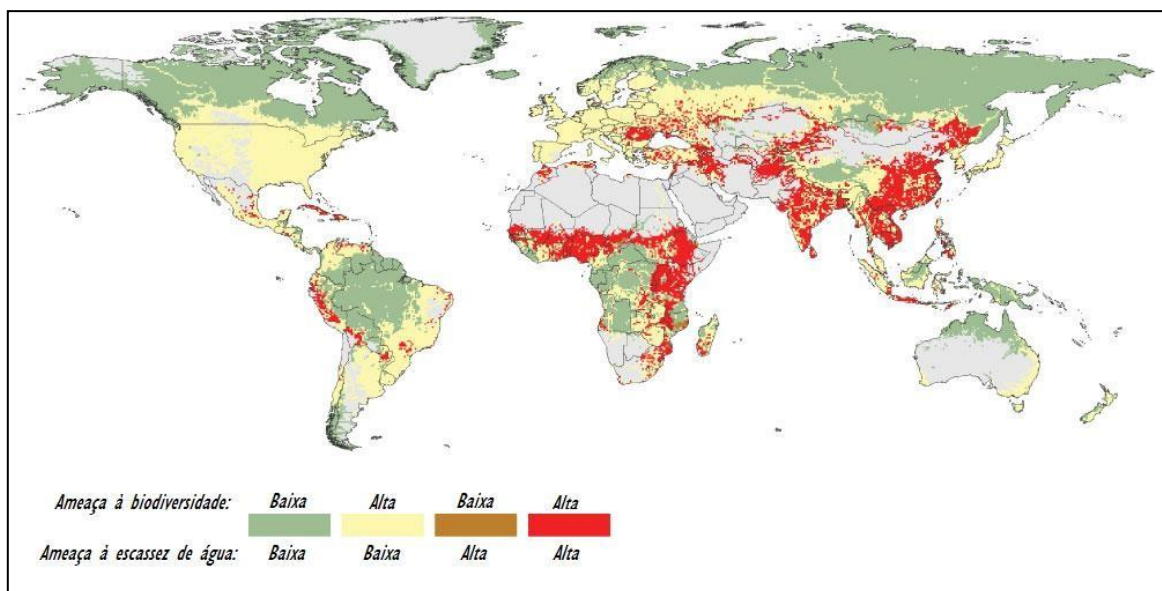


Figura 1. Áreas de maior ameaça à segurança da água e à biodiversidade. Fonte: Vörösmarty *et al.* 2010. Disponível em: www.igbp.net

Segundo Milarè (2005), quando existe sinergismo de ameaças ambientais pode-se desencadear uma cascata de eventos, que poderá levar à desestruturação de todo o

ecossistema e ao seu colapso total, porque, apesar de que algumas espécies têm funções menos importantes no ecossistema e o efeito de seu desaparecimento ser menor, por outro lado podem exercer influência sobre muitas outras espécies e seu desaparecimento poderá ser devastador.

Nos programas de avaliação e monitoramento da qualidade da água são utilizados organismos apropriados à avaliação devido a seus requisitos nutricionais, alta taxa de reprodução e ciclo de vida muito curto. Dokulil (2003) referiu a utilização do plâncton como indicador de mudanças no ecossistema desde a segunda metade do século XIX.

Considerado o fitoplâncton, as algas podem ser junto com as cianobactérias indicadoras das condições ambientais devido à sua rápida resposta na composição de espécies e de densidades de uma ampla gama de condições com base na química da água. Mencione-se aqui, por exemplo, o aumento na acidez da água devido aos elementos químicos formadores de ácido que influenciam os níveis de pH dos lagos e também os metais pesados vertidos de áreas industriais que podem afetar a composição dos organismos que têm habilidade de tolerar tais condições.

No começo do século XXI, a qualidade da água foi abordada segundo a perspectiva dos grupos funcionais do fitoplâncton, que são conjuntos de espécies ecologicamente similares que se organizam por si só e possuem a capacidade de coexistir neutralmente. Existem três abordagens de grupos funcionais, como segue:

1. Nas relações de parentesco (filogenia) entre as espécies, onde os grupos filogenéticos maiores refletem diferenças ecológicas entre espécies (Webb *et al.* 2002).
2. Na fisiologia e nas reações às condições ambientais (Reynolds *et al.* 2002). Nesta abordagem, existem presentemente 31 tipos de associações e demanda grande experiência para identificar tais grupos.
3. Na morfologia das espécies (volume, área superficial e dimensão máxima linear). Esta abordagem é simples e inclui apenas sete grupos funcionais (Kruk *et al.* 2010).

A abordagem de Colin Reynolds é a mais utilizada mundialmente pelos ecólogos do fitoplâncton e foi, recentemente, atualizada em detalhe e complementada por Padisák *et al.* (2009). O sucesso dessa abordagem deve-se, muito provavelmente, ao simples agrupamento das espécies de grandes listas taxonômicas em três dúzias de grupos funcionais (códons) bem definidos com base em suas características ecológicas similares. De fato, este enfoque tem tido melhor aplicação do que os anteriores que se baseiam na taxonomia (Kruk *et al.* 2002, Salmaso & Padisák 2007) e é útil e necessário para a implementação das diretivas de gestão da água. O Índice Q (Padisák *et al.* 2006) e o Índice $Q_{(r)}$ (Borics *et al.* 2007) são índices com base nos grupos funcionais e são ultimamente utilizados para acessar o status ecológico de

lagos e rios, respectivamente, visando a auxiliar no manejo da água. A Diretiva da Estrutura da Água (Water Framework Directive) tem sido um dos alvos dessa proposta.

Alterações na biodiversidade da biota, no funcionamento do ecossistema e na geomorfologia são observadas, por exemplo, quando um rio é interrompido em seu curso e modificado seu fluxo (gradiente longitudinal) para a construção de uma barragem (Grill *et al.* 2015). De modo inclusivo, na fragmentação de um rio a conectividade natural dentro e entre os sistemas fluviais vê-se diminuída (Tischendorf & Fahrig 2000, Moilanen & Hanski 2001) levando à diminuição da concentração de nutrientes nos reservatórios à jusante (Friedl & Wüest 2002, Agostinho *et al.* 2008) e afetando a qualidade da água e as comunidades ali presentes.

No Brasil, a construção de reservatórios em série no percurso dos rios é uma prática comum (Rodgher *et al.* 2005) e os cursos dos maiores rios nas regiões norte (rio Amazonas), nordeste (rio de Contas, rio São Francisco), sudeste (rio Tietê, rio Paranapanema) e sul (rio Iguaçu) vêm sendo aproveitados nesse aspecto para, em primeiro lugar, a obtenção de energia elétrica para as indústrias e, em segundo plano, para suprir a grande demanda de água nas localidades menos favorecidas por tal recurso (Tundisi *et al.* 2003). No Estado de São Paulo (sudeste brasileiro), este sistema é comumente adotado para a máxima exploração do potencial de energia hidrelétrica (Rodgher *et al.* 2005).

Com o intuito de geração de energia hidrelétrica, os reservatórios de barragem em série são arrançados em formato “cascata”, no qual o reservatório à jusante é um coletor de informação dos reservatórios à montante (Rodgher *et al.* 2005). Existem duas variantes de pensamento para explicar os efeitos à jusante. Segundo Straškraba (1990), nos últimos reservatórios da cascata a continuidade do rio (RCC) vê-se alterada pela descontinuidade em série (SDC) a partir da primeira barragem, ocorrendo diminuição de nutrientes. Em contraposição, com base no conceito de contínuo de reservatórios em série (CRCC) (Barbosa *et al.* 1999), prognostica-se que os reservatórios à jusante apresentam condições progressivas desde os reservatórios à montante com impactos profundos sobre a biota, desde que a cascata opera como um sistema completo, de forma que se não existir proteção contra contaminação ambiental, haverá aumento progressivo da trofia nos últimos reservatórios.

Para verificar o efeito do sistema em cascata sobre o fitoplâncton e suas implicações para as políticas de conservação e uso sustentável do rio Juquiá Guaçu para abastecimento público da Região Metropolitana de São Paulo, um sistema de três reservatórios em cascata foi estudado durante os períodos de verão e inverno de 2014.

Estudos ecológicos dos reservatórios em cascata são em maior número do que os florísticos. Existem, atualmente, três trabalhos florísticos: Xavier *et al.* (1985) abordou a

descrição do fitoplâncton de quatro reservatórios sobre o rio Juquiá Guaçu; Sant’Anna *et al.* (1988) é o inventário taxonômico do fitoplâncton do reservatório de Serraria; e Marquadt (2017) é o estudo das diatomáceas dos sedimentos superficiais de cinco reservatórios em cascata situados na região sul do Estado de São Paulo.

A presente proposta abordará o uso de algas e cianobactérias do plâncton (fitoplâncton) na avaliação da qualidade ecológica de três represas (Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria) situados no Estado de São Paulo, além de contribuir para o conhecimento da biodiversidade e da ecologia do fitoplâncton de regiões tropicais e, principalmente, de represas destinadas à geração de energia elétrica da RMSP, Região Metropolitana de São Paulo ou próxima a esta; e subsidiará um projeto maior fornecendo informação ecológica sobre o fitoplâncton com vistas à elaboração de um banco de dados regional sobre essa comunidade fitoplanctônica na RMSP e ao futuro desenvolvimento de modelos.

A proposta insere-se no projeto mais amplo intitulado “*Diagnóstico basal e reconstrução de impactos antropogênicos na Represa Guarapiranga com vistas à sustentabilidade do abastecimento da RMSP e ao gerenciamento da qualidade da água de reservatórios*”, financiado pela FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Projeto Temático nº 2009/53898-9).

2. OBJETIVOS

A pergunta fundamental deste trabalho é: o fitoplâncton das três represas (Cachoeira do França, Cachoeira do Fumaça e Serraria) exibe estrutura e dinâmica determinada pelas características ambientais locais?

Dessa questão originaram as seguintes hipóteses:

1. Riqueza, diversidade e biomassa estão relacionadas aos fatores ambientais locais (temperatura, regime térmico, concentração de nutrientes, pH, hidrodinâmica, entre outros) sendo estruturadas pelas características locais.
2. As abundâncias das espécies associadas às condições ambientais de cada represa são similares entre si.
3. Composição e padrões de dominância do fitoplâncton são similares entre as represas.

2.1. Objetivo geral

Avaliar as mudanças espaciais (nos perfis longitudinal e vertical) e temporais na estrutura

do fitoplâncton ao longo de uma série de represas em cascata, bem como os fatores ambientais a elas associados, visando a subsidiar modelos de conservação e gerenciamento de represas hidrelétricas do Estado de São Paulo, com ênfase naquelas da RMSP e adjacências.

2.2. Objetivos específicos

1. Avaliar a distribuição horizontal de variáveis físicas, químicas e biológicas ao longo de cada uma das três represas.
2. Determinar as contribuições local e regional das variáveis abióticas e da estrutura e dinâmica do fitoplâncton, bem como as estratégias e os grupos funcionais existentes contribuindo, assim, para a utilização do fitoplâncton como indicador ecológico nesses sistemas.
3. Investigar a possível ocorrência de florações de cianobactérias em escalas local e regional e os fatores a elas associados, contribuindo para o conhecimento dos padrões de dominância desses organismos nas represas das usinas hidrelétricas.

3. MÉTODOS UTILIZADOS

3.1. Área de estudo

No presente trabalho foram estudadas três represas de barragem (usinas hidrelétricas) localizadas no rio Juquiá Guaçu, quais sejam: Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria.

A seguir, apresenta-se a delimitação geográfica da área de estudo, na ordem descendente, conforme a divisão hidrográfica do Brasil:

Bacia do rio Paraná

Região Hidrográfica da Vertente Litorânea do Estado de São Paulo

Bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul (UGRHI 11) (fig. 2)

Sub-bacia do rio Juquiá Guaçu (fig.4)

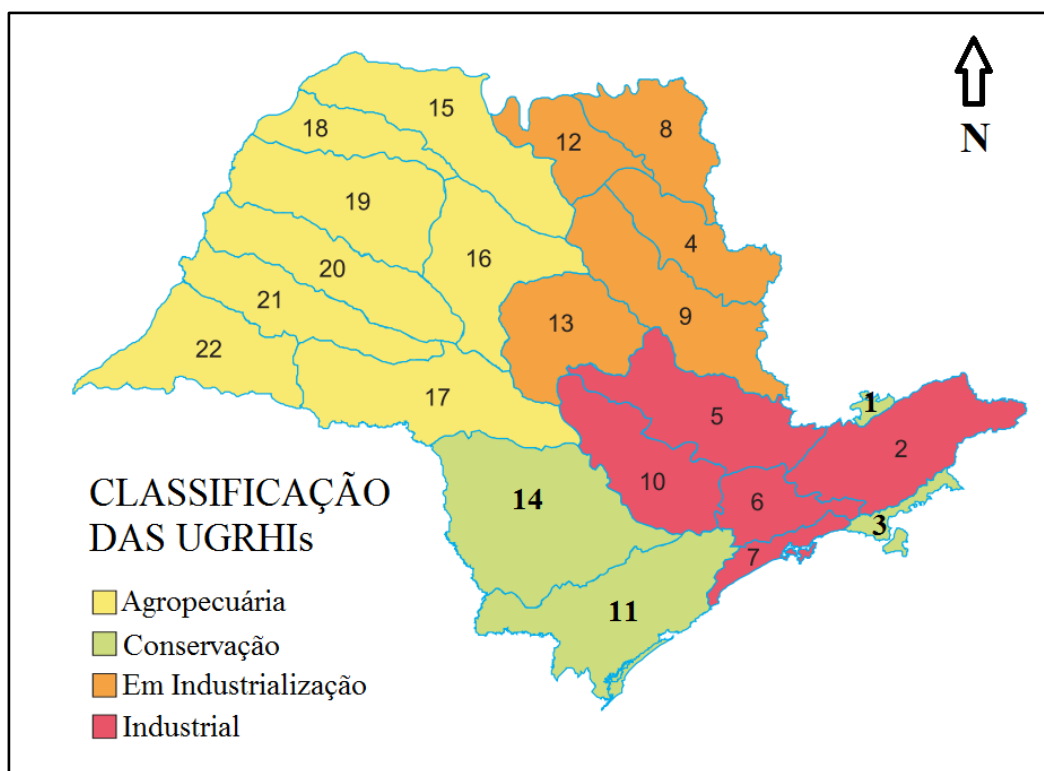


Figura 2. Classificação das 22 UGRHIs no Estado de São Paulo por vocação. Fonte: CETESB (2015).

O PERH 2004/2007 enquadrrou, com base nas características físicas e gerais das UGRHIs, a UGRHI 11 junto à 1 (Bacia Serra da Mantiqueira), 3 (Bacia Litoral Norte) e 14 (Bacia Alto Paranapanema) como **bacias de conservação** (fig. 2).

A bacia hidrográfica Ribeira do Iguape possui a extensão de 24.980 km² e o rio Ribeira tem suas nascentes no primeiro planalto paranaense. Formado pelos rios Açungui e Ribeirinha, o rio Ribeira primeiro assume o sentido nordeste e depois para o leste. Corta as serras do Mar e de Paranapiacaba penetrando no Estado de São Paulo e desaguando no oceano Atlântico. Até sua confluência com o rio Juquiá Guaçu, no Município de Registro, o rio é denominado apenas Ribeira. Desse ponto até à foz torna-se conhecido como Ribeira de Iguape (Chmiz *et al.* 1999).

O rio Juquiá Guaçu, que em tupi-guarani significa “rio sujo”, tem suas nascentes em altitudes de cerca de 700 m no Município de Juquitiba (São Paulo, SP) que, em tupi-guarani significa “terra de muitas nascentes”. Recebe a contribuição de cursos d’água com nascentes a mais de 1.000 m (rio São Lourenço), que deságuam em altitudes menores de 200 m em um desnível que ocorre em poucos quilômetros, de mais de 700 m (Ureniuk 1989).

Resultados do IAP (índice de qualidade das águas para fins de abastecimento público) apontaram os rios Ribeira, Ribeira de Iguape e Juquiá Guaçu como rios de água de boa qualidade (CETESB 2004). Segundo a Resolução CONAMA nº 357/05, os corpos d’água

dessa região foram enquadrados na Classe 2 (águas que podem ser destinadas ao abastecimento humano, após tratamento convencional), com exceção dos rios Sete Barras, Turvo e seus afluentes (São João, Córrego dos Veados, Córrego Poço Grande, Rio João Surrá) que foram enquadrados na Classe 1 (águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado).

Atualmente, a CBA, Companhia Brasileira de Alumínio opera oito usinas hidrelétricas localizadas na sub-bacia do rio Juquiá Guaçu (bacia do rio Ribeira de Iguape), que foram construídas com o intuito de geração de energia elétrica destinada à produção de alumínio em indústrias localizadas na bacia Sorocaba/Médio Tietê. Seis dos oito empreendimentos hidrelétricos estão localizados no curso do rio Juquiá Guaçu (UHE Cachoeira do França, UHE Cachoeira da Fumaça, UHE da Barra, UHE Serraria, UHE Porto Raso e UHE Alecrim), um no rio do Peixe (PCH Jurupará) e um no rio Iporanga ou rio Açungui (UHE Iporanga). Entre esses, cabe ressaltar as UHE Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e da Barra e o PCH Jurupará localizadas em áreas limítrofes ao PEJU (fig. 3). Todas essas represas somam um potencial instalado de 274,8 MW (CNEC 2008) totalizando o volume útil de 270,2 hm³.

Na tab. 1 são apresentadas informações gerais sobre as represas presentemente estudadas, sendo as de Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria pertencentes a uma “cascata” de unidades hidrelétricas ao longo do rio Juquiá Guaçu operadas pela CBA e enquadradas na reserva privada de Mata Atlântica “Legado das Águas” da empresa Votorantim.

Tabela 1. Ano de construção, área, volume, uso da água e grau de trofia das represas estudadas: Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria.

Represa	Ano de construção	Altitude (m)	Área (km²)	Volume (hm³)	Uso da água	Grau de trofia
Cachoeira do França ^(1,2)	1954	640	12,7	135,2	Geração de energia	Oligotrófico
Cachoeira da Fumaça ^(1,2)	1964	531	6,92	53,5	Geração de energia	Oligotrófico
Serraria ^(1,2,3)	1978	83	2,2	37,6	Geração de energia	Oligotrófico

Fontes: (1) http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/files/2012/01/3_0_caracterizacao_da_uc.pdf (Fundação Florestal: acesso em 08 de agosto de 2013); (2) Tundisi (1981); (3) Sant’Anna *et al.* (1988).

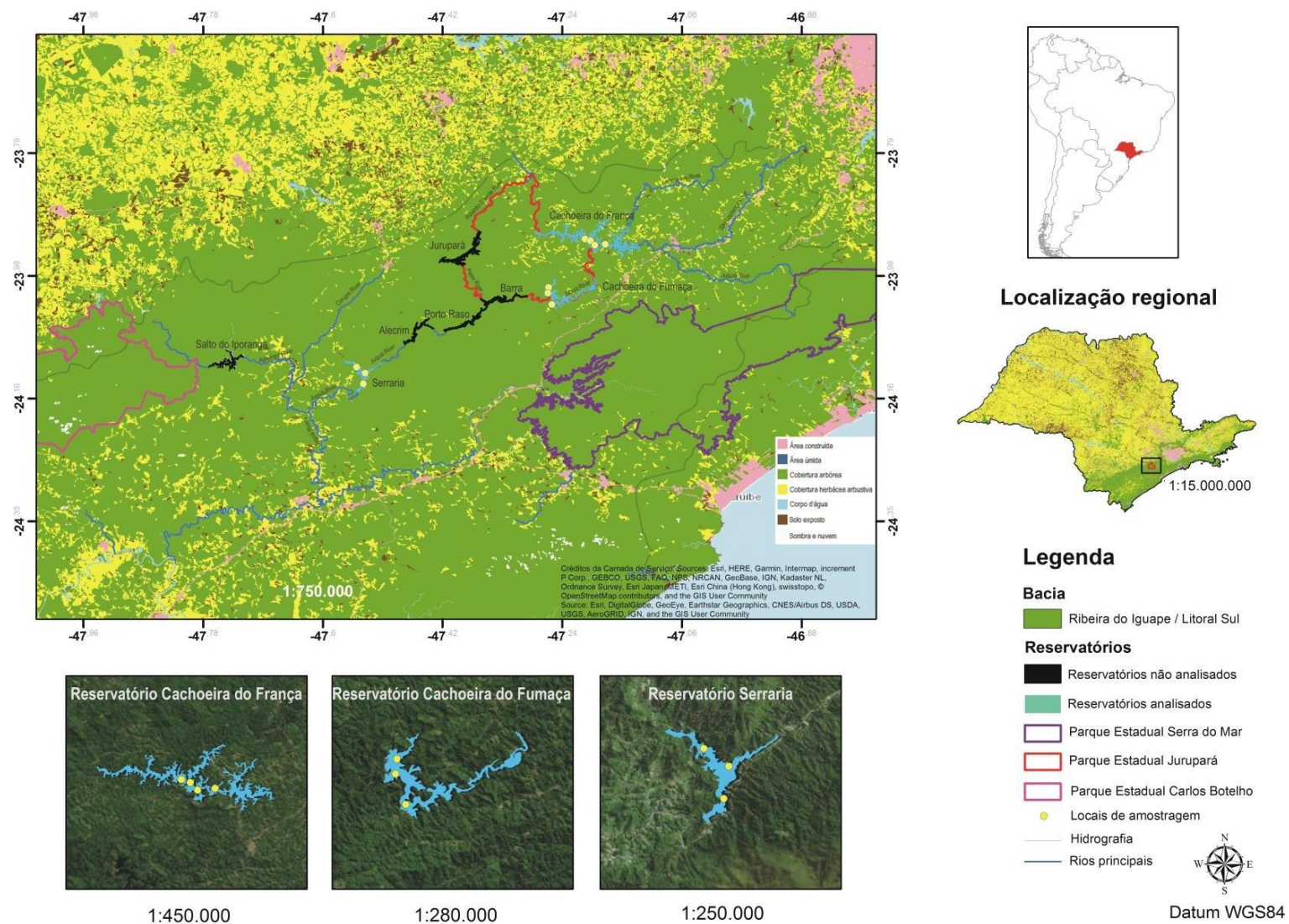


Figura 3. Localização das represas em cascata na sub-bacia do rio Juquiá Guaçu, bacia Ribeira do Iguaçu / Litoral Sul e uso e ocupação do solo.

CNEC (2008) esquematizou o aproveitamento do rio Juquiá Guaçu (fig. 4), mostrando a UHE Cachoeira do França localizada na cabeceira do rio a uma altitude aproximada de ca. 650 msnm, seguida pela UHE Cachoeira da Fumaça a ca. 550 msnm e, no final da sequência, a UHE de Serraria a mais ou menos 50 msnm. A distância entre a primeira e a última represa é de aproximadamente 120 km.

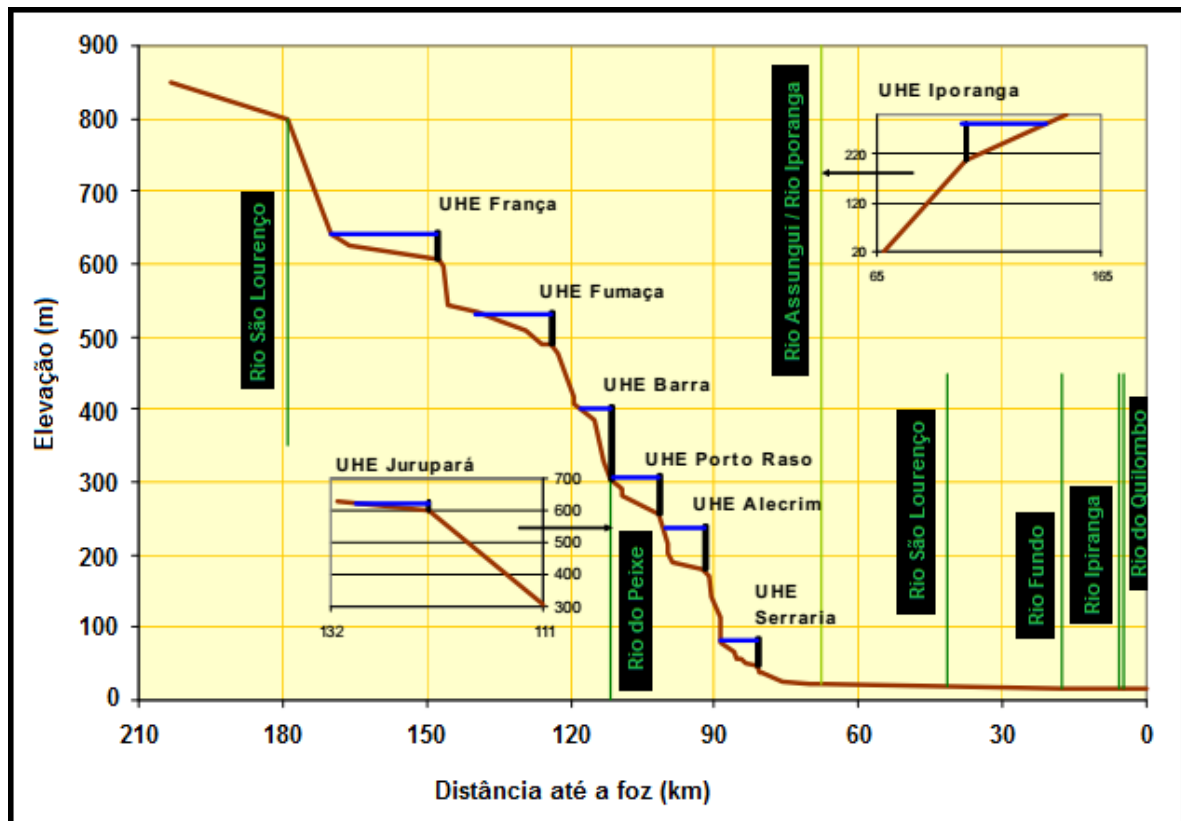


Figura 4. Aproveitamento hidráulico do rio Juquiá Guaçu. Fonte: CNEC (2008).

Em seguida apresentam-se as represas em detalhe, com seus locais de amostragem e localização da barragem, além de pesquisas neles realizadas.

UHE Cachoeira do França

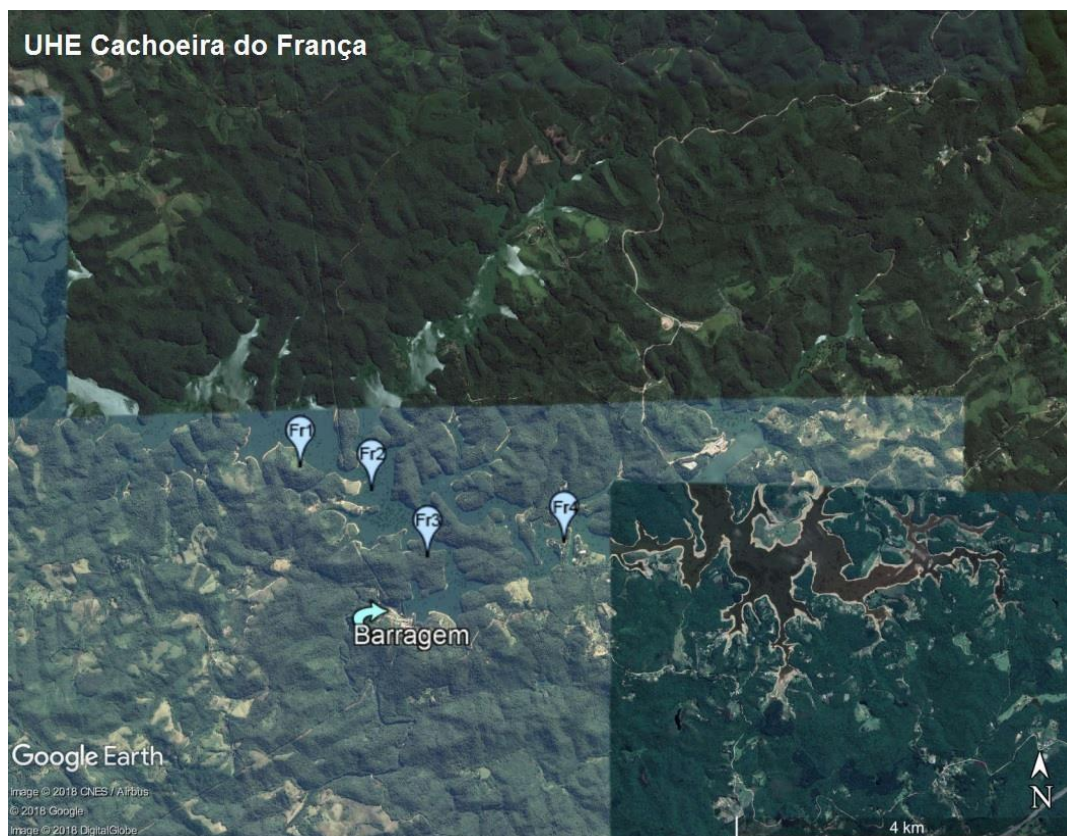


Figura 5. Represa Cachoeira do França. Seta mostra a barragem da represa e ícones representam os locais de amostragem: Fr1: local mais afastado do tributário principal, Fr2: perto de um tributário, Fr3: perto da barragem e Fr4: perto do tributário principal.

A usina hidrelétrica Cachoeira do França está localizada na região de Juquitiba e foi a primeira construída pela CBA utilizando água do rio Juquiá Guaçu para geração de energia (fig. 5).

O salto médio é de 90 m e o lago produzido pelo represamento possui 12,7 km², possibilitando a produção média de 155 MW ano⁻¹. A linha de transmissão até à fábrica da CBA, no Município de Alumínio, tem 42 km de extensão.

Quanto ao IET, o relatório da caracterização da UC e de sua área de abrangência verificou que as águas que chegam à represa são eutróficas, enquanto que as da região da barragem e a jusante são mesotróficas. Considerando que exista uma pressão antropogênica moderada na área de drenagem da represa, supõe-se que o estado trófico dominante decorra, principalmente, das atividades agropecuárias por escoamento superficial de fertilizantes e por fontes pontuais de esgoto. O decréscimo do estado trófico da região do caudal da represa para a adjacente à barragem e a jusante refletem o potencial de depuração que a represa apresenta pela ação de processos de assimilação biológica (produção primária e secundária) e de reações químicas e sedimentação (SMA 2012).

Segundo o Relatório da Votorantim de 2015, o Projeto São Lourenço da SABESP captará água desta represa a partir de 2018 para suprir a demanda de água de vários municípios da RMSP (Barueri, Carapicuíba, Cotia, Itapevi, Jandira, Santana de Parnaíba e Vargem Grande Paulista) atualmente abastecidos pelo Sistema Cantareira, com o intuito de evitar possível racionamento como já aconteceu durante a seca de 2014.

UHE Cachoeira da Fumaça

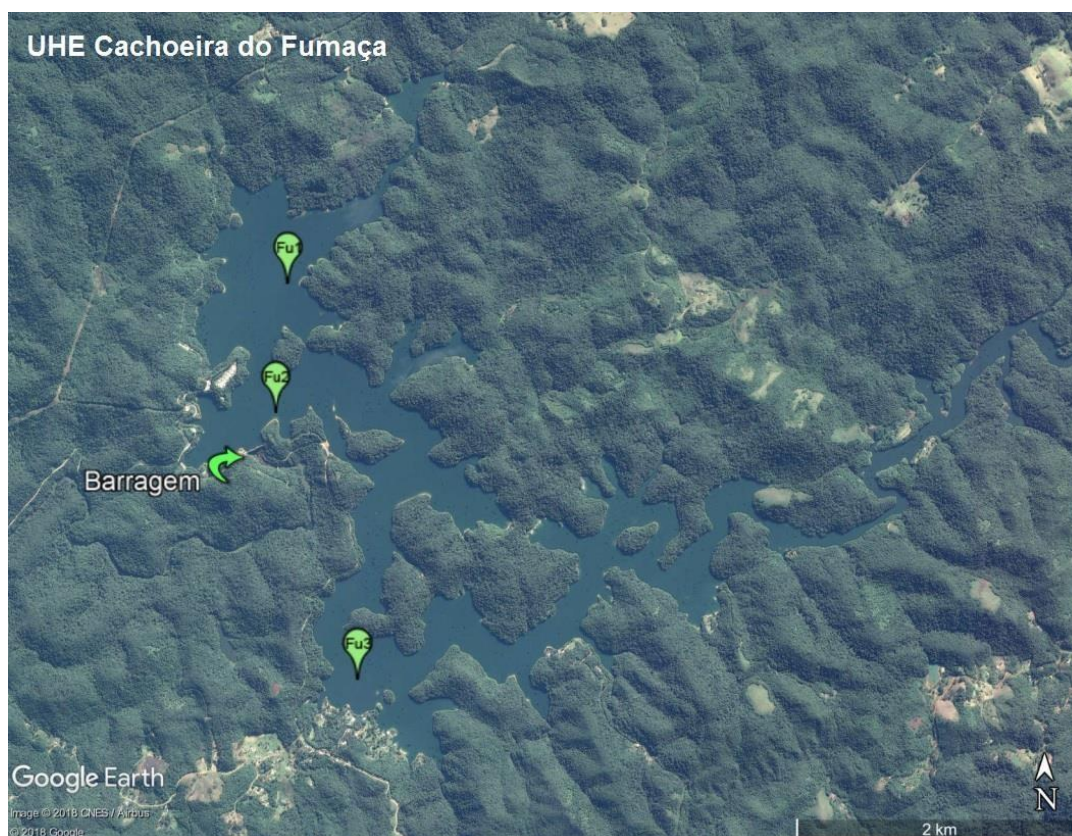


Figura 6. Represa Cachoeira da Fumaça. Seta mostra a barragem da represa e ícones representam os locais de amostragem: Fu1: local mais afastado do tributário principal, Fu2: perto da barragem, Fu3: perto do tributário principal.

A usina hidrelétrica Cachoeira da Fumaça está localizada no Município de Ibiúna, foi a segunda construída pela CBA e utiliza água do rio Juquiá Guaçu para a geração de energia (fig. 6).

Sua capacidade média anual de geração é de 220 MW ano^{-1} e sua barragem possui 154 m de extensão e 53,5 m de altura no ponto mais baixo da fundação. Apresenta uma queda bruta de 126 m.

UHE Serraria

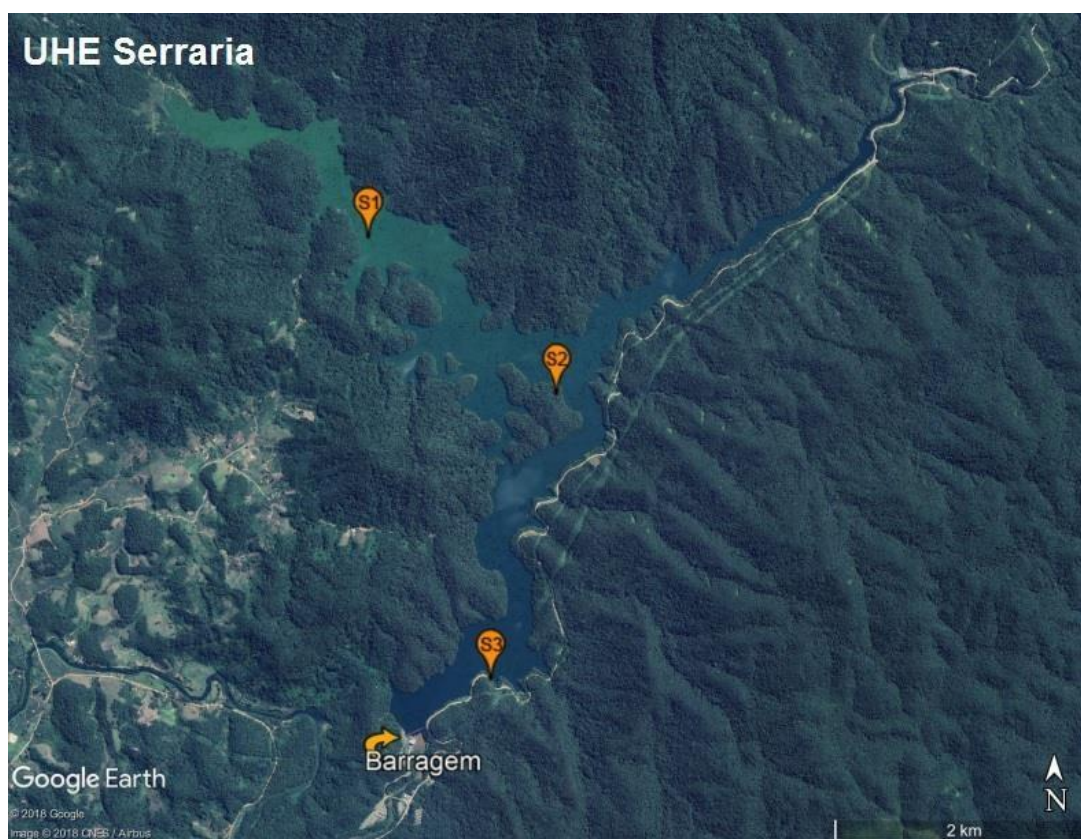


Figura 7. Represa Serraria. Seta mostra a barragem da represa e ícones representam os locais de amostragem: S1: local mais afastado do tributário principal, S2: perto do tributário principal, S3: perto da barragem.

A represa Serraria situa-se no Município de Juquiá. Sua profundidade média é de 23 m (fig. 7), possui uma potência de 24 MW e capacidade média anual de 145 MW. A barragem possui 190 m de comprimento e 61 m de altura (Sant'Anna *et al.* 1988). Está localizada em uma região onde as duas estações climáticas são bem definidas, sendo uma quente e chuvosa (outubro a março) e a outra fria e seca (abril a setembro) (Takino & Maier 1981).

Takino & Maier (1981) e Tundisi (1981, 1983) publicaram dados físicos, químicos e de produção primária da Represa Serraria, Xavier *et al.* (1985) informação sobre o fitoplâncton e Sant'Anna *et al.* (1988) apresentaram o inventário taxonômico dos gêneros de algas que ocorrem na represa. Neste último trabalho, com base na análise qualitativa do fitoplâncton, Serraria foi classificada oligotrófica. Em outros estudos foi, contudo, abordada no mais recente “checklist” de protozooplâncton (Regali-Selegim *et al.* 2011).

Durante o ano todo, a represa é alvo de pesca esportiva, em busca dos diferentes tipos de peixes ali encontrados, desde exóticos como os tucunarés amazônicos até nativos como as tilápias.

A não consideração do tempo de desova é uma das razões pela qual alguns peixes encontram-se atualmente ameaçados de extinção.

Relatórios da qualidade da água produzidos de 2000 até 2005 (CETESB) mostraram que metais pesados (alumínio, chumbo, cobre, cádmio, mercúrio, níquel) ocorreram na represa com níveis de toxicidade para a saúde humana e vida aquática. Igualmente, para os anos 2006-2007, os níveis de pH, fósforo total, oxigênio diluído e coliformes fecais estiveram fora dos níveis estabelecidos pela legislação.

3.2. Bacia Ribeira do Iguape/Litoral Sul

Caracterizada como de conservação, esta bacia apresenta elevada disponibilidade de água em relação à demanda; além disso, possui rica e extensa rede de drenagem e alta proporção de cobertura florestal nativa e de Unidades de Conservação (CBH-RB 2009). Atualmente, este sistema está sendo estudado sob vários aspectos, principalmente, o social e o ambiental (Programa SOS Mata Atlântica). Pires *et al.* (2002) e Nogueira *et al.* (2003) divulgaram, conforme citado por Cotrim (2006), que a área possui um histórico alarmante de contaminação por chumbo, além de ser responsável pelo principal e mais importante potencial mineral do Estado de São Paulo, com grande variedade de substâncias minerais incluindo ferrosos, metálicos e minerais raros como prata, antimônio e terras raras. Todo esse contexto reflete nas características geoquímicas da água, dos sedimentos de drenagem e do material em suspensão.

A região apresenta a extensão aproximada de 260 km e área de 17.067,92 km², sendo o rio Ribeira e seus afluentes (Açungui, Capivari, Pardo, Turvo, Juquiá Guaçu, São Lourenço, Jacupiranga, Una da Aldeia e Itariri) os principais constituintes da bacia. A Unidade limita-se a sudoeste com o Estado do Paraná, ao norte com as UGRHI 14 (Alto Parapanema) e UGRHI 10 (Sorocaba e Médio Tietê), a nordeste com as UGRHI 6 (Alto Tietê) e UGRHI 7 (Baixada Santista) e a leste com o Oceano Atlântico (CBH-RB 2008-2011).

O Parque Estadual do Jurupará está situado entre os municípios de Ibiúna e Piedade, que fazem divisa com os municípios de Miracatu, Juitiba e Tapiraí na sub-bacia do Alto rio Juquiá Guaçu (CBH-RB 2009). O Plano de Manejo preparado em 2010 pela Fundação Florestal do Estado de São Paulo (SMA 2010) mostrou que o Parque protege uma área de Mata Atlântica representante do Planalto Atlântico Paulista, onde foram registradas 77 espécies da fauna e da flora presentemente ameaçadas de extinção e 182 endêmicas. Foram ainda inventariados mais de 300 novos registros de ocorrência de espécies no referido Parque. No entanto, a ficoflórula da região permanece quase que totalmente desconhecida.

3.2.1. Geologia

A região apresenta três domínios geológicos, quais sejam: (1) rochas metamórficas pré-cambrianas predominantes na UGRHI-11, (2) rochas magmáticas e (3) rochas brandas e sedimentos não consolidados. O Vale do Ribeira é detentor de importante potencial mineral e, ao longo do século XX, diversas minas de chumbo, zinco e prata foram exploradas no Alto Vale do Ribeira (Cunha *et al.* 2006).

Esta UGRHI possui um percentual apreciável de seu território com cobertura vegetal nativa. O índice de vegetação nativa na UGRHI é de 63,4%, bem superior àquele do Estado de São Paulo, que é de 13,7%.

As atividades econômicas na UGRHI Ribeira do Iguape/Litoral Sul podem ser divididas nos três seguintes grupos: (1) agricultura que tem a banana e o chá como principais culturas, (2) turismo propiciado por pontos de interesse espeleológico e (3) orla marítima dos municípios litorâneos que utiliza a pesca como atividade de destaque.

3.2.2. Clima

O clima na UGRHI-11 pode ser classificado, de modo geral, como tropical úmido com ligeira variação entre as zonas costeiras e a serra de Paranapiacaba. Características climáticas como pluviosidade explicam muito da alta densidade hidrográfica da bacia (Gutjahr 1993).

Gutjahr (1993) abordou a compartimentação climática aplicada ao estudo de bacias hidrográficas em geral, principalmente, a bacia do rio Ribeira de Iguape com base no regime de chuvas e temperatura no período de 10 anos, das variações temporais-espaciais da temperatura como, por exemplo, a ocorrência de maritimidade/continentalidade na variação da temperatura. O autor propôs a divisão da bacia em compartimentos climáticos e a delimitação de seus atributos.

As represas atualmente estudadas estão localizadas no compartimento geomorfológico II pela afinidade do trimestre chuvoso DJF (dezembro-janeiro-fevereiro) (Almeida 1964). Pertencem também ao compartimento B1, subdivisão do geomorfológico II, com precipitações mínimas inferiores a 1000-2000 mm, médias de 1800-2500 mm e máximas de 2500-3000 mm (Gutjahr 1993).

A célula IIB do compartimento II é aquela em que se encontra o Estado de São Paulo e acompanha, de modo geral, a Serra de Paranapiacaba. Essa célula tem três subcélulas destacadas: IIB1, IIB2 e IIB3. Dessas, a IIB1 é a que apresenta tendência a precipitações mais elevadas.

As amplitudes térmicas anuais são relativamente baixas, em grande parte devido à proximidade oceânica, embora toda a bacia fique ligeiramente ao sul do Trópico de Capricórnio. Os meses menos quentes, junho, julho e agosto, normalmente apresentam médias térmicas em torno de 18°C, enquanto que os mais quentes, dezembro, janeiro e fevereiro, superam pouco as médias de 25°C (Gutjahr 1993).

Segundo parece, a temperatura deve sofrer modificações importantes decorrentes da forma do relevo e sua orientação, bem como da orientação das vertentes em face dos ventos e da distribuição das chuvas. Segundo o IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas a configuração geral do relevo é de grande importância na caracterização climática da Província Costeira. Esse paredão serrano funciona como barreira para o avanço de massas de ar provenientes do oceano e do sul do continente e direcionam correntes de convecção que condensam e provocam nevoeiros e chuvas de caráter orográfico. É notória a maior umidade revelada pela vegetação e pelos deslizamentos observados nas encostas voltadas para o sul e sudeste. Tal situação contrasta com as condições reinantes nas encostas voltadas para o norte, que apresentam menores totais pluviométricos.

O clima da área da Baixada, segundo a classificação de Conti & Furlan (2003) é do tipo equatorial úmido considerando os três critérios seguintes: (1) altitude variando entre 104-947 msnm, (2) amplitude térmica (médias mensais e mínimas anuais) não ultrapassando 15,8-18,6°C e (3) média mensal de precipitação em dois meses ao redor de 1400 mm.

3.2.3. Precipitação

Na UGRHI chove, em média, cerca de 1.400 mm ano⁻¹ (tab. 2). A produção hídrica superficial apresenta, dentro dos limites territoriais da UGRHI, as seguintes vazões características (PERH 2004-2007):

- QLP (vazão média) = 526 m³ s⁻¹
- Q7, 10 (vazão mínima média de sete dias consecutivos e 10 anos de período de retorno) = 162 m³ s⁻¹.

4. MÉTODOS

4.1. Variáveis climáticas

Os dados das variáveis climáticas foram obtidos das estações meteorológicas mais próximas dos locais de amostragem. Tais dados incluíram precipitação (mm), temperatura média (°C) vazão (m³ s⁻¹) (tab. 2). Embora não seja uma variável climática, dados sobre vazão média mensal também foram incluídos nessa tabela.

Tabela 2. Dados de precipitação (mm), temperatura média (°C) e vazão (m³ s⁻¹) em cada mês do ano 2014 nas três represas estudadas.

	Mês	Precipitação (mm)	Temperatura média (°C)	Vazão (m ³ s ⁻¹)
FRANÇA	jan	150,0	31,5	22,84
	fev	341,75	31,0	24,98
	mar	195,25	26,5	20,285
	abr	93,75	26,5	21,17
	mai	109,25	19,5	19,025
	jun	92,75	19,0	19,425
	jul	49,5	20,5	17,68
	ago	78,25	21,0	18,33
	set	124,75	22,5	19,365
	out	64,25	23,5	13,745
	nov	125,75	22,0	12,53
	dez	231,5	26,5	15,1
	total	1656,75		

	Mês	Precipitação (mm)	Temperatura média (°C)	Vazão (m ³ s ⁻¹)
FUMAÇA	jan	263,5	32,0	30,145
	fev	472,0	32,0	25,19
	mar	194,75	27,5	19,96
	abr	141,0	22,0	23,195
	mai	116,25	21,5	23,085
	jun	106,5	18,0	23,08
	jul	52,0	16,5	24,05
	ago	72,25	19,0	26,735
	set	144,25	22,5	27,84
	out	64,5	25,5	19,7
	nov	177,5	25,0	15,415
	dez	275,75	29,0	14,44
	total	2080,75		

	Mês	Precipitação (mm)	Temperatura média (°C)	Vazão (m ³ s ⁻¹)
SERRARIA	jan	297,0	29,0	33,10
	fev	521,5	29,0	31,25
	mar	162,5	28,0	25,28
	abr	113,25	24,0	27,86
	mai	100,5	22,5	26,96
	jun	120,6	20,5	27,25
	jul	79,2	20,0	26,48
	ago	76,4	17,5	29,36
	set	143,2	24,0	31,85
	out	38,8	26,0	19,96
	nov	160,2	25,0	18,59
	dez	260,9	28,45	19,34
	total	2074,05		

4.2. Delineamento amostral e coleta de material

As represas foram selecionadas a partir de dois critérios: (1) expandir o conhecimento de suas respectivas ficoflóruas e (2) buscar represas que fossem suficientemente profundas para evitar o desequilíbrio da amostragem nos períodos de verão e inverno devido ao baixo nível da água que seria atingido nesse período sem chuvas, consequentemente não permitindo amostrar nas três profundidades estabelecidas no desenho amostral.

As estações de amostragem consideradas em cada represa foram: (1) a montante, (2) localidade mais ou menos central na represa próximo da barragem e (3) a jusante, estabelecendo-se um eixo longitudinal; e em três profundidades, subsuperfície, metade da coluna d'água e 1 m acima do fundo, para estabelecer o eixo vertical (fig. 8, tab. 3).

A localização exata dos locais de amostragem bem como o número de amostras coletado foi confirmada após visita prévia a campo. A represa de Cachoeira do França foi amostrado em quatro locais por ser o mais extenso dos três.

A amostragem na coluna d'água foi definida, primordialmente, pelos regimes de luz e mistura, conforme protocolo estabelecido pelo projeto temático em que se insere a atual proposta.

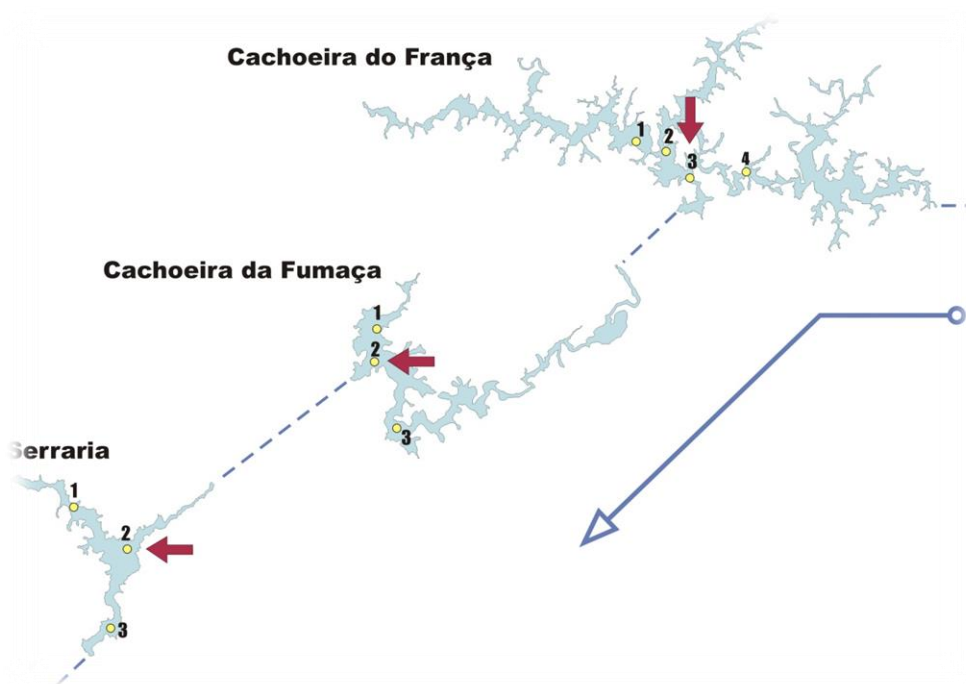


Figura 8. Ordenação dos locais de amostragem nas represas Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria. Setas em vermelho indicam o local mais profundo. Linha tracejada corresponde à continuação do rio Juquiá Guaçu desde a barragem. Seta azul indica a direção de fluxo do rio Juquiá Guaçu.

Tabela 3. Variação da profundidade (m) nos períodos de amostragem em cada local de coleta. M: meio, F: fundo.

		LOCAL 1		LOCAL 2		LOCAL 3		LOCAL 4	
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
FRANÇA	M	5	5	5	5	7	7	6	7
	F	11	10	10	11	14	15	13	14
FUMAÇA	M	11	12	15	17	10	12	---	---
	F	22	25	29	36	19,5	25	---	---
SERRARIA	M	10,5	10	15	13	14,5	15	---	---
	F	21	20	29,5	26	29	30	---	---

4.2.1. Variáveis ambientais abióticas

Os perfis verticais de temperatura, pH e condutividade elétrica foram obtidos ‘*in situ*’ a cada 0,50 m de profundidade até a estabilização do perfil térmico e, a partir deste ponto, a cada metro até o fundo, sempre utilizando sonda multiparâmetro. A transparência da água e a profundidade da zona eufótica foram determinadas a partir da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (m).

As amostras de água foram transportadas refrigeradas em uma caixa térmica até o laboratório e processadas no mesmo dia da coleta. As variáveis ambientais abióticas incluíram: oxigênio dissolvido (Winkler modificado por Golterman & Clymo 1969), alcalinidade (Golterman & Clymo 1969), nitrato e nitrito (Mackereth *et al.* 1978), nitrogênio amoniacal (Solorzano 1969), fósforo solúvel reativo e fósforo total dissolvido (Strickland & Parsons 1960), nitrogênio total e fósforo total (Valderrama 1981) e sílica reativa solúvel (Golterman *et al.* 1978). As amostras para análise da fração dissolvida dos nutrientes foram filtradas utilizando filtro Whatman GF/F em baixa pressão (< 0,50 atm). O teor de clorofila *a* (corrigida da feofitina) foi determinado pelo método de extração com etanol 90% aquecido durante 5 min, sem maceração (Sartory & Grobbelaar 1984) e os cálculos foram baseados em Golterman *et al.* (1978) e Wetzel & Likens (1991). As frações totais de nitrogênio e fósforo e a concentração de clorofila *a* foram processadas, no máximo, após 15 dias do dia da amostragem.

Desde que se pretende utilizar a água das represas em estudo para suprir a demanda de água da RMSP, a resolução CONAMA 357/2005 que trata da qualidade dos corpos hídricos superficiais serviu de marco de referência para as medições químicas nesses ambientes. Logo, os limites de referência estabelecidos foram os das águas de abastecimento público (tipo I).

4.2.2. Análise numérica dos dados

A partir das análises abióticas foi determinado o seguinte para cada represa:

1. Profundidade da zona eufótica (Z_{eu}) calculada multiplicando por 2,7 o valor da profundidade

obtido com o disco de Secchi (Cole 1983).

2. Zona de mistura: calculada com base nos dados de temperatura (Z_{mix} , a camada que se estende desde a superfície até onde o gradiente de densidade é $\geq 0,02 \text{ kg m}^{-3}$) (Reynolds 1984). A zona de mistura foi utilizada para determinar a disponibilidade de luz para a fotossíntese (razão $Z_{\text{eu}}:Z_{\text{mix}}$).
3. Resistência térmica relativa (RTR): calculada usando a razão entre a densidade da água nas camadas a 4°C e 5°C (Schäfer 1985, Dadon 1995).
4. Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004).

$\text{IET (CL)} = 10 \cdot \left(6 - \left(\frac{0,92 - 0,34 \cdot (\ln \text{CL})}{\ln 2} \right) \right)$, onde a clorofila *a* (CL) é expressa em $\mu\text{g L}^{-1}$.

$\text{IET (S)} = 10 \cdot \left(6 - \left(\frac{\ln S}{\ln 2} \right) \right)$, onde a transparência (S) é expressa em m.

$\text{IET (PT)} = 10 \cdot \left(6 - \left(\frac{1,77 - 0,42 \cdot (\ln \text{PT})}{\ln 2} \right) \right)$, onde o fósforo total (PT) é expresso em $\mu\text{g L}^{-1}$.

Em cada represa o IET dos períodos de amostragem (verão ou inverno) foi ponderado a partir da média dos valores de IET em cada local de amostragem na represa: França: $\bar{x} = 12$, Fumaça: $\bar{x} = 9$ e Serraria: $\bar{x} = 9$. O IET médio anual de cada represa foi calculado a partir da média do IET obtida para cada período.

Relação NT:PT com base em Redfield (1958): quando a relação NT:PT é < 16 , ocorre limitação por nitrogênio e quando é > 16 ocorre limitação por fósforo.

Limitação de luz para a fotossíntese do fitoplâncton foi determinada pela razão $Z_{\text{eu}}:Z_{\text{mix}}$. Quando essa razão é > 1 existe alta disponibilidade de luz (Jensen *et al.* 1994, Naselli-Flores 2000).

4.2.3. Índices de diversidade biológica

Os seguintes índices biológicos foram calculados para a comunidade fitoplanctônica:

Índice de Simpson: baseado na probabilidade de que quaisquer dois indivíduos coletados aleatoriamente em uma comunidade infinitamente grande pertencem a uma mesma espécie (Simpson 1949).

$$D = \sum \left[n_i \left(\frac{n_i - 1}{N(N-1)} \right) \right]; 1-D \text{ (fórmula complementar)}$$

Onde:

N_i : biovolume relativo de cada táxon na unidade amostral

N : biovolume total da amostra

Com base na fórmula complementar, a diversidade será maior quando o valor for maior.

Equitabilidade de Simpson (Homogeneidade de Simpson): estabelece quanto é homogênea a abundância. Valores próximos a zero significam muita discrepância (Magurran 2004).

$$E = \frac{\left(\frac{1}{D}\right)}{S}$$

Onde:

D: diversidade de Simpson

S: riqueza da amostra

Índice de Shannon-Wiener: baseado na premissa de que os indivíduos estão distribuídos aleatoriamente e todas as espécies estão representadas na amostra (Shannon & Weaver 1949). O valor é expresso por um número positivo que, na maioria dos ecossistemas naturais, varia entre 0,5 e 5, não obstante seu valor normal esteja entre 2 e 3. Valores inferiores a 2 são considerados baixos em diversidade e maiores > 3 são altos em diversidade de espécies (Shannon & Weaver 1963).

$$H' = - \sum pi * \ln(pi)$$

Onde:

pi: abundância relativa da espécie dada por (ni/N)

ni: biovolume relativo da espécie

N: biovolume relativo total

Índice de Equitabilidade de Pielou: é a medida da uniformidade da distribuição das espécies (Pielou 1975).

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

Onde:

H': índice de Shannon

S: número de táxons da unidade amostral

4.2.4. Análises estatísticas

Para a análise das matrizes abióticas foi empregada análise de componentes principais (PCA) com os dados transformados (log + 1) usando matriz de covariância.

Das 18 variáveis estudadas foram eliminadas as colineares, resultando em um conjunto de 13 variáveis.

Para avaliar o ordenamento das espécies descritoras do fitoplâncton e os grupos funcionais foi utilizada Análise de Correspondência sem tendência (DCA). Desde que a DCA apresentou um gradiente de comprimento curto (< 2) evidenciando uma resposta linear, foi utilizada uma Análise de Redundância (RDA) para avaliar conjuntamente variáveis ambientais, descritores fitoplancônicos e grupos funcionais (Birks 2010). Foram usados dados transformados (log + 1).

Um teste de randomização foi realizado para determinar os eixos interpretáveis ($p < 0,05$). A análise foi rodada no programa PC-ORD versão 6.0 para Windows (McCune & Mefford 2011).

5. REFERÊNCIAS CITADAS

- AGOSTINHO, A.A., PELICICE, F.M. & GOMES, L.C. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology* 68(4): 1119-1132. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019>.
- BARBOSA, F.A.R., PADISÁK, J., ESPÍNDOLA, E.L.G., BORICS, G. & ROCHA, O. 1999. The Cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and its application to the River Tietê-Basin, São Paulo, Brazil. *Theoretical Reservoir Ecology and its application*. p. 425-437.
- BORICS, G., VÁRBÍRÓ, G., GRIGORSZKY, I., KRASZNAI, E., SZABÓ, S. & KISS, K.T. 2007. A new evaluation technique of potamo-plankton for the assessment of the ecological status of rivers. *Large Rivers* 17(3-4): 466-486. doi: 10.1127/lr/17/2007/466.
- CETESB. 2014. Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo, 2014. São Paulo: CETESB, 2015. Acesso em 19 de outubro de 2018.
- CUNHA, F.G., FIGUEIREDO, B.R., PAOLIELLO, M.M.B. & CAPITANI, E.M. 2006. Diagnóstico ambiental e de saúde humana: contaminação por chumbo em Adrianópolis, no Estado do Paraná, Brasil. *In*: C.R. Silva, B.R. Figueiredo, E.M. Capitani & F.G. Cunha (eds). *Geologia Médica no Brasil*. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- DOKULIL, M.T. 2003. Algae as ecological bio-indicators. *In*: B.A. Markert, A.M. Breure & H.G. Zechmeister (eds). *Bioindicators and biomonitoring*. Elsevier Science Ltd.
- FRIEDL, G. & WÜEST, A. 2002. Disrupting biogeochemical cycles: consequences of damming. *Aquatic Sciences* 64(1): 55-65.
- GRILL, G., LEHNER, B., LUMSDON, A., MACDONALD, G.K., ZARFL, C. & LIERMANN, C.R. 2015. An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters* 10. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/015001>.
- HILLEBRAND, H., DÜRSELEN, C.-D., KIRSCHTEL, D., POLLINGHER, U. & ZOHARY, T. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* 35: 403-424.
- HUSZAR, V.L.M., SILVA, L.H.S., MARINHO, M., DOMINGOS, P. & SANT'ANNA, C.L. 2000. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia* 424: 67-77.

- IZAGUIRRE, I., O'FARRELL, I. & TELL, G. 2001. Variation in phytoplankton composition and limnological features in a water-water ecotone of the Lower Paraná Basin (Argentina). *Freshwater Biology* 46: 63-74. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2001.00646.x>.
- KRUK, C., HUSZAR, V., PEETERS, E., BONILLA, S., COSTA, L., LURLING, M., REYNOLDS, C. & SCHEFFER, M. 2010. A morphological classification functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology* 55: 614-627. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>.
- KRUK, C., MAZZEO, N., LACEROT, G. & REYNOLDS, C.S. 2002. Classification schemes of phytoplankton: selecting an ecological approach for the analysis of species temporal replacement. *Journal of Plankton Research* 24(9): 901-912. <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/24.9.901>
- MARQUARDT, G.C. 2017. Comparação da biodiversidade e distribuição das diatomáceas planctônicas e de sedimentos superficiais em seis reservatórios do sul do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Botânica, São Paulo. 195 p.
- MILARÈ, E. 2005. Direito do Ambiente: doutrina, jurisprudência, glossário. São Paulo, Editora Revista dos Tribunais. 4ª Edição, revista, atualizada e ampliada.
- MOILANEN, A. & HANSKI, I. 2001. On the use of connectivity measures in spatial ecology. *Oikos* 95(1): 147-151. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.950116.x>.
- NAPIÓRKOWSKA-KRZEBIETKE, A. & KOBOS, J. 2016. Assessment of the cell biovolume of phytoplankton widespread in coastal and inland water bodies. *Water Research* 104: 532-546.
- PADISÁK, J., CROSSETTI, L. & NASELLI-FLORES, L. 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621: 1-19.
- PADISÁK, J., GRIGORSZKY, I., BORICS, G. & SORÓCZKI-PINTÉR, É. 2006. Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. *Hydrobiologia* 553: 1-14.
- PAPPAS, J.L. & STOERMER, E.F. 1996. Quantitative method for determining a representative algal sample count. *Journal of Phycology* 32(4): 693-696. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-3646.1996.00693.x>.
- PIELOU, E.C. 1975. Ecological diversity. New York, John Wiley & Sons. 165 p.
- REYNOLDS, C., HUSZAR, V., KRUK, C., NASELLI-FLORES, L. & MELO, S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24(5): 417-428. <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>.
- RODGHER, S., ESPÍNDOLA, E.L.G., ROCHA, O., FRACÁCIO, R., PEREIRA, R.H.G. & RODRIGUES, M.H.S. 2005. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of

- reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 65(4): 697-710.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842005000400017>.
- SALMASO, N. & PADISÁK, J. 2007. Morpho-functional groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia* 578: 97-12.
- SANT'ANNA, C.L., XAVIER, M.B. & SORMUS, L. 1988. Estudo qualitativo do fitoplâncton da represa de Serraria, Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia* 48(1): 83-102.
- SHANNON, C.E. & WIEVER, W. 1949. The mathematic theory of communication. Urbana, Illinois, The University of Illinois Press, p. 19-27, 82-83, 104-107.
- SILVA, C.A., TRAIN, S. & RODRIGUES, L.C. 2005. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia* 537: 99-109.
- STRASKRABA, M. 1990. Limnological particularities of multiple reservoir series. *Archiv für Hydrobiologie* 33: 677-678.
- TISCHENDORF, L. & FAHRIG, L. 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos* 90: 7-19.
- TUNDISI, J.G., MATSUMURA-TUNDISI, T. & RODRIGUES, S.L. 2003. Gerenciamento e recuperação das bacias hidrográficas dos rios Itaqueri e do Lobo e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa), Municípios de Itirapina e de Brotas. IIE/IEGA/PROAQUA/ELEKTRO. 72 p.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Mitteilungen Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 19: 1-38.
- VÖRÖSMARTY, J.C., MCINTYRE, P.B., GESSNER, M.O., DUDGEON, D., PRUSEVICH, A., GREEN, P., GLIDDEN, S., BUNN, S.E., SULLIVAN, C.A., LIERMANN, C.R & DAVIES, P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467: 555-561.
<http://dx.doi.org/10.1038/nature09440>.
- WEBB, C.O., ACKERLY, D.D., MCPEEK, M.A. & DONOGHUE, M.J. 2002. Phylogenies and community ecology. *Annual Review Ecology and Systematics* 33: 475-505.
- WHITTAKER, R.H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21(2/3): 213-251.
- XAVIER, M.B. 1979. Contribuição ao estudo da variação sazonal do fitoplâncton na Represa Billings, São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 146 p.
- XAVIER, M.B., MONTEIRO JÚNIOR, A.J. & FUJIHARA, L.P. 1985. Limnologia de reservatórios do sudeste do Estado de São Paulo, Brasil, 7: fitoplâncton. *Boletim do Instituto de Pesca* 12(1): 145-186.

CAPÍTULO 1

Caracterização limnológica de três reservatórios em cascata da região sudeste do Estado de São Paulo

“No entanto, a qualidade geral do meio aquático de lagos e reservatórios só pode ser totalmente descrita em termos de hidrologia, físicoquímica e biologia” (R.W. Herschy)

1. INTRODUÇÃO

A construção de represas foi iniciada para suprir a demanda crescente de energia elétrica para empresas e a grande demanda de água resultante do aumento demográfico ao longo do tempo. A construção de represas modifica os ecossistemas, e a qualidade da água é reflexo tanto dos impactos naturais quanto dos antropogênicos exercidos sobre bacia de drenagem (Barbosa *et al.*, 1999).

De acordo com Štěpánek (1980), os sistemas de reservatórios em cascata permitem gestão preventiva, contínua e operacional da qualidade da água, em contraste da situação quando é um único reservatório que pode ser, em geral, mais suscetível à eutrofização em uma área densamente povoada. Gestão preventiva refere-se a evitar a formação de condições hipertróficas nos reservatórios, manipulando-se os processos que contribuem para sua autopurificação. O princípio do sistema em cascata envolve contenção serial do fluxo do rio e escoamento dentro de uma área de captação. Tal sistema deve resultar na melhoria do status trófico da água ao longo da rota da cascata.

O primeiro reservatório do sistema em cascata elimina os efeitos adversos à qualidade da água enquanto o último recebe, na maioria dos casos, água bruta pré-purificada. Štěpánek (1980) explicou que, além disso, o reservatório localizado à montante representa apenas um tanque de sedimentação, mas também um filtro biológico eficaz que detém a maior parte da carga de poluentes da área de captação. A plena exploração da intensidade dos processos biológicos (especialmente dos processos de produção primária e secundária e de degradação e redução) no nível mais elevado da cascata deve diminuir as concentrações de nutrientes (incluindo nitrogênio, fósforo e carbono) na água e, assim, reduzir o carregamento dos reservatórios inferiores. Somente ao redor do reservatório terminal será necessário proteger a qualidade da água.

Segundo Štěpánek (1980), a eliminação de fósforo depende de fatores ambientais e climáticos, da área do reservatório, de sua profundidade média e da oferta de fósforo da bacia. A retenção de fósforo em um reservatório pode chegar a 80% ou mais (Štěpánek & Červenka, 1974), como

observou Fiala (1972) nas águas de um afluente no Reservatório de Jesenice (República Tcheca), onde a eliminação do fósforo foi de 96%. Comprova-se assim a redução da área de captação “funcional” de reservatórios que recebem uma proporção do seu influxo de outros reservatórios superiores.

No segundo reservatório da cascata, a qualidade requerida da água deve ser mantida por processos biológicos controlados como, por exemplo, pela criação de peixes, supressão preventiva do estabelecimento de monocultivos de cianobactérias ou de algas ou pela eliminação de elementos biogênicos limitantes. A qualidade da água neste nível da cascata já é do tipo mesotrófico, ao passo que nas camadas seguintes do reservatório não devem ocorrer desoxigenação nem outros fenômenos indesejáveis. A seleção automática para retirada da camada mais adequada neste reservatório deve também salvaguardar a qualidade da água do terceiro reservatório.

Estudos de ecologia de reservatórios do Estado de São Paulo tiveram início em 1976, por José Galizia Tundisi. Assim, o projeto “Tipologia dos reservatórios do Estado de São Paulo” coordenado em 1979 pelo referido autor, deu ênfase às características limnológicas e biológicas de 52 reservatórios do Estado. Dentro deste projeto, no capítulo dedicado aos reservatórios do sudeste do Estado de São Paulo, foram estudadas e comparadas pela primeira vez 17 represas, nove das quais pertencentes à sub-bacia do rio Tietê, dois à bacia do rio Paranapanema, outros dois à bacia do rio Paraíba do Sul e quatro à bacia do Ribeira de Iguape. Nesta última bacia, os corpos d’água estudados estão distribuídos ao longo do curso do rio Juquiá Guaçu e foram os seguintes: Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça, Alecrim e Serraria, classificados oligotróficos. Segundo os métodos utilizados no referido projeto, o local de amostragem foi predeterminado e situado onde a camada d’água apresentou maior profundidade; e em duas épocas do ano, ou seja, no período chuvoso-quente e no de estiagem-frio (Maier & Takino, 1985).

Segundo Maier (1985), as represas em série são polimícticas, ou seja, apresentam mistura da coluna d’água várias vezes por ano. Além disso, apresentam estratificação incipiente, isto é, um processo diurno. O período de circulação (mistura) ocorreu em junho e julho em Cachoeira do França e Cachoeira da Fumaça, e em Serraria no mês mais frio em (julho). Na tabela 1 são apresentadas algumas variáveis estudadas nas represas em cascata no ano 1979.

Tabela 1. Algumas características físicas, químicas e biológicas das represas interligadas em série (Maier & Takino 1985). m: mínimo, m+: máximo, M: mediana, M+: média. S: transparência Secchi (m), T: temperatura (°C), OD: oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), CE: condutividade elétrica (μS cm⁻¹), pH: potencial hidrogeniônico, Prof: profundidade (m), clo-a: clorofila a, NT: nitrogênio total, PT: fósforo total.

	S	T	OD	CE	MS	pH	Prof	Clo-a	NT	PT
	m-m ⁺	M	M	M	M	m-m ⁺	M	M ⁺	M	M
França	2,2-2,9	19,4	7,11	20	4,4	6,0-7,6	20	40,9	80	4,5
Fumaça	2,3-3,5	20	7,68	20	3	6,1-8,2	20	32,3	145	3,7
Serraria	1,8-3,4	20	6,1	24	2,3	6,1-8,6	23	44,41	83	10,6

A formação geológica que contém as represas e suas respectivas bacias de drenagem é de rochas cristalinas (Bistrichi, 1981), as quais são 50% ígneas e 50% metamórficas. O exemplo mais comum de rocha magmática plutônica, intrusiva ou cristalina é o granito, composto por três minerais principais: o **quartzo**, o **feldspato** e a **mica**. O quartzo possui estrutura cristalina trigonal composta por tetraedros de sílica (dóxido de silício, SiO₂); o feldspato são silicatos contendo proporções de cálcio, potássio e sódio; e a mica um grupo de filossilicatos, ou seja, um grupo de silicatos complexos contendo K, Mg, Fe e Al.

Apesar disso, os reservatórios foram considerados pobres em íons de sódio, potássio, cálcio, magnésio, sulfato e cloreto, como também pobres em CO₂, nitrogênio, fósforo e sílica. Segundo Maier (1985), a pobreza está, provavelmente e pelo menos em parte, relacionada à escassez de cálcio, pois segundo Cole (1979), este íon parece ter importante papel na mineralização de substâncias orgânicas. Sua escassez impede parcialmente, a ação bacteriana retardando a degradação da matéria orgânica e dificultando uma reciclagem normal.

Além desse estudo limnológico e outros biológicos com base no fitoplâncton (Xavier *et al.*, 1985), no zooplâncton (Sendacz *et al.*, 1985) e no bentos, Sant'Anna *et al.* (1988) foi o inventário taxonômico dos gêneros de algas e cianobactérias que ocorriam na represa Serraria.

O Plano de Manejo do Parque Estadual de Jurupará (2008) é um dos registros mais ou menos recente das usinas hidrelétricas da CBA, Companhia Brasileira de Alumínio, localizadas nos limites dos parques em que jazem os reservatórios Jurupará, Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Barra.

Ultimamente, os estudos de represas têm evoluído para explicar comportamentos de sistemas conectados e sua implicação na biota e sua estrutura e para apontar indicadores biológicos para o controle da qualidade ecológica da água. No Brasil, os cursos dos maiores rios nas regiões norte (rio

Amazonas), nordeste (rio de Contas, rio São Francisco), sudeste (rio Tietê, rio Paranapanema) e sul (rio Paraná) vêm sendo aproveitados para suprir a grande demanda de água nas localidades menos favorecidas com tal recurso (Tundisi *et al.*, 2003) e aproveitados em forma de cascata.

No Estado de São Paulo, tais estudos estão concentrados em reservatórios da bacia do rio Tietê (Barbosa *et al.*, 1999; Padisák *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2005; Rodgher *et al.*, 2005; Santana *et al.*, 2017) e do rio Paranapanema (Felisberto & Rodrigues, 2005; Ferrareze & Nogueira, 2006; Nogueira *et al.*, 2006; Nogueira *et al.*, 2010; Fontana & Bicudo, 2009, 2012). No sistema Cantareira, Gemelgo *et al.* (2009) estudaram os reservatórios Billings e Guarapiranga.

Na bacia do rio Ribeira do Iguaçu, o estudo de Marquadt (2017) é um dos mais recentes e examinou o conjunto de cinco represas da sub-bacia do rio Juquiá Guaçu, com base nas diatomáceas do sedimento superficial. O objetivo da pesquisa foi identificar indicadores biológicos para programas de monitoramento da qualidade da água. Nessa investigação, foram estudadas três represas em semicontinuidade sobre o rio Juquiá Guaçu, quais sejam: Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria, cujo potencial hidrelétrico é destinado às empresas de alumínio sob a direção da CBA.

Consequentemente, o intuito da presente pesquisa foi caracterizar as variações das condições limnológicas de três reservatórios em cascata ao longo do rio Juquiá Guaçu, contribuindo para projeção de estratégias de conservação e monitoramento de represas e lagos no país.

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Os reservatórios em cascata estudados, Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria, estão distribuídos ao longo do curso do rio Juquiá Guaçu, operadas pela CBA, Companhia Brasileira de Alumínio.

A figura 1 mostra o mapa do Estado de São Paulo, o percurso de rio Juquiá Guaçu e os reservatórios construídos em cascata e a tabela 2 apresenta a data de amostragem no verão e no inverno, as coordenadas geográficas de cada local de amostragem nos reservatórios e as profundidades atingidas em cada período de amostragem.

De acordo com a CETESB existe entre os locais de monitoramento da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores instalada em 1974, um de amostragem (JUQI00800) no rio Juquiá Guaçu, instalado em 2001 e localizado à montante do reservatório Cachoeira do França (fig. 1), mais especificamente em Juitiba, na altura do km 329 da Rodovia BR-116, portanto, na área de abrangência do PEJU. Por conseguinte, relatórios da qualidade da água com base no IET, IQA e IAP, entre outros, vem sendo preparados anualmente pela CETESB.

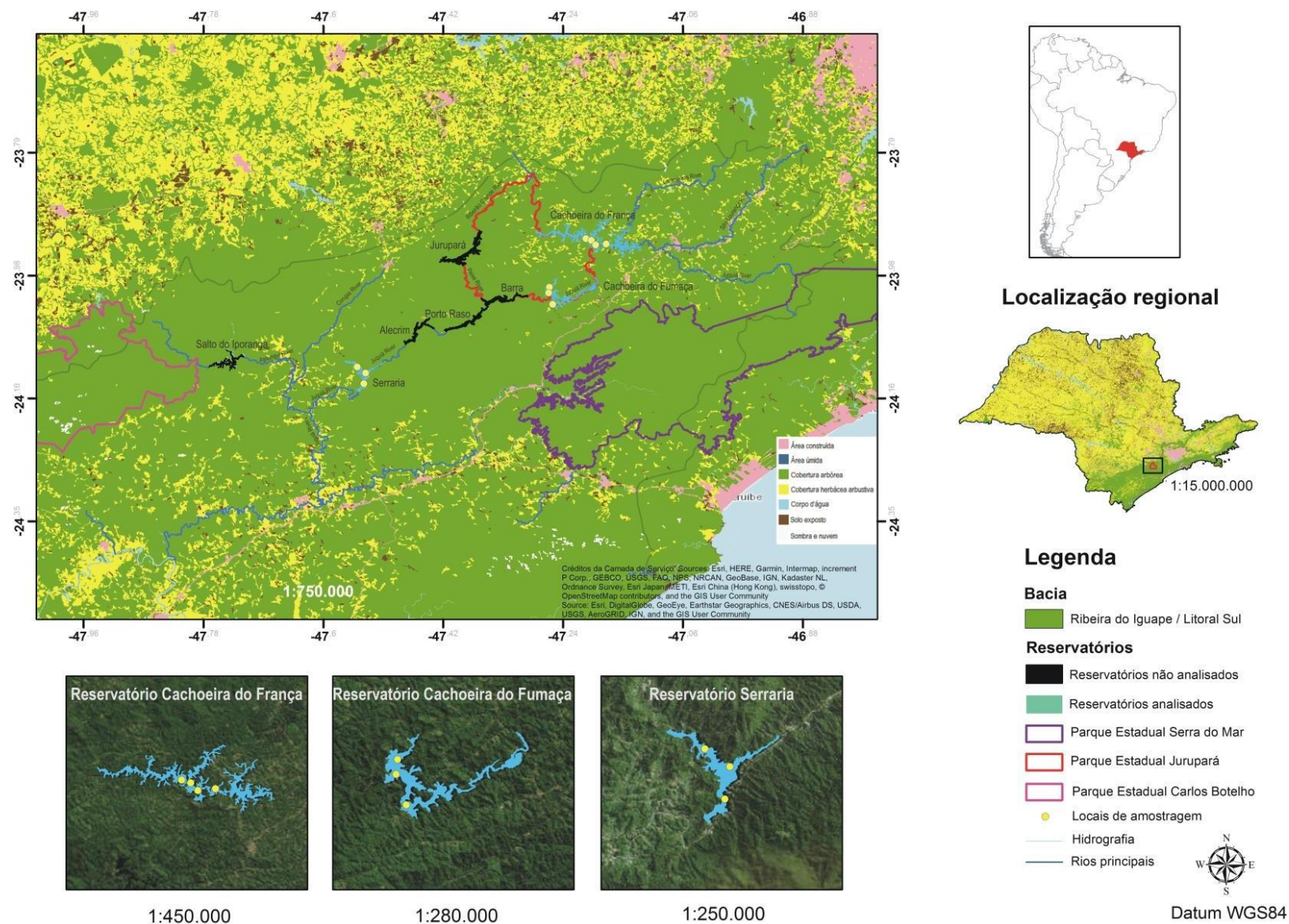


Figura 1. Localização dos reservatórios em cascata na sub-bacia do rio Juquiá Guaçu, bacia Ribeira do Iguape / Litoral Sul e uso e ocupação do solo.

Tabela 2. Data de amostragem, coordenadas geográficas dos locais de amostragem em cada reservatório e profundidades em cada reservatório nas épocas de verão e inverno.

DATA DE AMOSTRAGEM		COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PROFUNDIDADE (m)						
verão	inverno	CACHOEIRA DO FRANÇA		verão			inverno			
30/01/2014	05/08/2014		SUL	OESTE	S	M	F	S	M	F
		P1	23°55'28.7"	47°09'25.9"	0,1	5	11	0,1	5	10
		P2	23°55'51.8"	47°09'27.0"	0,1	5	10	0,1	5	11
		P3	23°55'54.4"	47°10'34.6"	0,1	7	14	0,1	7	15
		P4	23°55'58.6"	47°11'31.6"	0,1	6	13	0,1	7	14

DATA DE AMOSTRAGEM		COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PROFUNDIDADE (m)						
verão	inverno	CACHOEIRA DA FUMAÇA		verão			inverno			
06/02/2014	04/08/2014		SUL	OESTE	S	M	F	S	M	F
		P1	24°01'19.5"	47°15'22.9"	0,1	11	22	0,1	12	25
		P2	24°00'13.8"	47°15'48.1"	0,1	15	29	0,1	17	36
		P3	24°01'19.5"	47°15'22.9"	0,1	10	19,5	0,1	12	25

DATA DE AMOSTRAGEM		COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PROFUNDIDADE (m)						
verão	inverno	SERRARIA		verão			inverno			
04/02/2014	21/07/2014		SUL	OESTE	S	M	F	S	M	F
		P1	24°06'53.28"	47°33'6.30"	0,1	10,5	21	0,1	10	20
		P2	24°07'33.6"	47°32'13.8"	0,1	15	29,5	0,1	13	26
		P3	24°08'46.8"	47°32'32.3"	0,1	14,5	29	0,1	15	30

2.2. Variáveis climáticas

Os dados das variáveis climáticas do ano 2014 foram obtidos das estações meteorológicas mais próximas dos locais de amostragem. Tais dados incluíram precipitação (mm), temperatura média (°C) vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) (tab. 3). Embora não seja uma variável climática, dados sobre vazão média mensal também foram incluídos nessa tabela.

Tabela 3. Dados de precipitação (mm), temperatura média (°C) e vazão (m³ s⁻¹) em cada mês do ano 2014 nos três reservatórios em estudo.

	mês	Precipitação (mm)	Temperatura média (°C)	Vazão (m ³ s ⁻¹)
FRANÇA	jan	150,0	31,5	22,84
	fev	341,75	31,0	24,98
	mar	195,25	26,5	20,285
	abr	93,75	26,5	21,17
	mai	109,25	19,5	19,025
	jun	92,75	19,0	19,425
	jul	49,5	20,5	17,68
	ago	78,25	21,0	18,33
	set	124,75	22,5	19,365
	out	64,25	23,5	13,745
	nov	125,75	22,0	12,53
	dez	231,5	26,5	15,1
	total	1656,75		
	mês	Precipitação (mm)	Temperatura média (°C)	Vazão (m ³ s ⁻¹)
FUMAÇA	jan	263,5	32,0	30,145
	fev	472,0	32,0	25,19
	mar	194,75	27,5	19,96
	abr	141,0	22,0	23,195
	mai	116,25	21,5	23,085
	jun	106,5	18,0	23,08
	jul	52,0	16,5	24,05
	ago	72,25	19,0	26,735
	set	144,25	22,5	27,84
	out	64,5	25,5	19,7
	nov	177,5	25,0	15,415
	dez	275,75	29,0	14,44
	total	2080,75		
	mês	Precipitação (mm)	Temperatura média (°C)	Vazão (m ³ s ⁻¹)
SERRARIA	jan	297,0	29,0	33,10
	fev	521,5	29,0	31,25
	mar	162,5	28,0	25,28
	abr	113,25	24,0	27,86
	mai	100,5	22,5	26,96
	jun	120,6	20,5	27,25
	jul	79,2	20,0	26,48
	ago	76,4	17,5	29,36
	set	143,2	24,0	31,85
	out	38,8	26,0	19,96
	nov	160,2	25,0	18,59
	dez	260,9	28,45	19,34
	total	2074,05		

2.3. Delineamento amostral e coleta do material

As estações de amostragem consideradas em cada reservatório foram: (1) montante; (2) localidade mais ou menos central no reservatório e (3) perto da barragem. Desta forma, estabeleceu-se um eixo longitudinal; e em três profundidades, subsuperfície, metade da coluna de água e 1 m acima do fundo, para estabelecer o eixo vertical (fig. 8, tab. 2).

A amostragem na coluna d'água foi definida, primordialmente, pelos regimes de luz e de mistura, conforme protocolo estabelecido pelo projeto temático “AcquaSed” em que se insere a atual proposta.

3.2.1. Variáveis ambientais abióticas

Os perfis verticais de condutividade elétrica, pH e temperatura foram obtidos ‘*in situ*’ a cada 0,50 m de profundidade até a estabilização do perfil térmico e, a partir deste ponto, a cada metro até o fundo, sempre utilizando sonda multiparâmetro. A transparência da água e a profundidade da zona eufótica foram determinadas a partir da profundidade (m) de desaparecimento do disco de Secchi.

As amostras de água foram transportadas refrigeradas, em caixa térmica, até o laboratório e processadas no mesmo dia da coleta. As frações totais de nitrogênio e fósforo e a concentração de clorofila *a* foram processadas, no máximo, após 15 dias do dia da amostragem.

As variáveis ambientais abióticas incluíram: oxigênio dissolvido (método de Winkler modificado por Golterman & Clymo, 1969), alcalinidade (Golterman & Clymo, 1969), nitrato e nitrito (Mackereth *et al.*, 1978), nitrogênio amoniacal (Solorzano, 1969), fósforo solúvel reativo e fósforo total dissolvido (Strickland & Parsons, 1960), nitrogênio total e fósforo total (Valderrama, 1981) e sílica reativa solúvel (Golterman *et al.*, 1978). As amostras para análise da fração dissolvida dos nutrientes foram filtradas utilizando filtro Whatman GF/F em baixa pressão (< 0,50 atm). A clorofila *a* (corrigida da feofitina) foi determinada pelo método de extração com etanol 90% aquecido durante 5 min, sem maceração (Sartory & Grobbelaar, 1984) e os cálculos baseados em Golterman *et al.* (1978) e Wetzel & Likens (1991).

A resolução CONAMA 357/2005 que trata da qualidade dos corpos hídricos superficiais, serviu de marco de referência das medições químicas nesta pesquisa, desde que pretende utilizar a água do reservatório Cachoeira do França para suprir a demanda de água da RMSP. Os limites de referência utilizados foram os das águas de abastecimento tipo I (tab. 4) destinadas: (1) ao consumo humano, com desinfecção; (2) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e (3) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Tabela 4. Valores máximos permitidos de alguns parâmetros utilizados para águas de abastecimento tipo I (Resolução CONAMA 357/2005).

VARIÁVEL	VALOR MÁXIMO
Clorofila <i>a</i>	10 µg L ⁻¹
VARIÁVEIS INORGÂNICAS	VALOR MÁXIMO
Fósforo total (ambiente lêntico)	0,020 mg L ⁻¹ P
Fósforo total (ambiente intermediário com tempo de residência entre 2 e 40 dias e tributários diretos de ambiente lêntico)	0,025 mg L ⁻¹ P
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg L ⁻¹ P
Nitrato	10 mg L ⁻¹ N
Nitrito	1,0 mg L ⁻¹ N
Nitrogênio amoniacal total	3,7 mg L ⁻¹ N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg L ⁻¹ N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg L ⁻¹ N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg L ⁻¹ N, para pH > 8,5
OD	em qualquer amostra não inferior a 6 mg L ⁻¹ O ₂
VARIÁVEIS FÍSICAS	VALOR MÁXIMO
pH	6,0-9,0
Turbidez	até 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT)

2.4. Análise numérica dos dados

A partir das análises abióticas foi determinado o seguinte para cada reservatório:

- Profundidade da zona eufótica (Z_{eu}) calculada multiplicando por 2,7 o valor da profundidade obtido com o disco de Secchi (Cole, 1983).
- Zona de mistura: calculada com base nos dados de temperatura (Z_{mix} , a camada que se estende desde a superfície até onde o gradiente de densidade é $\geq 0,02 \text{ kg m}^{-3}$) (Reynolds, 1984). A zona de mistura foi utilizada para determinar a disponibilidade de luz para a fotossíntese (razão $Z_{eu}:Z_{mix}$).
- Resistência térmica relativa (RTR) calculada usando a razão entre a densidade da água nas camadas a 4°C e 5°C (Schäfer, 1985; Dadon, 1995).
- Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004). Em cada reservatório, o IET do período de amostragem (verão ou inverno) foi ponderado a partir da média dos valores de IET obtido em cada local de amostragem dentro do reservatório. O IET médio anual de cada reservatório foi ponderado a partir da média do IET obtida para cada período.
- Relação NT:PT com base em Redfield (1958). Quando a relação NT:PT é < 16 ocorre limitação por nitrogênio. Quando a relação NT:PT é > 16 ocorre limitação por fósforo.

- Limitação de luz para a fotossíntese pelo fitoplâncton foi determinada pela razão $Z_{eu}:Z_{mix}$. Quando a razão é maior a 1, existe alta disponibilidade de luz (Jensen *et al.*, 1994; Naselli-Flores, 2000)

2.5. Análise estatística

Para a análise das matrizes abióticas foi empregada análise de componentes principais (PCA) com os dados transformados ($\log + 1$) usando matriz de covariância. Das 18 variáveis estudadas foram eliminadas as colineares, resultando em um conjunto de 13 variáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variáveis climáticas

Observaram-se temperaturas típicas para a região, com precipitação ao longo do ano todo, sem demonstração de seca, como também aconteceu na capital paulista em 2014.

3.2. Locais de amostragem

Na figura 2, estão esquematizados os locais de amostragem nos reservatórios. Cachoeira do França incluiu quatro locais de amostragem distribuídos da seguinte maneira: 1 e 2 na desembocadura de tributário, 3 perto da barragem e 4 perto da entrada do tributário principal.

Cachoeira da Fumaça incluiu três locais de amostragem, sendo 1 no local mais distante do percurso do rio, 2 perto da barragem e 3 continuação do tributário principal.

Serraria igualmente incluiu três locais de amostragem, sendo 1 o local mais distante do tributário principal, 2 continuação do tributário principal e 3 perto da barragem.

A tabela 5 mostra as variações na profundidade máxima (F) dos locais em cada reservatório nos dois períodos de amostragem. Consequentemente, com a variação da profundidade máxima entre esses períodos ocorreu variação da profundidade (M) correspondente à metade da profundidade da coluna d'água.

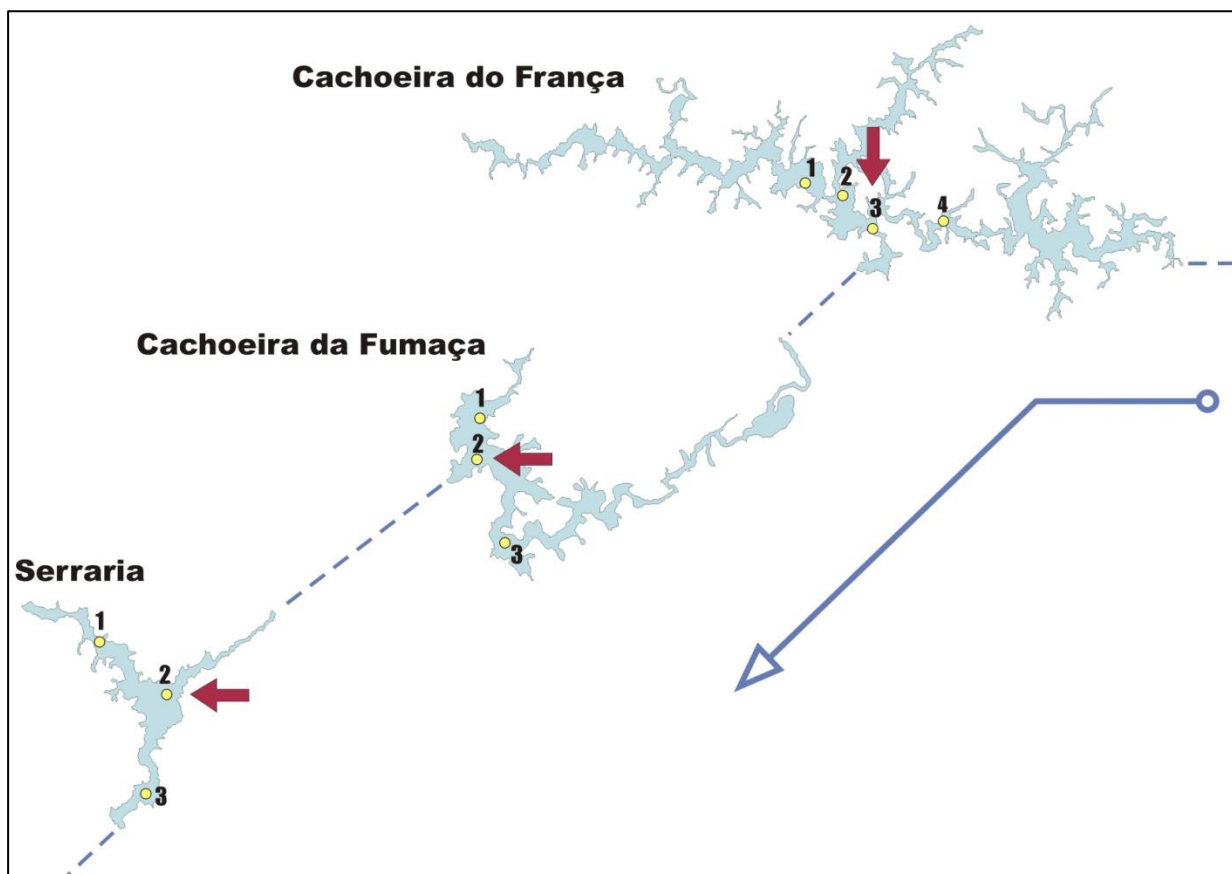


Figura 2. Ordenação dos locais de amostragem nos reservatórios estudados com base na profundidade. Setas em vermelho indicam o local mais profundo. Linha tracejada corresponde à continuação do rio Juquiá Guaçu, desde a barragem. Seta azul indica a direção de fluxo do rio Juquiá Guaçu.

Tabela 5. Variação da profundidade (m) nos períodos de amostragem em cada local de coleta. M: metade da coluna d'água, F: 1 m acima do fundo.

		LOCAL 1		LOCAL 2		LOCAL 3		LOCAL 4	
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
FRANÇA	M	5	5	5	5	7	7	6	7
	F	11	10	10	11	14	15	13	14
FUMAÇA	M	11	12	15	17	10	12	---	---
	F	22	25	29	36	19,5	25	---	---
SERRARIA	M	10,5	10	15	13	14,5	15	---	---
	F	21	20	29,5	26	29	30	---	---

3.3. Zona eufótica e perfil térmico

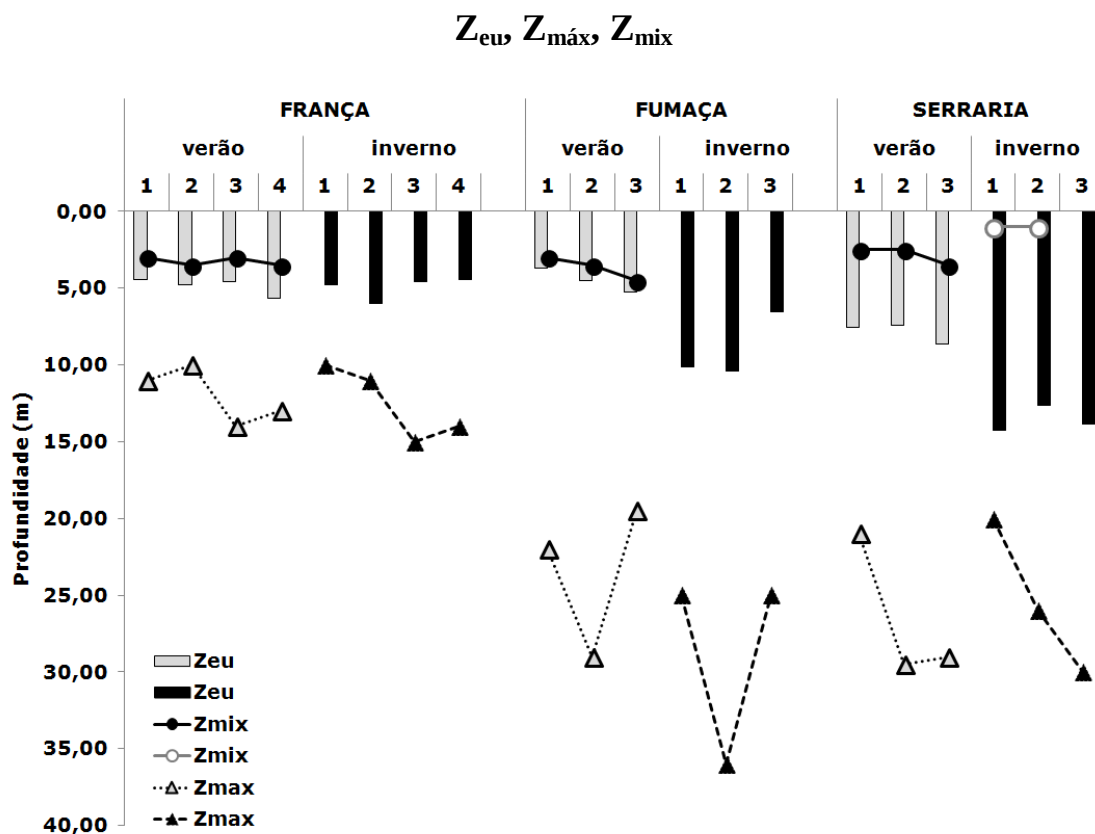


Figura 3. Zonas eufótica (Z_{eu}), de mistura (Z_{mis}) e da profundidade máxima ($Z_{máx}$) em cada reservatório estudado.

Cachoeira da Fumaça apresentou a maior profundidade máxima durante o inverno (estação de amostragem 2) e o reservatório Serraria atingiu a maior profundidade da Z_{eu} nessa mesma época (fig. 6).

A profundidade da Z_{eu} foi muito semelhante tanto no inverno quanto no verão no caso do reservatório Cachoeira do França. Cachoeira da Fumaça e Serraria apresentaram, todavia, diferenças marcantes em ambas as épocas de coleta, sendo que a Z_{eu} mais profunda foi detectada no inverno no reservatório Serraria.

Comparando os três reservatórios ora estudados, vê-se que a Z_{eu} foi maior durante o inverno e mais profunda nos locais de amostragem mais afastados da barragem e do curso do rio Juquiá Guaçu (locais de amostragem de 2 de Cachoeira do França e local 1 de Cachoeira da Fumaça e Serraria, tab. 6). Além do mais, a luz atingiu quase o fundo no reservatório Serraria, especificamente no local 1 (extensa Z_{eu}) que é, justamente, o mais afastado da barragem e do curso do rio.

As maiores Z_{eu} no reservatório Serraria (fig. 3) podem ser explicadas pelo fato do sistema

possuir baixa turbidez e baixo teor de clorofila *a* na coluna d'água, o que favoreceu a penetração da radiação luminosa até maiores profundidades. Por outra parte, o referido reservatório apresentou fósforo como um fator limitante do crescimento fitoplanctônico, uma vez que a razão atômica N:P é > 16 (Redfield, 1958) (fig. 29).

A zona eufótica ou zona limnética é o volume d'água onde a taxa de fotossíntese do fitoplâncton é maior do que sua taxa de respiração. Esta zona é importante pelo fato do fitoplâncton estar concentrado nessa zona; eles são os produtores primários, isto é, os organismos que usam a energia solar como fonte de alimento, do qual dependem os outros organismos da rede alimentar.

A espessura da zona eufótica varia com a intensidade da luz solar como uma função do período sazonal e da latitude, como também do grau de turbidez da água.

Zona de mistura (Z_{mix}) foi detectada apenas no verão nos três reservatórios. Embora o reservatório de Serraria apresentasse tal zona durante o inverno, esta foi superficial e, por isso, não foi considerada, desde que o referido corpo d'água não estratificou totalmente, como aconteceu durante o verão.

A zona de mistura foi utilizada para determinar a disponibilidade de luz para a fotossíntese (razão $Z_{eu} : Z_{mix}$).

Tabela 6. Valores da transparência Secchi (T_{Secchi}), zona eufótica (Z_{eu}), profundidade máxima ($Z_{\text{máx}}$), profundidade de mistura (Z_{mix}) em cada reservatório estudado, nos diferentes locais de amostragem (L.A.) e no período de chuva e seca do ano 2014.

Represa	Período	L.A.	Secchi	Z_{eu}	$Z_{\text{máx}}$	Z_{mix}
CACHOEIRA DO FRANÇA	verão	1	1,64	4,43	11	3,0
		2	1,77	4,78	10	3,5
		3	1,69	4,56	14	3,0
		4	2,1	5,67	13	3,5
	inverno	1	1,76	4,75	10	
		2	2,22	5,99	11	
		3	1,7	4,59	15	
		4	1,64	4,43	14	
CACHOEIRA DA FUMAÇA	verão	1	1,38	3,73	22	3,0
		2	1,67	4,51	29	3,5
		3	1,94	5,24	19,5	4,5
	inverno	1	3,76	10,15	25	
		2	3,86	10,42	36	
		3	2,43	6,56	25	
SERRARIA	verão	1	2,8	7,56	21	2,5
		2	2,74	7,40	29,5	2,5
		3	3,2	8,64	29	3,5
	inverno	1	5,28	14,26	20	
		2	4,68	12,64	26	
		3	5,12	13,82	30	

Os gradientes térmicos foram muito pronunciados durante o verão nos três reservatórios (fig. 4-6) e geraram elevados valores de Resistência Térmica Relativa (RTR), indicando dificuldade na mistura vertical da coluna d'água devido às diferentes densidades dos estratos d'água e que resultou na estratificação térmica abaixo dos 3 m de profundidade.

De acordo com Tundisi *et al.* (1984), a estratificação térmica depende do padrão de mistura que depende, por sua vez, de vários outros fatores, entre os quais a profundidade do corpo d'água, a influência dos ventos e a altitude. Esta ideia foi complementada posteriormente por Ramírez (1989), quando indicou que os comportamentos térmico e químico de todos os reservatórios tropicais não são iguais e que cada um deles é influenciado por sua própria idade, área, volume, altura sobre o nível do mar e tempo de retenção hidráulica, fatores estes que afetam a qualidade da água.

No presente estudo, indicou-se que Cachoeira do França exibiu estratificação térmica e que esta foi mais acentuada nos locais 1 e 2 de amostragem, quais sejam, os locais mais rasos do reservatório. Cachoeira da Fumaça e Serraria, isto é, os reservatórios mais profundos apresentaram, entretanto, mais de uma estratificação diária na coluna d'água (pluriestratificados), sendo uma abaixo dos três primeiros metros e outra pouco mais abaixo dos 20 m, muito provavelmente associadas à maior profundidade desses reservatórios em relação ao de Cachoeira do França.

Segundo Kleerekoper (1939), a presença de duas descontinuidades térmicas é comum durante a estação quente e ocorre em curtos períodos.

Altos valores de RTR no fundo do sistema podem estar relacionados com os perfis de condutividade que apresentaram elevação de seus valores conforme aumentou a profundidade; e aos perfis de OD cuja concentração diminui da superfície para o fundo. Neste último caso, as baixas concentrações de O_2 com o aumento da profundidade podem estar relacionados com os processos de decomposição aeróbica que ocorrem na presença de matéria orgânica (em grandes quantidades na interface sedimento-água).

No inverno (julho-agosto), a tendência em todas as represas foi de uma maior homogeneidade da coluna d'água (baixas RTR), devido às densidades das diferentes camadas de água serem praticamente iguais e a energia eólica ter favorecido a mistura das camadas.

Segundo Lewis (1987) e Boehrer & Schultze (2008), a estratificação diária verificada em lagos tropicais é também induzida pela maior profundidade da coluna d'água no verão, já que este período é caracterizado por alta pluviosidade e pouca influência do vento.

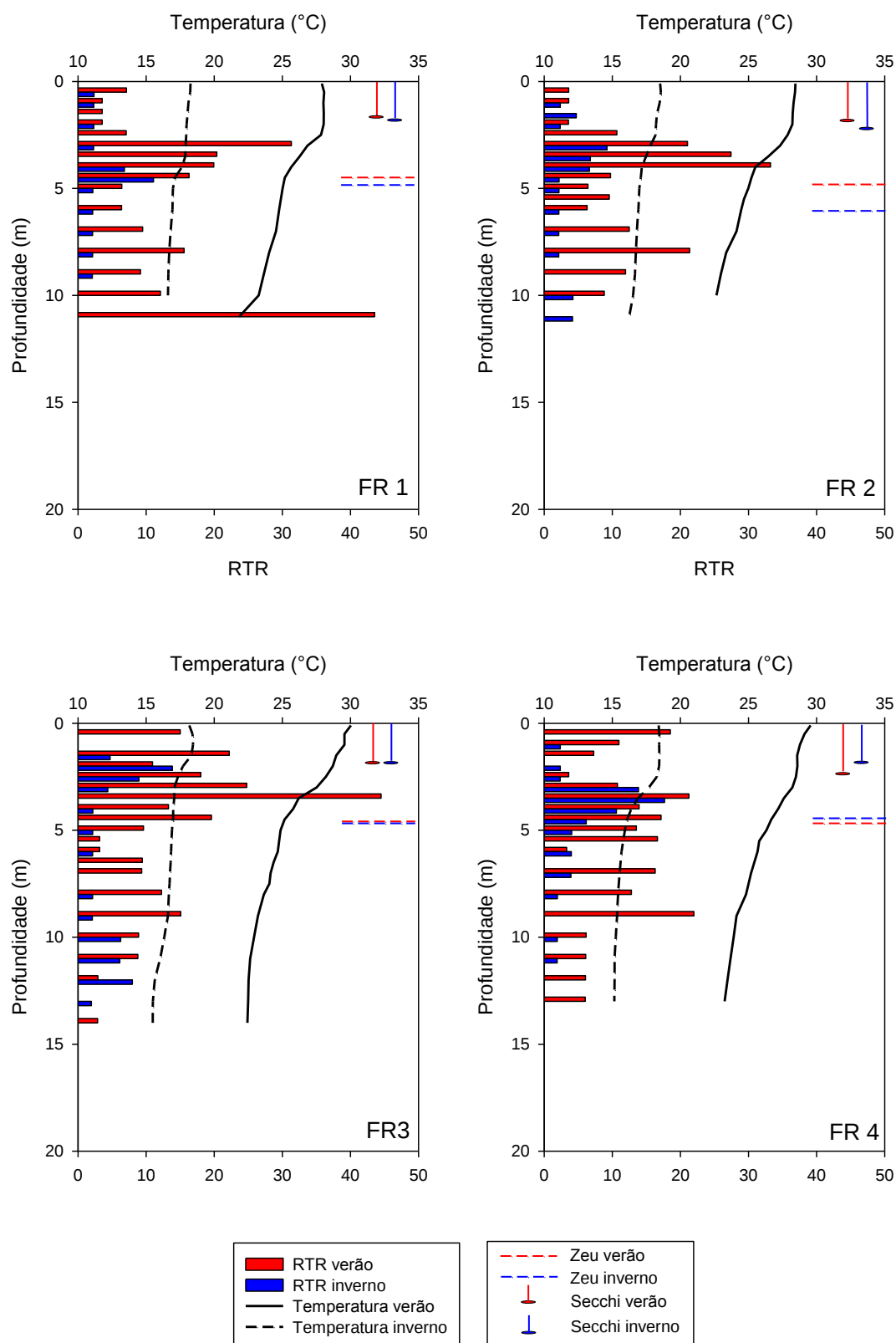


Figura 4. Perfil térmico, resistência térmica relativa (RTR), zona eufótica e transparência Secchi nos dois períodos de amostragem, verão e inverno, nos locais FR1, FR2, FR3, FR4 no reservatório Cachoeira do França.

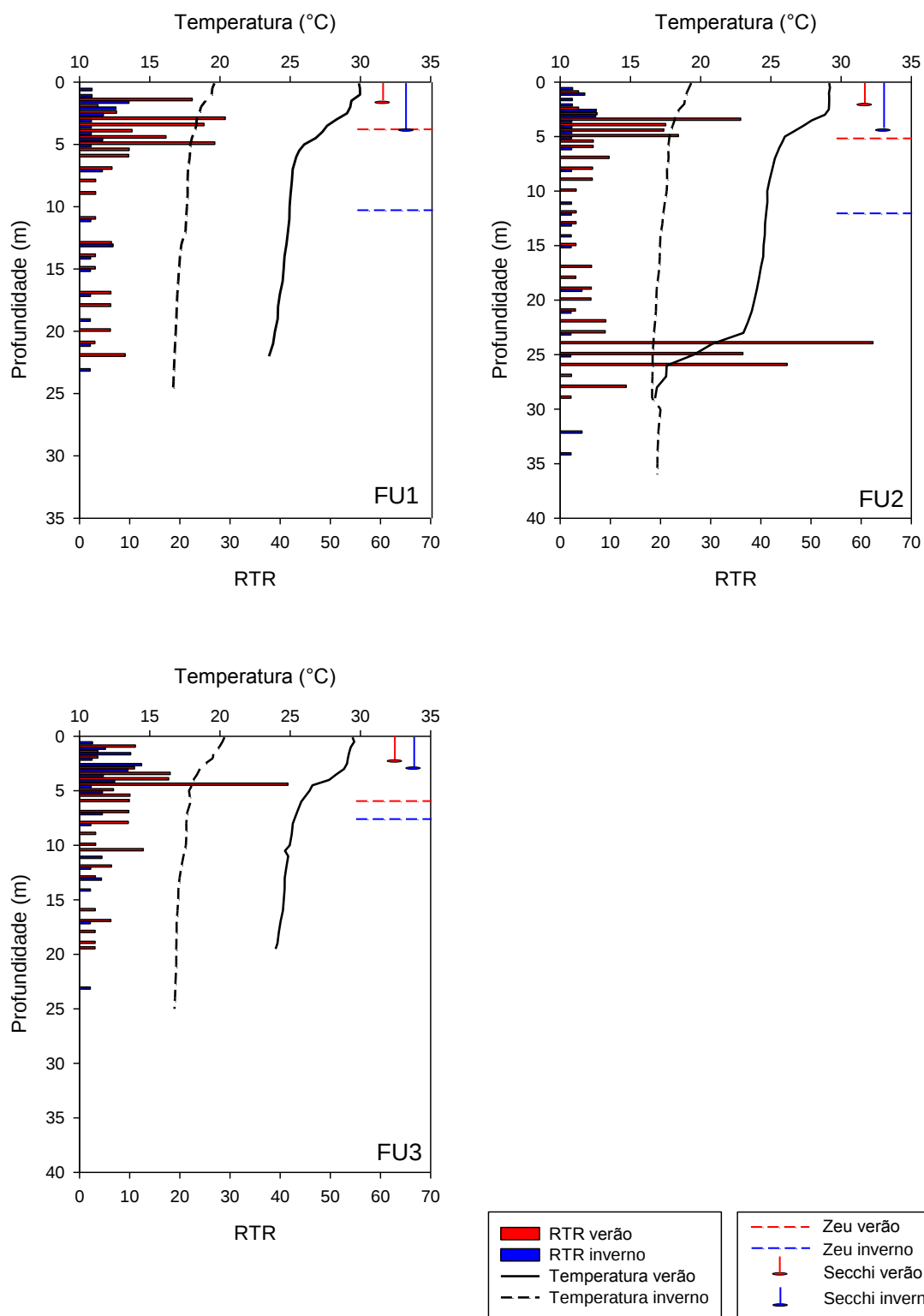


Figura 5. Perfil térmico, resistência térmica relativa (RTR), zona eufótica e transparência Secchi nos dois períodos de amostragem, verão e inverno, nos locais FU1, FU2, FU3 no reservatório Cachoeira do Fumaça.

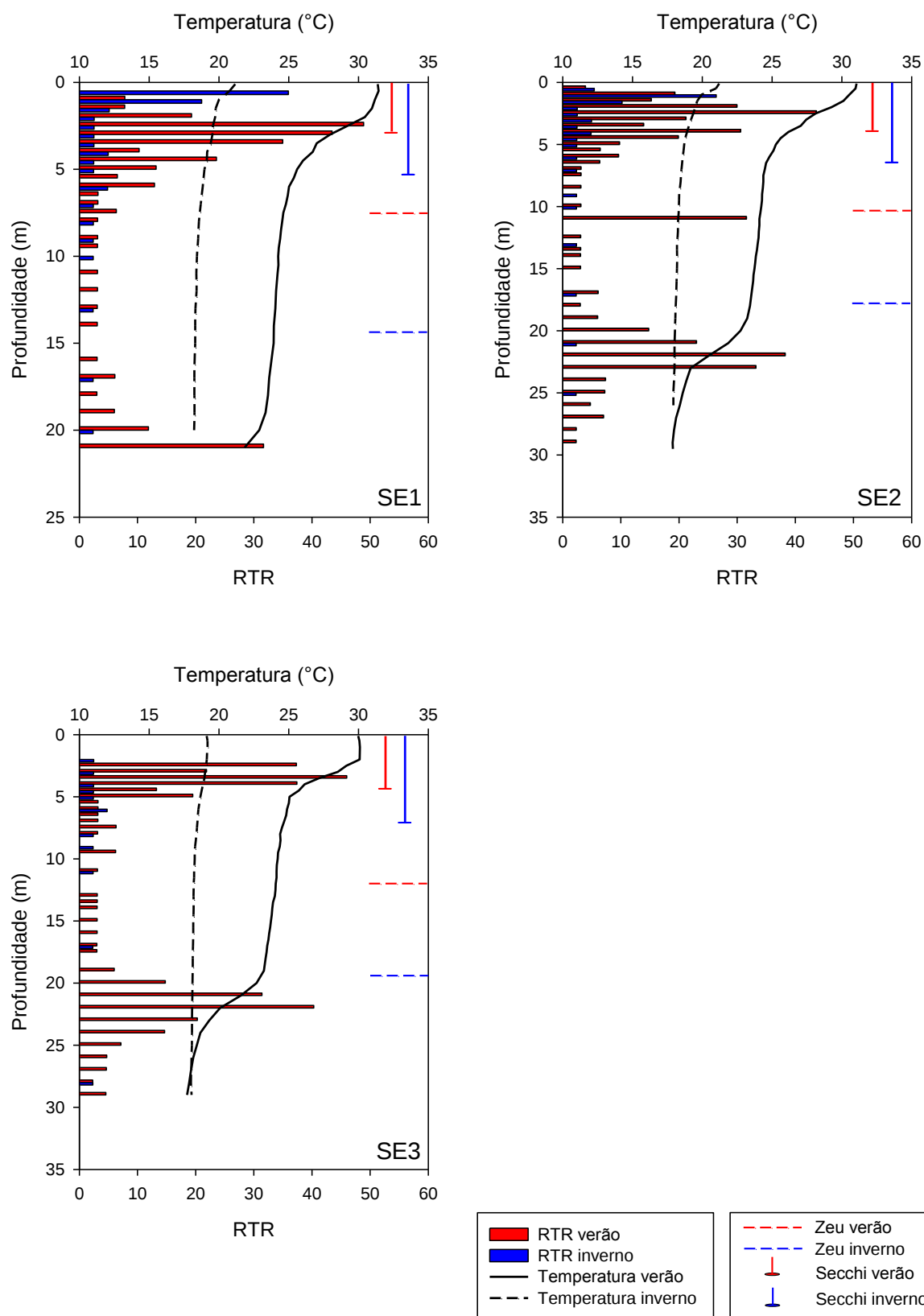


Figura 6. Perfil térmico, resistência térmica relativa (RTR), zona eufótica e transparência Secchi nos dois períodos de amostragem, verão e inverno, nos locais SE1, SE2, SE3 no reservatório Serraria.

3.4. Gases dissolvidos, condutividade elétrica e pH

O oxigênio dissolvido apresentou valores menores que 10 mg L^{-1} em toda a coluna d'água (fig. 7) em concordância com a resolução CONAMA 357/2005 para as águas de abastecimento público.

Observou-se também que as concentrações de O_2 diminuíram conforme aumentou a profundidade do sistema indicando, provavelmente, uma maior taxa fotossintética na superfície nos dois períodos de amostragem, porém, com valores mais altos no inverno. Houve também a tendência a um fundo anóxico nos três reservatórios, principalmente, durante o verão, associado à estratificação térmica da coluna d'água nessa época, que não permitiu distribuição vertical do oxigênio; além disso, o fundo anóxico pode estar também relacionado com os processos de decomposição aeróbica que ocorrem na presença da matéria orgânica (em grandes quantidades na interface sedimento-água). Segundo Lewis (1987) e Townsend (1999), as altas temperaturas da água e os maiores teores de matéria orgânica nos sistemas tropicais dão origem a elevados déficits de oxigênio na coluna d'água. Nesta pesquisa, as temperaturas da água não foram o suficientemente altas para provocar a anoxia do hipolímnio.

Por outra parte, as concentrações de OD no inverno foram mais uniformes, mostrando que o período de mistura favoreceu a distribuição vertical do oxigênio.

A concentração de OD é o resultado da interação de diferentes processos que tendem a aumentar ou diminuir sua quantidade. Janzen *et al.* (2008) apontaram a concentração de OD como um indicador primário da qualidade da água e quando seus valores são inferiores aos valores aceitáveis, pode-se afetar significativamente tanto a saúde do ecossistema aquático como também os múltiplos usos da água. Por um lado, a produção fotossintética e a re-areação atmosférica contribuem para o aumento da sua concentração e por outro, o consumo de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica e a respiração realizada no ecossistema aquático colaboram para sua redução.

Segundo Barbosa & Padisák (2002), a diminuição das concentrações de OD acompanhando as de clorofila *a* e a diminuição da luminosidade é um fenômeno típico de lagos oligo e mesotróficos. Este fato pode ser observado na figura 19, onde as concentrações de clorofila *a* diminuíram da superfície para o fundo do sistema, tanto no verão quanto no inverno, exceto no local 3 de Cachoeira da Fumaça, onde ocorreu um aumento, provavelmente devido a alguma fonte de aeração. Além disso, a luminosidade foi menor no verão (fig. 18), quando ocorreram os valores mais baixos de OD, sendo no epilímnio menores do que no hipolímnio nos reservatórios mais profundos.

Conforme Melp *et al.* (1998), podem ocorrer nos meses de verão níveis de OD perigosamente baixos, desde que as condições no sistema sejam quentes e calmas, somadas a um período de alta

atividade biológica. Segundo “The Water Planet Company”, em uma concentração menor do que $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, a taxa de crescimento é mínima. Estes valores foram observados nos hipolímnios dos três reservatórios, possivelmente indicando uma baixa biomassa de fitoplâncton.

Ghenetal (1972) e Wetzel (1975) concluíram que a concentração mínima necessária de OD para a realização dos processos de nitrificação, estritamente aeróbio, deve ser igual ou maior do que 1 mg L^{-1} . Tal processo não acontece, entretanto, quando o pH é inferior a 6,0. Seguindo essa linha de informação, muito provavelmente, não aconteceu nitrificação nos hipolímnios de Cachoeira da Fumaça e Serraria.

Com relação aos baixos valores de CO_2 no verão (fig. 8) em Cachoeira do França e nas camadas superficiais de Cachoeira da Fumaça e de Serraria, estes são possivelmente devidos às maiores taxas fotossintéticas que aumentam os valores do pH alterando o equilíbrio do carbonato.

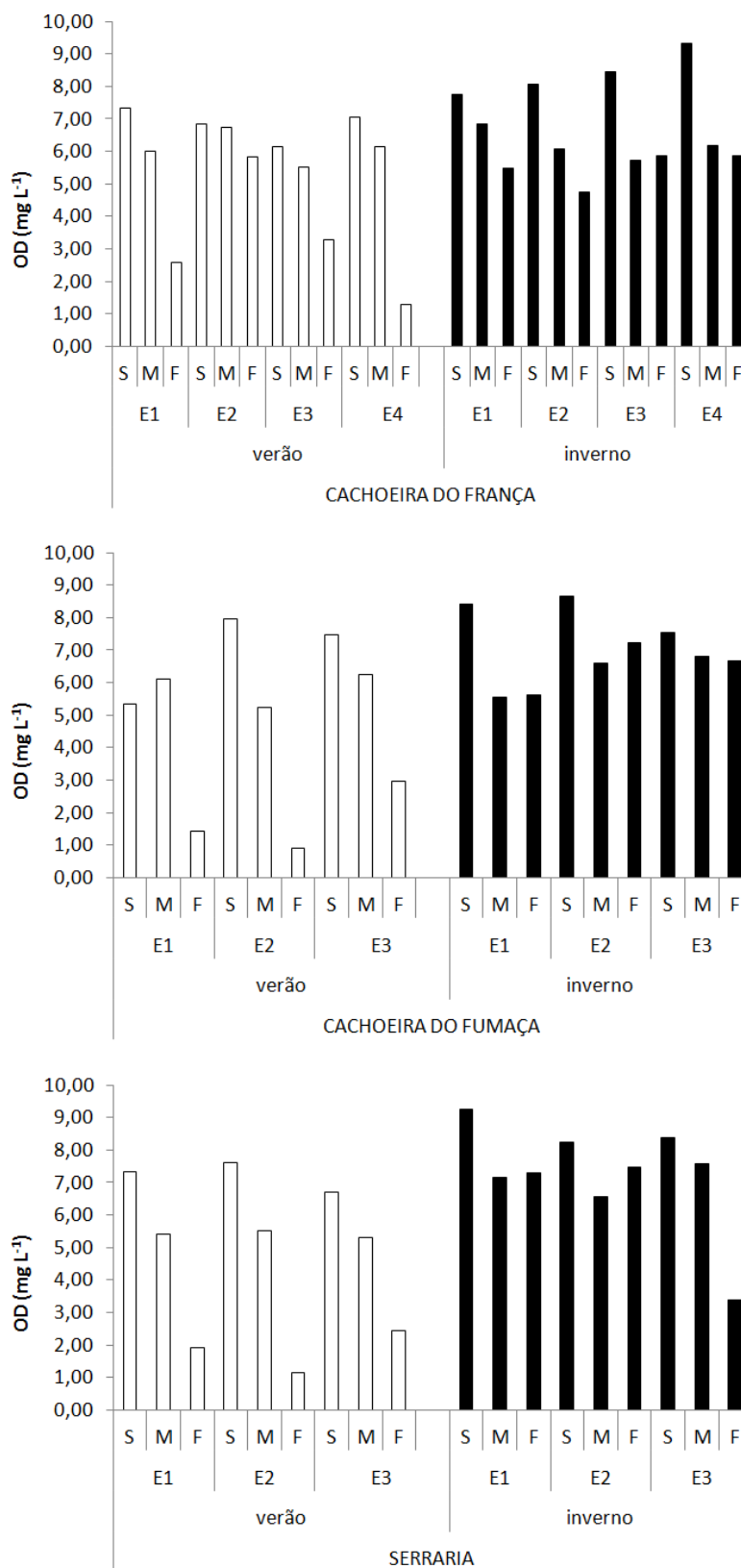


Figura 7. Oxigênio dissolvido (OD) nos três reservatórios estudados nos períodos de verão e inverno, em três profundidades (S: subsuperfície, M: meio e F: 1 m acima do fundo) e em diferentes locais de amostragem.

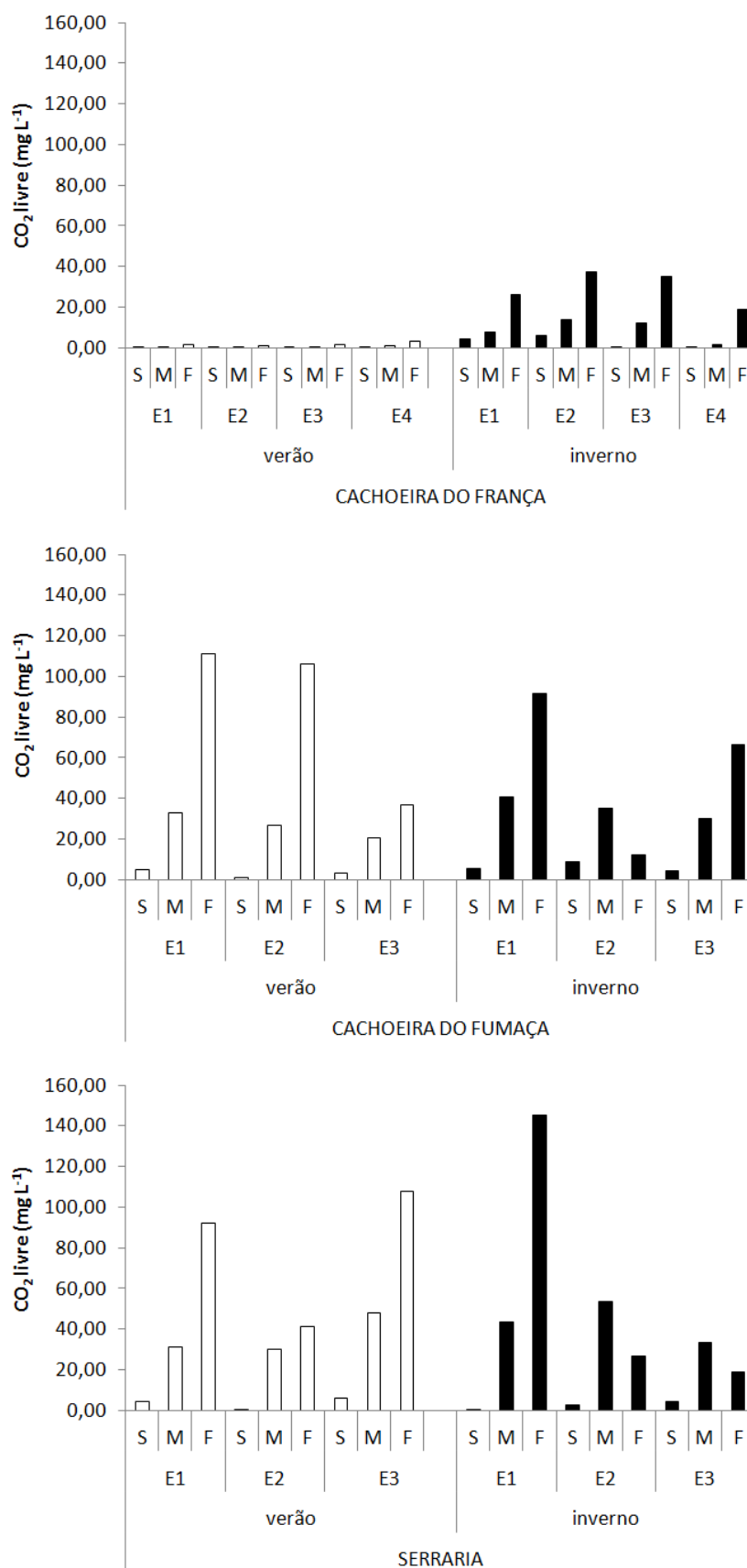


Figura 8. Concentrações de CO₂ livre em três profundidades (S: sub-superfície, M: meio, F: fundo) nos reservatórios em cascata nos períodos de verão e inverno do ano 2014.

Observou-se que a condutividade elétrica não variou significativamente durante o inverno nos três reservatórios estudados, mantendo-se ao redor dos $25 \mu\text{S cm}^{-1}$ (fig. 8). Contudo, foram observados no verão os maiores valores da variável no fundo dos três sistemas, principalmente, nos reservatórios Cachoeira do França e Serraria ($67 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $48 \mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente). Este comportamento foi inverso ao observado no perfil do OD, em que os menores valores foram medidos no fundo dos sistemas.

É consenso na literatura, que existe comumente relação entre condutividade elétrica e estratificação térmica da coluna d'água, devido aos íons liberados durante o verão no fundo dos reservatórios. Por exemplo, Ramírez (1996) verificou em um estudo nictemeral que pequenos aumentos na condutividade acontecem no fundo do sistema nas primeiras horas do dia, associados a momentos de estratificação da coluna d'água.

A sensibilidade da condutividade às mudanças térmicas também foi verificada na atual pesquisa. Muitas substâncias são dissolvidas na água, dissociam e formam espécies iônicas eletroativas contribuindo, desta forma, para a condutividade elétrica. Quanto maior a condutividade elétrica, maior é a quantidade de íons dissolvidos. Um fator importante na formação de íons é a temperatura da água, uma vez que a temperatura afeta a solubilidade das reações químicas e dos elementos dissolvidos. Geralmente, os incrementos na temperatura aumentam as taxas de reações químicas (Melp *et al.*, 1998).

Por uma parte, o CO_2 pode ser liberado através da decomposição da matéria orgânica no hipolímnio e dissolve na água formando íons carbonato que, conseqüentemente, aumentam a concentração de íons no hipolímnio e traduzem em aumentos na condutividade elétrica. Por outra parte, aumentos na concentração de CO_2 livre nas camadas inferiores do sistema (fig. 9) levam à diminuição do pH (fig. 10) devido à estratificação térmica, já que durante o verão a luz não penetra até o fundo do corpo d'água e as plantas não conseguem utilizá-lo na fotossíntese. No inverno, ao contrário, a inexistência de variações significativas na condutividade deveu-se à não estratificação da coluna d'água.

Segundo CETESB (2014), a condutividade elétrica é uma medida indireta da concentração de poluentes, já que indica a quantidade de sais presentes na coluna d'água e considera que níveis superiores a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados. No presente estudo, os valores de condutividade elétrica foram inferiores a esse limite enfatizando, assim, tratarem de ambientes protegidos contra a eutrofização de origem antropogênica.

Segundo Payne (1986) e Ramírez (1996), as baixas condutividades elétricas são características de águas tropicais que possuem baixos valores de dureza, concentração iônica e material suspenso.

Existem registros de condutividade ao redor dos $15 \mu\text{S cm}^{-1}$ anotados para reservatórios do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), a saber: Ribeirão do Campo ($10,5 \mu\text{S cm}^{-1}$, oligotrófico), Pedro Beicht ($14,1 \mu\text{S cm}^{-1}$, mesotrófico) e Ponte Nova ($14,4 \mu\text{S cm}^{-1}$, oligotrófico) (Wengrat, 2016; Zorzal-Almeida, 2016; Silva, 2017).

Por outra parte, baixos valores de condutividade elétrica como os observados nesta pesquisa podem ser comparados com aqueles de corpos d'água da floresta da Amazônia Central ($16,1\text{-}35,2 \mu\text{S cm}^{-1}$), os quais são devidos à grande variedade de íons orgânicos como os ácidos húmicos e fúlvicos dissolvidos na água provenientes da decomposição de matéria orgânica do solo (Mota de Oliveira *et al.*, 2004). É importante lembrar que o enchimento das represas deste estudo aconteceu com afogamento da mata então presente.

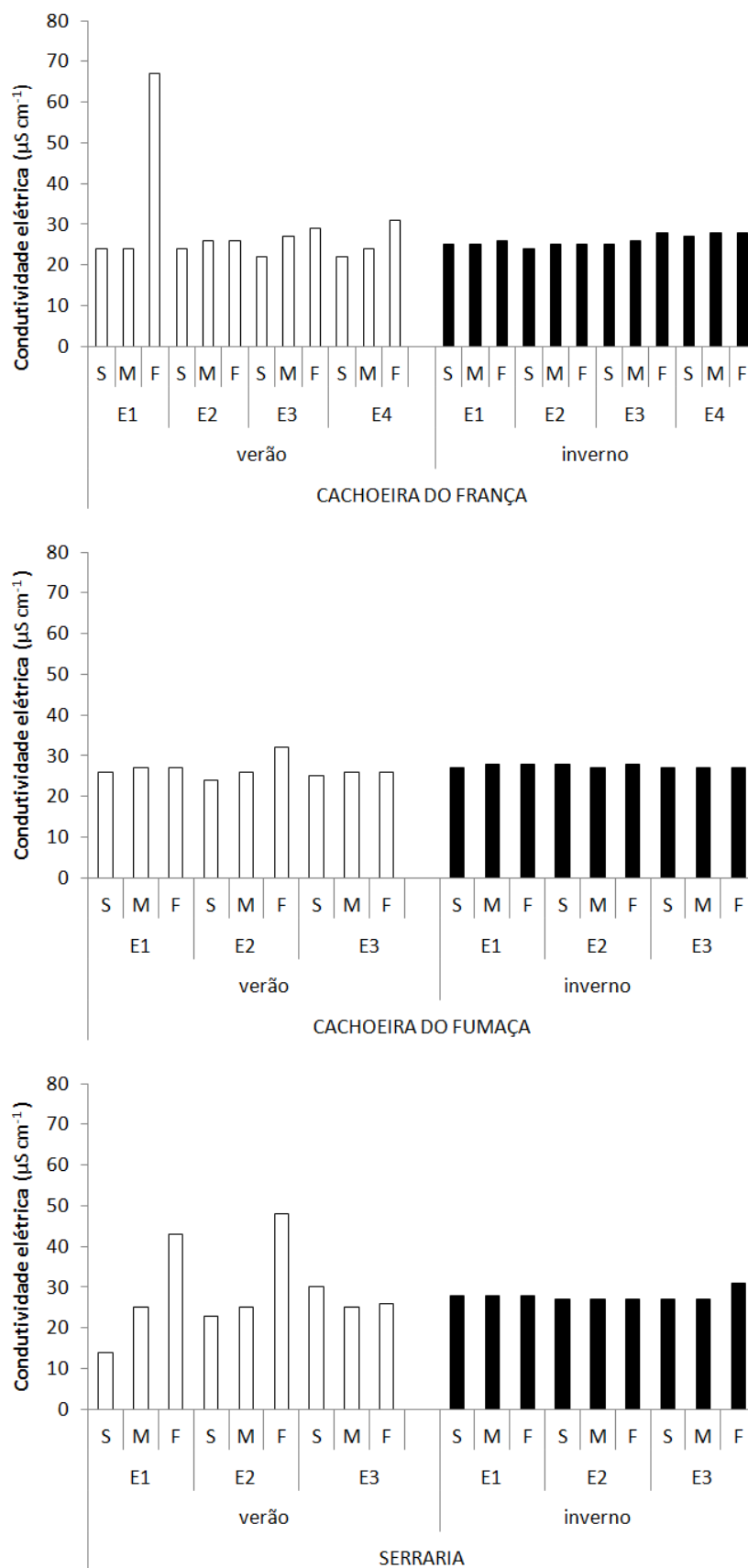


Figura 9. Condutividade elétrica dos três reservatórios estudados nos períodos de chuva e seca no ano 2014.

No verão, o pH variou desde a subsuperfície até o fundo do reservatório Cachoeira do França; e desde neutro até alcalino (máx. 8) (fig. 10). No inverno variou, entretanto, desde ácido (mín. 5,7) até alcalino (máx. 9). Na represa Cachoeira da Fumaça ocorreu aumento do pH do fundo para a subsuperfície e de ácido (mín. 5,4) a neutro no verão, mas mantendo-se ácido no inverno ($\text{pH} \leq 5,4$ a 6,6). Serraria foi o reservatório que apresentou os menores valores de pH no fundo durante o verão (mín. 5,2), porém, também registrou valores mais alcalinos na subsuperfície, tanto no verão quanto no inverno (máx. 8,2).

Os critérios de proteção da vida aquática estabelecem pH entre 6,0 e 9,0 (Zagatto *et al.*, 1999). Todavia, de acordo com a Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde, as águas destinadas ao abastecimento público devem apresentar valores de pH entre 6,0 e 9,5, sendo o pH um dos requisitos da potabilidade (CETESB, 2014).

É importante destacar que os reservatórios da Fumaça e Serraria apresentaram pH ácido tanto no verão quanto no inverno nos estratos intermediário e do fundo, enquanto que na camada subsuperficial a referida variável mostrou tendência à alcalinidade.

Segundo Herschy (2012), a acidificação é uma das ameaças ecológicas tanto para lagos quanto para reservatórios, já que um alto grau de acidez na água não permite manter as diversas formas de vida originalmente ali encontradas, como tem sido observado em muitos lagos na Escandinávia e na região nordeste da América do Norte. Paradoxalmente, certos organismos podem sobreviver nessas condições graças a adaptações morfo-fisiológicas específicas, como acontece nos lagos amazônicos cujo pH é ácido devido a seus solos ácidos ou ricos em substâncias húmicas (Junk 1979).

Como foi dito na atual introdução, os reservatórios em estudo foram preenchidos por afogamento sem prévio desmatamento.

Como é sabido, os valores de pH podem ser influenciados pela temperatura. Assim como a água pura tem pH 7 a 25°C, à medida que a temperatura da água aumenta, o pH diminui e vice versa. Isto se deve a que com o aumento da temperatura, a molécula da água dissocia em seus elementos constituintes, liberando íons OH^- que acidificam a água.

Por outra parte, mudanças no pH favorecem a liberação de fosfato a partir dos sedimentos. A liberação de fósforo a partir do sedimento está influenciada por três fatores principais: pH, temperatura e OD (Redshaw *et al.*, 1990; De-Montigny & Prairie, 1993; Wang *et al.*, 2008).

Quando o pH é alcalino, o íon ortofosfato torna-se mais disponível para as algas. Esta disponibilidade diminui, obviamente, quando o pH se torna mais ácido. Apesar disso, a liberação do fósforo acontece quando o pH é superior a 8,5 (referência) e ocorre máxima liberação de P desde o

sedimento quando o pH é 10 (Wu *et al.*, 2014). Portanto, nos reservatórios ora estudados não deve ocorrer liberação de fósforo a partir do sedimento.

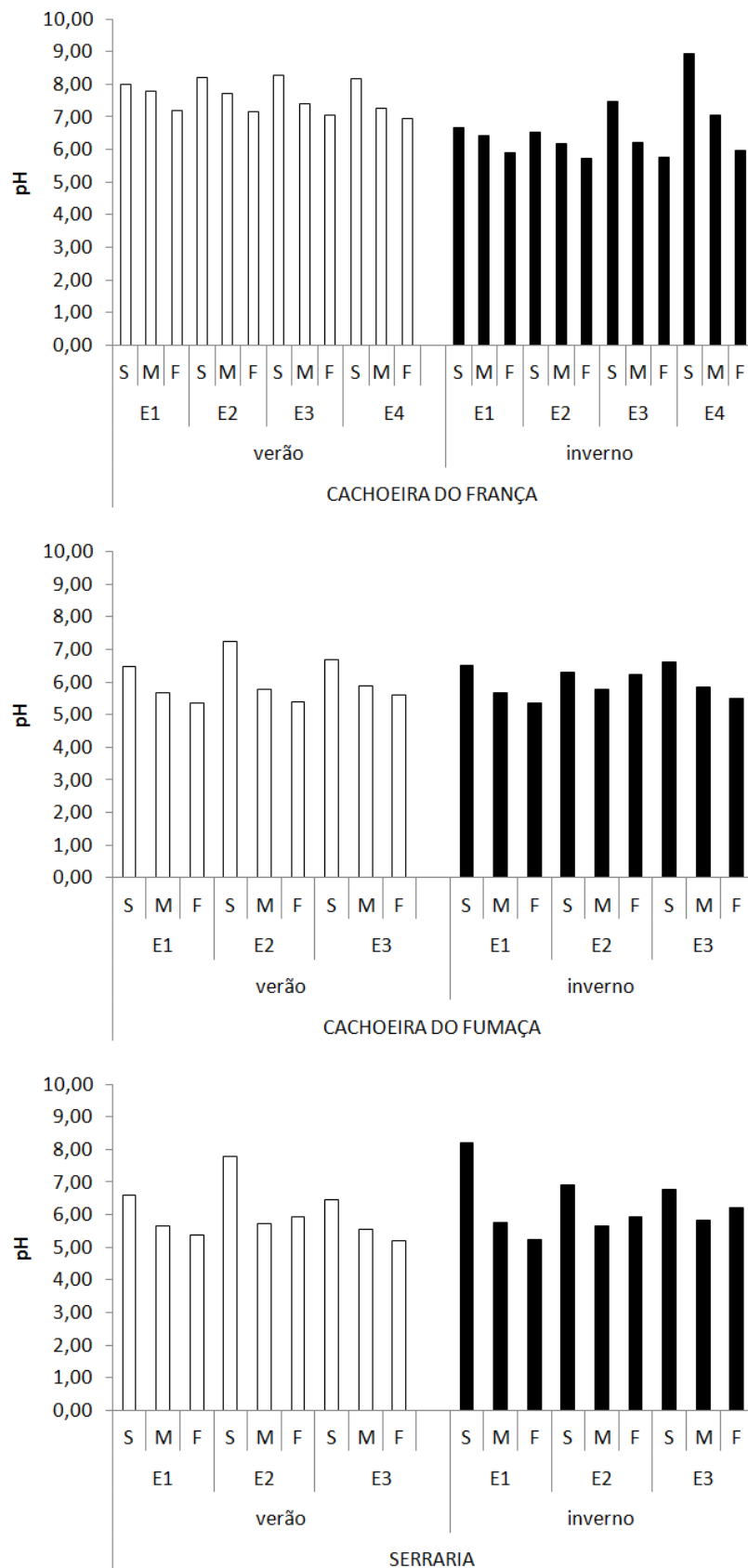


Figura 10. pH dos três reservatórios estudados nos períodos de chuva e seca no ano 2014.

3.5. Nutrientes

Os maiores valores de NT foram medidos na represa Cachoeira do França, no local 1 de amostragem, durante o verão, desde a região intermediária até o fundo do reservatório. Foi o maior valor ao comparar os três reservatórios. No Cachoeira da Fumaça, o maior valor de NT foi obtido no verão, no fundo do local 1 de amostragem. No reservatório Serraria, os maiores valores estiveram, de igual forma, ordenados no sentido da subsuperfície para o fundo dos locais 1 e 2 de amostragem (fig. 11-13).

Os maiores valores de amônio foram detectados durante o verão no hipolímnio de todos os locais de amostragem dos três reservatórios, porém, mais destacados no reservatório à montante da cascata, no local 4, que foi o mais influenciado pela entrada do tributário principal ($400,1 \mu\text{g L}^{-1}$). Os valores mais altos de nitrato foram observados no fundo dos locais 3 e 4 de amostragem do reservatório Cachoeira do França, principalmente no inverno. Cachoeira da Fumaça mostrou altos valores de nitrato no fundo dos locais 2 e 3 de amostragem durante o verão e Serraria no inverno, no fundo do local 2.

Quando o meio está oxigenado, a concentração de nitrato é baixa, por que o nutriente é rapidamente utilizado.

Os compostos nitrogenados na coluna d'água e nos sedimentos estão diretamente ligados aos processos de síntese e decomposição da matéria orgânica e, como consequência, sua distribuição na coluna d'água pode ocorrer em função da dinâmica dos gases, principalmente o oxigênio e do comportamento térmico (instabilidade ou estabilidade térmica).

Observou-se no presente estudo que os reservatórios apresentaram estratificação térmica e química no verão em condições de baixas concentrações de oxigênio dissolvido no hipolímnio. No fundo dos reservatórios foram também observados baixos valores de nitrato e altos de amônio. Tal fato pode ser atribuído ao processo de “respiração do nitrato” também chamado de “amonificação do nitrato” realizado por bactérias anaeróbicas na camada superficial dos sedimentos, onde o nitrato (NO_3^-) e não o oxigênio (O_2) é o receptor de elétrons na cadeia respiratória. Neste processo, pode ser sintetizado tanto nitrogênio molecular gasoso (N_2) pela desnitrificação como também amônia (NH_3 , forma não ionizada), o último sendo um gás instável que rapidamente se converte em amônio (NH_4^+ , forma oxidada) por amonificação. A grande síntese de gás carbônico (CO_2) está intimamente ligada a este processo e explica os maiores valores deste gás no fundo dos reservatórios (fig. 13).

Como é fartamente sabido, a produção de amônia (NH_3) acontece em condições de pH ácido e baixas temperaturas, que estiveram presentes no verão nos reservatórios Cachoeira da Fumaça e Serraria. Por outra parte, a estratificação química também aconteceu durante o inverno, mas em

menor grau.

No que tange o nitrogênio total (NT), o reservatório Cachoeira do França apresentou os maiores valores no verão restritos ao fundo dos locais 1 e 2 de amostragem, isto é, os locais mais rasos, onde estiveram relacionados, principalmente, com o teor de amônio (NH_4^+), enquanto que no Cachoeira da Fumaça e no Serraria o NT foi atribuído ao NO_3^- e ao NH_4^+ das zonas intermediária e do fundo dos três locais de amostragem.

A concentração de nitrito (NO_2^-) esteve sempre abaixo do limite de detecção do método. Por ser uma molécula de baixo peso molecular, ela é rapidamente consumida pelas bactérias nos processos de nitrificação, desnitrificação e anammox (abreviação para ANaerobic AMMonium OXidation, isto é, oxidação anaeróbia do amônio, é um processo microbial do ciclo do nitrogênio de importância global e, por isso, suas concentrações são imperceptíveis.

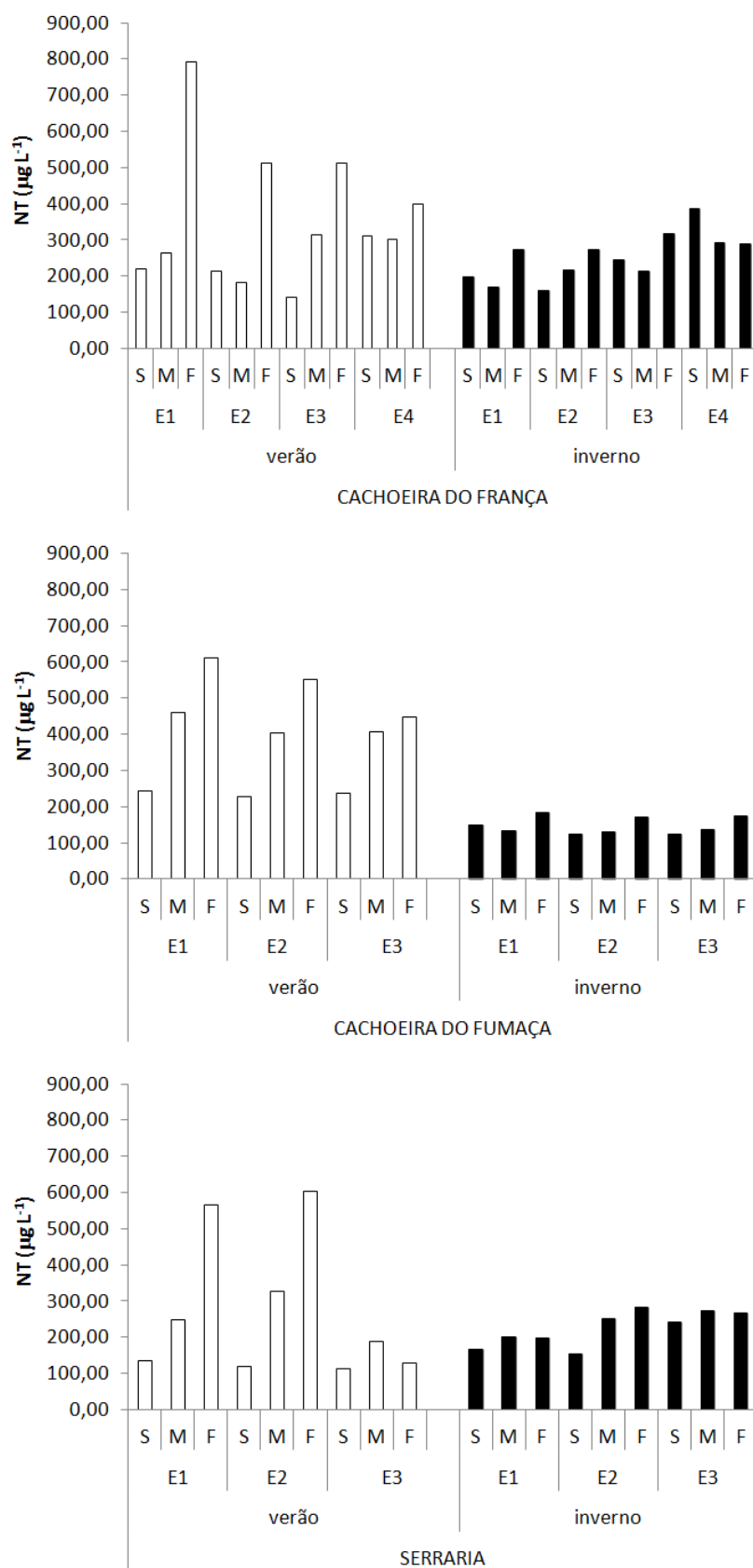


Figura 11. Teores de nitrogênio total ($\mu\text{g L}^{-1}$) em três profundidades (S: sub-superfície, M: meio, F: fundo) nos reservatórios em cascata nos períodos de verão e inverno no ano 2014.

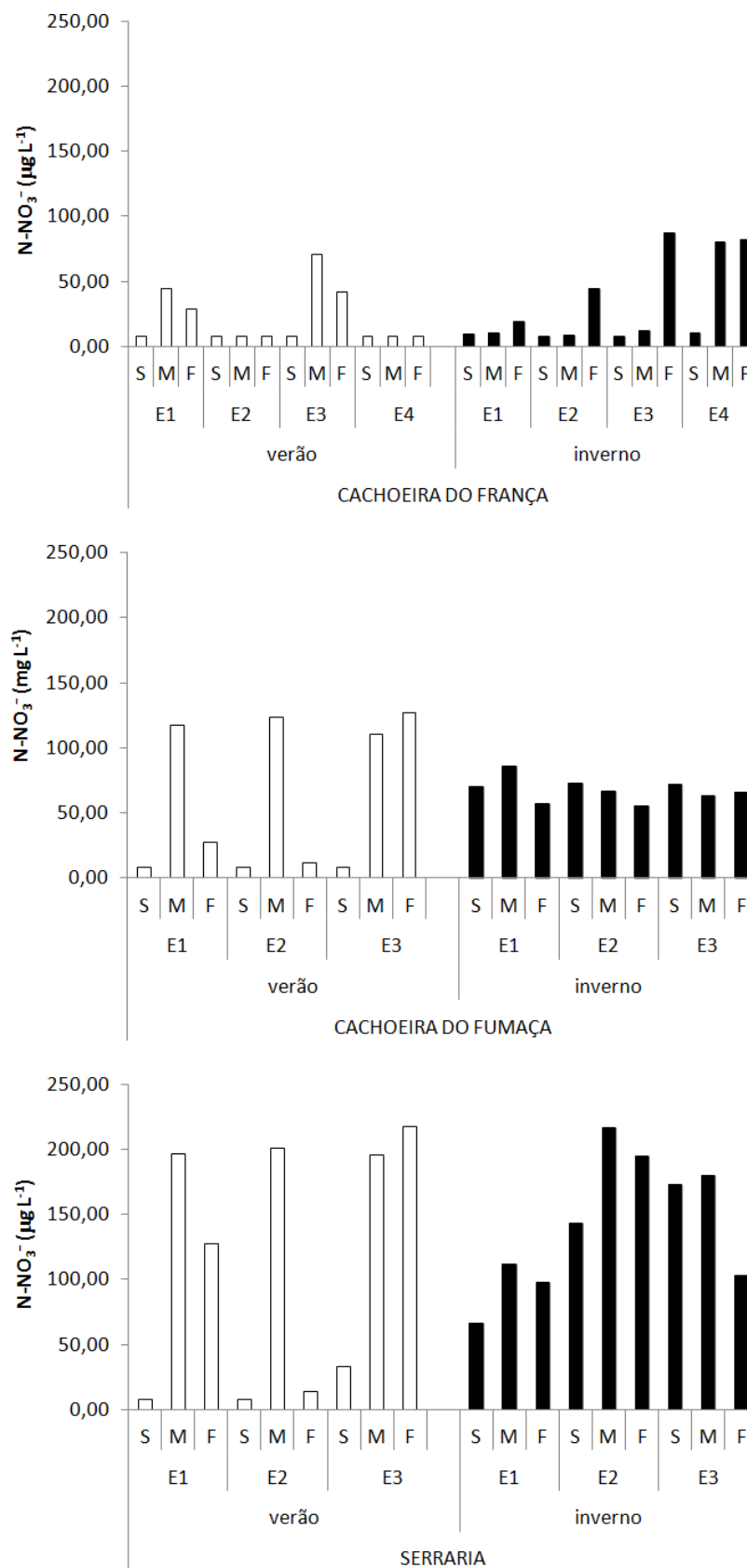


Figura 12. Teores de nitrato ($\mu\text{g L}^{-1}$) em três profundidades (S: sub-superfície, M: meio, F: fundo) nos reservatórios em cascata nos períodos de verão e inverno do ano 2014.

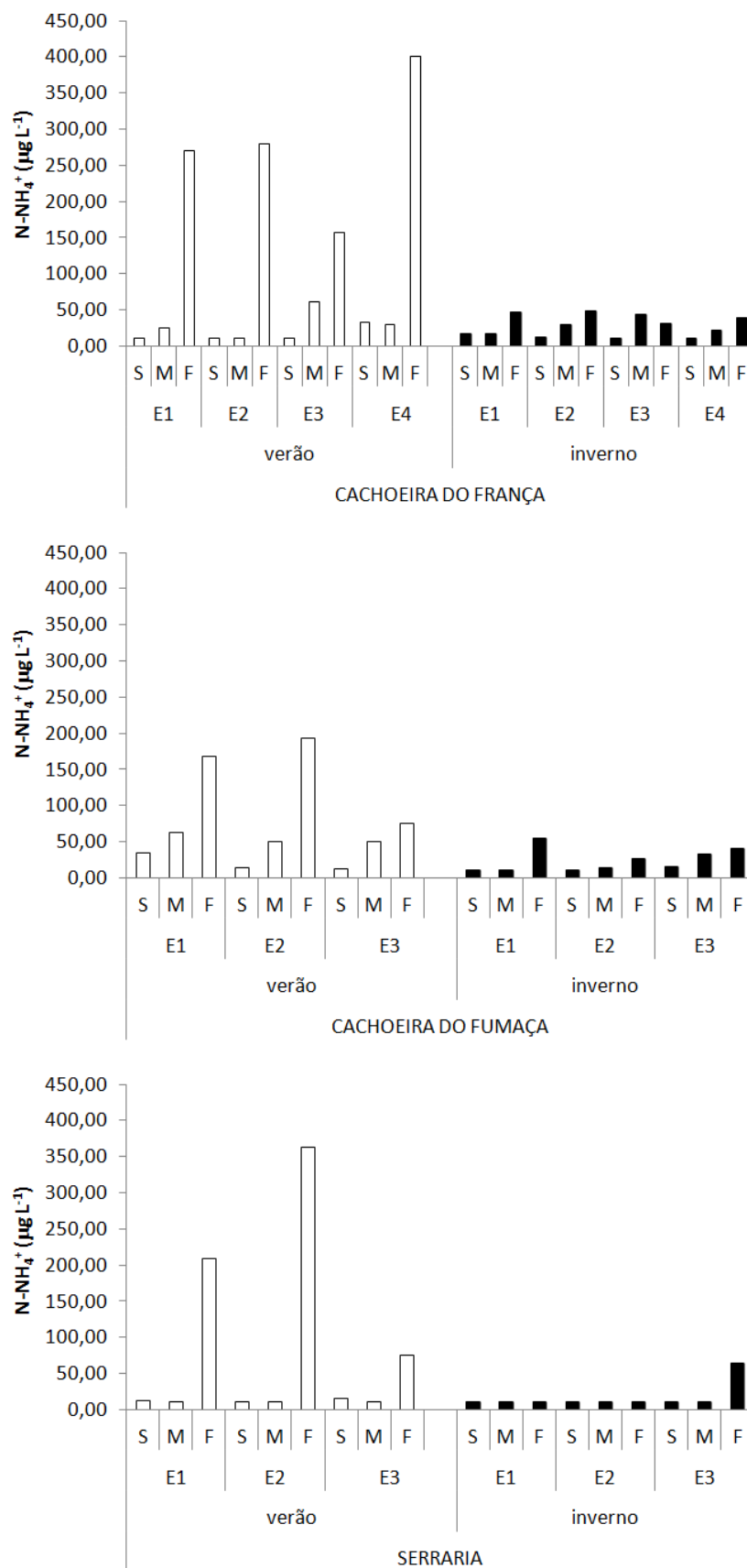


Figura 13. Teores de amônio ($\mu\text{g L}^{-1}$) em três profundidades (S: sub-superfície, M: meio, F: fundo) nos reservatórios em cascata nos períodos de verão e inverno do ano 2014.

Em geral, os teores de fósforo total (PT) foram muito baixos nos três reservatórios. Não obstante, seus maiores valores foram detectados no estrato do fundo do reservatório Cachoeira do França durante o verão, ultrapassando os equivalentes dos respectivos valores do Cachoeira da Fumaça e do Serraria (fig. 14-16).

O ortofosfato (PO_4) foi o nutriente menos presente nos três ambientes, estando sempre abaixo do limite de detecção do método durante o inverno em todos os reservatórios. No reservatório Cachoeira da Fumaça, o PO_4 também esteve abaixo do limite de detecção do método utilizado nos dois períodos de amostragem. Cachoeira do França apresentou os maiores valores de PO_4 no fundo dos locais 3 e 4 de amostragem durante o verão.

O PO_4 foi observado em maior concentração durante o verão nos três reservatórios, sendo os maiores valores registrados na zona afótica dos locais 1 e 2 de amostragem do Serraria.

Os maiores valores de PT foram obtidos durante o verão no hipolímnio e coincidem com os maiores valores de NT medidos, principalmente, no local 4 de amostragem no reservatório Cachoeira do França, ou seja, o local mais próximo da entrada do tributário principal no reservatório. Houve também diferença na variação do teor de PT entre os dois períodos de amostragem, sendo que no inverno a maioria das frações de PO_4 e o fósforo dissolvido total estiveram abaixo do limite de detecção dos respectivos métodos.

Os teores de PT variaram desde abaixo do limite de detecção do método até $31 \mu\text{g L}^{-1}$, sendo este último valor obtido durante o verão no hipolímnio do reservatório Cachoeira do França e, mais precisamente, no local mais próximo da entrada do tributário principal no reservatório, o local 4.

As altas temperaturas nos trópicos aumentam a taxa de metabolismo das plantas e do fitoplâncton, fazendo com que o íon PO_4 seja rapidamente consumido.

Um aumento na temperatura pode causar liberação de fósforo a partir dos sedimentos. Em períodos de chuvas, os corpos d'água aumentam em volume e, conseqüentemente, as cargas de PO_4 podem ser diluídas (Lamparelli, 2004).

Desta forma o PO_4 , um dos nutrientes precursores da eutrofização, pode ser tanto diluído ao longo da cascata, como também adsorvido ao material inorgânico particulado ou sedimentar.

Observou-se nesta pesquisa, de forma global, que o PT diminuiu entre os reservatórios, da montante para a jusante no verão enquanto que no inverno se manteve relativamente constante.

O PT também diminuiu (intra-reservatório) desde o local mais perto até o mais distante do tributário e aumentou no sentido do fundo do reservatório, exceto no estrato intermediário do sistema, onde foram obtidas maiores concentrações na subsuperfície. Comprova-se claramente nesta

pesquisa, por conseguinte, a função da cascata e as características da água em cada reservatório.

No verão, houve redução de 87,1% da concentração do fósforo desde a montante ($31 \mu\text{g L}^{-1}$) da represa Cachoeira do França até a jusante da Serraria ($4 \mu\text{g L}^{-1}$).

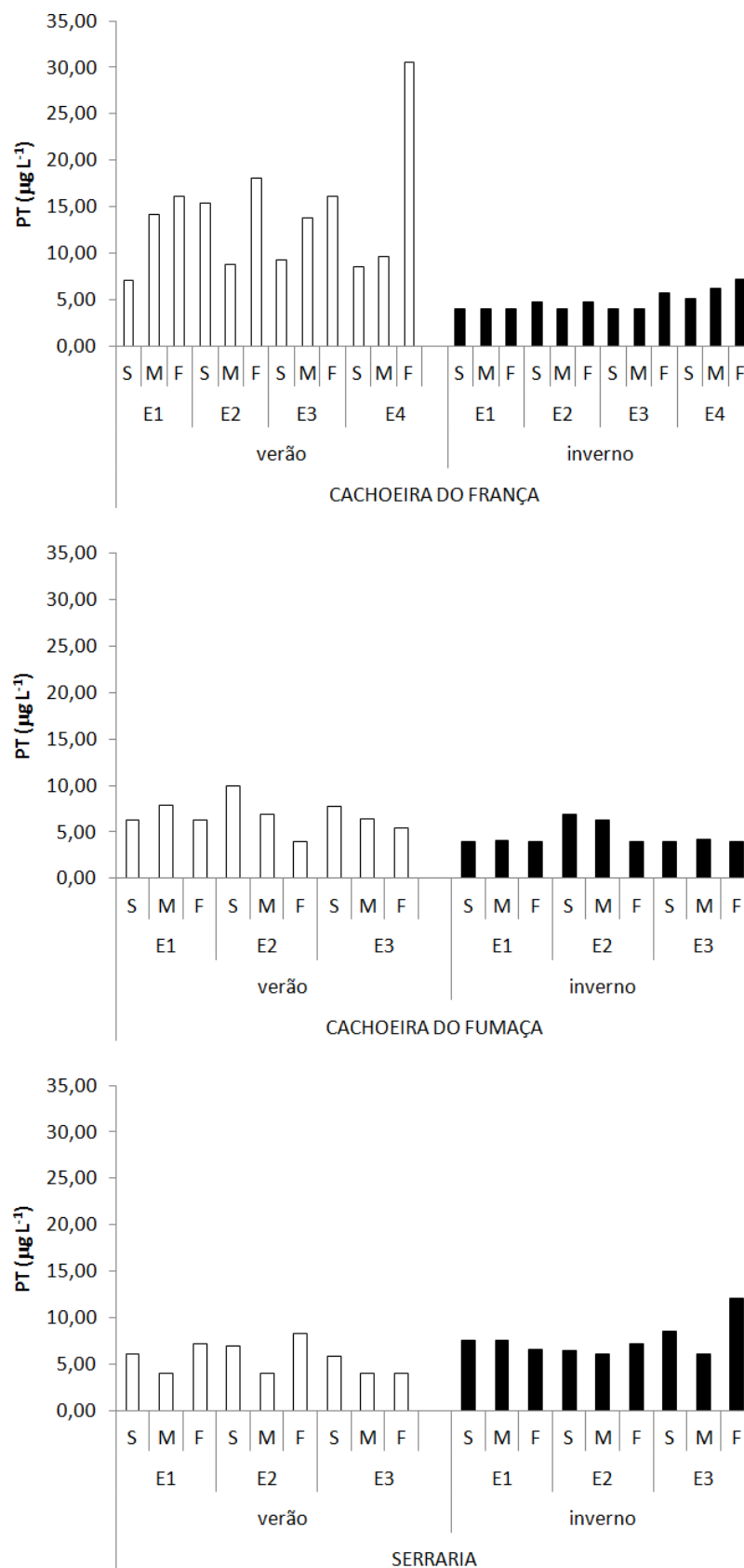


Figura 14. Fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) em três profundidades (S: sub-superfície, M: meio, F: fundo) nos reservatórios em cascata nos períodos de verão e inverno do ano 2014.

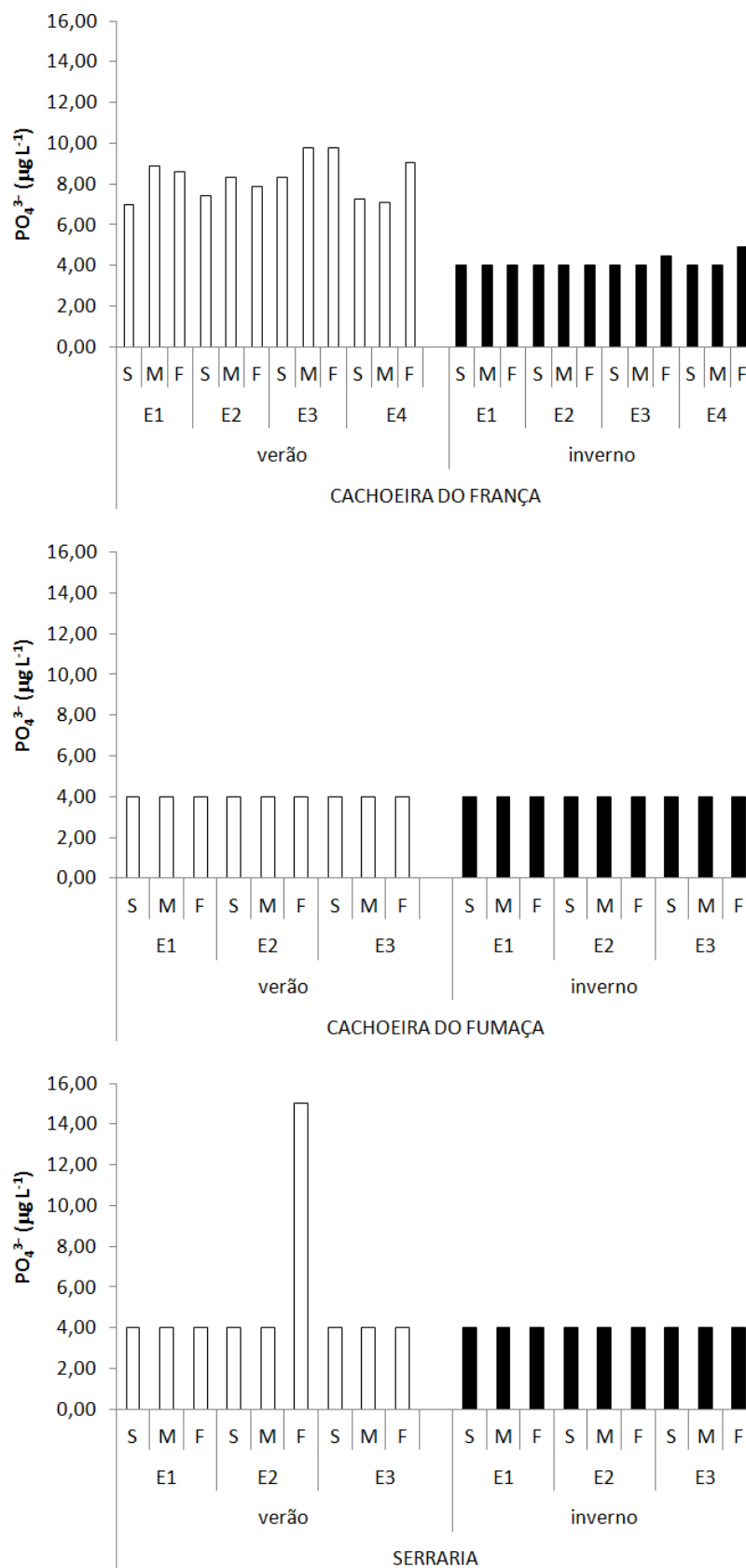


Figura 15. Fosfato ($\mu\text{g L}^{-1}$) em três profundidades (S: sub-superfície, M: meio, F: fundo) nos reservatórios em cascata nos períodos de verão e inverno do ano 2014.

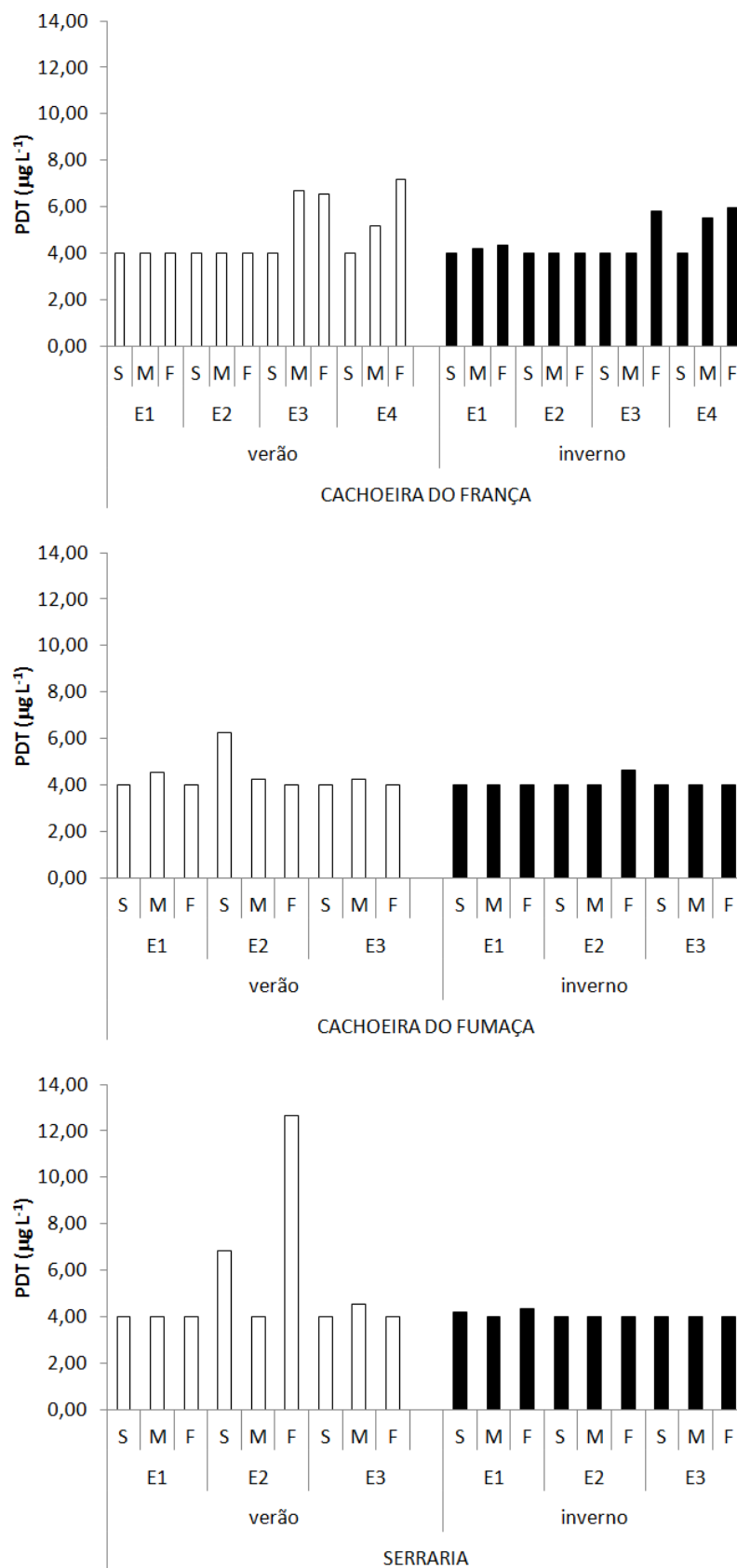


Figura 16. Fósforo dissolvido total ($\mu\text{g L}^{-1}$) em três profundidades (S: sub-superfície, M: meio, F: fundo) nos reservatórios em cascata nos períodos de verão e inverno do ano 2014.

As razões atômicas entre NT e PT foram substancialmente maiores do que 16 (fig. 17), indicando que fósforo foi o nutriente limitante para o desenvolvimento do fitoplâncton nos três sistemas estudados. Foram também elevadas no inverno no reservatório Cachoeira do França, porém, relativamente mais elevadas durante o verão nos reservatórios Cachoeira da Fumaça e Serraria. Observou-se ainda o aumento da razão NT:PT na zona afótica dos três locais de amostragem do reservatório Cachoeira da Fumaça sendo, porém, mais acentuada no local mais profundo da última represa, isto é, no local 2, perto da barragem.

Como é sabido, nitrogênio associado ao fósforo são precursores da eutrofização, mas segundo Klausmeier *et al.* (2004), os ambientes limitados por fósforo são menos favorecedores para a alocação de formações de assembleias do que os ambientes limitados por luz ou por nitrogênio.

Outras formas de aumento do teor de nitrogênio na água podem ser consequência da fixação biológica do nitrogênio atmosférico por bactérias e cianobactérias e também o escoamento superficial da água de chuva em ambientes agrícolas.

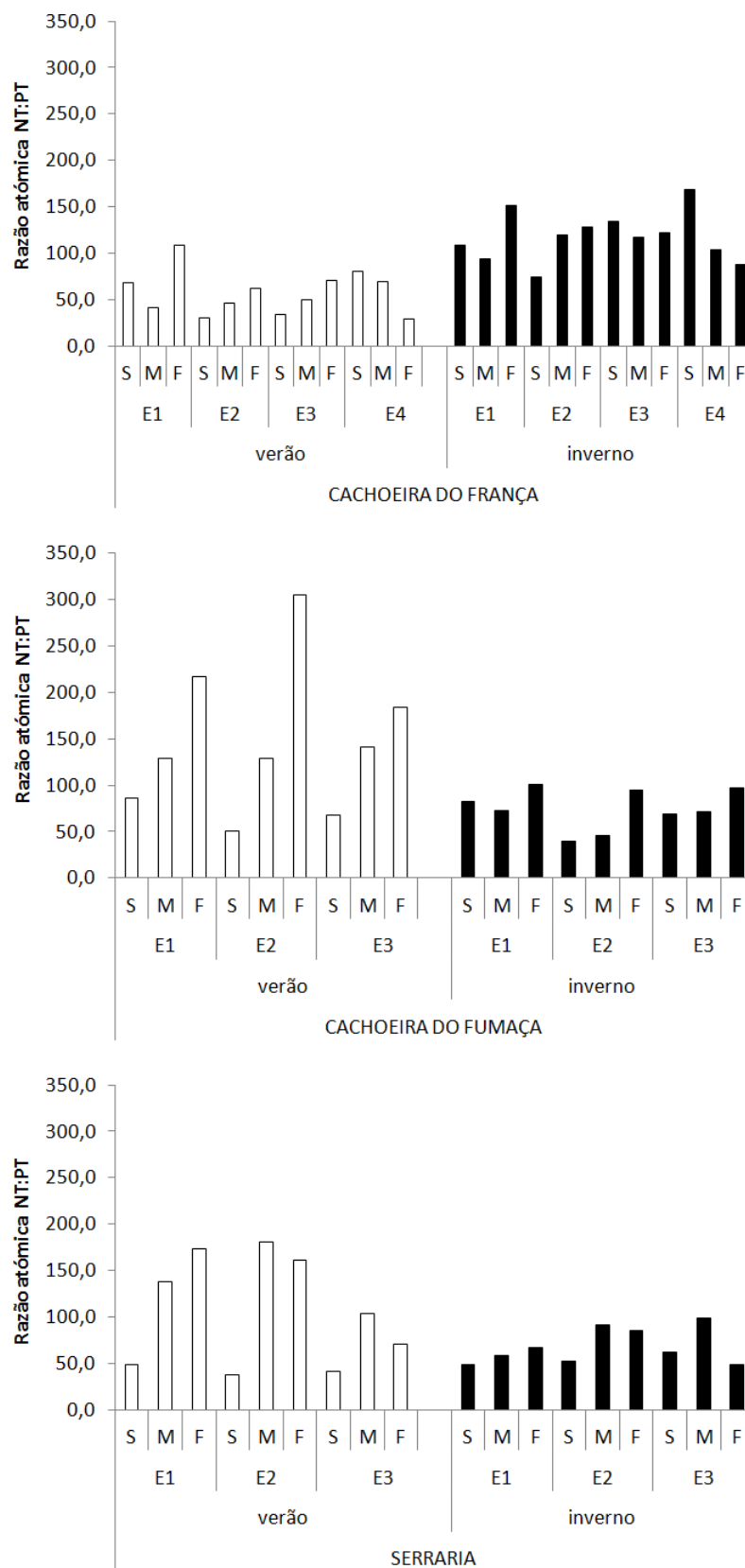


Figura 17. Razão atômica NT:PT (adimensional) em três profundidades (S: sub-superfície, M: meio, F: fundo) nos reservatórios em cascata nos períodos de verão e inverno do ano 2014.

No presente estudo, os maiores valores de sílica reativa solúvel na água foram obtidos durante o inverno, principalmente no reservatório de Serraria, seguidos por aqueles do reservatório Cachoeira do França. Além disso, observou-se que Cachoeira do França apresentou maiores valores de SRS no sentido do fundo do reservatório, inclusive no verão (fig. 18).

Segundo Egge & Aksnes (1992), a disponibilidade de sílica na água pode ser responsável pelas grandes variações nos valores de biomassa e de densidade das diatomáceas. Suzuki *et al.* (1998) demonstraram que a concentração de sílica na água pode variar bastante em um mesmo ambiente e está inversa e significativamente correlacionada com a condutividade elétrica. Além do mais, Chagas & Suzuki (2005) sugeriram que os valores de sílica são maiores no verão por conta do maior aporte de nutrientes devido à maior precipitação pluvial e isto estimula o crescimento do fitoplâncton, refletido no aumento do teor de clorofila *a*.

Observa-se na fig 31 que os valores de condutividade elétrica foram baixos ($\pm 25 \mu\text{S cm}^{-1}$) no inverno, enquanto que os de sílica foram altos no mesmo período, pelo que é possível estabelecer uma relação inversa entre essas duas variáveis conforme sugerido por Suzuki *et al.* (1998).

Diferente de Chagas & Suzuki (2005), os maiores valores de sílica ocorreram presentemente no período seco (inverno), quando houve mistura da coluna d'água. De modo semelhante, os valores de clorofila *a* foram mais elevados no último período e, conseqüentemente, as diatomáceas constituíram uma fração significativa da biomassa fitoplanctônica, mas as concentrações do nutriente podem ser influenciadas por outros fatores, tais como as cargas de nutrientes provenientes dos tributários.

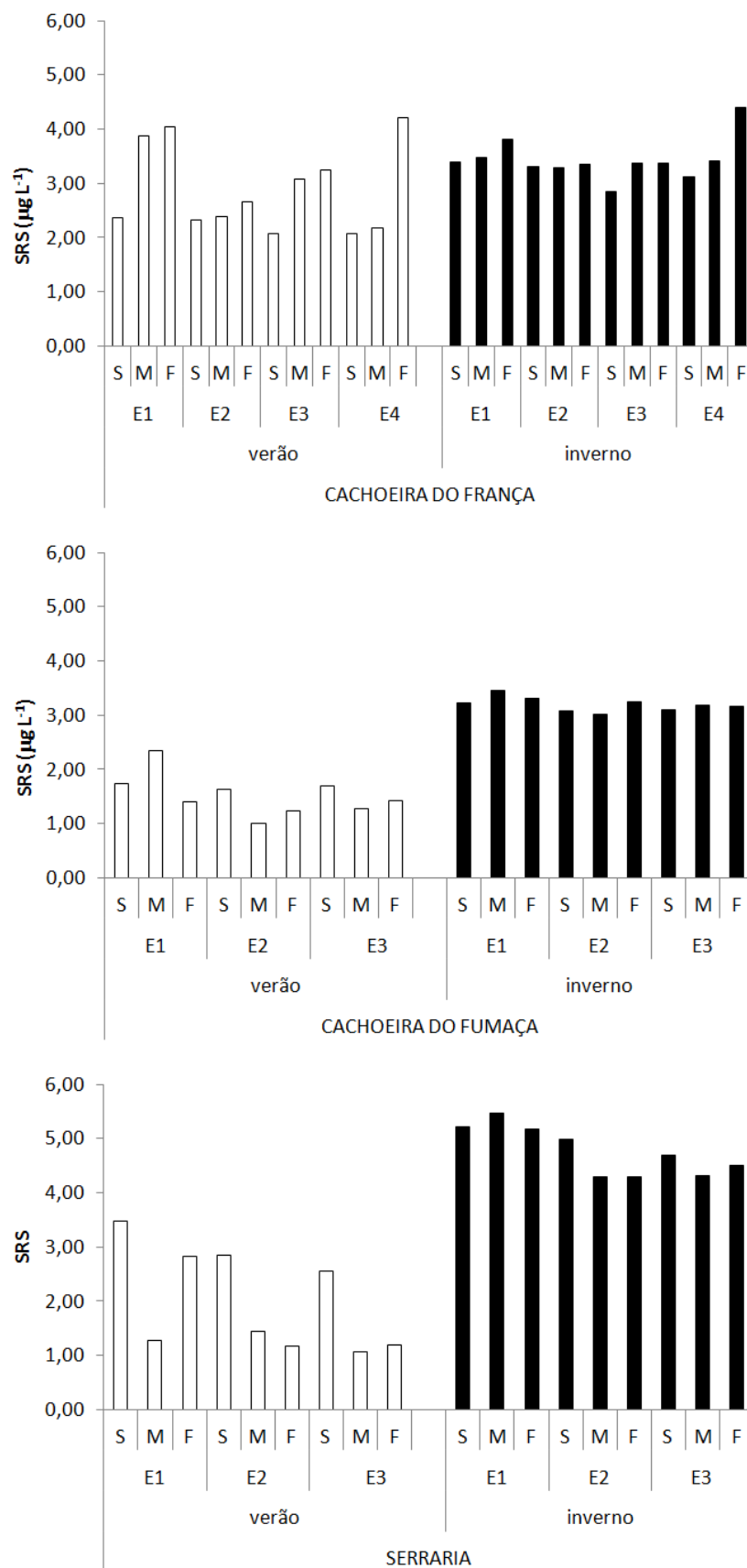


Figura 18. Sílica reativa solúvel nos reservatórios em cascata sobre o rio Juquiá Guaçu na bacia Ribeira do Iguape/Litoral Sul.

3.6. Clorofila *a*

A clorofila *a* é uma medida indireta da biomassa fitoplanctônica. Dos três reservatórios ora estudados, os maiores valores de clorofila *a* foram medidos no reservatório Cachoeira do França, sendo mais pronunciados na sub-superfície dos locais de amostragem 3 ($38,8 \mu\text{g L}^{-1}$) e 4 ($43,8 \mu\text{g L}^{-1}$) e, especialmente, no inverno (fig. 19). Os locais 3 e 4 situam-se mais próximos da entrada dos tributários e o 3 é o mais profundo dos dois, perto da barragem. Cachoeira da Fumaça também apresentou o maior teor de clorofila *a* no inverno no local 3, aproximadamente na zona intermediária da coluna d'água. Este local situa-se na sequência longitudinal que segue a correnteza do rio Juquiá Guaçu.

Considerando os estratos subsuperficiais da coluna d'água (fig. 19), os valores foram baixos no verão ($\leq 4,98 \mu\text{g L}^{-1}$), mas no inverno foram muito elevados especialmente nos locais de amostragem mais influenciados pela entrada do rio Juquiá Guaçu e tributários em Cachoeira do França, ou seja, nos locais 3 e 4 ($39 \mu\text{g L}^{-1}$ e 44 , respectivamente).

Os valores de clorofila *a* no reservatório Serraria foram bastante baixos, porém, maiores na subsuperfície e, principalmente, no local 3. Este local está em sequência longitudinal seguindo a correnteza do rio Juquiá Guaçu após o local 2 (entrada do rio Juquiá Guaçu) e o mais profundo do reservatório situado próximo da barragem.

Segundo Lamparelli (2004), altas concentrações de clorofila *a* ($\text{CONAMA} > 10 \mu\text{g L}^{-1}$) em reservatórios resultam do efeito combinado das baixas concentrações de PT e PO_4 e do maior tempo de residência, que traduzem em maiores transparência e estabilidade da coluna d'água.

Takino & Maier (1985) divulgaram o valor médio do teor de clorofila *a* em 18 represas do Brasil, das quais em 15 é $< 10 \mu\text{g L}^{-1}$. Entre as últimas represas constam Cachoeira da Fumaça com $6,0 \mu\text{g L}^{-1}$, seguida por Cachoeira do França com $7,5 \mu\text{g L}^{-1}$ e Serraria com $8,4 \mu\text{g L}^{-1}$. Os menores valores foram documentados para as represas de Itupararanga e Alecrim ($3,2 \mu\text{g L}^{-1}$) e os maiores para Riacho Grande, Rio Pedras e Pedreira ($54,0 \mu\text{g L}^{-1}$, $57,0 \mu\text{g L}^{-1}$ e $78,0 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente).

Com base na informação acima, pode-se afirmar que o grau de trofia dos três reservatórios estudados tem-se conservado relativamente estável após mais de 30 anos. Os locais 3 e 4 de amostragem do reservatório Cachoeira do França representam a entrada do rio Juquiá Guaçu e de seus tributários, sendo de esperar que haja uma maior carga de nutrientes em forma de NO_3 e PO_4 na água e crescimento de algas em excesso como consequência da eutrofização.

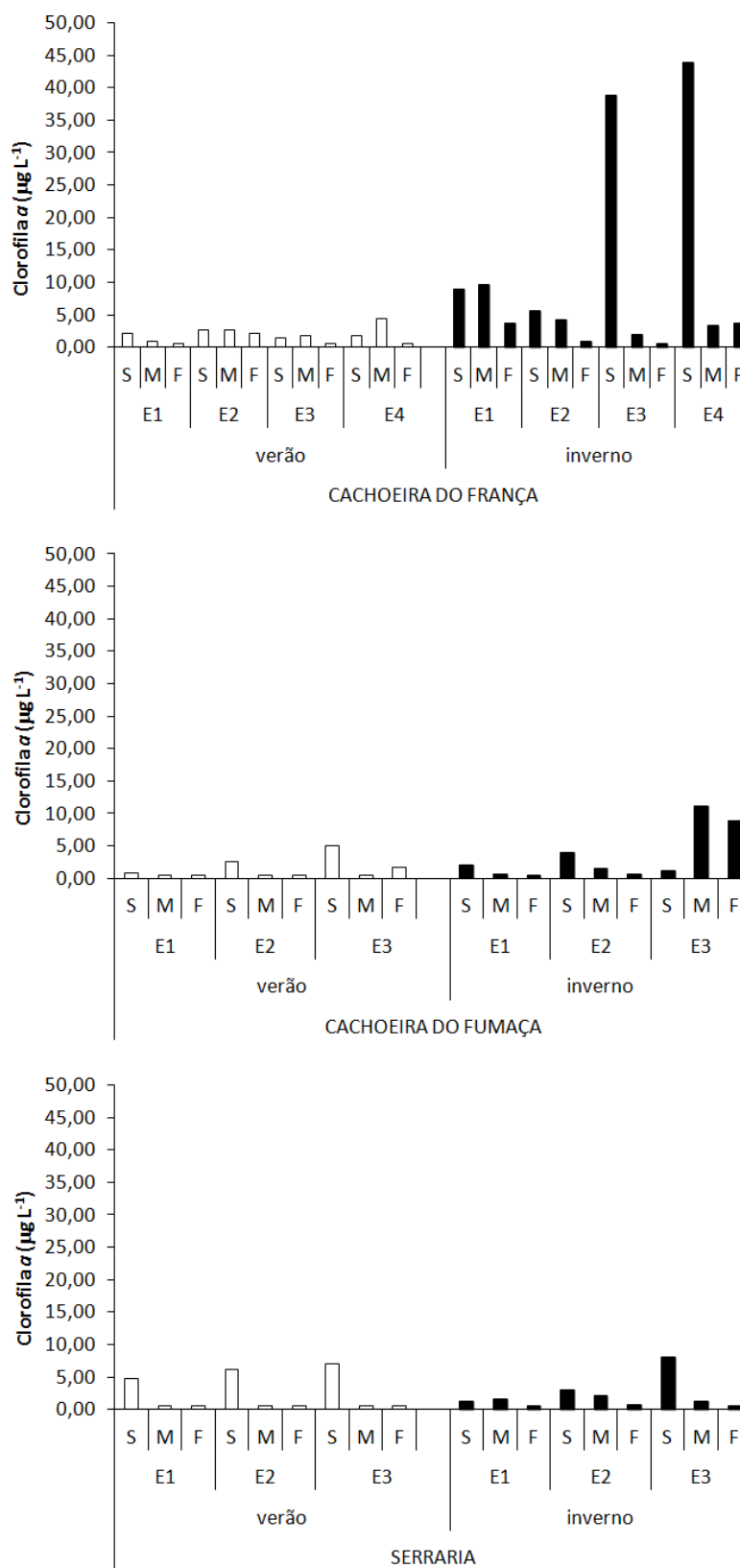


Figura 19. Clorofila *a* nos reservatórios em cascata sobre o rio Juquiá Guaçu na bacia Ribeira do Iguape/Litoral Sul

3.7. Índice de Estado Trófico (IET)

Com base na concentração de clorofila *a*, o reservatório Cachoeira do França variou bastante entre os dois períodos de amostragem (verão e inverno), mudando do estado oligotrófico no verão para o eutrófico no inverno. Cachoeira da Fumaça e Serraria permaneceram estáveis nos dois períodos, sendo o primeiro oligotrófico e o segundo mesotrófico (fig. 20).

Quanto ao PT, os três reservatórios apresentaram maior tendência à ultraoligotrofia. Em relação à transparência Secchi, Cachoeira do França foi bastante estável em ambos os períodos, enquanto que Cachoeira da Fumaça alternou entre mesotrófico e ultraoligotrófico e Serraria foi ultraoligotrófico.

Com base no IET médio, os três reservatórios foram classificados oligotróficos no verão, enquanto que Cachoeira do França permaneceu oligotrófico no inverno e Cachoeira da Fumaça e Serraria foram ultraoligotróficos.

O IET para lagos, rios e represas proposto por Lamparelli (2004) adaptado de Carlson (1977) e a modificação de Toledo *et al.* (1983) é amplamente utilizado no Estado de São Paulo e no Brasil, tanto em programas de monitoramento de águas superficiais (CETESB, 2014), quanto pela comunidade científica para avaliar a evolução espacial e temporal do estado trófico dos ambientes aquáticos. Com base no Índice de Lamparelli (2004), os três reservatórios foram classificados oligotróficos no verão e no inverno, apenas Cachoeira da Fumaça foi mais ultraoligotrófico (fig. 21). Esta classificação está, muito provavelmente, associada aos baixos teores de fósforo total.

Com relação ao IET ponderado, as represas foram classificadas oligotróficas, confirmando as classificações anteriores realizadas por Tundisi (1981) e Takino & Maier (1985). Todavia, as estações de amostragem próximo dos principais tributários (Cachoeira do França, estações 3 e 4) representadas, respectivamente, pelos rios Juquiá Guaçu e São Lourenço foram classificadas mesotróficas no inverno influenciadas pelos altos valores de clorofila *a* ($38,9 \mu\text{g L}^{-1}$ e $43,8 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente). Tal fato também foi observado em outros reservatórios oligotróficos do Estado de São Paulo, cujas estações de amostragem são influenciadas pela entrada de rios com altas cargas de nutrientes como, por exemplo, as estações JA-01 (média anual $51,6 \mu\text{g L}^{-1}$) e JC-07 (média anual $51,2 \mu\text{g L}^{-1}$) da represa Jaguari-Jacareí do Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, as quais são afetadas pelo rio Jaguari eutrófico e pelo rio Jacareí hipereutrófico (Nascimento 2012). Paradoxalmente, existem represas classificadas eutróficas no Estado de São Paulo que apresentam valores de clorofila *a* inferiores aos anteriormente mencionados. São exemplos as represas de Barra Bonita e Rio Grande, ambas com média anual de clorofila *a* igual a $23,5 \mu\text{g L}^{-1}$ (CETESB, 2010).

Apesar desses dois locais de amostragem apresentarem maiores concentrações de clorofila *a*

devido ao maior aporte de nutrientes, foi evidente o efeito depurador dos mesmos ao longo da cascata.

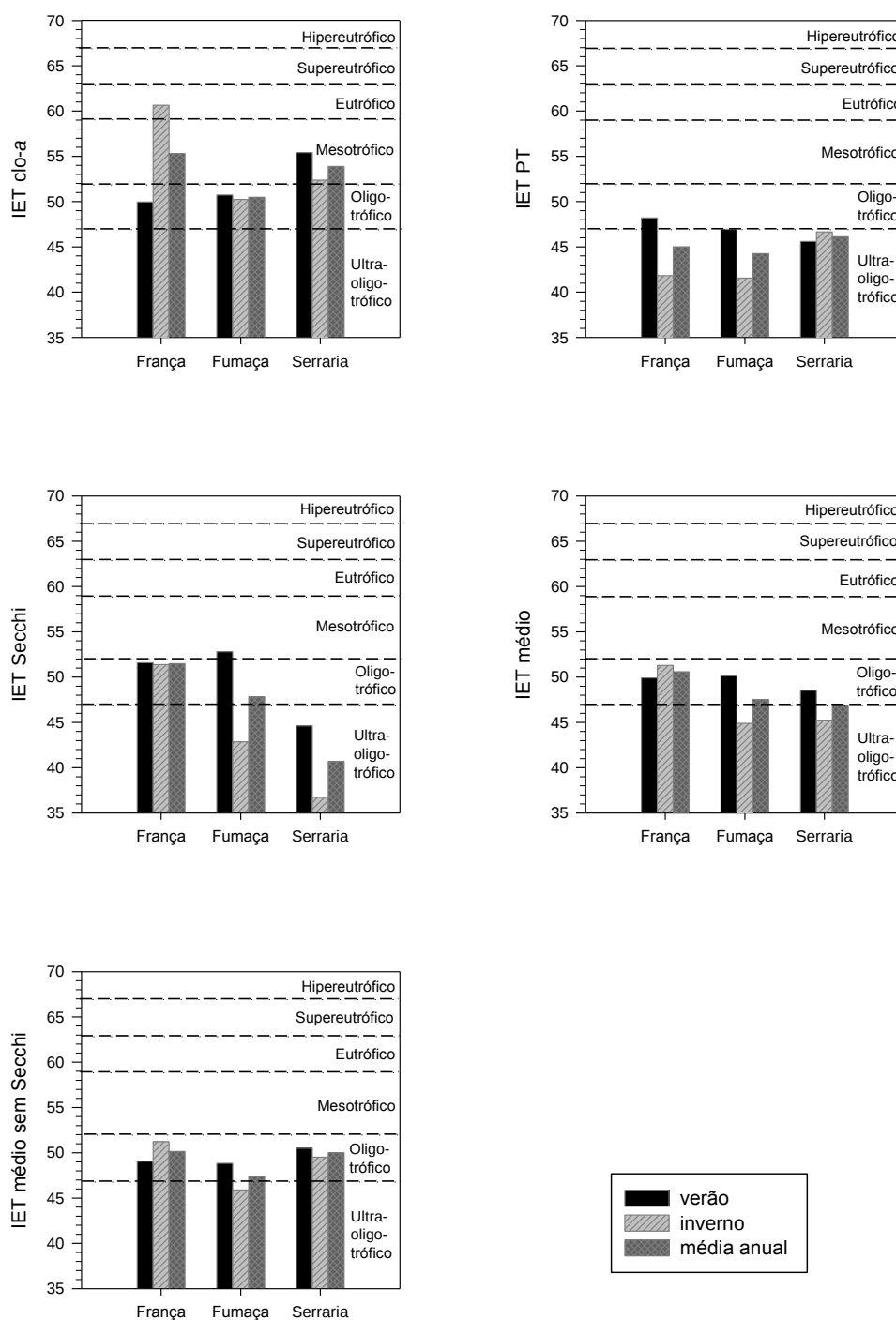


Figura 20. Índice de estado trófico (Lamparelli) com base na média de clorofila *a* (clo-*a*), fósforo total (PT), transparência Secchi, IET médio e IET médio sem considerar a transparência Secchi dos reservatórios em cascata durante os períodos de seca (inverno) e chuva (verão), além da média anual.

3.8. Análise conjunta das variáveis limnológicas

As principais tendências de variação dos fatores limnológicos em escala espacial (3 represas, 10 estações de amostragem e 3 profundidades) e temporal (verão e inverno) foram avaliadas pela análise de componentes principais (PCA) (fig. 21).

Os dois primeiros eixos de ordenação foram significativos e resumiram 77% da variabilidade conjunta dos dados (fig. 21, tab. 7). No primeiro eixo, as unidades amostrais foram ordenadas em função, essencialmente, dos ambientes. Do lado esquerdo do eixo, foi ordenada a maioria das observações do reservatório Cachoeira do França, independente do período climático e associadas com os maiores valores de pH, temperatura e clorofila *a* ($r > 0,5$) e os menores de CO₂ livre e nitrato. No lado positivo desse eixo, foi ordenada a maioria das observações do reservatório Serraria, inversamente associadas às variáveis anteriormente mencionadas e, assim, positivamente com o CO₂ livre e o nitrato ($r > 0,7$). O eixo 2 separou as unidades amostrais principalmente conforme o período climático. Do lado positivo, posicionaram-se as unidades amostrais do verão, com destaque para as unidades do fundo das represas, associadas com a maior disponibilidade de nutrientes, amônio, nitrogênio total ($r > 0,7$) e de fósforo total ($r > 0,5$). Do lado negativo, ordenaram-se as unidades amostrais do inverno, associadas com os maiores valores de oxigênio dissolvido ($r = 0,8$) e transparência da água ($r > 0,5$).

Em síntese, a maior variabilidade do conjunto de dados foi explicada espacialmente mais do que tudo pelas características limnológicas das represas. Em seguida, a escala temporal contribuiu com a maior fonte de variabilidade, havendo separação das unidades amostrais dos dois períodos climáticos. Entretanto houve, durante o verão, clara contribuição da escala vertical dos ambientes, na qual a região mais profunda separou-se das demais pela maior disponibilidade de nutrientes.

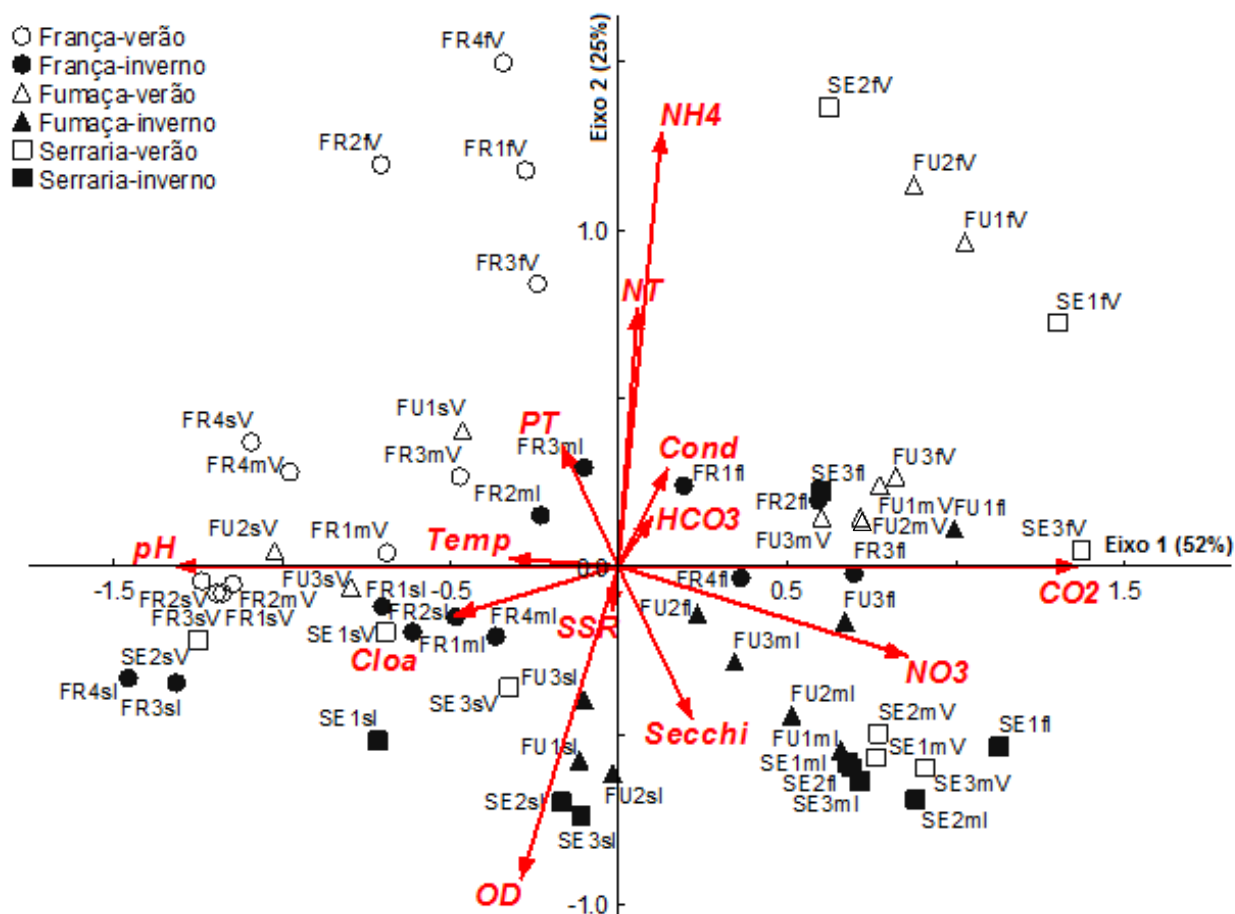


Figura 21. Análise dos componentes principais com base em 13 variáveis limnológicas de 4 estações de amostragem na represa Cachoeira do França, 3 estações na represa Cachoeira da Fumaça e 3 na represa Serraria, nos períodos de amostragem de V: verão e I: inverno, nas profundidades s: subsuperfície, m: zona intermediária e f: fundo. Abreviações das variáveis conforme tabela 8.

Tabela 7. Síntese dos resultados da PCA realizada a partir de 13 variáveis limnológicas.

	Eixo 1	Eixo 2
Autovalor (λ)	0,612	0,294
Autovalor da linha de quebra	0,288	0,198
Porcentagem de variância explicada	52	25
Porcentagem de variância acumulada	52	77
Teste de Monte Carlo	$p < 0,0001$	$p = 0,06$

Tabela 8. Correlação do coeficiente de Pearson entre as variáveis abióticas dos reservatórios nos dois primeiros eixos de ordenação da PCA. Em negrito, correlação igual ou acima de 0,5.

Variável	Código	Eixo 1	Eixo 2
Amônio	NH4	0,292	0,926
Bicarbonato	HCO3	0,263	0,313
Clorofila <i>a</i>	Cloa	-0,569	-0,314
CO ₂ livre	CO2	0,952	-0,010
Condutividade	Cond	0,311	0,439
Fósforo total	PT	-0,331	0,486
Nitrato	NO3	0,756	-0,422
Nitrogênio total	NT	0,193	0,713
Oxigênio dissolvido	OD	-0,437	-0,785
pH	pH	-0,936	0,018
Sílica solúvel reativa	SSR	-0,106	-0,293
Temperatura	Temp	-0,461	0,118
Transparência Secchi	Secchi	0,382	-0,550

4. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

A maior variabilidade limnológica do sistema em cascata ocorreu em função da separação geográfica dos ambientes, independente da escala temporal (períodos de chuva e seca). O reservatório Cachoeira do França, o primeiro da série em cascata, foi influenciado pelos maiores valores de pH, temperatura e clorofila *a* e pelos menores valores de CO₂ livre e nitrato. Os demais dois reservatórios, Cachoeira da Fumaça e Serraria, foram influenciados de maneira inversa em relação a essas mesmas variáveis.

Em seguida, a escala temporal também contribuiu para a variabilidade limnológica. Como tendência geral, o período do verão (chuvas) foi caracterizado pela estratificação da coluna d'água nos três reservatórios, associada à maior disponibilidade de nutrientes (amônio, nitrogênio total e fósforo total), principalmente, nas unidades amostrais do fundo dos reservatórios. Por outro lado, o período do inverno (seca) foi caracterizado pela mistura da coluna d'água associada aos maiores valores de oxigênio dissolvido e de transparência da água, principalmente, nas unidades amostrais da superfície e da região intermediária da coluna d'água dos três sistemas.

A determinação da relação nitrogênio total:fósforo total (NT:PT) permitiu investigar qual foi o nutriente limitante nos reservatórios; a limitação sempre foi da fração fosfatada com razões

maiores do que 16:1 ($N:P > 16$) indicando, assim, o caráter oligotrófico dos reservatórios em cascata.

Devido ao curto tempo de amostragem, não foi possível corroborar o caráter polimítico das represas em série referido por Maier (1985). Sugere-se, por isso, que seja estendido o período de amostragem para abranger as épocas de primavera e outono e o mínimo de três anos ininterruptos para monitorar as características da água ao longo do ano e observar a possível existência de resultados contrastantes nas diferentes épocas do ano. Sugere-se, finalmente, analisar outras variáveis como metais, elementos-traço e coliformes totais. Tais procedimentos serão decisivos para os tomadores de decisão na análise da qualidade da água dos três reservatórios.

5. REFERÊNCIAS CITADAS

- ALMEIDA F.F.M. de. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim Instituto de Geografia e Geologia* 41: 169-263.
- BARBOSA, F.A.R., PADISÁK, J., ESPÍNDOLA, E.L.G., BORICS G. & ROCHA O. 1999. The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the River Tietê-Basin, São Paulo State, Brazil. *Theoretical Reservoir Ecology and its applications*: 425-437.
- BARCELOS, E.M. 2003. Avaliação do perifíton como sensor da oligotrofização experimental em reservatório eutrófico (Lago das Garças, São Paulo). Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- BARROSO, G.F., GONÇALVES, M.A. & GARCIA, F.C. 2014. The Morphometry of Lake Palmas, a Deep Natural Lake in Brazil. *PLoS ONE* 9(11): e111469.
- BATARBEE, R.W. 1986. Diatom analysis. In: BERGLUND, B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Paleohydrology*. Wiley & Sons, London. p. 527-570.
- BICUDO, C.E.M, CARMO, C.F., BICUDO, D.C., HENRY, R., PIÃO, A.C.S., SANTOS, C.M.& LOPES, M.R.M. 2002. Morfologia e morfometria de três reservatórios no PEFI. In: D.C. Bicudo, M.C. & C.E.M. Bicudo (eds.). *Parque Estadual das Fontes do Ipiranga(PEFI): unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo*. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo. p. 141-158.
- BISTRICHI, C.A. 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

- BOEHRER, B. & SCHULTZE, M.. 2008. Stratification of lakes. *Reviews of Geophysics* 46: 1-27.
- BRANCO, S.M. 1966. Estudo das condições sanitárias da represa Billings, São Paulo. *Arquivos da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo* 20(1): 57-86.
- BRANCO, S.M. & KAWAI, H. 1969. Estudo sobre as relações sobre despejos domésticos e industriais da região da Grande São Paulo e a eutrofização da Represa Billings, São Paulo. *Revista D.A.E.* 29(71): 57-68.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA); Resolução nº 357, de 17/03/05, Brasília: Brasil.
- CARDOSO, F. 2014. A sustentabilidade de uma reserva. Editora Legado das Águas. 153 p.
- CETESB (São Paulo). Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2004. São Paulo, 2005. (Série Relatórios). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>
- CETESB (São Paulo). Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014. São Paulo, 2015. 369p. + anexos. (Série Relatórios). Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/agua-doce-parte1-corrigido.pdf>.
- CBH-RB, Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (2009). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 11. Registro, SP.
- CBH-RB, Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (2008-2011). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 11. Registro, SP.
- CHAGAS, G.G. & SUZUKI, M.S. 2005. Seasonal hydrochemical variation in a tropical coastal lagoon (Açu Lagoon, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 65(4): 597-607.
- CHMYZ, I., SGANZERLA, E.M. & VOLCOV, J.E. 1999. Arqueologia da área prioritária. Projeto hidroelétrico Tijuco Alto. Rio Ribeira-São Paulo-Paraná. Centro de Estudos e Pesquisas Arqueológicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 187 p.
- CNEC ENGENHARIA S.A. 2008. Estudos para Regularização de Usinas da CBA na Bacia do Rio Juquiá. São Paulo, SP: volumes 1, 2 e 3 (RT 04).
- COLE, G. 1983. Textbook of Limnology. The C.V. Mosby Co., London. 3rd ed., 436 p.
- CONTI, J.B. & FURLAN, S.A. 2003. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. pp. 67-237. In: Ross, J.L.S. (org.). *Geografia do Brasil*. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.

- COTRIM, M.E.B. 2006. Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeira de Iguape com vistas ao abastecimento público. Tese (Doutorado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo. 236 p.
- DADON, L.R. 1995. Calor y temperatura en cuerpos lénticos. *In: Lopretto EC. & Tell G. (eds.). Ecosistemas de agua continentales: metodologias para su estudio*. Ediciones Sur, Buenos Aires. 377 p.
- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. 2002. Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. Plano Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo: DAEE. 119 p.
- EGGE, J. K. & AKSNES, D. L. 1992. Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. *Marine Ecology Progress Series*, 83, 281-289.
- FELISBERTO, S.A. & RODRIGUES, L. 2005. Comunidade de algas perifíticas em reservatórios de diferentes latitudes. *In: L. Rodrigues, S.M. Thomaz, A.A. Agostinho & L.C. Gomes (eds). Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. RiMa, São Carlos. p. 97-114.
- FERRAREZE, M. & NOGUEIRA, M.G. 2006. Phytoplankton assemblages in lotic systems of the Paranapanema Basin (Southeast Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 18(4): 389-405.
- FIALA, L. 1972. Umělá cirkulace a oxygenace v údolních nádržích. Sbor. konf. VÚV Praha 1: 1-6.
- FONTANA, L. & BICUDO, D.C. 2009. Diatomáceas (Bacillariophyceae) de sedimentos superficiais dos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SP/PR, Brasil): Coscinodiscophyceae e Fragilariophyceae. *Hoehnea* 36(3): 375-386. <http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062009000300001>.
- FONTANA, L. & BICUDO, D.C. 2012. Biodiversidade e distribuição das diatomáceas (Bacillariophyceae) de sedimentos superficiais nos reservatórios em cascata do rio Paranapanema, SP/PR, Brasil. *Hoehnea* 39(4): 587-612. <http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062012000400007>.
- FONTANA, L., ALBUQUERQUE, A.L.S., BRENNER, M., BONOTTO, D.M., SABARIS, T.P.P., PIRES, M.A.F., COTRIM, M.E.B. & BICUDO, D.C. 2014. The eutrophication history of a tropical water supply reservoir in Brazil. *Journal of Paleolimnology* 51: 29-43.
- FRANKLIN, J.F. 1988. Importance and justification of long-term studies em ecology. *In: Likens, GE. (ed.). Long-term studies in ecology: approaches and alternatives*. Springer-

- Verlag, New York. p. 3-19.
- GEMELGO, M.C.P., MUCCI, J.L.N. & NAVAS-PEREIRA, D. 2009. Population dynamics: seasonal variation of phytoplankton functional groups in Brazilian reservoirs (Billings and Guarapiranga, São Paulo). *Brazilian Journal of Biology* 69(4): 1001-1013.
- GUTJAHR, M.R. 1993. Critérios relacionados à compartimentação de bacias hidrográficas: a bacia Ribeira do Iguape. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. 180 p.
- HERSCHY, R.W. 2012. Water quality in lakes and reservoirs. In: Bengtsson L, Herschy R.W. & Fairbridge R.W. (eds.). *Encyclopedia of lakes and reservoirs*. Springer.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2016. Histórico do município de Juquiá.
- JANZEN, J.G., SCHULZ, H.E. & LAMON, A.W. 2008. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 13(3): 278-283.
- JUNK, W.J. 1979. Recursos hídricos da região amazônica: utilização e preservação. *Suplemento Acta Amazonica* 9(4): 37-51.
- KLAUSMEIER C., LITCHMAN, E., DAUFRESNE, T. & A LEVIN, S. 2004. Optimal nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton. *Nature* 429. 171-174. 10.1038/nature02454.
- LAMPARELLI, M.C. 2004. Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. 235 p.
- LEWIS, W.M. 1987. Tropical Limnology. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 18: 159-184. doi:10.1146/annurev.es.18.110187.001111
- MAIER, M.H. 1985. Limnologia de reservatórios do sudeste do Estado de São Paulo, Brasil, 2: circulação e estratificação da água. *Boletim do Instituto de Pesca* 12(1): 11-43.
- MARQUARDT, G.C. 2017. Comparação da biodiversidade e distribuição das diatomáceas planctônicas e de sedimentos superficiais em seis reservatórios do sul do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado). Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 195p.
- MOTA DE OLIVEIRA, S., NOBRE, A., WATERLOO, M.J., CUARTAS, L., TOMASELLA, J., HODNETT, M., HUXLEY MELO NASCIMENTO, A. & SIQUEIRA GONCALVES, G. (2004). Relação entre carbono orgânico dissolvido e condutividade elétrica na Bacia Asu,

- Amazônia Central, Brasil. Technical Report.
- NASCIMENTO, M.N. 2012. Biodiversidade e distribuição das diatomáceas planctônicas e de sedimento superficial em represa profunda oligotrófica (Sistema Cantareira, Represa Jaguari-Jacareí). Dissertação (Mestrado). Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 151 p.
- NOGUEIRA, M.G., FERRAREZE, M., MOREIRA, M.L. & GOUVÊA, R.M. 2010. Phytoplankton assemblages in a reservoir cascade of a large tropical-subtropical river (SE, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 70(3, Suppl.): 781-793.
- NOGUEIRA, M.G., JORCIN, A., VIANNA, N.C. & BRITTO, Y.C.T. 2006. Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos): um estudo de caso no rio Paranapanema (SP/PR). In: Nogueira, M.G., Henry, R. and Jorcin, A. (orgs). Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos. RiMa Editora. p. 83-125. (2ª ed.)
- PADISÁK, J., BARBOSA, F.A.R, BORBÉLY, G., BORICS, G., CHORUS, I., ESPINDOLA, E.L.G, HEINZE, R., ROCHA, O., TÖRÖKNÉ, A.K. & VASAS, G. 2000. Phytoplankton composition, biodiversity and a pilot survey of toxic cyanoprokaryotes in a large cascading reservoir system (Tietê basin, Brazil). *Verh. Internat. Verein. Limn.* 27: 2734-2742.
- PAYNE, A.I. 1986. The ecology of tropical lakes and rivers. New York: John Wiley & Sons. 301 p.
- PEREIRA, J.S. 2013. Thermal, chemical, biological stratification and mixing patterns during five years in a shallow mesotrophic reservoir of southeast Brazil. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 94 p.
- PIRES, M.A.F., MARQUES, M.N. & COTRIM, M.E.B.. Avaliação de novos herbicidas no controle da qualidade da água dos mananciais. Anais do II Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde, Santos, Brasil, 2002, em CDROM.
- PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS 2004-2007. Governo do Estado de São Paulo, Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos.
- RAMÍREZ, J.J. 1989. Variación vertical del fitoplancton y parámetros fisicoquímicos en cuatro embalses del Oriente Antioqueño y su relación con el área, edad, altitud y tiempo de residencia media del agua. Tesis (Maestria). Universidad de Antioquia.
- RAMÍREZ, J.J. 1996. Variações espacial vertical e nictemeral da estrutura da comunidade

- fitoplanctônica e variáveis ambientais em quatro dias de amostragem de diferentes épocas do ano no Lago das Garças, São Paulo. Tese (Doutorado). Instituto de Botânica da Secretaria do Estado do Meio Ambiente. 283 p.
- RAWSON, D.S. 1956. Algal indicators of trophic lake type. *Limnology and Oceanography* 1(1): 18-25. doi:10.4319/lo.1956.1.1.0018.
- REDFIELD, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Science* 46: 205-221.
- REGALI-SELEGHIM, M.H., GODINHO, M.J.L. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 2011. Checklist dos “protozoários” de água doce do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica* 11(1a): 390-426. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v11n1a/en/abstract?inventory+bn0141101a2011>.
- REYNOLDS, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.
- RODGHER, S., ESPÍNDOLA, ELG., ROCHA, O., FRACÁCIO, R., PEREIRA, RHG. & RODRIGUES, MHS. 2005. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê River (São Paulo, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 65(4): 697-710. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842005000400017>.
- ROLDÁN, G. & RAMÍREZ, J.J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, 2ª ed., 439 p.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1992. *Fundamentos de Limnologia Tropical*. Editorial Universidad de Antioquia. 529 p.
- RUGANI, C.A. 1980. Bactérias amonificantes e fatores ecológicos nos lagos Carioca e D. Helvécio (Vale do Rio Doce - MG). Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos.
- SANT’ANNA, C.L., XAVIER, M.B. & SORMUS, L. 1988. Estudo qualitativo do fitoplâncton da represa de Serraria, Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia* 48(1): 83-102.
- SANTANA, L.M., CROSSETTI, L.O. & FERRAGUT, C. 2017. Ecological status assessment of tropical reservoirs through the assemblage index of phytoplankton functional groups. *Brazilian Journal of Botany* doi:10.1007/s40415-017-0373-4.
- SCHÄFER, A. 1985. Fundamentos em ecologia e biogeografia de águas continentais. Editora da

- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 533 p.
- SILVA, C.A., TRAIN, S. and RODRIGUES, L.C. 2005. Phytoplankton assemblages in a Brazilian Subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia* 537: 99-109.
- SILVA, P.D.A. 2017. Taxonomia e ecologia de diatomáceas arrafídeas (Fragilariales, Bacillariophyta) no Estado de São Paulo, Brasil. Tese (Doutorado). Instituto de Botânica da Secretaria do Estado do Meio Ambiente. 323 p.
- SMA, Secretaria do Meio Ambiente. Fundação Florestal do Estado de São Paulo (2010) Parque Estadual do Jurupará. Resumo Executivo. Plano de Manejo. São Paulo, SP: Governo do Estado de São Paulo.
- SMA, Secretaria do Meio Ambiente. Fundação Florestal do Estado de São Paulo (2012) Parque Estadual do Jurupará. Meio Físico. Plano de Manejo. São Paulo, SP, Governo do Estado de São Paulo.
- SPERLING, E. 1999. Morfologia de lagos e represas. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e Universidade Federal de Minas Gerais. 137 p.
- ŠTĚPÁNEK, M. 1980. Cascade reservoir as a method for improving the trophic state downstream. Hypertrophic ecosystems. *Developments in Hydrobiology* 2: 323-327.
- ŠTĚPÁNEK, M. & ČERVENKA, R. 1974. Problémy eutrofizace v praxi. *Avicenum Praha*: 1-231.
- SUZUKI, M.S., OVALLE, A.R.C. & PEREIRA, E.A. 1998. Effects of sand bar openings on some limnological variables in the hypertrophic tropical coastal lagoon of Brazil. *Hydrobiologia* 368: 111-122.
- TAKINO, M. & MAIER, M.H. 1981. Hydrobiology of reservoirs in the São Paulo State, Brasil. *Ver. Inst. Verein. Limnol.* 21: 1060-1065.
- TOWNSEND, S.A. 1999. The seasonal pattern of dissolved oxygen, and hypolimnetic deoxygenation, in two tropical Australian reservoirs. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 4: 41-53.
- TUNDISI, J.G. 1981. Tipology of reservoirs in southern Brazil. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 21: 1031-1039.
- TUNDISI, J.G. 1983. A review of basic ecological processes interacting with production and standing stock of phytoplankton in lakes and reservoirs in Brazil. *Hidrobiologia* 100: 223-243.

- TUNDISI, J.G., FORSBERG, B.R., DEVOL, A.H., ZARET, T., TUNDISI, T.M., SANTOS, A., RIBEIRO, J.S. & HARDY, E. 1984. Mixing patterns in Amazon lakes. *Hydrobiologia* 108: 3-15.
- TUNDISI, J.G., MATSUMURA-TUNDISI, T. & RODRIGUES, S.L. 2003. Gerenciamento e Recuperação das Bacias Hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa), Municípios de Itirapina e de Brotas. IIE/IEGA/PROAQUA/ELEKTRO. 72 p.
- URENIUK, G. 1989. Os recursos hídricos da Bacia Ribeira do Iguape e Litoral Sul. In: Secretaria do Estado do Meio Ambiente/Secretaria de Educação. Programa de Educação ambiental do Vale do Ribeira.
- VERCELINO, I.S. & BICUDO, D.C. 2006. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em reservatório oligotrófico tropical (São Paulo, Brasil): comparação entre período seco e chuvoso. *Revista Brasileira de Botânica* 29(3): 363-377.
- WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E. 2000. Limnological analyses. 2^a ed. Springer Verlag, New York. 391 p.
- WHITTON, B.A. 1991. Use of phosphatase assays with algae to assess phosphorus status of aquatic environments. In: D.W. Jeffrey & B. Madden (eds.). *Bioindicators and Environmental Management*. Academic Press, London, p. 295-310.
- XAVIER, M.B., MONTEIRO-JÚNIOR, A.J. & FUJIARA, I.P. 1985. Limnologia de reservatórios do sudeste do Estado de São Paulo, 7: fitoplâncton. *Boletim do Instituto de Pesca* 12(1): 145-186.
- ZAGATTO, P.A., LORENZETTI, M.L., LAMPARELLI, M.C., SALVADOR, M.E.P., MENEGON Jr., N. & BERTOLETTI, E. 1999. Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. *Acta Limnologica Brasiliensia* 11(2): 111-126.
- ZORZAL-ALMEIDA, S. 2016. Biodiversidade e distribuição das diatomáceas em represas do Estado de São Paulo com ênfase na bacia do rio Piracicaba e do Sistema Cantareira. Tese (Doutorado). Instituto de Botânica da Secretaria do Estado do Meio Ambiente. 157 p.
- ZORZAL-ALMEIDA, S., BICUDO, D.C., LAMPARELLI, M.C., FAUSTINO, S.B., FERRAGUT, C. & BICUDO, C.E.M. 2017. Avaliação do índice de estado trófico e sua aplicação na Represa Guarapiranga em longa série temporal. In: C.E.M. Bicudo & D.C. Bicudo (orgs.). *100 anos da Represa Guarapiranga: lições e desafios*. 504 p. Curitiba: CRV.

CAPÍTULO 2

Spatial and temporal variation of the phytoplankton community structure in cascading oligotrophic reservoirs of southeast Brazil

Spatial and temporal variation of the phytoplankton community structure in cascading oligotrophic reservoirs of southeast Brazil

Ana Margarita Loaiza Restano¹, *, Gisele Carolina Marquardt¹, Carla Ferragut¹ & Carlos Eduardo de Mattos Bicudo¹

¹ Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Instituto de Botânica, Av. Miguel Estéfano, nº 3687, 04301-902 São Paulo, SP, Brazil.

* Corresponding author: margarit_ana@yahoo.com.ar

Short title: Cascading reservoirs phytoplankton

Abstract

Aim: To evaluate the ecological quality of three cascading reservoirs located in the State of São Paulo, besides contributing to the knowledge of the biodiversity and phytoplankton ecology of tropical regions, especially areas of hydroelectric dams in the São Paulo Metropolitan Region and adjacencies, aiming at developing a regional database and future modeling. **Methods:** Ecological study was performed of phytoplankton community structure and the species and functional groups' relative contribution in three cascading oligotrophic reservoirs of the Juquiá Guaçu River, Ribeira do Iguape/Litoral Sul Basin, São Paulo State. Four sampling sites were selected for the first reservoir in the cascade, Cachoeira do França, and three for each of the other two reservoirs, Cachoeira da Fumaça and Serraria. Samples were collected in the two climatic periods (summer and winter) of 2014, using a van Dorn bottle along a vertical (subsurface, intermediate and 1 m above bottom layers) and a longitudinal profile (upstream, near dam or tributary and downstream). Species biovolume and functional groups were identified and expressed in biomass. **Results:** 18 functional groups were identified (A, B, E, F, H1, J, K, L_M,

L_O, MP, NA, P, S₁, S_N, W₂, X₁, X₂ and Y) and associated to the reservoir's limnological conditions. Seasonality was a key factor in the community structure. Functional group **B**, consisting mainly of *Discostella stelligera*, was the most frequent in all reservoirs during both climatic seasons. **Conclusion:** Present findings showed that seasonality was a key factor for the species composition and phytoplankton functional groups changes. However, the cascade effect on phytoplankton structure was shown by the continual contribution of *Ceratium furcoides* (group **L_M**) during winter, and of *Discostella stelligera* (group **B**) in both sampling periods in all three reservoirs.

Key-words: environmental monitoring, functional group, oligotrophic reservoir, phytoplankton

Resumo

Objetivos: Avaliar a qualidade ecológica de três reservatórios em cascata situados no Estado de São Paulo, além de contribuir para o conhecimento da biodiversidade e da ecologia do fitoplâncton de região tropical, principalmente, de áreas de aproveitamento hidrelétrico da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) ou próximo a estas, com vistas à elaboração de um banco regional de dados e à futura aplicação em modelos. **Métodos:** O estudo ecológico da estrutura da comunidade fitoplancônica e a contribuição relativa das espécies e dos grupos funcionais foi realizado em três represas oligotróficas em cascata do rio Juquiá Guaçu, Ribeira do Iguape/Litoral Sul, Estado de São Paulo. Foram escolhidos quatro locais de amostragem na primeira represa em cascata (Cachoeira do França) e três nas segunda e terceira represas (Cachoeira da Fumaça e Serraria, respectivamente). As amostras foram coletadas em 2014 com amostrador de van Dorn em dois períodos sazonais (verão e inverno) e ao longo do perfil vertical (subsuperfície, meio e 1 m acima do fundo) e do perfil longitudinal (à montante, próximo da barragem ou tributário e à jusante) das represas. Foram determinados o biovolume das espécies e os grupos funcionais e expressos em termos de biomassa. **Resultados:** Foram identificados 18 grupos funcionais (**A, B, E, F, H₁, J, K, L_M, L_O, MP, NA, P, S₁, S_N, W₂, X₁, X₂ e Y**) que foram associados às condições limnológicas. Concluiu-se que a estrutura da comunidade foi influenciada pela sazonalidade. O grupo funcional **B**, constituído principalmente por *Discostella stelligera*, foi o mais frequente em todas as represas em ambos os períodos de amostragem. **Conclusão:** A presente informação mostrou que a sazonalidade foi um fator importante na definição das mudanças na composição de espécies e dos grupos funcionais do fitoplâncton. No entanto, o efeito da cascata na estrutura do fitoplâncton foi demonstrado pela expressiva e

constante contribuição de *Ceratium furcoides* (grupo **L_M**) no inverno e de *Discostella stelligera* (grupo **B**) em ambos os períodos de amostragem nas três represas estudadas.

Palavras-chave: fitoplâncton, grupo funcional, monitoramento ambiental, reservatório oligotrófico

1. Introduction

Reservoirs are usually considered synonymous with lakes, however, magnitude and phasing of the forcing functions or driving variables for lakes and reservoirs may be not identical (Thornton et al., 1990). A strong interaction with the hydrographic basin, the multiple uses and the functioning and operating mechanisms make reservoirs complex systems (Tundisi et al., 1999).

Cascading reservoirs were first built in sizeable countries with large rivers to provide electric energy, irrigation, and potable water. Their usual water abundance tends to decrease along the cascade (Straškraba, 1994). The great majority of reservoirs in Brazil are concentrated in the southern and southeastern regions (Tundisi, 1983), and a number of rivers were already organized in cascades. Cascading reservoirs are considered complex systems since the first reservoir may affect downriver until the very last one in the series, a fact amplified by the tributary rivers action (Nogueira et al., 2010). Effects and cumulative impacts could completely change the drainage basin biophysical, economic and social features (Tundisi et al., 1999; Nogueira et al., 2006). Such a configuration endorsed the concept of “continuum cascading reservoirs” that, from the ecological point of view, states that reservoirs placed in a longitudinal sequence would have a significant interdependence, despite the river’s course interruption would affect the structure and functioning of the aquatic communities (Barbosa et al., 1999; Ferreira et al., 2005).

Composition and abundance of phytoplankton vary spatially and temporally in cascading reservoirs of different rivers (Bonilla, 1997; Saldana-Fabela et al., 2014; Padisák et al., 2000; Silva et al., 2005). In cascading reservoirs, phytoplankton structure may be affected by limnological factors such as nutrient availability and hydrodynamic changes. According to Saldana-Fabela et al. (2014), diatoms occur in places where connectivity is present, whereas there is a clear dominance of chlorophytes and Cyanobacteria in the non-connected reservoirs related to nutrient enrichment and sewage discharge. In addition, environmental heterogeneity and rain precipitation are likely to impact phytoplankton density, richness and functional groups in cascading reservoirs (Moura et al., 2013). Phytoplankton development takes place when the system water retention time is greater when compared to that of lakes, as opposed to its

disappearance when water retention time is similar to that of the river (Riera & Morgu , 1990; Rold n, 1992), and its organization follows a vertical axis established by light attenuation, thermal gradient and algal adaptations (Reynolds, 1997; Wetzel, 2001; Mellard et al., 2011). Exploring such communities will help to understand the aquatic environmental changes, since they are considered fast water quality environmental sensors (Gemelgo et al., 2009) due to their intrinsic characteristics, for instance, their short-term generation time.

In Brazil, ecological research has successfully used phytoplankton as an indicator of changes in the environment quality in cascade reservoirs in the Tiet  River Basin (Barbosa et al., 1999; Padisák et al., 2000; Silva et al., 2005, Ferrareze & Nogueira, 2006). Besides changes in species composition, studies showed that the use of functional groups may be very useful and effective for the evaluation of aquatic environmental changes in cascading reservoirs (Nogueira et al., 2010; Santana et al., 2017).

Current assessment of different ecological assemblies in a series of cascading reservoirs emphasizes that the physical and chemical features of water are not the only causes for changes in the communities structure, given that connectivity may have a stronger effect (Santos et al., 2018). In fact, phytoplankton structure may change depending on the limnological and hydrodynamic conditions of cascading reservoirs (e.g. Padisák, 2000; Silva et al., 2005).

Present study aimed at evaluating the structural changes in phytoplankton in three cascading oligotrophic reservoirs of the Juquiá Gua u River, Ribeira do Iguape/Litoral Sul Basin, in the state of São Paulo. Changes in phytoplankton biomass, species composition and functional groups were explicitly evaluated in two seasons (summer and winter) along a vertical and a longitudinal profile in these reservoirs.

2. Material and methods

2.1. Study area

Present study included three interconnected reservoirs of a cascading series, namely Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça and Serraria, located across the Juquiá Gua u River, Ribeira do Iguape/Litoral Sul Basin, in the state of São Paulo (Fig. 1). Cachoeira do França and Cachoeira da Fumaça are connected to Serraria, forming a series of reservoirs across the Juquiá Gua u River. Ribeira do Iguape/Litoral Sul Basin has a drainage area of 17,068 km² (PERH, 2006). Cachoeira do França (23 54'50.81"S, 47 15'31.98"W and 23 56'0.26"S, 47 9'42.99"W) and Cachoeira da Fumaça (23 59'27.79"S, 47 15'59.71"W and 24 0'50.43"S, 47 13'58.85"W) reservoirs border the Jurupará State Park, whereas Serraria (24 06'26.05"S, 47 34'4.14"W and 24 06'55.77"S, 47 31'9.3"W) lies in the Serra do Mar State Park. The three reservoirs are

located in secondary Atlantic forest conservation areas. Climate of the region has two very well defined seasons, one warm and rainy (October to March) and the other, cold and dry (April to September) (CBH-RB, 2014). Information on morphometry, trophic state and hydrological characteristics of reservoirs are in Table 1.

Table 1 Main limnological characteristics of the connected reservoirs Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça and Serraria. *Abbreviations: TSI (Trophic State Index) and WRT (Water Retention Time).

Reservoir	Construction (year)	Area (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)	Main reservoir use	TSI* (annual mean)	WRT* (days) (annual mean)
Cachoeira do França	1954	12.7	135.2	Power generation	Oligotrophic	76.4
Cachoeira da Fumaça	1964	6.92	53.5	Power generation	Ultraoligotrophic	42.5
Serraria	1978	2.2	37.6	Power generation	Oligotrophic	10

2.2. Samplings

Water and phytoplankton samplings were performed during the austral winter (June to September) and summer (January and February) of 2014. On the horizontal scale, samples were obtained from four sampling sites in the Cachoeira do França reservoir, and three each in the Cachoeira da Fumaça and Serraria reservoirs. Sampling sites were distributed upstream, central area of reservoir and close to the dam (reservoir's deepest region), thus prioritizing the tributaries entrances. In each sampling site, water column samples were obtained from the subsurface, middle, and bottom strata considering the column mixing and light regime, the surface being the euphotic zone identified by the Secchi disk transparency, middle (interphase), and 1 m above the bottom of reservoir, the aphotic zone.

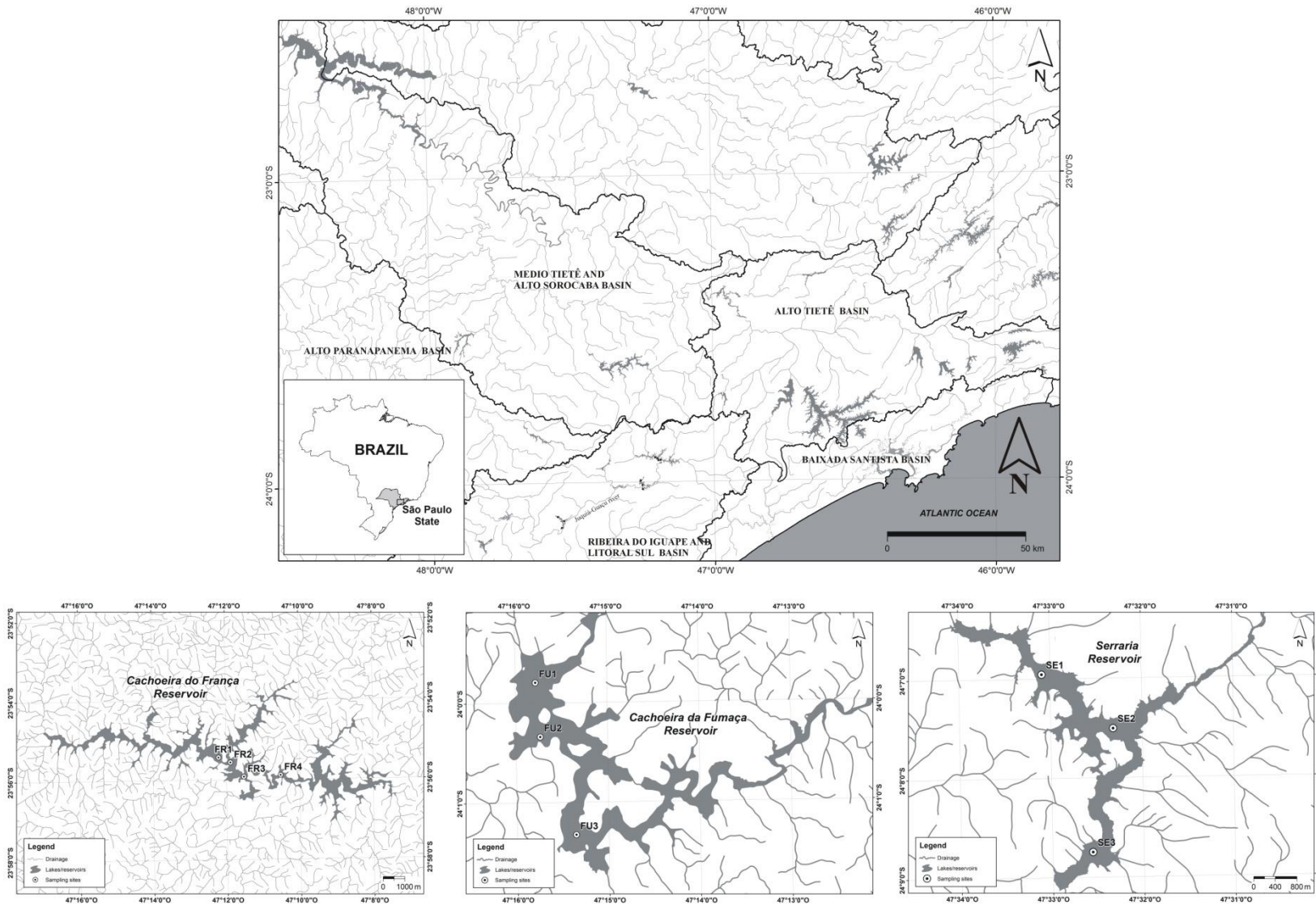


Figure 1. Study area at the Ribeira do Iguape/Litoral Sul Basin, São Paulo, SP, Brazil. Small maps show sampling sites in each reservoir.

2.3. Climate, hydrological and abiotic variables

Rainfall, air temperature and water flow rate data were obtained from the CBA, Votorantim Company.

Maximum depth ($Z_{\max}$) was measured with a portable depth device. Water temperature, pH, turbidity and electric conductivity were measured ‘*in situ*’ with a multiparameter probe (Horiba U-53). Water transparency was obtained using a Secchi disk and the euphotic zone (Z_{eu}) according to Cole (1983). Mixing zone (Z_{mix}) was identified by the vertical temperature profile. The following variables were also measured: pH (pHmeter Digimed), electric conductivity (Digimed conductivimeter), dissolved oxygen (DO) (Golterman et al., 1978), free CO_2 , nitrite (NO_2) and nitrate (NO_3) (Mackereth et al., 1978), ammonium (NH_4) (Solorzano, 1969), soluble reactive phosphorus (PO_4) (Strickland & Parsons, 1960), total phosphorus (TP) and total nitrogen (TN) (Valderrama, 1981), and soluble reactive silica (SRS) (Golterman et al., 1978). Water samples for identification of dissolved nutrients were filtered under low pressure using glass-fiber filters (GF/F Whatman). Chlorophyll-*a* corrected for phaeophytin was measured within at most one week from the sampling day, with 90% ethanol as the organic solvent (Sartory & Grobbelaar, 1984). Trophic State Index (TSI) was calculated based on the chlorophyll-*a* subsurface concentrations and total phosphorus values (Lamparelli, 2004). Secchi disk transparency was not considered since this information is not always associated with biogenic transparency.

2.4. Biological variables

Phytoplankton samples were collected with a van Dorn bottle along the reservoir’s vertical profile (euphotic zone, mean depth, and 1 m above the sediments) and fixed with 1% lugol acetic solution for the quantitative analyses. Algae were quantified using an inverted Zeiss Axio Observer D1 microscope at 400x, following Utermöhl (1958). The counting limit was considered the occurrence of three fields without any species novelty. Algal biovolume was estimated by multiplying each species’ density by the mean volume of its representative individuals, and whenever possible measuring the cell or coenobium dimensions of at least 10 specimens of each species according to its geometric formulae following Hillebrand et al. (1999) and Napiórkowska-Krzebietke & Kobos (2016). Biovolume was expressed as biomass (mg L^{-1}). Species that contributed with up to 95% of total algal biovolume each were classified into functional groups (FG) ‘*sensu*’ Reynolds (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009). Dominant species were selected upon 50% of the relative abundance.

2.5. Statistical analysis

Detrended Correspondence Analysis (DCA) was used to assess the ordering of the

phytoplankton descriptive species and functional groups. Given that DCA showed a short length gradient (< 2) evidencing a linear response, Redundancy Analysis (RDA) was used for the joint evaluation of environmental variables and phytoplankton descriptive species and functional groups (Birks, 2010). Logarithm-transformed data were used. A randomization test was carried out to determine interpretable axes ($p < 0.05$). Analysis was run using PC-ORD 6.0 program (McCune & Mefford, 2011).

3. Results

3.1. *Climate, abiotic variables and TSI*

Sampling periods were considered typical for the region, represented by a rainy summer with higher temperatures, and a dry winter with lower temperatures. During the summer, precipitation ranged from 150 mm (Cachoeira do França) to 521.5 mm (Serraria), the highest values registered in February at all reservoir sites. Mean air temperature for the period ranged from 20-38°C (Serraria) to 16-46°C (Cachoeira do França). During the winter, precipitation ranged from 49.5-144.25 mm (Cachoeira da Fumaça). Mean air temperature values ranged from 6-36°C (Cachoeira do França) to 8-27°C (Serraria).

Limnological data are shown in Table 2. Secchi disk depth was greater during the winter than in the summer, especially at Serraria reservoir that also presented the lowest turbidity values. During the summer, Cachoeira do França had neutral to alkaline pH, whereas Cachoeira da Fumaça and Serraria had acidic to slightly alkaline pH. Nutrient concentrations dropped usually below the method detection limit in some sampling sites. NH_4 , TN, TP, free CO_2 and NO_3 concentrations, and conductivity vertical distribution pattern in the water column were more homogeneously distributed at the lower depths of reservoirs, especially during the summer, contrary to the dissolved oxygen whose highest concentrations were detected near the reservoir subsurface.

Table 2. Mean values of limnological variables and the standard deviation, in parenthesis, in Cachoeira do França (FR), Cachoeira da Fumaça and Serraria (SE) reservoirs during summer (S) and winter (W).

	Cachoeira do França		Cachoeira da Fumaça		Serraria	
	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter
Chlorophyll- <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1.8 (± 1.5)	4 (± 15)	0.4 (± 1.7)	1.5 (± 4)	0.4 (± 0.3)	1.3 (± 2.5)
Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	25 (± 12)	25.5 (± 1.4)	26 (± 2)	27 (± 9.1)	25 (± 10.5)	27 (± 1.3)
DO (mg L^{-1})	6.1 (± 1.9)	6.1 (± 1.4)	5.4 (± 2.5)	6.8 (± 1.1)	5.4 (± 2.4)	7.5 (± 1.7)
Free CO_2 (mg L^{-1})	0.5 (± 0.9)	10.1 (± 13)	26.8 (± 42.2)	30 (± 30.1)	31.5 (± 37.9)	27 (± 44.7)
HCO_3^- (mg L^{-1})	10.7 (± 2.1)	10.7 (± 0.6)	9.7 (± 2.4)	10.6 (± 0.3)	10.3 (± 3.7)	13.9 (± 1.4)
NH_4 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	31.5 (± 132.3)	25.4 (± 15.5)	50.7 (± 64.2)	16 (± 17.7)	11.9 (± 125.1)	5.9 (± 19.7)
NO_2 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1.5 (± 1.8)	0.7 (± 1.1)	3.4 (± 6.4)	1.5 (± 0.3)	1.8 (± 2.1)	0.5 (± 0.3)
NO_3 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	3.3 (± 23.6)	11.6 (± 33)	27.4 (± 60)	66.6 (± 9.2)	127.2 (± 96.4)	143 (± 50.9)
pH	7.6 (± 0.5)	6.3 (± 0.9)	5.8 (± 0.6)	5.8 (± 0.5)	5.7 (± 0.8)	5.9 (± 0.9)
PO_4 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	8.3 (± 0.9)	1.9 (± 1.3)	1.6 (± 0.4)	2.5 (± 0.5)	2.5 (± 4.2)	0 (± 0.4)
Secchi Disk (m)	1.7 (± 0.2)	1.7 (± 0.2)	1.7 (± 0.2)	3.8 (± 0.7)	2.8 (± 0.2)	5.1 (± 0.3)
Silicate (mg L^{-1})	2.5 (± 0.8)	3.4 (± 0.4)	1.4 (± 0.4)	3.2 (± 0.1)	1.4 (± 0.9)	4.7 (± 0.5)
Total Phosphorus ($\mu\text{g L}^{-1}$)	14 (± 6.1)	4.4 (± 1.7)	6.4 (± 1.7)	3.9 (± 1.9)	5.9 (± 3.7)	7.3 (± 1.9)
Total Nitrogen ($\mu\text{g L}^{-1}$)	307.2 (± 176)	258 (± 65.1)	407.1 (± 138.6)	136 (± 23)	186.7 (± 192.3)	243.1 (± 47.5)
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	24.9 (± 2.7)	16.8 (± 1.2)	24.9 (± 4.1)	17.1 (± 1.4)	23.8 (± 5.2)	18.2 (± 1.3)

3.2. Phytoplankton

Comparatively, the largest phytoplankton biomass was found in the upstream reservoir (Cachoeira do França). All three reservoirs presented higher total phytoplankton biomass during the winter than in the summer, but the highest value was detected at the subsurface layer of Cachoeira do França reservoir sampling site 4. During the summer, all three reservoirs showed greater biomass at their subsurface and middle layers, except for Cachoeira do França site 2 bottom layer that presented the greatest value.

The most constant species with higher relative biomass in all three reservoirs and all three layers was *Discostella stelligera*, followed by some other groups and *Aphanocapsa delicatissima* with lower relative biomass. *Ceratium furcoides* was more present during winter in the entire water column, and *Cosmarium tinctum* was exclusively found at the bottom layer of Cachoeira do França reservoir.

Group **B** was practically found throughout the three reservoirs and at all three strata in both seasons, but presented lower relative biomass during the winter and towards the site 4 of Cachoeira do França reservoir, which is the closest site to the entry of the Juquiá Guaçu river. On the contrary, group **L_M** presented the higher relative abundance at this site and season.

Group **L_M** was more present during the winter at the subsurface and medium layers in the Serraria reservoir, basically due to *Ceratium furcoides*. It was observed that during the stratification period (summer), bottom layer showed dominance of one functional group, whereas at both the subsurface and intermediate layers several groups dominated. On the other hand, during mixing

period (winter) one group tended to dominate the whole water column, mainly *Ceratium furcoides*.

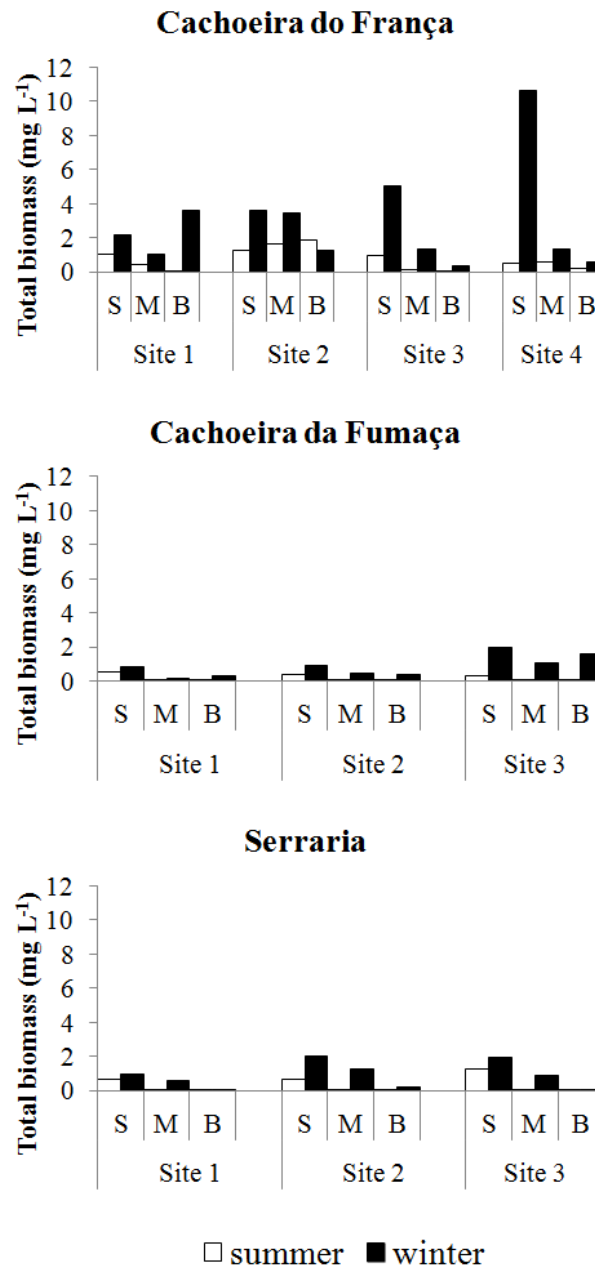


Figure 2. Phytoplankton total biomass (mg L⁻¹) in the three cascading reservoirs considering the vertical (subsurface, middle and bottom layers) and spatial (sampling sites) profiles during the winter and summer.

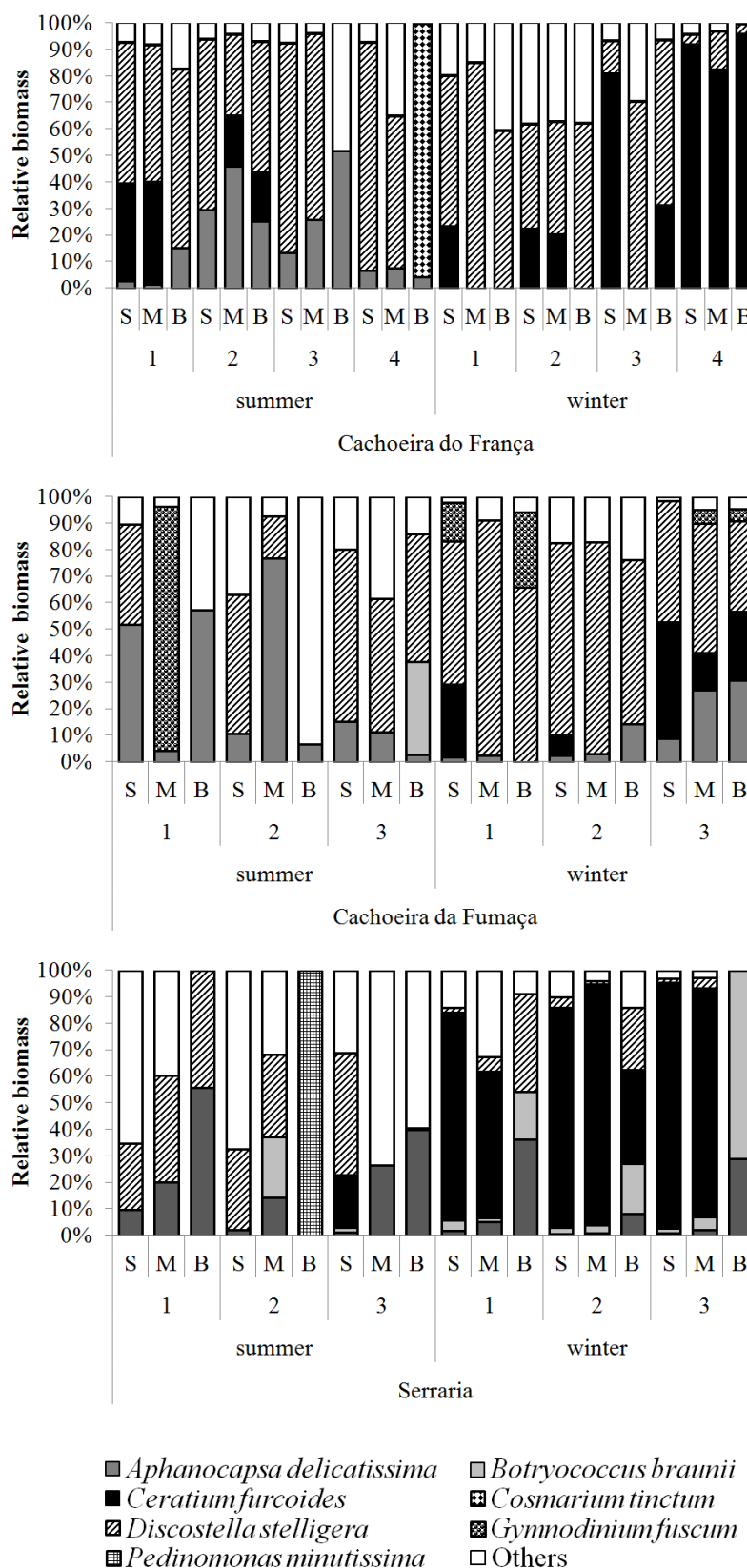


Figure 3. Relative biomass of phytoplankton dominant species at the three cascading reservoirs considering vertical (subsurface, middle and bottom layers) and spatial (sampling sites) profiles during the winter and summer.

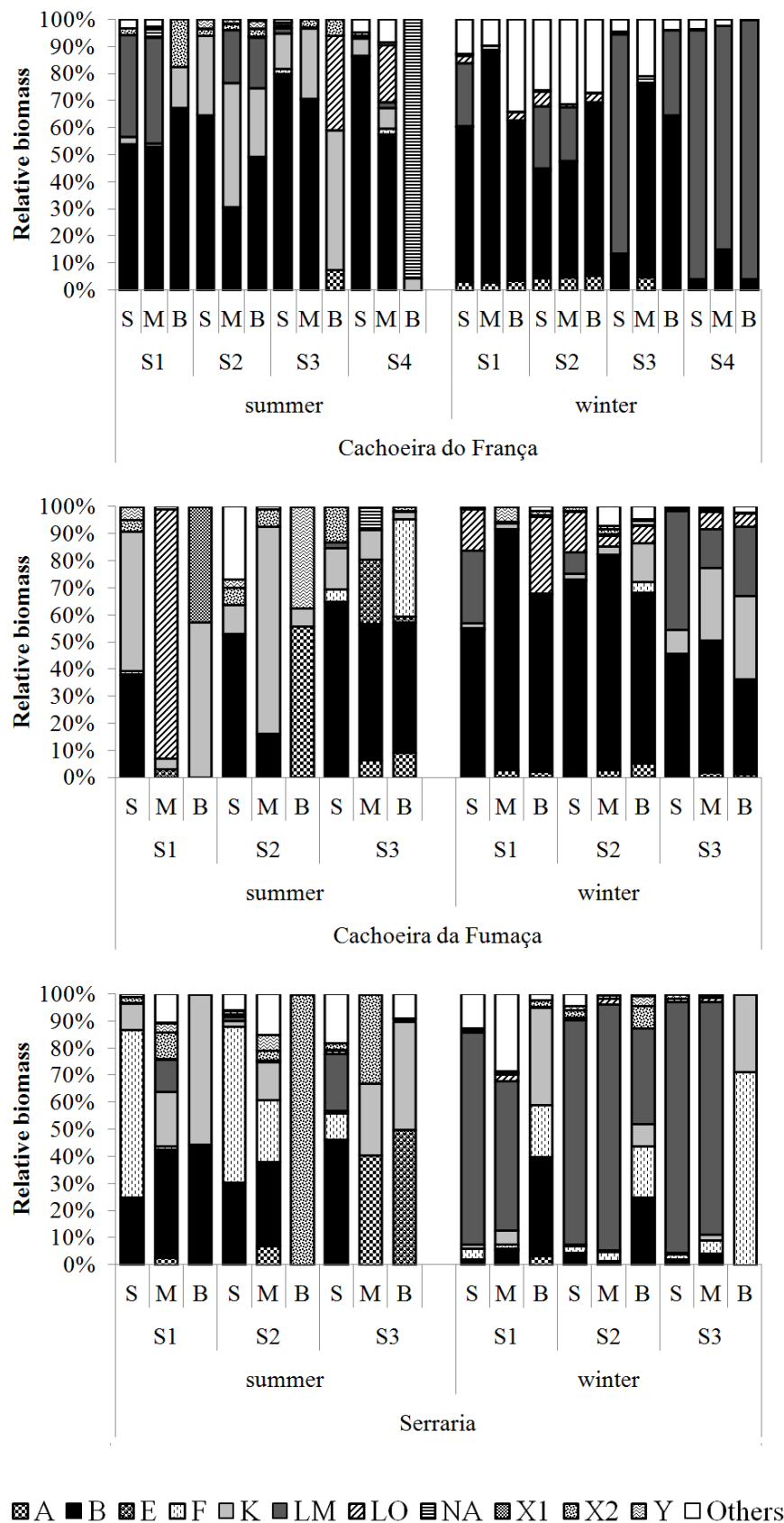


Figure 4. Phytoplankton functional groups relative biomass (%) in the three cascading reservoirs considering the vertical (subsurface, intermediate and bottom layers) and the spatial (sites) profiles during winter and summer seasons.

RDA was performed to analyze the phytoplankton structure using the biovolume of 37 phytoplankton species and five environment variables (Figure 5, Table 3). Monte Carlo permutation test was significant for both axes 1 and 2 ($p = 0.001$). Axis 1 ($\lambda = 4.71$) and 2 ($\lambda = 2.31$) eigenvalues explained 18.9% of the total variability of data in both axes. Pearson's Correlation Coefficient (PCC) species-environment for axis 1 (0.850) and 2 (0.825) indicated a strong relationship between species distribution and environment variables. Most Cachoeira do França and Cachoeira da Fumaça figures during the summer and Serraria in both seasons were located on the negative side of axis 1. These sample units were correlated with the highest temperature ($r = -0.7$) and TP ($r = -0.6$) values. The opposite was observed during the winter at the Cachoeira do França and Fumaça reservoirs. Such ordination showed the temporal change in the phytoplankton taxonomic structure at Cachoeira do França and Fumaça reservoirs, but seasonality had a lower weight at the Serraria reservoir. Ordination also showed the association of several species with the winter environmental conditions at the Cachoeira do França and Fumaça reservoirs, mainly *Eunotia waimiriorum*, *Closterium acutum* and *Cylindrospermopsis raciborskii* ($r > 0.7$).

RDA was also performed to analyze the phytoplankton functional groups, using biovolume of 18 codons and four environment variables (Figure 6, Table 4). Monte Carlo permutation test was significant for both axes 1 and 2 ($p = 0.001$). Eigenvalues of axis 1 ($\lambda = 3.08$) and 2 ($\lambda = 1.23$) explained 23.9% of both axes total data set variability. Temperature and total phosphorus ($r \geq 0.7$) were the highest weight variables in the ordination. Most Cachoeira do França and Cachoeira da Fumaça summer figures and those for both seasons at Serraria were ordered on the negative side of axis 1. However, Cachoeira do França and Cachoeira da Fumaça reservoirs were ordered in the winter on the positive side of axis 1 ($r \geq 0.66$). Functional groups **A**, **P**, **S_N** and **MP** were associated with lower temperatures and TP in winter in both Cachoeira do França and Cachoeira da Fumaça reservoirs ($r \geq 0.66$).

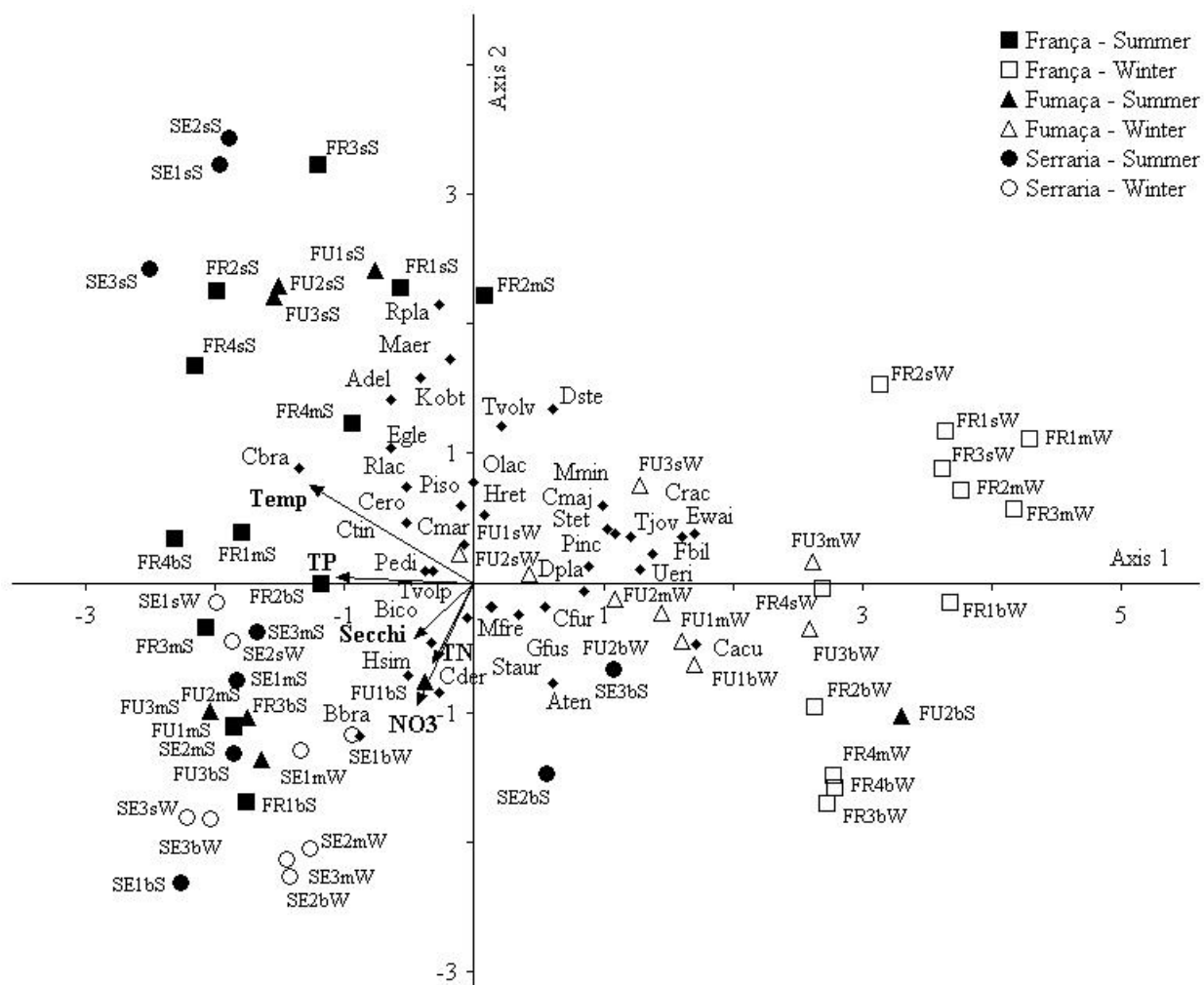


Figure 5. Redundancy analysis of phytoplankton species biovolume (37 species) and environment variables (5 variables) in the three studied reservoirs. **Abbreviations:** capital letters indicate reservoir (FR Cachoeira do França, FU Cachoeira da Fumaça, SE Serraria), number indicates sampling site (1, 2, 3, 4), lowercase letter indicates sampling depth (s subsurface, m intermediate layer, b 1m above bottom), and last capital letter indicates season of the year (S Summer, W Winter). Vectors: NO3 Nitrate, Secchi Secchi Disk, Temp Temperature, TP total phosphorus, TN Total Nitrogen.

Table 3. Descriptive species used to study community structure in three reservoirs along the Juquiá Guaçu River (São Paulo, Brazil). FG: functional group ‘sensu’ Reynolds, Code: 4 letters for species recognition. Bold numbers in Axis 1 and 2 are Pearson’s correlation above 0.5.

Species	FG	Code	Axis 1	Axis 2
<i>Aulacoseira tenella</i> (Nygaard) Simonsen	A	Aten	0.270	-0.235
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford	A	Ueri	0.562	0.034
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	B	Dste	0.271	0.414
<i>Fragilaria billingsii</i> Wengrat, C.E.Wetzel & Morales	B	Fbil	0.608	0.068
<i>Bicosoeca petiolata</i> (F.Stein) E.G.Pringsheim	E	Bico	-0.141	-0.141
<i>Mallomonas fresenii</i> Kent	E	Mfre	0.065	-0.057
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	F	Bbra	-0.384	-0.362
<i>Keratococcus obtusus</i> (Koršikov) Hindák	F	Kobt	-0.180	0.487
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	F	Olac	0.002	0.240
<i>Radiococcus planktonicus</i> J.W.G.Lund	F	Rpla	-0.114	0.659
<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthaller) Wacklin, L.Hoffman & Komárek	H1	Dpla	0.375	-0.017
<i>Hariotina reticulata</i> P.A.Dangeard	J	Hret	0.035	0.163
<i>Tetraedriella jovetti</i> (Bourrelly) Bourrelly	J	Tjov	0.532	0.110
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S.West	K	Egle	-0.277	0.320
<i>Epigloeosphaera glebulenta</i> (Zalessky) Komárková-Legnerová	K	Adel	-0.282	0.435
<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	L _M	Cfur	0.242	-0.054
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	L _M	Maer	-0.080	0.533
<i>Gymnodinium fuscum</i> (Ehrenberg) Stein	L _O	Pinc	0.389	0.040
<i>Parvodinium inconspicuum</i> Lemmermann	L _O	Gfus	0.152	-0.074
<i>Cosmarium majae</i> Strøm	N _A	Cmaj	0.454	0.130
<i>Cosmarium tinctum</i> Ralfs	N _A	Ctin	-0.140	0.030
<i>Staurodesmus ralfsii</i> (West) Tomaszewicz	N _A	Staur	0.059	-0.057
<i>Eunotia waimiriorum</i> C.E.Wetzel	MP	Ewai	0.708	0.112
<i>Closterium acutum</i> Brébisson var <i>variabile</i> (Lemmermann) Willi Krieger	P	Cacu	0.751	-0.143
<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs	P	Stet	0.479	0.117
<i>Planktothrix isothrix</i> (Skuja) Komárek & Komárková	S1	Piso	-0.041	0.185
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszyńska) Seenayya & Subba Raju	S _N	Crac	0.751	0.117
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	W2	Tvolv	0.096	0.374
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Svirenko	W2	Tvolp	-0.023	-0.082
<i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová	X1	Mmin	0.437	0.184
<i>Chlamydomonas debaryana</i> Goroschankin	X2	Cder	-0.119	-0.257
<i>Cryptomonas brasiliensis</i> Castro <i>et al.</i>	X2	Cbra	-0.592	0.272
<i>Hemiselmis simplex</i> Butcher	X2	Hsim	-0.223	-0.218
<i>Pedinomonas minutissima</i> Skuja	X2	Pedi	-0.163	0.028
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	X2	Rlac	-0.229	0.228
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	Y	Cero	-0.227	0.146
<i>Cryptomonas marssonii</i> Skuja	Y	Cmar	-0.034	0.092

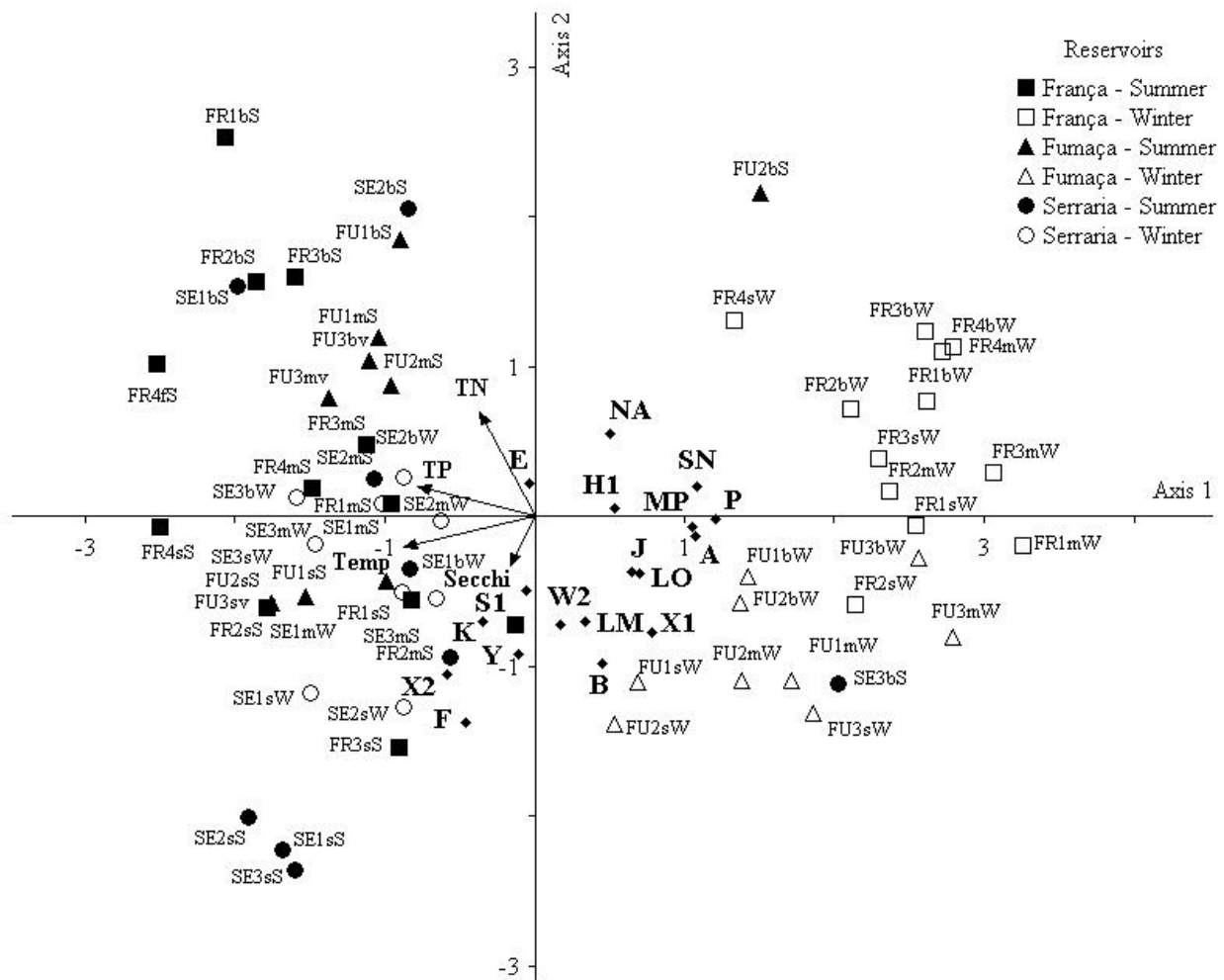


Figure 6. RDA functional groups ordination (*'sensu'* Reynolds et al., 2002) and 4 abiotic variables at Cachoeira do França (FR), Cachoeira da Fumaça and Serraria (SE) reservoirs. **Abbreviations:** capital letters indicate reservoir (FR Cachoeira do França, FU Cachoeira da Fumaça, SE Serraria), number indicates sampling site (1, 2, 3, 4), lowercase letter indicates sampling depth (s subsurface; m intermediate layer; b 1 m above bottom) and last capital letter the climatic season (S Summer, W Winter). Vectors: Secchi Secchi Disk, Temp Temperature, TP total phosphorus, TN Total Nitrogen.

Table 4. Codons of representative species for all three reservoirs, according to Reynolds et al. (2002) and Padisák et al. (2009). Bold numbers in Axes 1 and 2 are Pearson's correlation above 0.5.

Functional Group (codon)	Axis 1	Axis 2
A	0.666	-0.051
B	0.280	-0.387
E	-0.026	0.085
F	-0.290	-0.542
H1	0.332	0.021
J	0.402	-0.148
K	-0.219	-0.278
L _M	0.207	-0.275
L _O	0.435	-0.153
NA	0.314	0.215
MP	0.653	-0.030
P	0.749	-0.006
S1	-0.041	-0.196
S _N	0.671	0.076
W2	0.105	-0.285
X1	0.486	-0.307
X2	-0.369	-0.417
Y	-0.071	-0.363

4. Discussion

Limnological variability at the study area was mostly influenced by the climatic season. In relation to the temporal scale, climatic periods were typical for the region with a rainy summer and high temperatures, the opposite occurring during the winter. Limnological features were very similar among reservoirs, probably influenced by their interconnectivity. According to the Trophic State Index proposed by Lamparelli (2004), sampling sites went from ultraoligotrophic to oligotrophic, depending mostly on the seasonal scale, therefore reinforcing the system's spatial homogeneity. Within such environmental conditions, little change in phytoplankton structure was detected because of the most abundant descriptive species (*Discostella stelligera* and *Ceratium furcoides*), and the functional groups (**B**, **L_M**) were practically the same in all reservoirs. Moreover, phytoplankton total biomass was not cumulative along the cascading reservoirs.

Descriptive species did not change drastically with cascading both in the vertical and longitudinal profiles, as well as among reservoirs, however, they did change among climatic seasons. In other words, an indication that the seasonality and limnological conditions influence the phytoplankton structure in the three oligotrophic reservoirs was not detected.

Influence of seasonality upon phytoplankton structure was clearly evident in the first two cascading reservoirs (Cachoeira do França and Cachoeira da Fumaça), but it was not very

noticeable in the third reservoir (Serraria). The most evident feature of Serraria was that during the summer, the subsurface layer behaved differently than the rest of the water column, when it was more affected by the high transparency, group **F** being more associated to this condition. Consequently, although some studies have shown that changes in downstream reservoirs may be predicted from characteristics of changes upstream (Armengol, 1977; Straškraba, 1994), present findings show that other factors may also influence phytoplankton structure. For example, in cascading reservoir systems phytoplankton structure was noted to be highly affected by hydrodynamic changes (Padisák et al., 2000; Silva et al., 2005). Moreover, stratification and mixing processes are good driving forces in tropical reservoirs (Fonseca & Bicudo, 2008; Becker et al., 2009).

In the vertical profile, the relative biomass of *Ceratium furcoides* was usually greater at the subsurface and intermediate layers during the winter, and its greatest relative biomass was detected at the Cachoeira do França reservoir. *Ceratium furcoides* was already recorded for several reservoirs in Brazil (Santos-Wisniewski et al., 2007; Matsumura-Tundisi et al., 2010; Cavalcante et al., 2013; Crossetti et al., 2018), whereas *Ceratium hirundinella* was recorded in cascading lotic systems of the Paranapanema River Basin (Ferrareze & Nogueira, 2006). Currently *Ceratium furcoides* is becoming a problem for water quality of reservoirs in South America, and high temperature seems to promote its invasion (Meichtry de Zaburlín et al., 2016). Research found that *Ceratium* species occur throughout the year even at low densities in tropical reservoirs (Silva et al., 2012), though other studies reported winter dominance in a temperate reservoir (Pérez-Martínez & Sánchez-Castillo, 2002). In the Garças reservoir, a eutrophic tropical reservoir, establishment of *Ceratium furcoides* was associated with disturbance events, which changed the water column stability and transparency (Crossetti et al., 2018). Present study showed that cascading reservoir's oligotrophic conditions favor dominance of *Ceratium furcoides*, especially during the winter, which is a warning sign.

Another species with high biomass in the present reservoirs was *Discostella stelligera*, that showed greater total biomass at the subsurface and intermediate layers during the winter, probably because reservoirs were not stratified on the sampling day. In fact, depth of Cachoeira do França during the winter was lower than those of Cachoeira da Fumaça and Serraria. *Discostella stelligera*, a common species in freshwater plankton communities (Spaulding & Edlund, 2009) like many other diatoms, depends on the turbulence to maintain its buoyancy in the upper layers of the water column. Besides being commonly found in tropical reservoirs, *Discostella stelligera* is also found in surface sediments and plankton (Zorzal-Almeida et al., 2017).

Considering the functional groups 'sensu' Reynolds, groups **MP**, **P** and **S_N** altogether reflected the conditions prevalent at the sampling sites of Cachoeira do França and Fumaça reservoirs during

the winter due to mixing, with low TN, TP, temperature and transparency values. Codon **MP**, mainly *Eunotia waimiriorum*, is a colonial planktonic diatom sensitive to turbid shallow waters, which is a typical species of the oligotrophic-pristine-high-sediment of Branco River in the Brazilian Amazons (Wetzel et al., 2010). In the current study, presence of that species matched with low values of transparency during the winter present in all sampling sites at Cachoeira do França, probably due to the turbulence induced by the entrance of tributary rivers, since this reservoir is shallower than the other two.

Group **S_N** represented by nitrogen fixing Cyanobacteria are sensitive to flushing and are typically from warm mixed environments and according to Soares et al. (2013), *Cylindrospermopsis raciborskii* is a species related to systems with annual mixing. In the present study, one of the characteristics exhibited by Cachoeira do França and Cachoeira da Fumaça in the winter is the thermal mixing, which implies that mixing is an important feature irrespective of the season. This process qualified typical co-dominance, pointed out by Soares et al. (2013), of colonial Chroococcales with filamentous N₂-fixing Nostocales, groups **H1**, **S_N** and **L_M** (partially *Microcystis aeruginosa*) during the winter season in these reservoirs.

Group **P**, likewise, is typical of continuous or semi-continuous mixed layer of 2-3 m in thickness in higher trophic state reservoirs, which is another feature of Cachoeira do França in the winter, being eutrophic in the sub-surface layer, mainly at site 4. This sampling site is the corridor of the Juquiá Guaçu River. Although annual monitoring by Brazilian water agencies report the Juquiá Guaçu River as having good water quality, it seems that there are obscured sources of allochthonous material that could be the cause of the increased trophic in this sampling site, thus increasing P and N and development of several species, in the same way as for *Ceratium furcoides* (**L_M**).

5. Conclusion

While **E**, **F**, **K**, **S1**, **X2** and **Y** were considered the summer group, the winter group was made up of **A**, **B**, **H1**, **J**, **Lo**, **MP**, **NA**, **P** and **W2**. It was evident that seasonality played a major influence in the functional groups' composition in two reservoirs, Cachoeira do França and Cachoeira da Fumaça, and that Serraria reservoir could be influenced by other factors like hydrodynamic changes. However, the cascade effect on the phytoplankton structure was supported by the continual contribution of *Ceratium furcoides* (group **L_M**) and *Discostella stelligera* (group **B**) at all the reservoirs studied.

Acknowledgements

We acknowledge CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, for

a doctoral fellowship granted to AMLR (Process nº 155376/2014-4). This study was carried out within the framework of the AcquaSed project (Baseline diagnosis and reconstruction of anthropogenic impacts in the Guarapiranga Reservoir, focusing on sustainability in water supply and water quality management in reservoirs of the Upper Tietê and surrounding basins) financially supported by FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Project nº 2009/53898-9). We also thank all the students and technicians involved in the field and laboratory work at the Instituto de Botânica's Department. We deeply appreciate the valuable assistance of the Votorantim Energia staff for the logistic support during the fieldwork. We are also grateful to Prof. William de Queiróz (Geoprocessing Laboratory, Universidade de Guarulhos) for the study area illustration.

References cited

- ARMENGOL, J. Tipologia de los embalses españoles. In: Seminario sobre medio ambiente y represas. Tomo I, pp.3-13. 1977.
- BARBOSA, F.A.R., PADISÁK, J., ESPÍNDOLA, E.L.G., BORICS G. and ROCHA, O. The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the River Tietê-Basin, São Paulo State, Brazil. *Theoretical Reservoir Ecology and its applications*, 1999, 425-437.
- BECKER, V., CARDOSO, L.S. and HUSZAR, V.L. 2009. Diel variation of phytoplankton functional groups in a subtropical reservoir in southern Brazil during an autumnal stratification period. *Aquatic Ecology*, 2009, 43, 285-293. <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-008-9164-0>.
- BIRKS, H.J.B. Numerical methods for the analysis of diatom assemblage data. In: SMOL, J.P., STOERMER, E.F. (eds.). *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, pp.23-54. 2nd edition.
- BONILLA, S. Composición y abundancia fitoplanctónicas de tres embalses en cadena sobre el río Negro, Uruguay. *Iheringia, Série Botânica*, 1997, 49, 47-61.
- CAVALCANTE, K. P., ZANOTELLI, J.C., MÜLLER, C.C., SCHERER, K.D., FRIZZO, J.K., LUDWIG, T.A.V. and CARDOSO, L.S. First record of expansive *Ceratium* Schrank, 1793 species (Dinophyceae) in Southern Brazil, with notes on their dispersive patterns in Brazilian environments. *Check List*, 2013, 9(4), 862–866.
- CBH-RB 2014. Elaboração do plano de bacias da UGRHI 11 relatório II. Projeto fehidro 2014- RB -278.
- COLE, G.A. *Manual de Limnología*. Buenos Aires: Hemisferio Sur, S. A. 1988.
- CROSSETTI, L.O., BICUDO, D.C., BINI, L.M., DALA-CORTE, R.B., FERRAGUT, C. and BICUDO, C.E.M. Phytoplankton species interactions and invasion by *Ceratium furcoides* are

- influenced by extreme drought and water-hyacinth removal in a shallow tropical reservoir. *Hydrobiologia*, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-018-3607-y>.
- FERRAREZE, M. and NOGUEIRA, M.G. 2006. Phytoplankton assemblages in lotic systems of the Paranapanema Basin (Southeast Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 2006, 18(4), 389-405.
- FERREIRA, R.A.R, SANTOS, C.M. and HENRY, R. Estudo qualitativo da comunidade perifítica no complexo Canoas (Rio Paranapanema, SP/PR) durante as fases de pré e pós enchimento. In: NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R. and JORCIN, A. (Orgs.). *Ecologia de represas: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: RiMa, 2005, pp.205-234.
- FONSECA, B.M. and BICUDO, C.E.M. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, 2008, 600, 267-282.
- GEMELGO, M.C.P., MUCCI, J.L.N. and NAVAS-PEREIRA, D. Population dynamics: seasonal variation of phytoplankton functional groups in Brazilian reservoirs (Billings and Guarapiranga, São Paulo). *Brazilian Journal of Biology*, 2009, 69(4), 1001-1013.
- GOLTERMAN, H.L. and CLYMO, R.S. Methods for Chemical Analysis of Freshwaters. Oxford and Edinburg: Blackwell Scientific Publications, International Biological Programme, 1969.
- GOLTERMAN, H.L., CLYMO, R.S. and OHMSTAD, M.A.M. Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters. Oxford: Blackwell Scientific Publications, International Biological Program, 1978.
- HILLEBRAND, H., DÜRSELEN, C.-D., KIRSCHTEL, D. and POLLINGHER, U. and ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 1999, 35, 403-424.
- LAMPARELLI, M.C. Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004. 235 p. [Doctoral Dissertation].
- MACKERETH, F.J.H., HERON, J. and TALLING, J.F. Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists. Freshwater Biological Association Scientific Publication, 1978.
- MATSUMURA-TUNDISI, T., TUNDISI, J.G., LUZIA, A.P. and DEGANI, R.M.. Occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 2010, 70(3), 825-829.
- McCUNE, B. and MEFFORD M.J. *PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 6. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, 2011.
- MEICHTRY de ZABURLÍN, N., VOGLER, R.E., MOLINA, M.J., LLANO, V.M. Potential distribution of the invasive freshwater dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinophyta) in South America. *Journal of Phycology*, 2016, 52, 200–208. <http://dx.doi.org/10.1111/jpy.12382>.

- MELLARD J.P., YOSHIYAMA, K., LITCHMAN, E. and KLAUSMEIER, C.A. The vertical distribution of phytoplankton in stratified water columns. *Journal of Theoretical Biology*, 2011, 269 (1), 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.09.041>.
- MOURA, A.N., SEVERIANO, J.S., TAVARES, N.K.A. and DANTAS, E.W. The role of a cascade of reservoirs and seasonal variation in the phytoplankton structure in a tropical river. *Brazilian Journal of Biology*, 2013, 73(2), 291-298. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842013000200009>.
- NAPIÓRKOWSKA-KRZEBIETKE, A. and KOBOS, J. Assessment of the cell biovolume of phytoplankton widespread in coastal and inland water bodies. *Water Research*, 2016, 104, 532-546.
- NOGUEIRA, M.G., FERRAREZE, M., MOREIRA, M.L. and GOUVÊA, R.M. Phytoplankton assemblages in a reservoir cascade of a large tropical-subtropical river (SE, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, 2010, 70(3, Suppl.), 781-793.
- NOGUEIRA, M.G., JORCIN, A., VIANNA, N.C. and BRITTO, Y.C.T. Represas em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos): um estudo de caso no rio Paranapanema (SP/PR). In: NOGUEIRA, M.G., HENRY, R. and JORCIN, A. (orgs). *Ecologia de represas - impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos. Rima Editora, 2006, pp. 83-125. 2nd ed.
- PADISÁK, J., BARBOSA, F.A.R, BORBÉLY, G., BORICS, G., CHORUS, I., ESPINDOLA, E.L.G, HEINZE, R., ROCHA, O., TÖRÖKNÉ, A.K. and VASAS, G. Phytoplankton composition, biodiversity and a pilot survey of toxic cyanoprokaryotes in a large cascading reservoir system (Tietê basin, Brazil). *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 2000, 27, 2734-2742. <http://dx.doi.org/10.1080/03680770.1998.11898164>.
- PADISÁK, J., CROSSETTI, L. and NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 2009, 621, 1-19.
- PÉREZ-MARTÍNEZ, C. and SÁNCHEZ-CASTILLO, P. Temporal occurrence of *Ceratium hirundinella* in Spanish reservoirs. *Hydrobiologia*, 2002, 452(1), 101-107.
- PERH (Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo). Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, Coordenadoria de Recursos Hídricos. 2006.
- REYNOLDS, C.S. Vegetation process in the pelagic: a model for ecosystem theory. In: KINNE, O. (ed.), *Excellence in Ecology*, 9. Oldendorf, Ecology Institute, 1997, 371 p. 9th ed.
- REYNOLDS, C.S. Phytoplankton assemblages in reservoirs. In: TUNDISI, J.G, and STRAŠKRABA, M. (eds.). *Theoretical reservoir and its applications*. Leiden: Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers, 1999, pp.

- REYNOLDS, C.S., HUSZAR, V., KRUK, C., NASELLI-FLORES, L. and MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 2002, 24(5), 417-428.
- RIERA, J.L.L. and MORGUÍ, J.A. Limnología regional de embalses españoles. *Mundo Científico*, 1990, 104, 720-726.
- ROLDÁN, G. *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia, 1992.
- SALDANA-FABELA, M.P., MARTINEZ-JIMENEZ, M. and GOMEZ-BALANDRA, M.A. Spatial and temporal changes in the phytoplankton community in a cascaded reservoir system: San Juan River, Queretaro, Mexico. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2014, 2(5), 244-251. <http://dx.doi.org/10.11648/j.ijema.20140205.13>.
- SANTANA, L.M., CROSSETTI, L.O. and FERRAGUT, C. Ecological status assessment of tropical reservoirs through the assemblage index of phytoplankton functional groups. *Brazilian Journal of Botany*, 2017, 40(3), 695-704. <http://dx.doi.org/10.1007/s40415-017-0373-4>.
- SANTOS, N.C.L., GARCÍA-BERTHO, E., DIAS, J.D., LOPES, T.M., DE PAIVA AFFONSO, I., SEVERI, W., GOMES, C.L. and AGOSTINHO, A.A. Cumulative ecological effects of a Neotropical reservoir cascade across multiple assemblages. *Hydrobiologia*, 2018, 819(1), 77-91. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3630-z>.
- SANTOS-WISNIEWSKI, M.J., SILVA, L.C., LEONE, I.C., LAUDARES-SILVA, R. and ROCHA, O. First Record of the occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925, an invasive species in the hydroelectricity power plant Furnas reservoir, MG, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 2007, 67(4), 791-793.
- SARTORY, D.P. and GROBBELAAR, J.E. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*, 1984, 114, 177-187. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00031869> Silva 2012.
- SILVA, C.A., TRAIN, S. and RODRIGUES, L.C. Phytoplankton assemblages in a Brazilian Subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, 2005, 537, 99-109.
- SILVA, L.C., LEONE, I.C., SANTOS-WISNIEWSKI, M.J., PERET, A.C. and ROCHA, O. Invasão do dinoflagelado *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 em um represa tropical e sua relação com as variáveis ambientais. *Biota Neotropica*, 2012, 12(2), 93-100. <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032012000200010>.
- SOARES, M.C.S., HUSZAR, V.L.M., MIRANDA, M.N., MELLO, M.M., ROLAND, F. and LÜRLING, M.. Cyanobacterial dominance in Brazil: distribution and environmental preferences. *Hydrobiologia*, 2013, 717, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-013-1562-1>.

- SOLORZANO, L. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. *Limnology and Oceanography*, 14, 1969, 799-801. <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1969.14.5.0799>.
- SPAULDING, S.A. and EDLUND, M.B. In: *Diatoms of the United States: The source for diatom identification and ecology* [online]. 2009. [viewed in October 16th, 2018]. Available from: <https://diatoms.org/genera/discostella>.
- STRAŠKRABA, M. Vltava cascade as teaching grounds for reservoir limnology. *Water Science and Technology*, 1994, 30(10), 289-297. <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0539>.
- STRICKLAND, J.D.H. and PARSONS, T.R. A manual of seawater analysis. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada*, 1960, 125, 1-185.
- THORNTON, K.W., KIMMEL, B.L. and PAYNE, F.E. (eds.). *Reservoir limnology: ecological perspectives*. New York: John Wiley & Sons. 1990.
- TUNDISI, J.G. A review of basic ecological processes interacting with production and standing stock of phytoplankton in lakes and reservoirs in Brazil. *Hydrobiologia*, 1983, 100, 223-243.
- TUNDISI, J.G., MATSUMURA-TUNDISI, T. and ROCHA, O. Theoretical basis for reservoir management. In: TUNDISI, J.G. and STRAŠKRABA, M. (eds.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. Leiden: Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers, 1999, pp. 505-528.
- UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommenung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 1958, 9, 1-38.
- VALDERRAMA, G.C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 1981, 10, 109-122. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4203\(81\)90027-X](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4203(81)90027-X).
- WETZEL, C.E., ECTOR, L., HOFFMANN, L. and BICUDO, D.C. Colonial planktonic *Eunotia* (Bacillariophyceae) from Brazilian Amazon: Taxonomy and biogeographical considerations on the *E. asterionelloides* species complex. *Nova Hedwigia*, 2010, 91(1-2), 49-86.
- WETZEL, R.G. *Limnologia*. San Diego, Academic Press, 2001. 3^a ed. 919 p.
- ZORZAL-ALMEIDA, S., BICUDO, D.C., LAMPARELLI, M.C., FAUSTINO, S.B., FERRAGUT, C. and BICUDO, C.E.M. Avaliação do índice de estado trófico e sua aplicação na Represa Guarapiranga em longa série temporal. In: BICUDO, C.E.M. and BICUDO, D.C. (orgs.). *100 anos da Represa Guarapiranga: lições e desafios*. CRV, Curitiba, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na presente pesquisa considerou-se que:

O **capítulo 1** permitiu conhecer que até o momento as represas Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria continuam oligotróficas, desde que foram assim classificadas desde 1981, quando foi realizada a primeira tipologia dos ambientes aquáticos do Estado de São Paulo. Não obstante, dois locais de amostragem na Cachoeira do França, FR3 e FR4, cujo IET, Índice de Estado Trófico médio foi 53,4 e 54,8, respectivamente, foram qualificados mesotróficos no inverno devido, muito provavelmente, a serem muito mais influenciados pela entrada dos rios tributários. Este fato serviu para observar o potencial depurador da cascata, desde que houve decréscimo do estado trófico da montante para a jusante da represa, com diminuição da concentração de nutrientes e biomassa e mudanças nas características físicas e químicas da água. Observou-se, então, que as represas Cachoeira do França e Cachoeira da Fumaça são ambientes mais similares entre si do que a represa Cachoeira do França com a Serraria, que possuem características limnológicas praticamente opostas.

Neste capítulo, o padrão de estrutura térmica das represas durante o verão e o inverno do ano 2014 foi caracterizado por um período de estabilidade térmica da coluna d'água (estratificação) que ocorreu durante o verão e outro de instabilidade térmica (mistura) durante o inverno. Considerando que o presente período de observação foi muito curto, seria arriscado estabelecer a classificação polimíctica destas represas com base na mistura, como foi anteriormente considerado no projeto “Tipologia de reservatórios do Estado de São Paulo” em 1979, no qual os reservatórios foram amostrados trimestralmente. Sugere-se, então, para que uma classificação mais precisa seja concretizada, que o período de amostragem seja estendido para abranger também as épocas de primavera e outono e o mínimo de três anos ininterruptos para monitorar as características da água ao longo do ano e observar a possível existência de resultados contrastantes nas diferentes épocas do ano.

No **capítulo 2**, aportaram-se novas informações sobre a ecologia e a distribuição do fitoplâncton de ambientes oligotróficos tropicais. Os resultados mostraram que a comunidade fitoplanctônica, especificamente os grupos funcionais, dependeram do período climático só em duas

das três represas, Cachoeira do França e Cachoeira da Fumaça, desde que Serraria pode estar influenciada por outro tipo de variável. Contudo, o efeito da cascata sobre a estrutura do fitoplâncton nas três represas foi demonstrado pelo aporte contínuo de uma espécie invasora (*Ceratium furcoides*) e de uma de diatomácea (*Discostella stelligera*) muito bem adaptadas à estratificação da coluna d'água.

ANEXOS

Tabela 1 - Variáveis físicas e químicas em três reservatórios conectados, Cachoeira do França (FR), Cachoeira da Fumaça e Serraria (SE) no período de verão (V) e inverno (I). s (superfície), m (estrato intermediário), f (1m acima do fundo); < menor que o limite de detecção do método.

Estação amostral	Sec m	Temp °C	Turb NTU	pH	Cond μscm^{-1}	Alc mEqL^{-1}	CO ₂ mgL^{-1}	HCO ₃ ⁻ mgL^{-1}	CO ₃ mgL^{-1}	OD mgL^{-1}	N-NH ₄ μgL^{-1}	N-NO ₂ μgL^{-1}	N-NO ₃ μgL^{-1}	NT μgL^{-1}	P-PO ₄ μgL^{-1}	PDT μgL^{-1}	PT μgL^{-1}	SSR mgL^{-1}	Clo-a $\mu\text{g L}^{-1}$
FR1sV	1,64	27,9	8,2	7,98	24	0,1790	0,17	10,73	0,0517	7,33	<10,00	<5,00	<8,00	220,29	6,96	<4,00	7,08	2,36	2,05
FR1mV	1,64	24,8	14,5	7,77	24	0,1795	0,30	10,85	0,0294	6,00	24,26	<5,00	44,34	262,05	8,89	<4,00	14,16	3,88	0,88
FR1fV	1,64	21,8	19,7	7,18	67	0,2230	1,55	13,58	0,0084	2,59	269,84	<5,00	28,75	792,93	8,60	<4,00	16,18	4,05	<0,50
FR2sV	1,77	28,5	7,9	8,22	24	0,1690	0,09	9,99	0,0836	6,82	<10,00	<5,00	<8,00	213,27	7,40	<4,00	15,34	2,32	2,64
FR2mV	1,77	25,0	10,2	7,70	26	0,1680	0,33	10,17	0,0234	6,73	11,50	<5,00	<8,00	182,54	8,30	<4,00	8,77	2,38	2,64
FR2fV	1,77	22,7	26,3	7,15	26	0,1790	1,25	10,90	0,0071	5,81	279,96	<5,00	<8,00	510,72	7,85	<4,00	18,03	2,66	2,20
FR3sV	1,69	30,0	8,1	8,28	22	0,1785	0,09	10,51	0,1010	6,13	<10,00	<5,00	<8,00	142,32	8,30	<4,00	9,27	2,08	1,46
FR3mV	1,69	24,1	11,6	7,40	27	0,1675	0,65	10,18	0,0118	5,51	61,23	<5,00	70,21	314,63	9,79	6,70	13,82	3,07	1,76
FR3fV	1,69	22,4	52,0	7,05	29	0,1850	1,74	11,27	0,0052	3,27	157,61	5,99	41,75	512,87	9,79	6,55	16,18	3,24	<0,50
FR4sV	2,10	29,6	6,0	8,16	22	0,1765	0,11	10,48	0,0764	7,05	33,50	<5,00	<8,00	311,49	7,26	<4,00	8,60	2,07	1,76
FR4mV	2,10	25,2	4,3	7,27	24	0,1740	0,92	10,58	0,0091	6,13	29,54	<5,00	<8,00	302,84	7,11	5,17	9,61	2,18	4,39
FR4fV	2,10	23,3	12,4	6,94	31	0,2895	3,27	17,64	0,0071	1,29	400,11	6,45	<8,00	400,11	9,04	7,16	30,50	4,20	<0,50
FR1sI	1,76	18,3	6,1	6,65	25	0,1770	4,18	10,79	0,0020	7,74	16,36	<5,00	9,18	196,78	<4,00	<4,00	<4,00	3,39	8,90
FR1mI	1,76	17,0	3,2	6,42	25	0,1820	8,01	11,10	0,0011	6,85	16,76	<5,00	10,68	170,63	<4,00	4,18	<4,00	3,48	9,56

FR1fi	1,76	16,6	8,5	5,91	26	0,1820	25,91	11,10	0,0003	5,49	47,33	<5,00	18,69	273,40	<4,00	4,33	<4,00	3,81	3,62
FR2sI	2,22	18,5	8,7	6,51	24	0,1810	5,90	11,04	0,0015	8,05	11,94	<5,00	<8,00	159,17	<4,00	<4,00	4,72	3,30	5,60
FR2mI	2,22	16,9	3,5	6,17	25	0,1750	13,69	10,67	0,0006	6,09	28,83	<5,00	8,42	216,26	<4,00	<4,00	<4,00	3,29	4,28
FR2fi	2,22	16,3	7,0	5,74	25	0,1765	37,17	10,77	0,0002	4,76	48,94	<5,00	44,56	272,67	<4,00	<4,00	4,72	3,36	0,99
FR3sI	1,70	18,2	11,7	7,46	25	0,1765	0,64	10,73	0,0127	8,44	<10,00	<5,00	<8,00	243,33	<4,00	<4,00	<4,00	2,84	38,88
FR3mI	1,70	16,7	2,4	6,22	26	0,1745	12,17	10,64	0,0006	5,73	43,71	<5,00	12,51	213,97	<4,00	<4,00	4,05	3,38	1,98
FR3fi	1,70	15,5	101,0	5,76	28	0,1745	35,09	10,64	0,0002	5,87	31,24	<5,00	87,20	315,86	4,45	5,83	5,73	3,37	<0,50
FR4sI	1,64	18,4	12,2	8,95	27	0,1720	0,02	9,42	0,3444	9,31	<10,00	<5,00	10,01	384,99	<4,00	<4,00	5,06	3,13	43,83
FR4mI	1,64	15,5	6,9	7,04	28	0,1620	1,71	9,87	0,0040	6,19	21,99	<5,00	80,22	292,17	<4,00	5,53	6,24	3,40	3,30
FR4fi	1,64	15,1	8,7	5,98	28	0,1555	18,84	9,48	0,0003	5,87	39,28	<5,00	81,98	288,39	4,89	5,98	7,25	4,39	3,62

Estação amostral	Sec m	Temp °C	Turb NTU	pH	Cond μscm^{-1}	Alc mEqL^{-1}	CO ₂ mgL^{-1}	HCO ₃ ⁻ mgL^{-1}	CO ₃ mgL^{-1}	OD mgL^{-1}	N-NH ₄ μgL^{-1}	N-NO ₂ μgL^{-1}	N-NO ₃ μgL^{-1}	NT μgL^{-1}	P-PO ₄ μgL^{-1}	PDT μgL^{-1}	PT μgL^{-1}	SSR μgL^{-1}	Clo-a $\mu\text{g L}^{-1}$
FU1sV	1,38	29,9	11,7	6,48	26	0,1535	4,78	9,36	0,0014	5,35	34,82	<5,00	<8,00	242,94	<4,00	<4,00	6,24	1,75	0,88
FU1mV	1,38	24,9	8,5	5,67	27	0,1550	32,64	9,45	0,0002	6,10	62,99	5,16	116,95	460,80	<4,00	4,56	7,92	2,34	0,44
FU1fV	1,38	23,5	5,7	5,37	27	0,2650	111,35	16,16	0,0002	1,42	167,73	<5,00	27,37	610,42	<4,00	<4,00	6,24	1,40	<0,50
FU2sV	1,67	29,2	9,2	7,25	24	0,1590	0,84	9,67	0,0087	7,97	14,58	<5,00	<8,00	228,55	<4,00	6,24	9,95	1,64	2,64
FU2mV	1,67	24,5	5,7	5,77	26	0,1605	26,85	9,79	0,0003	5,24	49,35	18,72	123,27	402,66	<4,00	4,25	6,91	0,99	<0,50
FU2fV	1,67	16,8	42,8	5,38	32	0,2205	106,38	13,45	0,0001	0,91	192,38	11,29	11,45	551,16	<4,00	<4,00	<4,00	1,24	<0,50
FU3sV	1,94	29,4	7,6	6,69	25	0,1595	3,06	9,72	0,0024	7,48	12,38	<5,00	<8,00	237,28	<4,00	<4,00	7,76	1,69	4,98
FU3mV	1,94	25,0	4,7	5,88	26	0,1575	20,45	9,61	0,0003	6,26	50,67	<5,00	110,73	407,10	<4,00	4,25	6,41	1,27	<0,50
FU3fV	1,94	24,0	30,4	5,61	26	0,1530	36,99	9,33	0,0002	2,97	75,31	13,47	126,91	447,75	<4,00	<4,00	5,40	1,42	1,76
FU1sI	3,76	19,6	2,4	6,52	27	0,1670	5,32	10,18	0,0014	8,40	<10,00	<5,00	70,28	148,68	<4,00	<4,00	<4,00	3,22	1,98
FU1mI	3,76	17,3	2,1	5,68	28	0,1675	40,50	10,22	0,0002	5,53	<10,00	<5,00	85,88	132,26	<4,00	<4,00	4,05	3,46	0,66
FU1fI	3,76	16,7	2,9	5,35	28	0,1775	91,76	10,83	0,0001	5,62	54,17	<5,00	57,46	182,28	<4,00	<4,00	<4,00	3,31	<0,50
FU2sI	3,86	19,3	4,5	6,31	28	0,1760	9,10	10,73	0,0009	8,66	<10,00	<5,00	72,84	124,84	<4,00	<4,00	6,91	3,07	3,95
FU2mI	3,86	17,1	3,1	5,76	27	0,1745	35,09	10,64	0,0002	6,61	13,14	<5,00	66,61	129,15	<4,00	<4,00	6,24	3,02	1,54
FU2fI	3,86	16,9	9,7	6,22	0	0,1745	12,17	10,64	0,0006	7,23	26,82	<5,00	55,09	170,15	<4,00	4,63	<4,00	3,24	0,66

FU3sI	2,43	20,3	6,9	6,62	27	0,1735	4,39	10,58	0,0018	7,56	15,96	<5,00	72,31	123,77	<4,00	<4,00	<4,00	3,09	1,10
FU3mI	2,43	17,1	3,1	5,84	27	0,1795	30,03	10,95	0,0003	6,80	32,04	<5,00	63,24	135,96	<4,00	<4,00	4,22	3,19	11,20
FU3fI	2,43	16,8	9,8	5,48	27	0,1740	66,68	10,61	0,0001	6,66	41,30	<5,00	65,44	174,48	<4,00	<4,00	<4,00	3,17	8,90

Estação amostral	Sec m	Temp °C	Turb NTU	pH	Cond μscm^{-1}	Alc mEqL^{-1}	CO ₂ mgL^{-1}	HCO ₃ ⁻ mgL^{-1}	CO ₃ mgL^{-1}	OD mgL^{-1}	N-NH ₄ μgL^{-1}	N-NO ₂ μgL^{-1}	N-NO ₃ μgL^{-1}	NT μgL^{-1}	P-PO ₄ μgL^{-1}	PDT μgL^{-1}	PT μgL^{-1}	SSR μgL^{-1}	Clo-a $\mu\text{g L}^{-1}$
SE1sV	2,80	31,4	1,9	6,61	14	0,1970	4,55	12,01	0,0025	7,33	11,94	<5,00	<8,00	134,98	<4,00	<4,00	6,07	3,49	4,69
SE1mV	2,80	24,3	2,3	5,64	25	0,1395	31,48	8,51	0,0002	5,42	<10,00	<5,00	196,60	248,96	<4,00	<4,00	<4,00	1,27	<0,50
SE1fV	2,80	21,8	27,3	5,38	43	0,2095	92,18	12,78	0,0001	1,90	209,32	<5,00	127,25	566,54	<4,00	<4,00	7,25	2,83	<0,50
SE2sV	2,74	31,1	2,4	7,77	23	0,1520	0,24	9,16	0,0272	7,61	11,50	<5,00	<8,00	118,14	<4,00	6,85	6,91	2,85	6,15
SE2mV	2,74	23,7	1,7	5,74	25	0,1690	30,29	10,31	0,0003	5,51	11,50	<5,00	200,47	327,34	<4,00	<4,00	<4,00	1,44	<0,50
SE2fV	2,74	17,9	19,9	5,94	48	0,3400	41,20	20,74	0,0007	1,15	363,36	7,83	13,63	603,09	15,00	12,67	8,26	1,16	0,55
SE3sV	3,20	30,0	3,3	6,44	30	0,1810	6,18	11,04	0,0015	6,71	15,90	<5,00	32,66	111,62	<4,00	<4,00	5,90	2,55	7,03
SE3mV	3,20	23,8	2,3	5,54	25	0,1680	47,72	10,25	0,0002	5,31	10,18	<5,00	195,05	186,69	<4,00	4,56	<4,00	1,07	<0,50
SE3fV	3,20	17,7	0,0	5,21	26	0,1655	107,71	10,10	0,0001	2,45	75,09	<5,00	217,39	128,66	<4,00	<4,00	<4,00	1,19	<0,50
SE1sI	5,28	21,2	1,3	8,20	28	0,2120	0,14	12,70	0,0825	9,26	<10,00	<5,00	66,35	165,13	<4,00	4,18	7,59	5,21	1,32
SE1mI	5,28	18,4	0,9	5,75	28	0,2315	43,45	14,12	0,0003	7,17	<10,00	<5,00	111,46	202,12	<4,00	<4,00	7,59	5,47	1,54
SE1fI	5,28	18,2	1,2	5,22	28	0,2280	145,00	13,91	0,0001	7,30	<10,00	<5,00	97,91	197,83	<4,00	4,33	6,58	5,18	<0,50
SE2sI	4,68	21,2	3,8	6,91	27	0,2285	2,96	13,93	0,0046	8,23	<10,00	<5,00	143,01	152,94	<4,00	<4,00	6,41	4,99	2,97
SE2mI	4,68	18,2	1,7	5,65	27	0,2265	53,52	13,82	0,0003	6,56	<10,00	<5,00	216,49	249,74	<4,00	<4,00	6,07	4,29	2,20
SE2fI	4,68	17,9	0,3	5,94	27	0,2225	26,96	13,57	0,0005	7,47	<10,00	<5,00	194,38	281,35	<4,00	<4,00	7,25	4,29	0,66

SE3sl	5,12	19,1	3,6	6,77	27	0,2380	4,26	14,51	0,0035	8,38	<10,00	<5,00	172,66	243,10	<4,00	<4,00	8,60	4,70	8,07
SE3ml	5,12	18,2	0,7	5,83	27	0,2160	33,72	13,17	0,0004	7,56	<10,00	<5,00	179,37	271,59	<4,00	<4,00	6,07	4,32	1,32
SE3fl	5,12	18,1	9,5	6,20	31	0,2870	19,11	17,50	0,0011	3,39	63,42	<5,00	103,23	266,46	<4,00	<4,00	12,14	4,51	<0,50

Tabela 2 - Biovolume total ($\mu\text{m}^3 \text{mL}^{-1}$) dos grupos funcionais *sensu* Reynolds et al. (2002) em cada reservatório. FR: Cachoeira do França, FU: Cachoeira do Fumaça, SE: Serraria, s: sub-superfície, m: médio, f: 1 m acima do fundo, V: verão, I: inverno.

GRUPOS FUNCIONAIS																		
Estação amostral	A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y
FR1sV	0	550938	0	8799	0	0	26268	391380	0	0	0	0	0	0	32134	405	28639	0
FR1mV	0	226023	0	0	0	2666	5719	166340	0	12964	0	9164	0	0	0	528	4117	0
FR1fV	0	45911	0	0	0	0	10392	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11952	0
FR2sV	0	826406	0	1077	0	0	378846	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32394	44338
FR2mV	0	497374	0	2889	0	0	750671	321706	0	0	0	0	0	0	0	0	36149	29015
FR2fV	0	918229	0	2202	0	0	475942	347801	0	10911	0	0	0	0	9737	0	50823	55921
FR3sV	0	784946	0	19213	0	0	130449	19213	0	0	0	0	0	0	9314	352	8899	13430
FR3mV	0	114779	0	807	0	0	42399	0	0	0	0	0	0	0	0	809	4735	0
FR3fV	6453	0	0	0	0	0	44503	0	30116	0	0	0	0	0	0	0	5261	0
FR4sV	0	444305	0	825	0	0	34140	0	0	4809	0	0	0	24596	0	522	6658	0
FR4mV	0	319384	0	13105	0	0	41238	12403	117847	6482	0	0	0	46412	0	0	0	0
FR4fV	0	0	0	0	0	0	8619	0	0	183675	0	0	0	0	0	0	0	0

FR1sI	69591	1238214	0	80	82299	0	5826	503396	64195	13732	4661	6641	0	162530	16912	3407	3592	0
FR1mI	30222	905796	0	0	0	3118	3496	0	0	17891	7085	2237	0	73199	17138	1942	993	0
FR1fI	129066	2129782	0	0	1042453	8662	3901	0	105407	4141	12300	10893	0	156733	0	674	0	0
FR2sI	159066	1441280	0	20529	658391	4103	11388	825963	199719	15694	27967	8867	0	240785	0	10220	0	0
FR2mI	155526	1444441	0	2257	919812	10819	5900	675143	31888	0	5210	15688	0	103160	0	3332	0	0
FR2fI	65790	777995	0	0	275943	6311	2149	0	39860	2675	1302	822	0	44852	0	1428	0	0
FR3sI	32152	637797	0	2371	0	2609	8537	4072383	34602	19033	1884	7749	0	210900	4558	8091	0	0
FR3mI	59965	920356	0	884	0	2475	3071	884	8605	35498	11246	2663	89952	162179	3400	1670	0	0
FR3fI	0	209709	763	71	0	0	888	102342	0	660	0	247	0	3374	8531	823	0	0
FR4sI	0	424650	0	197	228831	0	3600	9797810	39665	7273	0	5123	0	148778	0	5131	2724	0
FR4mI	6244	196516	0	200	25846	0	1107	1106640	0	616	0	1158	0	3781	0	936	359	0
FR4fI	2286	20837	0	0	0	0	154	555640	0	0	0	169	0	0	0	171	263	0

GRUPOS FUNCIONAIS																		
Estação amostral	A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y
FU1sV	0	214254	1916	5880	0	0	293144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23425	29161
FU1mV	0	0	2653	0	0	943	3781	0	85722	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FU1fV	0	0	0	0	0	0	360	0	0	0	0	0	0	0	0	270	0	0
FU2sV	0	220375	0	2229	0	0	43913	0	0	0	0	0	113339	0	0	0	27013	13201
FU2mV	0	7063	0	0	0	0	34019	0	0	0	0	430	0	0	0	0	2914	0
FU2fV	4646	0	0	0	0	0	547	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3142
FU3sV	0	202010	0	14487	0	0	47345	6586	0	0	0	0	0	0	0	0	41668	0
FU3mV	2904	22956	10779	0	0	0	5096	0	0	3727	0	0	0	0	0	202	0	0
FU3fV	1991	10494	493	7870	0	0	572	0	0	0	0	0	0	0	0	92	355	0
FU1sI	5361	473241	0	5199	0	0	15818	235435	132753	0	0	215	0	0	0	124	1593	7616
FU1mI	4100	140435	0	0	0	0	3439	0	0	0	0	329	0	0	0	0	1114	8411
FU1fI	6833	226857	0	0	0	0	632	0	98328	0	2605	1151	0	1794	0	0	2520	5130
FU2sI	5531	655878	0	308	0	0	20590	72873	134233	0	0	266	0	0	0	231	3060	14892

FU2mI	12121	387253	0	70	0	533	14766	0	18855	2593	1540	2674	0	17239	12576	1126	9116	5465
FU2fI	19658	237651	0	14517	0	0	54003	0	25020	6881	1363	430	0	16423	0	124	1457	0
FU3sI	894	914698	0	711	0	0	174560	882880	16680	0	0	430	0	0	0	4481	1055	10155
FU3mI	18585	527982	0	323	0	1559	292611	153032	71982	0	0	839	0	1525	0	3317	4735	8251
FU3fI	17037	554511	0	0	0	1039	486694	408087	74292	0	2362	3355	0	30499	0	1618	0	3142

GRUPOS FUNCIONAIS																		
Estação amostral	A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y
SE1sV	0	155393	0	386205	0	0	61066	788	0	0	0	0	0	0	6592	1992	12801	0
SE1mV	2020	31938	0	969	0	8530	16049	9571	0	0	0	0	0	0	0	141	7745	2870
SE1fV	0	10803	0	0	0	0	13622	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE2sV	0	194449	0	368590	0	4328	13790	9744	0	0	0	0	0	0	35284	1333	4748	7766
SE2mV	5421	24486	0	18022	0	0	11225	427	0	0	0	186	0	0	11783	0	2939	4400
SE2fV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4466	0
SE3sV	0	596849	0	125584	0	4605	14473	268858	18070	0	0	0	188899	0	42845	1348	31041	0
SE3mV	11616	0	0	0	0	0	7595	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9470	0
SE3fV	0	0	7809	0	0	0	6238	0	0	0	0	0	0	0	1428	54	89	0
SE1sI	0	18365	0	40549	125094	0	15619	765546	0	0	0	0	0	0	0	647	11355	0
SE1mI	0	30608	2300	9011	83396	0	28373	306065	14456	0	0	0	75560	0	0	324	3577	2095
SE1fI	1549	18365	0	9487	0	0	17998	0	0	0	0	1118	0	0	0	108	1263	0
SE2sI	11194	81620	0	50060	92662	0	8683	1700645	16062	0	0	0	0	0	0	719	57249	30383

SE2mI	1162	18365	0	40549	0	0	9429	1147743	27105	0	0	0	0	0	0	0	15957	6601
SE2fI	0	59409	0	45673	0	0	19600	85018	0	0	0	1553	0	0	0	90	19359	9168
SE3sI	6044	33056	0	38514	0	0	13137	1836389	0	0	0	0	0	0	3428	518	20194	32814
SE3mI	0	35709	0	45583	0	0	17275	765162	12047	0	0	932	0	0	0	270	3056	8207
SE3fI	0	0	0	30036	0	0	12228	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 3 - Biomassa total (mg L⁻¹) e porcentagem (%) de contribuição dos grupos funcionais *sensu* Reynolds et al. (2002) em cada local de amostragem nos reservatórios Cachoeira do França, Cachoeira da Fumaça e Serraria. S: sub-superfície, M: médio, F: 1 m acima do fundo, V: verão, I: inverno.

				GRUPOS FUNCIONAIS																			
Cachoeira do França				A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y		
verão	Local 1	S	biomassa	0,00	0,55	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	
			% contrib	0	53	0	1	0	0	3	38	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	
		M	biomassa	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,17	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	53	0	0	0	1	1	39	0	3	0	2	0	0	0	0	0	1	0	
		F	biomassa	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
			% contrib	0	67	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	
	Local 2	S	biomassa	0,00	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	
			% contrib	0	64	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	
		M	biomassa	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	
			% contrib	0	30	0	0	0	0	46	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
		F	biomassa	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,35	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05	0,06	
			% contrib	0	49	0	0	0	0	25	19	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3	3	
	Local 3	S	biomassa	0,00	0,78	0,00	0,02	0,00	0,00	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	
			% contrib	0	80	0	2	0	0	13	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	
		M	biomassa	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			% contrib	0	70	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
		F	biomassa	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
			% contrib	7	0	0	0	0	0	52	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	
	Local 4	S	biomassa	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	
			% contrib	0	86	0	0	0	0	7	0	0	1	0	0	0	5	0	0	1	0		
		M	biomassa	0,00	0,32	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	
			% contrib	0	57	0	2	0	0	7	2	21	1	0	0	0	8	0	0	0	0	0	
		F	biomassa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			% contrib	0	0	0	0	0	0	4	0	0	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

				GRUPOS FUNCIONAIS																		
Cachoeira do França				A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y	
inverno	Local 1	S	biomassa	0,07	1,24	0,00	0,00	0,08	0,00	0,01	0,50	0,06	0,01	0,00	0,01	0,00	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00	
			% contrib	3	57	0	0	4	0	0	23	3	1	0	0	0	7	1	0	0	0	
		M	biomassa	0,03	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00
			% contrib	3	85	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	7	2	0	0	0
		F	biomassa	0,13	2,13	0,00	0,00	1,04	0,01	0,00	0,00	0,11	0,00	0,01	0,01	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	4	59	0	0	29	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
	Local 2	S	biomassa	0,16	1,44	0,00	0,02	0,66	0,00	0,01	0,83	0,20	0,02	0,03	0,01	0,00	0,24	0,00	0,01	0,00	0,00	
			% contrib	4	40	0	1	18	0	0	23	6	0	1	0	0	7	0	0	0	0	0
		M	biomassa	0,16	1,44	0,00	0,00	0,92	0,01	0,01	0,68	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	5	43	0	0	27	0	0	20	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
		F	biomassa	0,07	0,78	0,00	0,00	0,28	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	5	64	0	0	23	1	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
	Local 3	S	biomassa	0,03	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	4,07	0,03	0,02	0,00	0,01	0,00	0,21	0,00	0,01	0,00	0,00	
			% contrib	1	13	0	0	0	0	0	81	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
		M	biomassa	0,06	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,09	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	5	71	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	7	12	0	0	0	0	0
		F	biomassa	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	64	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0
	Local 4	S	biomassa	0,00	0,42	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	9,80	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,15	0,00	0,01	0,00	0,00	
			% contrib	0	4	0	0	2	0	0	92	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		M	biomassa	0,01	0,20	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	15	0	0	2	0	0	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		F	biomassa	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	4	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

GRUPOS FUNCIONAIS																							
Cachoeira da Fumaça				A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y		
verão	Local 1	S	biomassa	0,00	0,21	0,00	0,01	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	
			% contrib	0	38	0	1	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	
		M	biomassa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	0	3	0	0	1	4	0	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		F	biomassa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	0	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	
	Local 2	S	biomassa	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	
			% contrib	0	52	0	1	0	0	10	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	6	3	
		M	biomassa	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	16	0	0	0	0	77	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	0	
		F	biomassa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	56	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	
	Local 3	S	biomassa	0,00	0,20	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	
			% contrib	0	65	0	5	0	0	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	
		M	biomassa	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	6	50	24	0	0	0	11	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		F	biomassa	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	9	48	2	36	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	

				GRUPOS FUNCIONAIS																			
Cachoeira da Fumaça				A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y		
inverno	Local 1	S	biomassa	0,01	0,47	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,24	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
			% contrib	1	54	0	1	0	0	2	27	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
		M	biomassa	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
			% contrib	3	89	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	
		F	biomassa	0,01	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
			% contrib	2	66	0	0	0	0	0	0	0	28	0	1	0	0	1	0	0	1	1	
	Local 2	S	biomassa	0,01	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
			% contrib	1	72	0	0	0	0	2	8	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
		M	biomassa	0,01	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	
			% contrib	2	80	0	0	0	0	3	0	4	1	0	1	0	4	3	0	2	1		
		F	biomassa	0,02	0,24	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	
			% contrib	5	63	0	4	0	0	14	0	7	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	
	Local 3	S	biomassa	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,88	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
			% contrib	0	46	0	0	0	0	9	44	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
		M	biomassa	0,02	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,15	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
			% contrib	2	49	0	0	0	0	27	14	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
		F	biomassa	0,02	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,41	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
			% contrib	1	35	0	0	0	0	31	26	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	

				GRUPOS FUNCIONAIS																			
Serraria				A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y		
verão	Local 1	S	biomassa	0,00	0,16	0,00	0,39	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	
			% contrib	0	25	0	62	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0
		M	biomassa	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
			% contrib	3	40	0	1	0	11	20	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	4
		F	biomassa	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	44	0	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Local 2	S	biomassa	0,00	0,19	0,00	0,37	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	
			% contrib	0	30	0	58	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1	1	
		M	biomassa	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
			% contrib	7	31	0	23	0	0	14	1	0	0	0	0	0	0	0	15	0	4	6	
		F	biomassa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	Local 3	S	biomassa	0,00	0,60	0,00	0,13	0,00	0,00	0,01	0,27	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	
			% contrib	0	46	0	10	0	0	1	21	1	0	0	0	0	15	0	3	0	2	0	
		M	biomassa	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
			% contrib	41	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	
		F	biomassa	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	0	50	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	1	0	

				GRUPOS FUNCIONAIS																			
Serraria				A	B	E	F	H1	J	K	L _M	L _O	N _A	MP	P	S1	S _N	W2	X1	X2	Y		
inverno	Local 1	S	biomassa	0,00	0,02	0,00	0,04	0,13	0,00	0,02	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
			% contrib	0	2	0	4	13	0	2	78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
		M	biomassa	0,00	0,03	0,00	0,01	0,08	0,00	0,03	0,31	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	6	0	2	15	0	5	55	3	0	0	0	0	14	0	0	0	0	1	0
		F	biomassa	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	3	37	0	19	0	0	36	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0
	Local 2	S	biomassa	0,01	0,08	0,00	0,05	0,09	0,00	0,01	1,70	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	
			% contrib	1	4	0	2	5	0	0	83	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	
		M	biomassa	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	1,15	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	
			% contrib	0	1	0	3	0	0	1	91	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
		F	biomassa	0,00	0,06	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	
			% contrib	0	25	0	19	0	0	8	35	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	4	
	Local 3	S	biomassa	0,01	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	
			% contrib	0	2	0	2	0	0	1	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	
		M	biomassa	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,77	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
			% contrib	0	4	0	5	0	0	2	86	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
		F	biomassa	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			% contrib	0	0	0	71	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4 - Biomassa (mg L⁻¹) e porcentagem (%) de contribuição das espécies dominantes em cada reservatório.

Cachoeira do França					<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Cosmarium tinctum</i>	<i>Discostella stelligera</i>	<i>Gymnodinium fuscum</i>	<i>Pedinomonas minutissima</i>	Outros
verão	Local 1	S	biomassa		0,026	0,000	0,383	0,000	0,551	0,000	0,000	0,079
			% contrib		3	0	37	0	53	0	0	8
		M	biomassa		0,006	0,000	0,166	0,000	0,220	0,000	0,000	0,036
			% contrib		1	0	39	0	51	0	0	8
		B	biomassa		0,010	0,000	0,000	0,000	0,046	0,000	0,000	0,012
			% contrib		15	0	0	0	67	0	0	18
	Local 2	S	biomassa		0,378	0,000	0,000	0,000	0,826	0,000	0,000	0,079
			% contrib		29	0	0	0	64	0	0	6
		M	biomassa		0,749	0,000	0,319	0,000	0,497	0,000	0,000	0,072
			% contrib		46	0	19	0	30	0	0	4
		B	biomassa		0,474	0,000	0,348	0,000	0,918	0,000	0,001	0,131
			% contrib		25	0	19	0	49	0	0	7
	Local 3	S	biomassa		0,130	0,000	0,000	0,000	0,778	0,000	0,000	0,077
			% contrib		13	0	0	0	79	0	0	8
		M	biomassa		0,042	0,000	0,000	0,000	0,115	0,000	0,000	0,007
			% contrib		26	0	0	0	70	0	0	4
		B	biomassa		0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042
			% contrib		52	0	0	0	0	0	0	48
	Local 4	S	biomassa		0,034	0,000	0,000	0,000	0,444	0,000	0,000	0,038
			% contrib		7	0	0	0	86	0	0	7
		M	biomassa		0,041	0,000	0,000	0,000	0,319	0,000	0,000	0,196
			% contrib		7	0	0	0	57	0	0	35
		B	biomassa		0,008	0,000	0,000	0,184	0,000	0,000	0,000	0,001
			% contrib		4	0	0	96	0	0	0	0

Cachoeira do França					<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Cosmarium tinctum</i>	<i>Discostella stelligera</i>	<i>Gymnodinium fuscum</i>	<i>Pedinomonas minutissima</i>	Outros
inverno	Local 1	S	biomassa	0,006	0,000	0,503	0,000	1,232	0,000	0,000	0,433	
			% contrib	0	0	23	0	57	0	0	20	
		M	biomassa	0,003	0,000	0,000	0,000	0,900	0,000	0,000	0,160	
			% contrib	0	0	0	0	85	0	0	15	
		B	biomassa	0,004	0,000	0,000	0,000	2,130	0,000	0,000	1,470	
			% contrib	0	0	0	0	59	0	0	41	
	Local 2	S	biomassa	0,011	0,000	0,805	0,000	1,426	0,000	0,000	1,381	
			% contrib	0	0	22	0	39	0	0	38	
		M	biomassa	0,006	0,000	0,675	0,000	1,431	0,000	0,000	1,261	
			% contrib	0	0	20	0	42	0	0	37	
		B	biomassa	0,002	0,000	0,000	0,000	0,756	0,000	0,000	0,461	
			% contrib	0	0	0	0	62	0	0	38	
	Local 3	S	biomassa	0,009	0,000	4,070	0,000	0,625	0,000	0,000	0,339	
			% contrib	0	0	81	0	12	0	0	7	
		M	biomassa	0,003	0,000	0,000	0,000	0,911	0,000	0,000	0,389	
			% contrib	0	0	0	0	70	0	0	30	
		B	biomassa	0,001	0,000	0,102	0,000	0,203	0,000	0,000	0,022	
			% contrib	0	0	31	0	62	0	0	7	
	Local 4	S	biomassa	0,004	0,000	9,798	0,000	0,398	0,000	0,000	0,465	
			% contrib	0	0	92	0	4	0	0	4	
		M	biomassa	0,001	0,000	1,107	0,000	0,192	0,000	0,000	0,044	
			% contrib	0	0	82	0	14	0	0	3	
		B	biomassa	0,000	0,000	0,556	0,000	0,021	0,000	0,000	0,003	
			% contrib	0	0	96	0	4	0	0	0	

Cachoeira da Fumaça				<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Cosmarium tinctum</i>	<i>Discostella stelligera</i>	<i>Gymnodinium fuscum</i>	<i>Pedinomonas minutissima</i>	Outros
verão	Local 1	S	biomassa	0,293	0,000	0,000	0,000	0,214	0,000	0,000	0,060
			% contrib	52	0	0	0	38	0	0	11
		M	biomassa	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,086	0,000	0,004
			% contrib	4	0	0	0	0	92	0	4
		B	biomassa	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			% contrib	57	0	0	0	0	0	0	43
	Local 2	S	biomassa	0,044	0,000	0,000	0,000	0,220	0,000	0,000	0,156
			% contrib	10	0	0	0	52	0	0	37
		M	biomassa	0,034	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,003
			% contrib	77	0	0	0	16	0	0	8
		B	biomassa	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
			% contrib	7	0	0	0	0	0	0	93
	Local 3	S	biomassa	0,047	0,000	0,000	0,000	0,202	0,000	0,000	0,063
			% contrib	15	0	0	0	65	0	0	20
		M	biomassa	0,005	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,018
			% contrib	11	0	0	0	50	0	0	39
		B	biomassa	0,001	0,008	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,003
			% contrib	2	35	0	0	48	0	0	14

Cachoeira da Fumaça				<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Cosmarium tinctum</i>	<i>Discostella stelligera</i>	<i>Gymnodinium fuscum</i>	<i>Pedinomonas minutissima</i>	Outros
inverno	Local 1	S	biomassa	0,016	0,005	0,235	0,000	0,473	0,129	0,000	0,019
			% contrib	2	1	27	0	54	15	0	2
		M	biomassa	0,003	0,000	0,000	0,000	0,140	0,000	0,000	0,014
			% contrib	2	0	0	0	89	0	0	9
		B	biomassa	0,001	0,000	0,000	0,000	0,227	0,098	0,000	0,020
			% contrib	0	0	0	0	66	28	0	6
	Local 2	S	biomassa	0,021	0,000	0,073	0,000	0,656	0,000	0,000	0,159
			% contrib	2	0	8	0	72	0	0	17
		M	biomassa	0,015	0,000	0,000	0,000	0,387	0,000	0,000	0,084
			% contrib	3	0	0	0	80	0	0	17
		B	biomassa	0,054	0,000	0,000	0,000	0,233	0,000	0,000	0,090
			% contrib	14	0	0	0	62	0	0	24
	Local 3	S	biomassa	0,175	0,000	0,883	0,000	0,915	0,000	0,000	0,034
			% contrib	9	0	44	0	46	0	0	2
		M	biomassa	0,293	0,000	0,153	0,000	0,528	0,056	0,000	0,055
			% contrib	27	0	14	0	49	5	0	5
		B	biomassa	0,487	0,000	0,408	0,000	0,539	0,074	0,000	0,075
			% contrib	31	0	26	0	34	5	0	5

Serraria				<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Cosmarium tinctum</i>	<i>Discostella stelligera</i>	<i>Gymnodinium fuscum</i>	<i>Pedinomonas minutissima</i>	Outros
verão	Local 1	S	biomassa	0,061	0,000	0,000	0,000	0,155	0,000	0,000	0,408
			% contrib	10	0	0	0	25	0	0	65
		M	biomassa	0,016	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,000	0,032
			% contrib	20	0	0	0	40	0	0	40
		B	biomassa	0,014	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000
			% contrib	56	0	0	0	44	0	0	0
	Local 2	S	biomassa	0,014	0,000	0,000	0,000	0,194	0,000	0,000	0,432
			% contrib	2	0	0	0	30	0	0	67
		M	biomassa	0,011	0,018	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,025
			% contrib	14	23	0	0	31	0	0	32
		B	biomassa	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
			% contrib	0	0	0	0	0	0	100	0
	Local 3	S	biomassa	0,014	0,023	0,255	0,000	0,597	0,000	0,000	0,404
			% contrib	1	2	20	0	46	0	0	31
		M	biomassa	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021
			% contrib	26	0	0	0	0	0	0	74
		B	biomassa	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
			% contrib	40	0	0	0	0	0	1	59

Serraria				<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Cosmarium tinctum</i>	<i>Discostella stelligera</i>	<i>Gymnodinium fuscum</i>	<i>Pedinomonas minutissima</i>	Outros
inverno	Local 1	S	biomassa	0,016	0,041	0,765	0,000	0,018	0,000	0,000	0,137
			% contrib	2	4	78	0	2	0	0	14
		M	biomassa	0,028	0,009	0,306	0,000	0,031	0,000	0,000	0,182
			% contrib	5	2	55	0	6	0	0	33
		B	biomassa	0,018	0,009	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,005
			% contrib	36	18	0	0	37	0	0	9
	Local 2	S	biomassa	0,009	0,050	1,700	0,000	0,082	0,000	0,000	0,209
			% contrib	0	2	83	0	4	0	0	10
		M	biomassa	0,009	0,041	1,148	0,000	0,018	0,000	0,000	0,051
			% contrib	1	3	91	0	1	0	0	4
		B	biomassa	0,020	0,045	0,085	0,000	0,056	0,000	0,000	0,034
			% contrib	8	19	35	0	23	0	0	14
	Local 3	S	biomassa	0,013	0,038	1,836	0,000	0,033	0,000	0,000	0,063
			% contrib	1	2	93	0	2	0	0	3
		M	biomassa	0,017	0,045	0,765	0,000	0,036	0,000	0,000	0,025
			% contrib	2	5	86	0	4	0	0	3
		B	biomassa	0,012	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			% contrib	29	71	0	0	0	0	0	0

Tabela 5 - Valores de clorofila *a*, fósforo total e transparência Secchi utilizados para calcular o Índice de estado trófico *sensu* Lamparelli (2004). Clorofila-*a* (Clo-*a*), fósforo total (PT) e transparência Secchi (Secchi).

*Célula em cinza representa o grau de trofia para o reservatório todo no verão e inverno.

	VERÃO									INVERNO							
Reservatório	Local	Clo- <i>a</i> (µg L ⁻¹)	PT (µg L ⁻¹)	Secchi (m)	IET Clo- <i>a</i>	IET PT	IET Secchi	IET médio	IET médio sem Secchi	Clo- <i>a</i> (µg L ⁻¹)	PT (µg L ⁻¹)	Secchi (m)	IET Clo- <i>a</i>	IET PT	IET Secchi	IET médio	IET médio sem Secchi
Cachoeira do França	1	2,05	7,08	1,64	50,2	46,3	52,9	49,8	48,3	8,90	1,52	1,76	57,4	37,0	51,8	48,8	47,2
	2	2,64	15,34	1,77	51,5	51,0	51,8	51,4	51,2	5,60	4,72	2,22	55,2	43,9	48,5	49,2	49,5
	3	1,46	9,27	1,69	48,6	48,0	52,4	49,7	48,3	38,88	3,54	1,70	64,7	42,1	52,3	53,1	53,4
	4	1,76	8,60	2,10	49,5	47,5	49,3	48,8	48,5	43,83	5,06	1,64	65,3	44,3	52,9	54,1	54,8
									̄X= 49,1								̄X= 51,2
Cachoeira do Fumaça	1	0,88	6,24	1,38	46,1	45,6	55,4	49,0	45,8	1,98	1,69	3,76	50,1	37,6	40,9	42,9	43,9
	2	2,64	9,95	1,67	51,5	48,4	52,6	50,8	49,9	3,95	6,91	3,86	53,5	46,2	40,5	46,7	49,8
	3	4,98	7,76	1,94	54,6	46,9	50,4	50,6	50,7	1,10	2,87	2,43	47,2	40,9	47,2	45,1	44,0
									̄X= 48,8								̄X= 45,9
Serraria	1	4,69	6,07	2,80	54,3	45,4	45,1	48,3	49,8	1,32	7,59	5,28	48,1	46,7	36,0	43,6	47,4
	2	6,15	6,91	2,74	55,6	46,2	45,5	49,1	50,9	2,97	6,41	4,68	52,1	45,7	37,7	45,2	48,9
	3	7,03	5,90	3,20	56,3	45,2	43,2	48,2	50,8	8,07	8,60	5,12	57,0	47,5	36,4	47,0	52,2
									̄X= 50,5								̄X= 52,2

Tabela 6 - Biomassa ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) das 37 espécies descritoras obtidas dos três reservatórios estudados. FR: Cachoeira do França, FU: Cachoeira da Fumaça, SE: Serraria. s: sub-superfície, m: médio, f: 1 m acima do fundo, V: verão, I: inverno.

Táxon	Cód.	Táxon	Cód.	Táxon	Cód.
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	Adel	<i>Discostella stelligera</i>	Dste	<i>Oocystis lacustris</i>	Olac
<i>Aulacoseira tenella</i>	Aten	<i>Dolichospermum planctonicum</i>	Dpla	<i>Parvodinium inconspicuum</i>	Pinc
<i>Bicosoeca petiolata</i>	Bico	<i>Epigloeosphaera glebulenta</i>	Egle	<i>Pedinomonas minutissima</i>	Pedi
<i>Botryococcus braunii</i>	Bbra	<i>Eunotia waimiriorum</i>	Ewai	<i>Planktothrix isothrix</i>	Piso
<i>Ceratium furcoides</i>	Cfur	<i>Fragilaria billingsii</i>	Fbil	<i>Radiococcus planktonicus</i>	Rpla
<i>Chlamydomonas debaryana</i>	Cder	<i>Gymnodinium fuscum</i>	Gfus	<i>Rhodomonas lacustris</i>	Rlac
<i>Closterium acutum</i> var <i>variabile</i>	Cacu	<i>Hariotina reticulata</i>	Hret	<i>Staurastrum tetracerum</i>	Stet
<i>Cosmarium majae</i>	Cmaj	<i>Hemiselmis simplex</i>	Hsim	<i>Staurodesmus ralfsii</i>	Staur
<i>Cosmarium tinctum</i>	Ctin	<i>Keratococcus obtusus</i>	Kobt	<i>Tetraedriella jovetti</i>	Tjov
<i>Cryptomonas brasiliensis</i>	Cbra	<i>Mallomonas fresenii</i>	Mfre	<i>Trachelomonas volvocina</i>	Tvolv
<i>Cryptomonas erosa</i>	Cero	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Maer	<i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	Tvolp
<i>Cryptomonas marssonii</i>	Cmar	<i>Monoraphidium minutum</i>	Mmin	<i>Urosolenia eriensis</i>	Ueri
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Crac				

Cachoeira do França

	Aten	Ueri	Dste	Fbil	Bico	Mfre	Bbra	Kobt	Olac	Rpla	Dpla	Cret
FR1sV	0,000	0,000	0,551	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000
FR1mV	0,000	0,000	0,220	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
FR1fV	0,000	0,000	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR2sV	0,000	0,000	0,826	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
FR2mV	0,000	0,000	0,497	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
FR2fV	0,000	0,000	0,918	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
FR3sV	0,000	0,000	0,778	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000
FR3mV	0,000	0,000	0,115	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
FR3fV	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4sV	0,000	0,000	0,444	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4mV	0,000	0,000	0,319	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,012	0,000	0,000
FR4fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR1sI	0,000	0,070	1,232	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,082	0,000
FR1mI	0,000	0,030	0,900	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR1fI	0,129	0,000	2,130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,042	0,000
FR2sI	0,000	0,159	1,426	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,658	0,000
FR2mI	0,044	0,111	1,431	0,013	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,920	0,011
FR2fI	0,032	0,033	0,756	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,276	0,006
FR3sI	0,000	0,032	0,625	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003
FR3mI	0,000	0,060	0,911	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
FR3fI	0,000	0,000	0,203	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4sI	0,000	0,000	0,398	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,229	0,000
FR4mI	0,000	0,006	0,192	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000
FR4fI	0,000	0,002	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Cachoeira do França (continuação)

	Tjov	Egle	Adel	Cfur	Maer	Pinc	Gfus	Cmaj	Ctin	Staur	Ewai	Cacu
FR1sV	0,000	0,000	0,026	0,383	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR1mV	0,000	0,000	0,006	0,166	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
FR1fV	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR2sV	0,000	0,001	0,378	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR2mV	0,000	0,001	0,749	0,319	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR2fV	0,000	0,002	0,474	0,348	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,004	0,000	0,000
FR3sV	0,000	0,000	0,130	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR3mV	0,000	0,000	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR3fV	0,000	0,000	0,045	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4sV	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4mV	0,000	0,000	0,041	0,000	0,012	0,118	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4fV	0,000	0,001	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,184	0,000	0,000	0,000
FR1sI	0,000	0,000	0,006	0,503	0,000	0,064	0,000	0,014	0,000	0,000	0,005	0,003
FR1mI	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,007	0,002
FR1fI	0,009	0,000	0,004	0,000	0,000	0,105	0,000	0,004	0,000	0,000	0,012	0,007
FR2sI	0,004	0,000	0,011	0,805	0,021	0,200	0,000	0,016	0,000	0,000	0,028	0,001
FR2mI	0,000	0,000	0,006	0,675	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003
FR2fI	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,040	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,001
FR3sI	0,000	0,000	0,009	4,070	0,002	0,035	0,000	0,019	0,000	0,000	0,002	0,005
FR3mI	0,002	0,000	0,003	0,000	0,001	0,009	0,000	0,035	0,000	0,000	0,011	0,003
FR3fI	0,000	0,000	0,001	0,102	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4sI	0,000	0,000	0,004	9,798	0,000	0,040	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,003
FR4mI	0,000	0,000	0,001	1,107	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
FR4fI	0,000	0,000	0,000	0,556	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Cachoeira do França (continuação)

	Stet	Piso	Crac	Tvolv	Tvolp	Mmin	Cder	Cbra	Hsim	Pedi	Rlac	Cero	Cmar
FR1sV	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000
FR1mV	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR1fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
FR2sV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,000	0,001	0,008	0,037
FR2mV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000	0,001	0,019	0,010
FR2fV	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,047	0,000	0,001	0,003	0,052	0,004
FR3sV	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,001	0,010	0,003
FR3mV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR3fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4sV	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
FR4mV	0,000	0,000	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR1sI	0,004	0,000	0,163	0,017	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
FR1mI	0,000	0,000	0,073	0,017	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
FR1fI	0,004	0,000	0,157	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR2sI	0,007	0,000	0,241	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR2mI	0,012	0,000	0,103	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR2fI	0,000	0,000	0,045	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR3sI	0,003	0,000	0,211	0,005	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR3mI	0,000	0,090	0,162	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR3fI	0,000	0,000	0,003	0,009	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4sI	0,002	0,000	0,149	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
FR4mI	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FR4fI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Cachoeira da Fumaça

	Aten	Ueri	Dste	Fbil	Bico	Mfre	Bbra	Kobt	Olac	Rpla	Dpla	Cret
FU1sV	0,000	0,000	0,214	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000	0,000
FU1mV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
FU1fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2sV	0,000	0,000	0,220	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
FU2mV	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2fV	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3sV	0,000	0,000	0,202	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000
FU3mV	0,003	0,000	0,023	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3fV	0,002	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1sI	0,005	0,000	0,473	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1mI	0,004	0,000	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1fI	0,007	0,000	0,227	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2sI	0,006	0,000	0,656	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2mI	0,012	0,000	0,387	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
FU2fI	0,020	0,000	0,233	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000
FU3sI	0,001	0,000	0,915	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3mI	0,019	0,000	0,528	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3fI	0,017	0,000	0,539	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Cachoeira da Fumaça (continuação)

	Tjov	Egle	Adel	Cfur	Maer	Pinc	Gfus	Cmaj	Ctin	Staur	Ewai	Cacu
FU1sV	0,000	0,000	0,293	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1mV	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2sV	0,000	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2mV	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2fV	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3sV	0,000	0,000	0,047	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3mV	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3fV	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1sI	0,000	0,000	0,016	0,235	0,000	0,004	0,129	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1mI	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1fI	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,098	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001
FU2sI	0,000	0,000	0,021	0,073	0,000	0,134	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2mI	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,019	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,003
FU2fI	0,000	0,000	0,054	0,000	0,000	0,025	0,000	0,007	0,000	0,000	0,001	0,000
FU3sI	0,000	0,000	0,175	0,883	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3mI	0,002	0,000	0,293	0,153	0,000	0,016	0,056	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
FU3fI	0,001	0,000	0,487	0,408	0,000	0,000	0,074	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003

Cachoeira da Fumaça (continuação)

	Stet	Piso	Crac	Tvolv	Tvolp	Mmin	Cder	Cbra	Hsim	Pedi	Rlac	Cero	Cmar
FU1sV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,026	0,003
FU1mV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2sV	0,000	0,113	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000
FU2mV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU2fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
FU3sV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3mV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU1sI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
FU1mI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,006
FU1fI	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004
FU2sI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,014	0,001
FU2mI	0,000	0,000	0,017	0,000	0,013	0,001	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
FU2fI	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FU3sI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000
FU3mI	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
FU3fI	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003

Serraria

	Aten	Ueri	Dste	Fbil	Bico	Mfre	Bbra	Kobt	Olac	Rpla	Dpla	Cret
SE1sV	0,000	0,000	0,155	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,007	0,370	0,000	0,000
SE1mV	0,002	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,009
SE1fV	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2sV	0,000	0,000	0,194	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,001	0,339	0,000	0,004
SE2mV	0,005	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE3sV	0,000	0,000	0,597	0,000	0,000	0,000	0,023	0,022	0,000	0,081	0,000	0,005
SE3mV	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE3fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE1sI	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,041	0,000	0,000	0,000	0,125	0,000
SE1mI	0,000	0,000	0,031	0,000	0,002	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,083	0,000
SE1fI	0,002	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2sI	0,000	0,011	0,082	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,093	0,000
SE2mI	0,001	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2fI	0,000	0,000	0,056	0,003	0,000	0,000	0,045	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
SE3sI	0,000	0,006	0,033	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
SE3mI	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000	0,000	0,045	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
SE3fI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Serraria (continuação)

	Tjov	Egle	Adel	Cfur	Maer	Pinc	Gfus	Cmaj	Ctin	Staur	Ewai	Cacu
SE1sV	0,000	0,000	0,061	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE1mV	0,000	0,000	0,016	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE1fV	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2sV	0,000	0,000	0,014	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2mV	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE3sV	0,000	0,000	0,014	0,255	0,014	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE3mV	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE3fV	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE1sI	0,000	0,000	0,016	0,765	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE1mI	0,000	0,000	0,028	0,306	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE1fI	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
SE2sI	0,000	0,000	0,009	1,700	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2mI	0,000	0,000	0,009	1,148	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2fI	0,000	0,000	0,020	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
SE3sI	0,000	0,000	0,013	1,836	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE3mI	0,000	0,000	0,017	0,765	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
SE3fI	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Serraria (continuação)

	Stet	Piso	Crac	Tvolv	Tvolp	Mmin	Cder	Cbra	Hsim	Pedi	Rlac	Cero	Cmar
SE1sV	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,002	0,000	0,012	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
SE1mV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000
SE1fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2sV	0,000	0,000	0,000	0,035	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
SE2mV	0,000	0,000	0,000	0,009	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
SE2fV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000
SE3sV	0,000	0,189	0,000	0,043	0,000	0,001	0,000	0,028	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
SE3mV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE3fV	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE1sI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,008	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000
SE1mI	0,000	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
SE1fI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SE2sI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,031	0,024	0,000	0,001	0,027	0,003
SE2mI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,013	0,000	0,000	0,001	0,007	0,000
SE2fI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,014	0,001	0,000	0,002	0,009	0,000
SE3sI	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,003	0,017	0,000	0,000	0,001	0,029	0,004
SE3mI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,007	0,001
SE3fI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 7 - Lista das espécies do fitoplâncton presentes em três reservatórios conectados sobre o rio Juquiá Guaçu: Cachoeira do França, Cachoeira do Fumaça e Serraria.

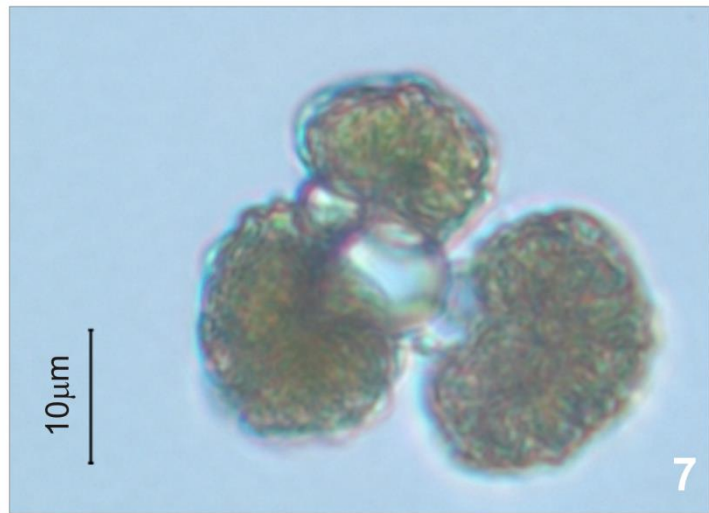
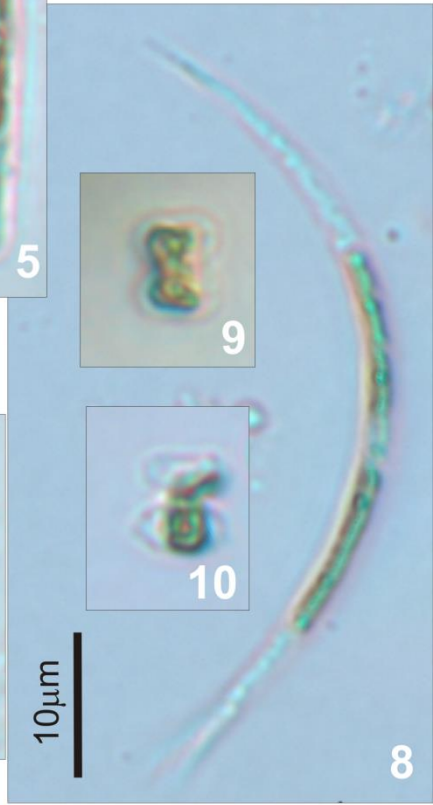
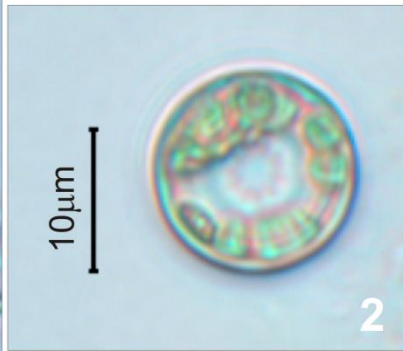
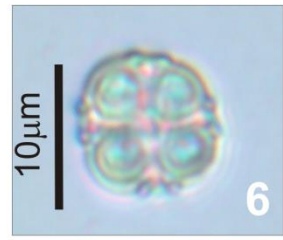
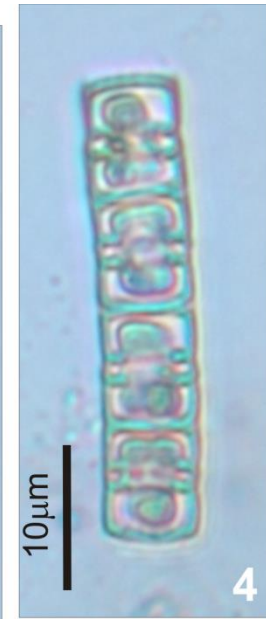
[illegible]

ILUSTRAÇÕES

PRANCHA 1

1. *Urosolenia eriensis* (Grupo A)
2. *Discostella stelligera* (Grupo B)
3. *Fragilaria billingsii* (Grupo B)
4. *Aulacoseira tenella* (Grupo A)
5. *Eunotia waimiriorum* (Grupo MP)
6. *Hariotina reticulata* (Grupo J)
7. *Botryococcus braunii* (Grupo F)
8. *Closterium acutum* var *variabile* (Grupo P)
9. *Cosmarium majae* (Grupo N_A)
10. *Cosmarium tinctum* (Grupo N_A)

Escalas: 10 µm e 20 µm



PRANCHA 2

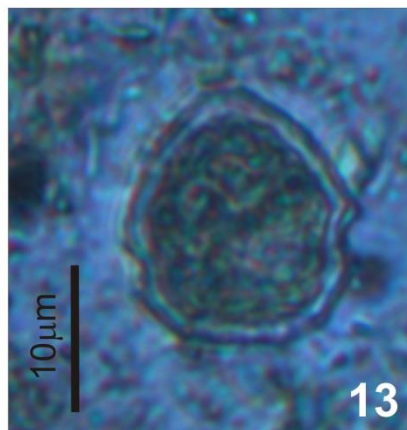
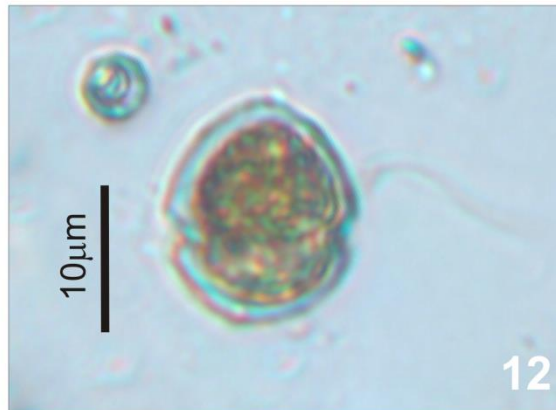
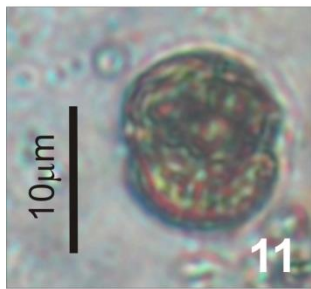
11-13. *Parvodinium inconspicuum* (Grupo Lo)

14. *Gymnodium fuscum* (Grupo Lo)

15. *Bicosoeca petiolata* (Grupo E)

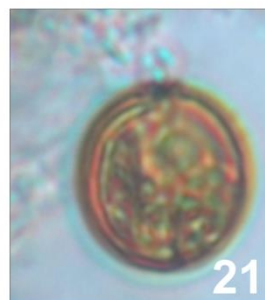
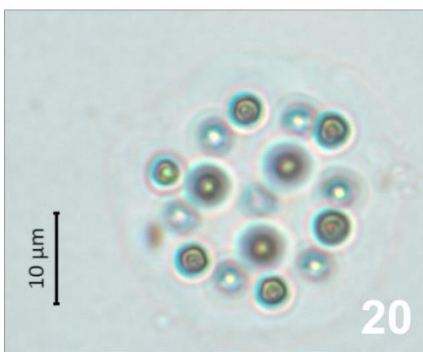
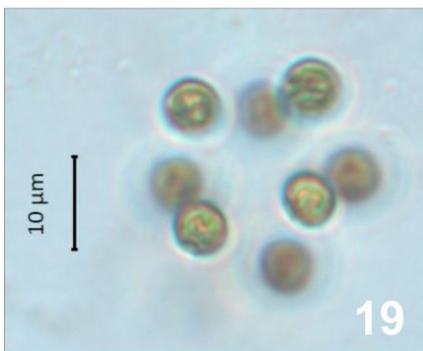
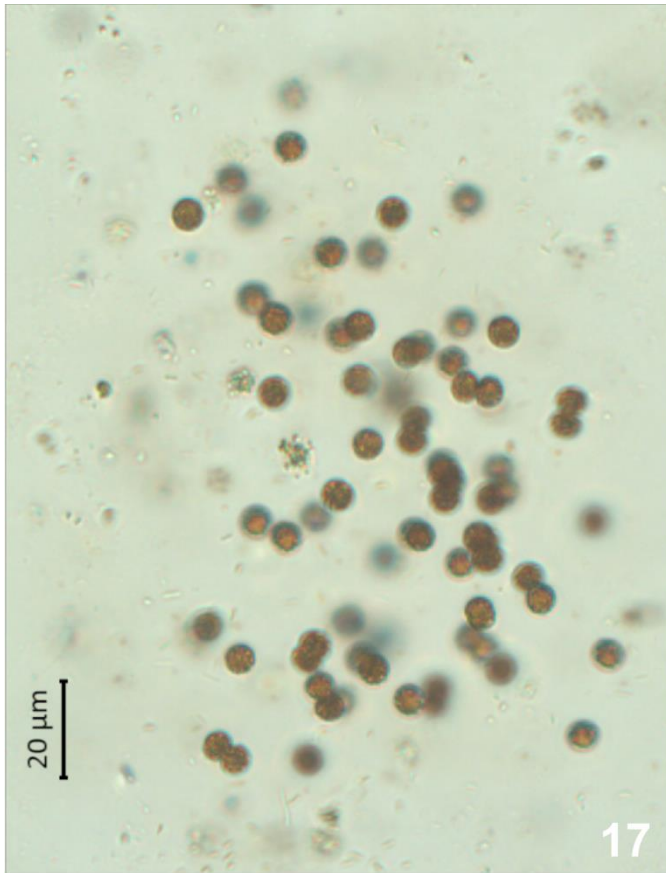
16. *Mallomonas fresenii* (Grupo E)

Escala: 10 μm



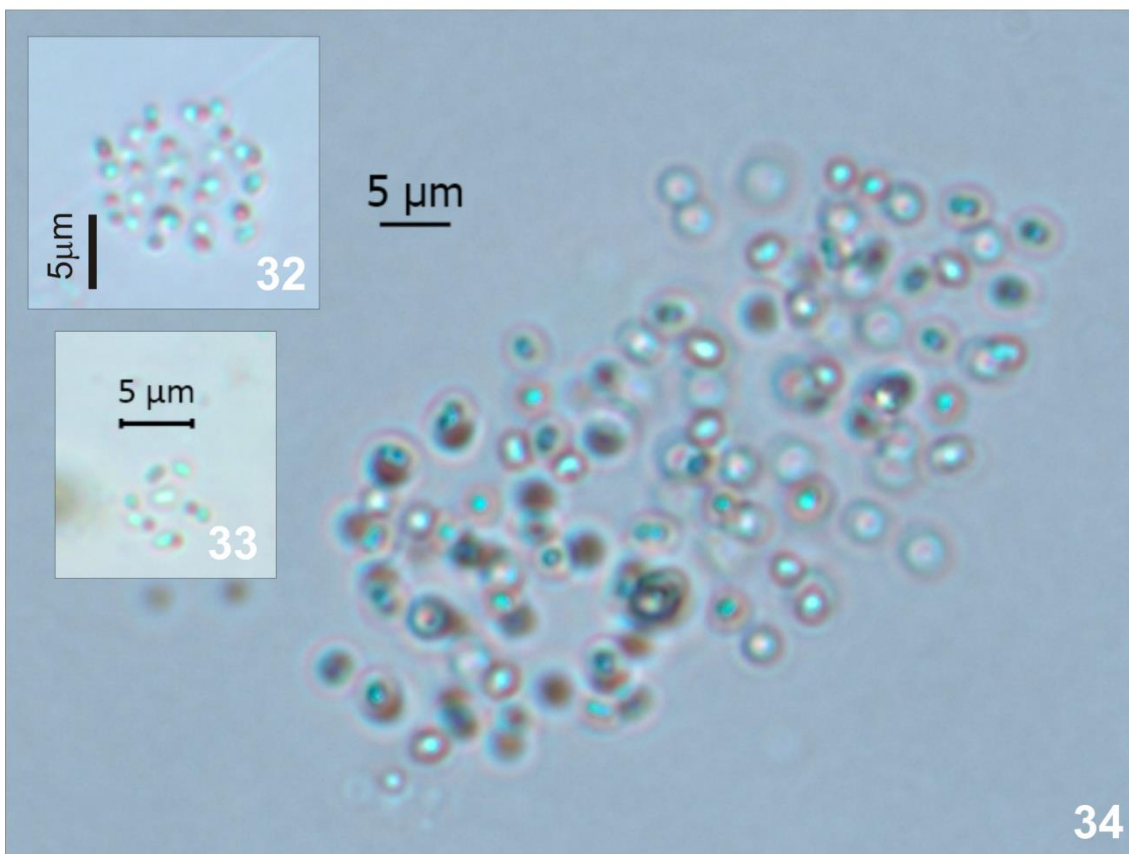
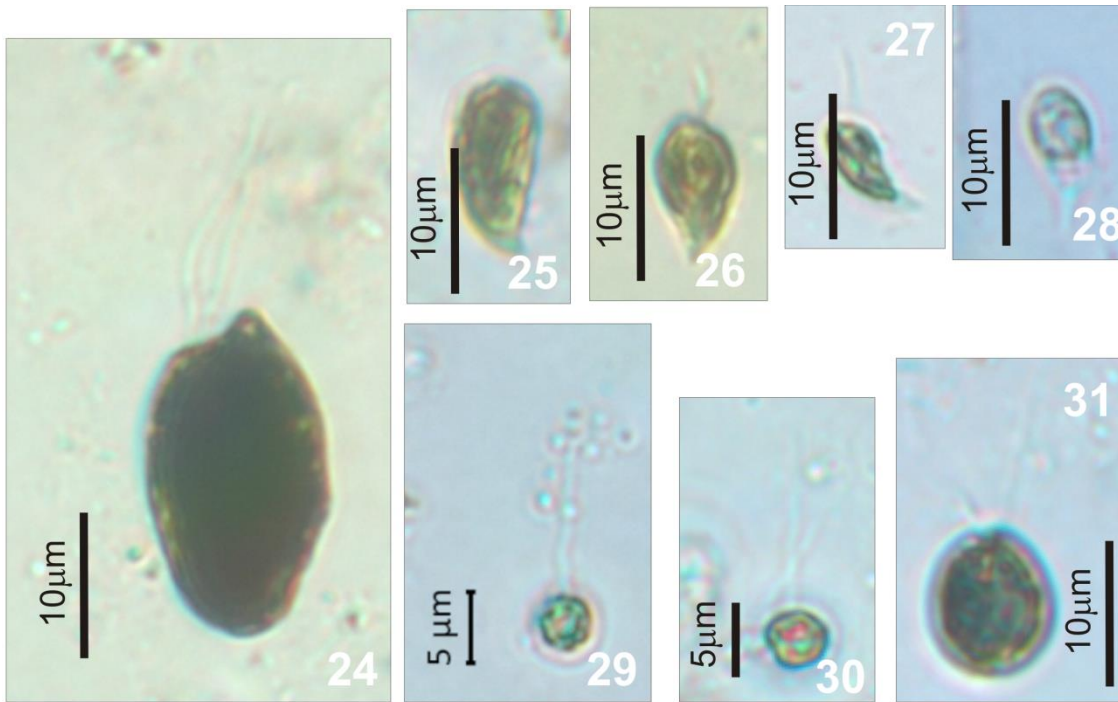
PRANCHA 3

- 17. *Microcystis aeruginosa* (Grupo L_M)
 - 18. *Ceratium furcoides* (Grupo L_M)
 - 19-20. *Radiococcus planktonicus* (Grupo F)
 - 21. *Trachelomonas volvocina* (Grupo W2)
 - 22. *Trachelomonas volvocinopsis* (Grupo W2)
- Escalas: 10 µm e 20 µm



PRANCHA 4

- 24. *Cryptomonas erosa* (Grupo Y)
 - 25. *Cryptomonas marssonii* (Grupo Y)
 - 26. *Cryptomonas brasiliensis* (Grupo X2)
 - 27-28. *Rhodomonas lacustris* (Grupo X2)
 - 29. *Pedinomonas minutissima* (Grupo X2)
 - 30. *Hemiselmis simplex* (Grupo X2)
 - 31. *Chlamydomonas derbayana* (Grupo X2)
 - 32-34. *Aphanocapsa delicatissima* (Grupo K)
- Escalas: 5 μm e 10 μm



PRANCHA 5

- 35. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Grupo S_N)
- 36. *Dolichospermum planctonicum* (Grupo H1)
- 37. *Epigloesphaera glebulenta* (Grupo K)
- 38. *Keratococcus obtusus* (Grupo F)
- 39. *Oocystis lacustris* (Grupo F)
- 40. *Planktothrix isothrix* (Grupo S1)
- 41. *Staurastrum tetracerum* (Grupo P)
- 42. *Staurodesmus ralfsii* (Grupo N_A)
- 43-44. *Tetraedriella jovettii* (Grupo J)

Escala: 10 µm

