

Murilo Borduqui

Avaliação sucessional da estrutura e estado
nutricional da comunidade perifítica e sua inter-
relação com o fitoplâncton, em pontos de
entrada de água de nascente e efluente
doméstico, em reservatório hipereutrófico

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2011

Murilo Borduqui

Avaliação sucessional da estrutura e estado nutricional da comunidade perifítica e sua interação com o fitoplâncton, em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico, em reservatório hipereutrófico

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

Orientadora: Dra. CARLA FERRAGUT

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

Borduqui, Murilo

B729a Avaliação sucessional da estrutura e estado nutricional da comunidade perifítica e sua inter-relação com o fitoplâncton, em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico, em reservatório hipereutrófico / Murilo Borduqui -- São Paulo, 2011.

87 p. il.

Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2011

Bibliografia.

1. Algas. 2. Perifíton. 3. Composição química. I. Título

CDU: 582.26

*À Goretti, Abaracy, Camila e Poli
por todo o carinho, dedicação e
compreensão, agora e sempre.*

Dedico.

*“Feliz aquele que transfere o que sabe e
aprende o que ensina.”*

(Cora Coralina)

AGRADECIMENTOS

Gostaria, aqui, de expressar meus agradecimentos a todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a realização deste trabalho. Desta forma, agradeço:

À minha orientadora Dra. Carla Ferragut por toda sua dedicação, paciência e por disponibilizar o seu tempo para orientação deste trabalho. Você trabalha com muita ética e dedicação e demonstra muita paixão pelo seu trabalho, por causa disso, é um exemplo de profissional a ser seguido. Agradeço pelas imensas contribuições que deu a este trabalho e por todos os conselhos que me deu ao longo desta amizade!

À Dra. Denise de Campos Bicudo pelas contribuições de grande valor para o presente trabalho e por deixar à disposição sua biblioteca particular.

Ao Dr. Carlos E. de Matos Bicudo pelo uso irrestrito de sua enorme biblioteca particular e por sempre estar disposto a ajudar na identificação das algas. Por poder compartilhar dos momentos de descontração, com conversas, “causos” da ciência e brincadeiras. Você é uma referência a se seguir no caminho da ciência.

A eficiente equipe do Laboratório de ecologia aquática: Angélica Righetti, Bárbara G. Pellegrini, Carlos E. Wetzel, Danielle E. Oliveira, Débora F. Goes, Fernanda Ferrari, Gabriela de Jesus Lavagnolli, Gisele Carolina Marquardt, Jeniffer Pereira, Luciane Fontana, Luciana R. Godinho, Majoi Nascimento, Mariane L. de Souza, Mayara Casartelli, Pryscilla Denise, Samantha Faustino, Sandra V. Costa, Sidney Fernandes, Simone Wengrat, Thiago R. Santos. Obrigado pela imensa ajuda nas coletas e análises. E por fazerem os dias de trabalho mais animados e alegres, através das tantas brincadeiras!

Às amigas Carol Gasch, Day e Paulinha pela amizade e carinho de todos esses anos. Agradeço pelas conversas, cumplicidades, conselhos, dúvidas e principalmente pelas alegrias que passamos juntos. Tudo fica mais fácil quando temos amigos por perto!

Às Panteras da Ecologia, Dorinha, Val, Amarílis e Marli (Mô Bem), que sempre estão prontas para ajudar nas coletas, nas análises, nas vidrarias e que fazem todos darem muitas risadas através de suas histórias. Obrigado também pelos cafezinhos, chás, festinhas e pela bagunça saudável que vocês fazem, trazendo muita alegria à seção.

A todos os pesquisadores, pós-graduandos e estagiários do Núcleo de Pesquisa em Ecologia do Instituto de Botânica de São Paulo, que fazem com que a rotina de trabalho e de estudo seja sempre prazerosa, ora nas conversas, ora nos cafés, ora nas “festinhas”.

Ao Instituto de Botânica de São Paulo pelo uso irrestrito dos laboratórios e materiais do Núcleo de Pesquisa em Ecologia, bem como da infra-estrutura dada nos dias de coleta.

À Direção do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo, pelo fornecimento dos dados climatológicos referentes aos períodos de realização dos experimentos.

Ao Pedro Peixoto pela imensa ajuda na estatística. Somente um cara tão apaixonado pela matemática poderia ser tão paciente e dedicado a ponto de fazer a estatística ficar mais fácil! Obrigado Pedrão!

À FAPESP, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da Bolsa de mestrado, o que permitiu a realização deste trabalho de pesquisa (processo nº 2008/56172-6).

Aos amigos/irmãos Batata, Leo, Marcel, Papa, Pedro, Tanakinha e Thadeu que sempre me deram conselhos e ânimo para seguir em frente nas horas ruins. Através das conversas regadas à cerveja trocamos experiências, cada um na sua área, que me fizeram e me fazem amadurecer, profissionalmente e como pessoa. Agradeço também por me tirarem de casa, mesmo quando eu não podia, para nos divertirmos. Eu sempre voltava mais animado e com mais energia! Valeu!

Ao meu tio Carlos Righetti pelo incentivo de sempre, por acreditar em mim e por me apresentar o lindo caminho da ciência. E a minha tia Irani Righetti, que mesmo de muito longe, nunca deixou de mandar palavras de conforto que me incentivavam sempre!

Ao João Carlos, Kátia, Erico e minhas afilhadas Nicole e Camile. Os domingos são sempre maravilhosos ao lado de vocês e me deram muita energia ao longo destes dois anos.

Ao meu Pai, Carlos Roberto Borduqui, que sempre lutou para ver a felicidade do filho. E que mesmo que distante nunca deixou de me enviar boas energias, principalmente nos momentos de fraqueza.

À Poli por esses anos de amizade, carinho, cumplicidade e lealdade. Uma das maiores incentivadoras dessa minha jornada científica, sempre pronta para me ajudar com minhas dúvidas e questionamentos. Às vezes acho que você me conhece mais do que eu mesmo. O que é indecifrável para mim, torna-se simples após uma conversa contigo. Obrigado por ser tão presente e por tornar tudo mais agradável. O sucesso de cada um de nós é o nosso sucesso!

Às três mulheres da minha vida (Mãe, Tata, Vó Bá) que amo de forma incondicional. Vocês são a melhor mãe, melhor irmã e melhor vovó que alguém poderia ter. Cada uma com seu jeito me cativa e me mostra o verdadeiro amor que existe dentro de uma família. Agradeço muito a Deus por fazer parte de uma família tão maravilhosa como esta. Vocês são exemplos de bravura, perseverança, simplicidade, dignidade e coragem, que vou seguir por toda minha vida! Amo muito vocês!

Índice

Resumo geral.....	1
General summary.....	2
1. Introdução Geral	3
2. Referências Bibliográficas.....	7

CAPÍTULO 1

Variação sucessional e sazonal da biomassa e estado nutricional do perifíton em pontos de entrada de água e efluente doméstico em reservatório hipereutrófico

Resumo.....	12
Abstract	13
1. Introdução	14
2. Material e Métodos.....	16
2.1. Área de Estudo	16
2.2. Delineamento amostral.....	17
2.3. Variáveis analisadas	17
2.4. Tratamento estatístico	19
3. Resultados	20
3.1. Variáveis climatológicas	20
3.2. Variáveis abióticas.....	20
3.3. Análise de componentes principais (PCA).....	24
3.4. Biomassa do perifíton	25
3.6. Conteúdo de N e P total (%N, %P) e dissolvido (%NI e %PI) do perifíton	25
3.7. Nutrientes inorgânicos dissolvidos da água do lago (NID e PSR) e na água intersticial perifíton (NI e PI – expresso por unidade de área).....	26
3.7. Extensão da limitação nutricional do perifíton	29
4. Discussão	30
5. Referências Bibliográficas.....	35

CAPÍTULO 2**Fatores que controlam a sucessão das algas perifíticas em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico em reservatório hipereutrófico**

Resumo.....	40
Abstract.....	41
1. Introdução.....	42
2. Materiais e métodos.....	44
2.1. Área de estudo.....	44
2.2. Variáveis abióticas analisadas.....	44
2.3. Comunidade perifítica.....	44
3. Resultados.....	45
3.1. Variáveis climáticas e abióticas.....	45
3.2. Estrutura da comunidade de algas perifíticas.....	45
3.2.1. Biomassa (clorofila-a).....	45
3.2.2. Densidade Total (DT).....	45
3.2.3. Biovolume Total.....	46
3.2.4. Densidade de Classes Algais.....	47
3.2.5. Análise qualitativa.....	48
3.2.6. Descritoras da comunidade.....	48
3.2.7. Diversidade de Shannon-Wiener.....	49
3.2.8. Sucessão das algas perifíticas.....	50
3.2.9. Fases Sucessionais da Comunidade de Algas Perifíticas.....	51
3.2.10. Sucessão das algas perifíticas e os fatores ambientais.....	53
4. Discussão.....	57
5. Referências Bibliográficas.....	62

CAPÍTULO 3**Avaliação temporal da inter-relação das algas perifíticas e planctônicas em reservatório hipereutrófico em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico**

Resumo.....	67
Abstract	68
1. Introdução	69
2. Materiais e Métodos	70
2.1. Área de estudo	70
2.2. Comunidade perifítica.....	70
2.3. Comunidade fitoplanctônica.....	70
2.4. Tratamento estatístico	71
3. Resultados	72
3.1. Variáveis climáticas e abióticas.....	72
3.2. Inter-relação entre a estrutura da comunidade fitoplanctônica e perifítica.....	72
3.2.1. Biomassa.....	72
3.2.2. Densidade das algas.....	73
3.2.3. Biovolume das Algas	76
3.2.4. Análise qualitativa.....	79
3.2.5. Riqueza e índice de diversidade	79
3.2.6. Similaridade na composição taxonômica (análise de agrupamento – cluster).....	79
4. Discussão	81
5. Referências Bibliográficas.....	83
Considerações finais.....	86

Resumo geral - O presente estudo pretende avaliar a estrutura, o estado nutricional e os nutrientes da água intersticial do perifíton, conjuntamente com a estrutura da comunidade fitoplanctônica, durante a sucessão da comunidade perifítica desenvolvida em dois pontos de amostragem em escala sazonal, um próximo ao efluente de esgoto doméstico (E7) e outro próximo à entrada de água de nascente (E5). O trabalho foi desenvolvido no Lago das Garças, um reservatório hipereutrófico situado no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – Município de São Paulo – em dois períodos climáticos, chuva e seca. Lâminas de vidro foram usadas como substrato artificial para a colonização do perifíton durante 30 dias. A amostragem para determinação das variáveis físicas, químicas e biológicas foi realizada em intervalos de 3 dias na primeira quinzena e 5 dias na segunda (3d, 6d, 9d, 12d, 15d, 20d, 25d, 30d). O período de chuva foi caracterizado como o mais turbido (elevada biomassa fitoplanctônica), menor disponibilidade de nutrientes e homogeneidade em escala espacial. A estrutura específica das espécies descritoras foi igual nos dois pontos de amostragem, com elevada contribuição de Cyanophyceae (*Synechocystis aquatilis*, *Merismopedia glauca* e *Cylindrospermopsis raciborskii*) nos estágios iniciais e de Bacillariophyceae (*Gomphonema gracile* e o complexo *Achnanthydium minutissimum*) nos avançados. E, foi neste período, que a inter-relação entre as comunidades perifítica e fitoplanctônica foi mais evidente, principalmente nos estágios iniciais da sucessão no perifíton. O período de seca foi caracterizado como o menos turbido (menor biomassa do fitoplâncton) e com maior disponibilidade de nutrientes, o que evidenciou a diferença entre os dois pontos de amostragem, e favoreceu o desenvolvimento do perifíton. No ponto E5, nos estágios iniciais, houve elevada representatividade de *Ulnaria acus*; nos estágios intermediários, de *U. acus* e *G. gracile* e, nos estágios avançados, de *G. gracile* e complexo *Achnanthydium minutissimum*. No ponto E7, nos estágios iniciais, houve elevada representatividade de *Merismopedia glauca* e *Leptolyngbya cf. subtilis*; nos estágios intermediários *U. acus* e *G. gracile* e, nos estágios avançados *G. gracile*. E a inter-relação entre as duas comunidades foi menos evidente. Assim, a estrutura da comunidade de algas perifíticas foi dirigida primariamente pela escala sazonal, sendo que a elevada biomassa do fitoplâncton agiu sobre as flutuações da comunidade de algas perifíticas. E em escala espacial, a influência da entrada de água de nascente e efluente doméstico atuou secundariamente sobre o processo sucessional. O estado nutricional do perifíton foi acoplado à disponibilidade de nutrientes, em escala sazonal. E as razões N:P baseadas no perifíton refletiram melhor o incremento de biomassa perifítica. Desta forma, em condição hipereutrófica, a intensidade da floração exerce forte influência nas condições limnológicas da água e esta, por sua vez, no processo sucessional do perifíton.

General summary - This study aims to evaluate periphyton structure, nutrient status and matrix interstitial water nutrient, together with phytoplankton community structure, during a periphytic succession developed in two sampling points on the seasonal scale, a close the sewage effluent (E7) and another near the spring water inflow (E5). The study was conducted of Garças Reservoir, a hypereutrophic reservoir located in the Parque Estadual das Fontes do Ipiranga - São Paulo city - in two seasons, rainy and dry. Glass slides were used as substrate for the periphyton colonization for 30 days. Sampling for the physical, chemical and biological variables determination was collected at three days intervals in the first half and the second half at five days intervals (3d, 6d, 9d, 12d, 15d, 20d, 25d, 30d). The rainy season was characterized as the most turbid (high phytoplankton biomass), lower nutrient availability and homogeneity in spatial scale. The descriptor species specific structure was similar in both sampling points with high contribution of cyanobacteria (*Synechocystis aquatilis*, and *Cylindrospermopsis raciborskii* *Merismopedia glauca*) in the early stages and Bacillariophyceae (*Gomphonema gracile* and *Achnanthydium minutissimum* complex) in advanced. And it was this period that the interchange between periphyton and phytoplankton communities was more evident, especially in the periphyton succession early stages. The dry period has been characterized as the less turbid (lower phytoplankton biomass) and greater availability of nutrients, which showed the difference between the two sampling points and favored the periphyton development. In Section E5, in the early stages there was high *U. acus* participation, in intermediary *U. acus* and *G. gracile* and in its advanced stages *G. gracile* and *Achnanthydium minutissimum* complex. In Section E7, in the early stages there was high *Merismopedia glauca* and *Leptolyngbya cf. subtilis* participation, intermediate stages in *U. acus* and *G. gracile*, and in advanced *G. gracile*. And the interchange between the two communities was less clear. Thus, the periphyton community structure was primarily driven by the seasonal scale, and high phytoplankton biomass acted on the periphyton community fluctuations, and in spatial scale, the influence of the spring water inflow of and sewage effluent acted secondarily on the successional process. The periphyton nutrient status was coupled to nutrient availability in the seasonal scale. And the N:P ratios in periphyton-based best reflected the increase in periphyton biomass. Thus, in hypereutrophic condition, the bloom intensity has a strong influence on the limnological water conditions and this, in turn, the periphyton successional process.

1. Introdução Geral

Os ecossistemas e as espécies que os compõem prestam serviços ecossistêmicos, de forma direta ou indireta, que sustentam o bem-estar da humanidade (Dayle 1997). Entretanto, como estes serviços ecossistêmicos não são enquadrados no mercado comercial ou não são quantificados em termos comparáveis com os serviços econômicos, eles normalmente influenciam menos as decisões políticas (Constanza *et al.* 1997). Ecossistemas aquáticos, apesar dos inúmeros serviços prestados (eg. suprimento, habitat, suporte, regulação e cultural) (Limburg 2009), normalmente são alvos da ação antrópica (Vörösmarty 2010), que, em muitos casos, resulta na perda da qualidade ecológica da água, e compromete, com a perda ou diminuição, os serviços ecossistêmicos prestados (Ewel 1997, Postel & Carpenter, 1997).

Um dos problemas mais bem documentado sobre a ação antrópica nos ecossistemas aquáticos é a eutrofização artificial (Wetzel 2001), a qual é, de fato, o problema de qualidade de água mais difundido (Carpenter *et al.* 1998). Sabe-se que a eutrofização provoca diversos efeitos como o aumento da biomassa algal, simplificação estrutural das comunidades biológicas, troca na composição de espécies, aumento da turbidez, depleção do oxigênio dissolvido na coluna d'água; causando, por fim, problemas em nível econômico e social (Smith *et al.* 1999, Smith 2003).

O monitoramento da qualidade ecológica dos ecossistemas é fundamental para o controle e prevenção do processo de degradação. Lowe & Pan (1996) reconhecem a importância do monitoramento químico, mas salientam a necessidade do monitoramento biológico, já que a vida é o monitor final da qualidade da água, constituindo um registro contínuo da qualidade ambiental. Assim, as algas promovem duas categorias de informação sobre a qualidade da água: a) informações de longo prazo, a condição atual da qualidade da água; b) informações de curto prazo, alteração da qualidade da água (Bellinger & Sigee 2010). Considerando o monitoramento biológico, a comunidade perifítica possui importantes atributos: ampla distribuição nos ambientes aquáticos; modo de vida sésil, não migra em condições adversas; especialmente compactada, com limites bem definidos; sistema rico de informações ecológicas dada a alta diversidade de organismos, principalmente algas que possuem curto ciclo de vida (Lowe & Pan 1996, McCormick & Stevenson 1998, Stevenson 1996).

O perifíton desempenha um importante papel em sistemas lênticos rasos como produtores primários (Vadeboncoeur *et al.* 2001, Liboriussen & Jeppesen 2003, Liboriussen & Jeppesen 2009), fontes de alimento para outros níveis tróficos (Hecky & Hesslein 1995, Vadeboncoeur & Steinman 2002) e habitat para muitos organismos (Stevenson 1996). Em relação à disponibilidade de nutrientes, o perifíton pode afetar a taxa de renovação dos nutrientes (Wetzel 1993), promover a transferência de nutrientes entre zona pelágica e bentônica (Zander & Vadeboncoeur 2002) e, ainda,

competir com macrófitas por luz e carbono (Jones *et al.* 2002) e com fitoplâncton por nutrientes (ex. Havens *et al.* 1996). Muitos são os trabalhos que avaliam a relevância do perifíton em estudos de conservação, impactos ambientais e propostas de recuperação e manejo (McCormick & Stevenson 1998, Hill *et al.* 2000, Lobo *et al.* 2004, Wu *et al.* 2010). Por esta razão, é fundamental ampliar e aprofundar o conhecimento sobre o perifíton para melhor compreender a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos.

A comunidade algal perifítica responde positivamente ao enriquecimento por nutrientes (Havens *et al.* 1999, Ferragut & Bidudo 2009), podendo ser fortemente correlacionada com a disponibilidade de P (Dodds 2003, Pan *et al.*, 2000). Estudos realizados, principalmente nos Everglades da Florida, consideram o perifíton um dos indicadores mais sensível do processo de eutrofização, sendo utilizado para detectar sinais precoces de enriquecimento (McCormick & Stevenson 1998, McCormick *et al.* 2001) e estabelecer metas de recuperação (Jöbgen *et al.* 2004, Gaiser *et al.* 2006). Em recente revisão, Larned (2010) mostrou os avanços no entendimento da ecologia do perifíton, e o crescente interesse da comunidade científica pelo perifíton. Entretanto, ainda são poucos os trabalhos desenvolvidos em ambientes lênticos em relação aos lóticos (Borchardt 1996, Mulholland & Webster 2010), que discutem a relação entre disponibilidade de nutrientes e desenvolvimento da comunidade perifítica (Cattaneo 1987, Gross *et al.* 2003, Liboriussen & Jeppesen 2006).

Em relação à estequiometria ecológica, estudos experimentais reportam o sucesso da aplicação da razão N:P do perifíton como indicadora do potencial de limitação e do estado nutricional dessa comunidade (Vymazal *et al.* 1994, Hillebrand & Sommer 2000). Contudo, estudos relatam que o estado nutricional foi totalmente desacoplado da trofia do ecossistema (Cattaneo 1987, Kahlert & Pettersson 2002). Para Liboriussen & Jeppesen (2006), em lagos com concentrações intermediárias de nutrientes há uma combinação ótima de disponibilidade de luz e nutrientes para o desenvolvimento do perifíton, em ambientes oligotróficos, o fator limitante seria a disponibilidade de nutrientes, enquanto que em lagos eutróficos o fator limitante seria a disponibilidade de luz.

No Brasil, estudos experimentais realizados em ecossistemas oligotróficos e mesotróficos evidenciaram a sensibilidade da biomassa, das estratégias adaptativas e composição química da comunidade perifítica ao enriquecimento isolado e combinado por N e P (respectivamente, Ferragut 1999, Ferragut & Bicudo 2010, Fermino 2006) e isolado de P (Ferragut & Bicudo 2009). Em ecossistema oligotrófico, Moschini-Carlos *et al.* (1998) evidenciaram a influencia do grau de trofia da água sobre a composição química do perifíton. Também em ecossistema oligotrófico, Ferrari (2010) demonstrou que o estado nutricional do perifíton representou a limitação nutricional do ambiente, indicando o potencial desta comunidade como indicadora da disponibilidade de nutrientes. Considerando o potencial de limitação algal do perifíton, uma síntese preliminar sobre a avaliação da limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e perifíton em ecossistemas lênticos no Brasil

apontou o fósforo como o elemento mais comumente limitante (Huszar *et al.* 2005). Entretanto, recentemente, em ecossistema hipereutrófico Oliveira *et al.* (2010) observaram variação mensal na limitação por N e P, e Ferrari (2010) encontrou uma comunidade perifítica N-limitante. Portanto, a capacidade preditiva tem várias questões em aberto, dentre as quais está o maior entendimento da relação entre a biomassa e composição química do perifíton com a disponibilidade de nutrientes na água.

Considerando o processo de colonização e sucessão das algas perifíticas, as mudanças na estrutura específica podem fornecer informações sobre condições ambientais, pois quando a sucessão e a colonização não são interrompidas por fatores externos (ex. ações antropogênicas), esses processos exibem padrões razoavelmente direcionais, contínuos e previsíveis (Odum 2001, Begon *et al.* 2007). O aspecto tridimensional da sucessão perifítica é reportado como um processo análogo ao das plantas vasculares nos ecossistemas terrestres (Hoagland *et al.* 1982). A colonização e a substituição de espécies na sucessão do perifíton dependem de vários fatores, principalmente disponibilidade de nutrientes (Hillebrand & Sommer 2000, Jeppesen *et al.* 2000, Rier & Stevenson 2006, Pei *et al.* 2010) e luz (Hill 1996, Sekar *et al.* 2002).

No Brasil, a colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas foram avaliadas pontualmente em diferentes ecossistemas, como lagoas costeiras (Fermino & Schwarzbald 1999), planícies de inundação (Rodrigues 1998, Rodrigues & Bicudo 2001) e reservatório (Vercellino & Bicudo 2006). Considerando a área do presente estudo, os modelos de colonização e sucessão algal do perifíton foram descritos em estudos experimentais de enriquecimento contínuo (Fermino 2006, Ferragut & Bicudo 2009, 2010) e oligotrofização (Barcelos 2003) e observacional (Vercellino 2001). Especificamente, no Lago das Garças (Parque Estadual das Fontes do Ipiranga - PEFI, SP) um modelo sucessional foi descrito por Vercellino (2001) em uma fase caracterizada pela ocorrência de florações de cianobactérias apenas na primavera (Bicudo *et al.* 2006). A partir de 2000, deu-se início a uma fase com florações permanentes, sendo caracterizada como Estado Degradado de Equilíbrio (Bicudo *et al.* 2007). Todavia, nesta fase, não há estudos avaliando o processo sucessional do perifíton.

Em relação à estrutura específica da comunidade de algas perifíticas e planctônicas, destaca-se que, apesar da distinta organização espacial, os requerimentos são similares e, assim, competem pelos mesmos recursos (Havens *et al.* 1996, Steinman *et al.* 1997). Alguns estudos reportam o efeito negativo do fitoplâncton sobre o perifíton em condições de enriquecimento devido à limitação pela luz (Brown & Austin 1973, Havens *et al.* 1996); outros verificaram o efeito negativo do perifíton sobre o fitoplâncton em condição de baixa disponibilidade de nutrientes ou em ecossistemas rasos, nos quais o perifíton é favorecido (Hansson 1990, Havens *et al.* 1999). Além da interação competitiva, estes grupos algais podem exibir intercâmbio populacional (Carrick *et al.* 1993, Werner & Köhler 2005). Estudos de intercâmbio populacional podem trazer elucidações importantes sobre os padrões de flutuação espacial e temporal das comunidades fitoplanctônicas e perifíticas, uma vez que estes

padrões, muitas vezes, não estão apenas associados às condições do meio, mas também com as exportações de indivíduos de uma comunidade para outra (Brown & Austin 1973, Roeder 1977, Moss 1981).

Para o Brasil, existem apenas três trabalhos observacionais avaliando o intercâmbio de espécies entre o fitoplâncton e perifíton, Konrath *et al.* (1998), Tanigushi *et al.* (2000) e Tanigushi *et al.* (2005). Konrath *et al.* (1998) compararam a estrutura específica destas duas comunidades no Lago Caconde, uma lagoa costeira. Tanigushi *et al.* (2000, 2005) que traz informações sobre as comunidades algais no gradiente litorâneo-limnético da Lagoa do Diogo, mostrando o intercâmbio populacional de desmídias planctônicas e perifíticas. Experimentalmente, Ferragut (2004) não abordou especificamente o intercâmbio de espécies, mas evidenciou que a estrutura da comunidade perifítica foi mais sensível ao enriquecimento do que a fitoplanctônica.

O presente estudo insere-se em um projeto maior de longa duração, em desenvolvimento desde 1997, intitulado “Tipologia, monitoramento e recuperação dos reservatórios do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga - PEFI, São Paulo”. Atualmente, o Lago das Garças se encontra em um estado degradado de equilíbrio, apresentando florações permanentes (Bicudo *et al.* 2006, 2007). Assim, o desenvolvimento do presente estudo contribuirá para o projeto maior com informações sobre a influência da atual condição hipereutrófica sobre a dinâmica e estrutura da comunidade perifítica.

Finalmente, pretende-se avaliar, em escala sucessional, a estrutura específica, biomassa e composição química da comunidade perifítica e sua inter-relação com o fitoplâncton sob influência de duas entradas com contrastantes concentrações de nutrientes no Lago das Garças, sendo uma com efluente de esgoto doméstico (entrada 7) e outra com entrada de água de nascente (entrada 5) no período seco e chuvoso. Desta forma, o presente trabalho foi dividido em três capítulos, como segue:

- **Capítulo 1** - Variação sucessional e sazonal da biomassa e do estado nutricional do perifíton em pontos de entrada de água e efluente doméstico em reservatório hipereutrófico.

- **Capítulo 2** - Fatores controladores da sucessão das algas perifíticas em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico em reservatório hipereutrófico.

- **Capítulo 3** - Avaliação temporal da inter-relação das algas perifíticas e planctônicas em reservatório hipereutrófico em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico.

2. Referências Bibliográficas

Bellinger, E.G. & Sigeo, D.C. 2010. *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. Wiley-Blackwell, West Sussex.

Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L. 2007. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. 4 ed. Artmed, Porto Alegre.

Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bicudo, C.E.M., Bini, L.M. & Jesus, T.A. 2006. Remoção de *Eichhorniacrassipes* em um reservatório tropical raso e suas implicações na classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago das Garças, São Paulo, Brasil. *In*: J.G. Tundisi, T. Tundisi-Matsumura, C. S. Galli, (eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, pp. 413-438.

Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bini, L.M., Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M. & Jesus, T.A. 2007. Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. *Freshwater Biology* 52: 1120-1133.

Borchardt, M.A. 1996. Nutrients. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 183-252.

Brown, S.-D. & Austin, A.P. 1973. Spatial and temporal variation in periphyton and physico-chemical conditions in the littoral of a lake. *Archiv für Hydrobiologie* 71: 183-232.

Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley A.N. & Smith, V. H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8:559-568.

Carrick, H.J., Aldridje, F.J. & Schelske, C.L. 1993. Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake. *Limnology and Oceanography* 38: 1179-1192.

Cattaneo, A. 1987. Periphyton in lakes of different trophic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 44: 296-303.

Constanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystems services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

Dayle, G.C. 1997. Introduction: What Are Ecosystems Services?. *In*: G.C. Dayle (ed.). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, pp. 1-10.

Doods, W.K. 2002. *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications*. Academic Press, San Diego.

Dodds, W.K. 2003. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic systems. *Journal of Phycology* 39: 840-849.

Ewel, K.C. 1997. Water Quality Improvement by Wetlands. *In*: G.C. Dayle (ed.). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, pp. 329-344.

Fermio, F.S. 2006. Avaliação sazonal dos efeitos do enriquecimento por N e P sobre o perifíton em represa tropical rasa mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

Fermino, F.S. & Schwarzbald, A. 1999. Sucessão da comunidade perifítica em diferentes estádios foliares de *Eichornia azurea* Kunth na lagoa costeira eutrofizada Marcelino, Osório, RGS, Brasil. Caderno de Pesquisa Série Botânica, Santa Cruz do Sul 11: 23-36.

Ferragut, C. 1999. Efeito do enriquecimento por N e P sobre a colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas: biomanipulação em reservatório oligotrófico em São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

Ferragut, C. 2004. Respostas das algas perifíticas e planctônicas à manipulação de nutrientes (N e P) em reservatório urbano (Lago do IAG, São Paulo). Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

Ferragut, C. & Bicudo, D.C. 2009. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). Revista Brasileira de Botânica 32: 571-585.

Ferragut, C. & Bicudo, D.C. 2010. Periphytic algal community adaptive strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. *Hydrobiologia* 646: 295-309.

Ferrari, F. 2010. Estrutura e dinâmica da comunidade de algas planctônicas e perifíticas (com ênfase nas diatomáceas) em reservatórios oligotrófico e hipertrófico (Parque Estadual Das Fontes do Ipiranga, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

Gaiser, E.E., Childers, D.L., Jones, R.D., Richards, J.H., Scinto, L.J. & Trexler, J.C. 2006. Periphyton responses to eutrophication in the Florida Everglades: Cross-system patterns of structural and compositional change. *Limnology and Oceanography* 51: 617-630.

Gross, E.M., Feldbaum, C. & Graf, A. 2003. Epiphyte biomass and elemental composition on submersed macrophytes in shallow eutrophic lakes. *Hydrobiologia* 506-506: 559-565.

Havens, K.E., East, T.L., Meeker, R.H. & Davis, W.P. 1996. Phytoplankton and periphyton responses to in situ experimental nutrient enrichment in a shallow subtropical lake. *Journal of Plankton Research*. 18: 551-556.

Havens, K.E., East, T.L., Rodusky, A.J. & Sharfstein, B. 1999. Littoral periphyton responses to nitrogen and phosphorus: an experimental study in a subtropical lake. *Aquatic Botany* 63: 267-290.

Hansson, L.A. 1990. Quantifying the impact of periphytic algae on nutrient availability for phytoplankton. *Freshwater Biology* 24: 265-273.

Hecky, R.E. & Hesslein, R.H. 1995. Contributions of benthic algae to lake food webs as revealed by stable isotope analysis. *Journal of the North American Benthological Society* 14: 631-653.

Hill, W. 1996. Effects of Light. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 121-148.

Hill, B.H., Herlhy, A.T., Kaufmann, P.R, Stevenson, R.J., McCormick, F.H. & Johnson, C.B. 2000. Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity. *Journal of the North American Benthological Society* 19: 50-67.

Hillebrand, H. & Sommer, U. 2000. Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquatic Botany* 67: 221-223.

Hoagland, K.D., Roemer, S.C., Rosowski, J.R. 1982. Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). *American Journal of Botany* 69: 188-213.

Huszar, V.L.M., Bicudo, D.C., Giani, A., Ferragut, C., Martinelli, L.A. & Henry, R. 2005. Subsídios para a compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e perifíton em ecossistemas continentais lênticos no Brasil. *In*: F. Roland, D. César & M. Marinho (eds.). Lições em limnologia. RiMa Editora, São Carlos, pp. 243-260.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Sondergaard, M., Lauridsen, T. & Landkildehus, F. 2000. Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology* 45: 201-218.

Jöbgen, A.M., Palm, A. & Melkonian, M. 2004. Phosphorus removal from eutrophic lakes using periphyton on submerged artificial substrata. *Hydrobiologia* 528: 123-142.

Jones, J.I., Young, J.O., Eaton, J.W. & Moss, B. 2002. The influence of nutrient loading, dissolved inorganic carbon and higher trophic levels on the interaction between submerged plants and periphyton. *Journal of Ecology* 90: 12-24.

Kahlert, M. & Pettersson, K. 2002. The impact of substrate and lake trophic on the biomass and nutrient status of benthic algae. *Hydrobiologia* 489: 161-169.

Konrath, J., Tedesco, C.D. & Schwarzbald, A. 1998. Structural interchanges of phytoplankton and periphytic microalgae communities of a southern Brazilian coastal lake. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 26: 1483-1486.

Larned, S.T. 2010. A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. *Journal of the North American Benthological Society* 29:182-206.

Liboriussen, L. & Jeppesen, E. 2003. Temporal dynamics in epipelagic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. *Freshwater Biology* 48: 418-431.

Liboriussen, L. & Jeppesen, E. 2006. Structure, biomass, production and depth distribution of periphyton on artificial substratum in shallow lakes with contrasting nutrient concentrations. *Freshwater Biology* 51: 95-109.

Liboriussen, L. & Jeppesen, E. 2009. Periphyton biomass, potential production and respiration in a shallow lake during winter and spring. *Hydrobiologia* 632: 201-210.

Limburg, K.E. 2009. Aquatic Ecosystem Services. *In*: G.E. Likens (ed.). *Encyclopedia of Inland Waters*, Volume 1. Academic Press, San Diego, pp. 25-30.

Lobo, E.A., Callegaro, V.L.M., Hermany, G., Bes, D., Wetzel, C.A. & Oliveira, M.A. 2004. Use of epilithic diatoms as bioindicators from lotic systems in southern Brazil, with special emphasis on eutrophication. *Acta Limnologica Brasiliensia* 16: 25-40.

Lowe, R.L. & Pan, Y. 1996. Benthic algal communities as biological monitors. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 705-739.

McCormick, P.V. & Stevenson, R.J. 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *Journal of Phycology* 34: 726-733.

McCormick, P.V., O'Dell, M.B., Shuford, R.B.E. Backus, J.G. & Kennedy, W.C. 2001. Periphyton responses to experimental phosphorus enrichment in a subtropical wetland. *Aquatic Botany* 71: 119-139.

Moschini-Carlos, V., Pompêo, M.L.M. & Henry, R. 1998. Temporal variation in C, N and P of the temporal aquatic macrophyte *Echinocloa polystachya* (H. B. K.) Mitch. in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Japanese Journal of Limnology* 59: 281-294.

Moss, B. 1981. The composition and ecology of periphyton communities in freshwaters. II. Interrelationships between water chemistry, phytoplankton populations and periphyton populations in a shallow lake and associated experimental reservoirs ('Lund tubes'). *European Journal of Phycology* 16: 59-76.

Mulholland, P.J. & Webster, J.R. 2010. Nutrient dynamics in streams and the role of J-NABS. *Journal of the North American Benthological Society* 29: 100-117.

Oliveira, D.E, Ferragut, C. & Bicudo, D.C. 2010. Relationships between environmental factors, periphyton biomass and nutrient content in Garcas Reservoir, a hypereutrophic tropical reservoir in southeastern Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 15: 129-137.

Odum, E.G. 2001. *Fundamentos de Ecologia*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Pan, Y., Stevenson, R.J., Vaithiyathan, P., Slate, J. & Richardson, C.J. 2000. Changes in algal assemblages along observed and experimental phosphorus gradients in a subtropical wetland, USA. *Freshwater Biology* 44: 339-353.

Pei, G.F., Liu, G.X. & Hu, Z.Y. 2010. A comparative study of benthic algae colonization in shallow lakes of China. *Journal of Freshwater Ecology* 3: 403-411.

Postel, S. & Carpenter, S. *Freshwater Ecosystem Services*. In: G.C. Dayle (ed.). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, pp. 195-214.

Rier, S.T. & Stevenson, R.J. 2006. Response of periphytic algae to gradients in nitrogen and phosphorus in streamside mesocosms *Hydrobiologia* 561: 131-147.

Rodrigues, L. 1998. Sucessão do perifíton na planície de inundação do alto rio Paraná: integração entre nível hidrológico e regime hidrodinâmico. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

Rodrigues, L. & Bicudo, D.C. 2001. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper River floodplain, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 24: 235-248.

Roeder, D.R. 1977. Relationships between phytoplankton and periphyton communities in a central Iowa stream. *Hydrobiologia* 56: 145-151.

Sekar, R., Nair, K.V.K., Rao, V.N.R. & Venugopalan, V.P. 2002. Nutrient dynamics and successional changes in a lentic freshwater biofilm. *Freshwater Biology* 47: 1983-1907.

Smith, V.H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. *Environmental Science and Pollution Research* 10: 126-139.

Smith, V.H., Tilman, G.D. & Nekola, J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100: 179-196.

Steinman A.D., Meeker R.H., Rodusky A.J., Davis W.P. & McIntire C.D. 1997. Spatial and temporal distribution of algal biomass in a large, subtropical lake. *Archiv für Hydrobiologie* 139: 29-50.

Stevenson, R.J. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habits. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, p. 3-30.

Taniguchi, G.M., Bicudo, D.C. & Senna, P.A.C. 2000. Intercâmbio populacional de desmídias planctônicas eperíficas na Lagoa do Diogo, planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu. *In*: J.E. Santos & J.S.R. (eds.). *Pires Estação Ecológica de Jataí v.2. RiMa, São Carlos*, pp. 431-444.

Taniguchi, G.M., Bicudo, D.C. & Senna, P.A.C. 2005. Gradiente litorâneo-limnético do fitoplâncton e ficoperífiton em uma lagoa da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu. *Revista Brasileira de Botânica* 28: 137-147.

Vadeboncoeur, Y., Lodge, D. M. & Carpenter, S. R. 2001. Whole-lake fertilization effects on distribution of primary production between benthic and pelagic habitats. *Ecology* 82: 1065-1077.

Vadeboncoeur, Y. & Steinman, A.D. 2002. Periphyton Function in Lake Ecosystems. *The scientific world journal* 2: 1-20.

Vercellino, I.S. & Bicudo, D.C. 2006. Sucessão da comunidade de algas períficas em reservatório oligotrófico tropical (São Paulo, Brasil): comparação entre período seco e chuvoso. *Revista Brasileira de Botânica* 29: 363-377.

Vymazal, J., Craft, C.B. & Richardson, C.J. 1994. Periphyton response to nitrogen and phosphorus additions in Florida Everglades. *Algological Studies*, 73: 75-97.

Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., 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.

Werner, P. & Köhler, J. 2005. Seasonal Dynamics of Benthic and Planktonic Algae in a Nutrient-Rich Lowland River (Spree, Germany). *International Review of Hydrobiology*. 90: 1-20.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3 ed. Academic Press, San Diego.

Wu, Y., Zhang, S., Zhao, H. & Yang, L. 2010. Environmentally benign periphyton bioreactors for controlling cyanobacterial growth. *Bioresource Technology* 101: 9681-9687.

Zanden, M.J.V. & Vadeboncoeur, Y. 2002. Fishes as integrators of benthic and pelagic food webs in lakes. *Ecology* 83: 2152-2161

Varição sucessional e sazonal da biomassa e estado nutricional do perifíton em pontos de entrada de água e efluente doméstico em reservatório hipereutrófico

Resumo – O presente estudo pretende avaliar a biomassa, o estado nutricional e os nutrientes da água intersticial do perifíton durante a sucessão da comunidade perifítica desenvolvida em dois pontos no Lago das Garças em escala sazonal, um próximo ao efluente de esgoto doméstico (E7) e outro próximo à entrada de água de nascente (E5). Desta forma, foi investigada a influência da sazonalidade e de efluentes com contrastantes aportes de nutrientes sobre a biomassa, conteúdo de N e P do perifíton, nutrientes da água intersticial do perifíton e na extensão da limitação por nutrientes. Lâminas de vidro foram usadas como substrato artificial para a colonização do perifíton durante 30 dias. A amostragem para determinação das variáveis físicas, químicas e biológicas foi realizada em intervalos de 3 dias na primeira quinzena e 5 dias na segunda (3d, 6d, 9d, 12d, 15d, 20d, 25d, 30d). O período de seca foi caracterizado como o menos turbido (menor biomassa do fitoplâncton) e com maior disponibilidade de nutrientes, o que evidenciou a diferença entre os dois pontos de amostragem e, favoreceu o desenvolvimento do perifíton. O estado nutricional do perifíton foi acoplado à disponibilidade de nutrientes na água, em escala sazonal. E as razões N:P baseadas no perifíton refletiram melhor o incremento de biomassa perifítica. Desta forma, em condição hipereutrófica, a intensidade da floração exerce forte influência nas condições limnológicas da água e esta, por sua vez, no processo sucessional do perifíton.

Abstract - This study aims to assess biomass, nutrient status and matrix interstitial water nutrient during the periphytic community succession developed at two sampling points in Garças Reservoir in the seasonal scale, one near to a sewage effluent (E7) and another near the inflow of spring water. Thus, was investigated the influence of seasonality and these inflow in the periphyton biomass, N and P contents, matrix interstitial water nutrient and the extent of nutrient limitation. Glass slides were used as substrate for the periphyton colonization for 30 days. Sampling for the physical, chemical and biological variables determination was collected at three days intervals in the succession first half and the second half at five days intervals (3d, 6d, 9d, 12d, 15d, 20d, 25d, 30d). The dry season was characterized as the less turbid (lower phytoplankton biomass) and greater nutrients availability, which showed the difference between the two sampling points and to improve the periphyton development. The periphyton nutrient status was coupled to nutrient availability in the seasonal scale. And the N:P ratios in periphyton-based best reflected the increase in periphyton biomass. Thus, in hypereutrophic condition, the bloom intensity has a strong influence on the water limnological conditions of and this, in turn, the periphyton successional process.

1. Introdução

Dentre os fatores que influenciam o desenvolvimento do perifíton, a disponibilidade de nutrientes é considerada um dos principais controladores. Uma importante característica do perifíton é sua capacidade de adquirir nutrientes simultaneamente a partir de múltiplas fontes, tendo como fonte externa a água circundante e o substrato e, interna, a reciclagem de nutrientes (Mulholland 1996, Wetzel 2001).

A disponibilidade de nutrientes na água é apontada como um dos principais fatores que controlam o incremento de biomassa da comunidade perifítica em região temperada (Hansson 1992, Dodds *et al.* 2002) e tropical (Sekar *et al.* 2002, Ferragut & Bicudo 2009). Entretanto, quando comparada ao fitoplâncton (Huszar *et al.* 2005), a resposta da biomassa do perifíton ao aumento da disponibilidade de nutrientes (ex. fósforo) na água é menos pronunciada e mais variável (Cattaneo 1987). Estudos em ecossistemas eutrofizados indicam que a disponibilidade de nutrientes do meio tem pouco efeito sobre o incremento de biomassa perifítica, porque outros fatores passam a atuar (Oliveira *et al.* 2010). De fato, a disponibilidade de nutrientes na água pode ter maior ou menor influencia sobre a estrutura do perifíton dependendo do estado trófico do ecossistema (Liboriussen & Jeppesen 2006). A comunidade perifítica parece ter relação unimodal com o gradiente trófico, representando uma troca de limitação por nutrientes para limitação por luz (Hansson 1992, Liboriussen & Jeppesen 2006). É consenso que o enriquecimento atua positivamente sobre o incremento de biomassa perifítica, mas a variabilidade dessa relação não é claramente evidenciada em lagos e reservatórios.

O estado nutricional (conteúdo de N e P, razão N:P) do perifíton pode auxiliar na elucidação da relação entre disponibilidade de nutrientes e incremento de biomassa. A estequiometria nitrogênio e fósforo e/ou conteúdo de N e P do perifíton tem sido aplicada com sucesso na indicação do potencial de limitação algal/biomassa em ecossistema temperado (Vymazal *et al.* 1994, Hillebrand & Sommer 2000), subtropical (Gaiser *et al.* 2004) e reservatórios tropicais (Moschini-Carlos *et al.* 1998, Fermino 2006, Ferragut & Bicudo 2009). O estado nutricional do perifíton também pode ser representativo da disponibilidade de nutrientes na água (Havens *et al.* 1999).

Nas planícies de inundação da Flórida (Everglades), onde o perifíton é um importante componente, inúmeros estudos evidenciaram a comunidade como um excelente indicador da disponibilidade de fósforo do meio (ex. Gaiser *et al.* 2004, 2006). Contudo, estudos em região temperada mostraram que o estado nutricional do perifíton pode estar totalmente desacoplado da trofia do ecossistema (Kahlert & Pettersson 2002). Similarmente, em reservatório tropical, estudos observacionais não evidenciaram correlação positiva entre a concentração de nutrientes da água e conteúdo de N e P do perifíton (França *et al.* 2009). Portanto, para entender a dinâmica do perifíton

será necessária a identificação de padrões de resposta da comunidade frente à disponibilidade de nutrientes na água, bem como a identificação dos fatores ambientais controladores.

Em microescala, estudos mostraram que a matriz perifítica assume importante papel na disponibilidade de nutrientes, pois atua como armadilha para nutrientes devido ao seu caráter polianiônico (Lock *et al.* 1984, Consterton *et al.* 1995). Estruturalmente, a matriz possui canais e poros, nos quais ocorre transporte de materiais dissolvidos (ex. nutrientes, oxigênio) (DeBeer & Schramm 1999) e permite em seu interior a reciclagem de nutrientes (Allison 2003, Wetzel *et al.* 1983). Assim, as algas perifíticas, dentro da matriz, podem estar expostas a condições nutricionais significativamente diferentes das encontradas na água (Sekar *et al.* 2002). A matriz de substâncias polissacarídicas extracelular do perifíton (EPS) representa “a casa” dos organismos perifíticos, determinando as condições imediatas de vida dos organismos perifíticos (Flemming & Wingender 2002, Flemming *et al.* 2007). De acordo com Mulholland (1996), o perifíton pode ter independência nutricional em condição de intensa reciclagem interna, a qual não sustenta indefinidamente a comunidade, mas pode ser eficiente em curtos intervalos de tempo. Os processos internos no perifíton podem regular o estado nutricional da comunidade mais do que a própria trofia do lago (Kahlert & Petterson 2002). Os nutrientes dissolvidos são prontamente assimilados pelos organismos perifíticos, podendo ter importante papel na dinâmica da comunidade (Sekar *et al.* 2002). Entretanto, pouco se sabe sobre a variabilidade temporal da disponibilidade de nutrientes dissolvidos em seu interior, bem como sua relação com o desenvolvimento da comunidade.

Considerando o cenário de lagos/reservatórios rasos eutrofizados, o perifíton é uma comunidade pouco desenvolvida, principalmente, em função do sombreamento causado pelo fitoplâncton (ex. Sanches *et al.* 2010). A recuperação de lagos eutrofizados envolve mudança da fase turbida para clara (Scheffer *et al.* 2003), ou seja, envolve a redução da biomassa fitoplanctônica (Bicudo *et al.* 2007). Estudos mostram que a condição eutrófica só é revertida e mantida com o estabelecimento da comunidade de macrófitas e perifíton (Scheffer *et al.* 2003). Apesar do restabelecimento das comunidades perifíticas ter importância significativa no retorno do estado de equilíbrio dos ecossistemas (Liboriussen & Jeppesen 2006), o entendimento dos fatores ambientais que dirigem a resposta ecológica do perifíton ainda não é claro (Larned 2010). Assim, o conhecimento dos mecanismos que atuam sobre a estrutura e o estado nutricional do perifíton em condição eutrófica poderá subsidiar a predição dos efeitos de um processo de recuperação (re-oligotrofização).

Levando em conta a problemática da relação perifíton entre nutrientes, a seguinte hipótese foi proposta: em condição hipereutrófica, o estado nutricional do perifíton é sensível à disponibilidade de nutrientes da água, sendo dependente da escala sazonal e da sucessional. Considerando a hipótese estabelecida, o estudo tem como objetivo geral avaliar o estado nutricional e a biomassa do perifíton em locais sob influência de efluentes com contrastantes aportes de

nutrientes em escala sucessional e sazonal. Especificamente, pretende avaliar os fatores ambientais que expliquem a variabilidade temporal da biomassa e do estado nutricional do perifíton, bem como identificara estequiometria N:P (perifíton nutrientes totais e dissolvidos, água do lago, seston), que melhor expressa o incremento de biomassa perifítica em condição hipereutrífica.

2. Material e Métodos

2.1. Área de Estudo

O Lago das Garças (23°38' S, 46°37' W) situa-se no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), unidade de conservação constituída por remanescente de Mata Atlântica inserido na malha urbana da cidade de São Paulo (Figura 1) (Bicudo *et al.* 2002). É um reservatório urbano e raso ($Z_{\text{máx}} = 4.7$ m; $Z_{\text{med}} = 2.1$ m; área = 88.156 m²), com um tempo médio de residência é de 71 dias e classificado como hipereutrífico (Bicudo *et al.* 2006). Baseada em uma série temporal de oito anos, Bicudo *et al.* (2007) identificaram três fases no reservatório. A Fase I (Janeiro/1997 – Março/1998) foi caracterizada pelo aumento gradual da cobertura de macrófitas (mais de 20% da superfície da água) e a presença de florações de cianobactérias apenas durante a primavera. A Fase II (Abril/1998 – Agosto/1999) foi definida pelo surto de macrófitas aquáticas (40-70% da superfície do da água). Fase III (Setembro/1999 – Dezembro/2004) foi desencadeada três meses após a remoção das macrófitas, e caracterizada pela mudança abrupta para um estado degradado de equilíbrio com permanentes florações de cianobactérias. Desta forma, o presente estudo foi desenvolvido durante a Fase III do Lago das Garças, onde este se encontrava em condição hipereutrífica.

No que diz respeito à entrada de nutrientes, o Lago das Garças é alimentado por sete tributários, também chamados de entradas (Figura. 1) (Carmo *et al.* 2002). A Entrada 7, um córrego de leito argiloso que recebe descargas de esgoto, apresentou, para período de estudo, uma concentração média de 4.324 µgPT.L⁻¹ e 6704 µgNT.L⁻¹. E a Entrada 5, também um córrego com leito argiloso que recebe água de nascentes, apresentou uma concentração média de 122 µgPT.L⁻¹ e 604 µgNT.L⁻¹ (informação do banco de dados do Laboratório de Ecologia Aquática, IBt, em Agosto/2010, dados não publicados).

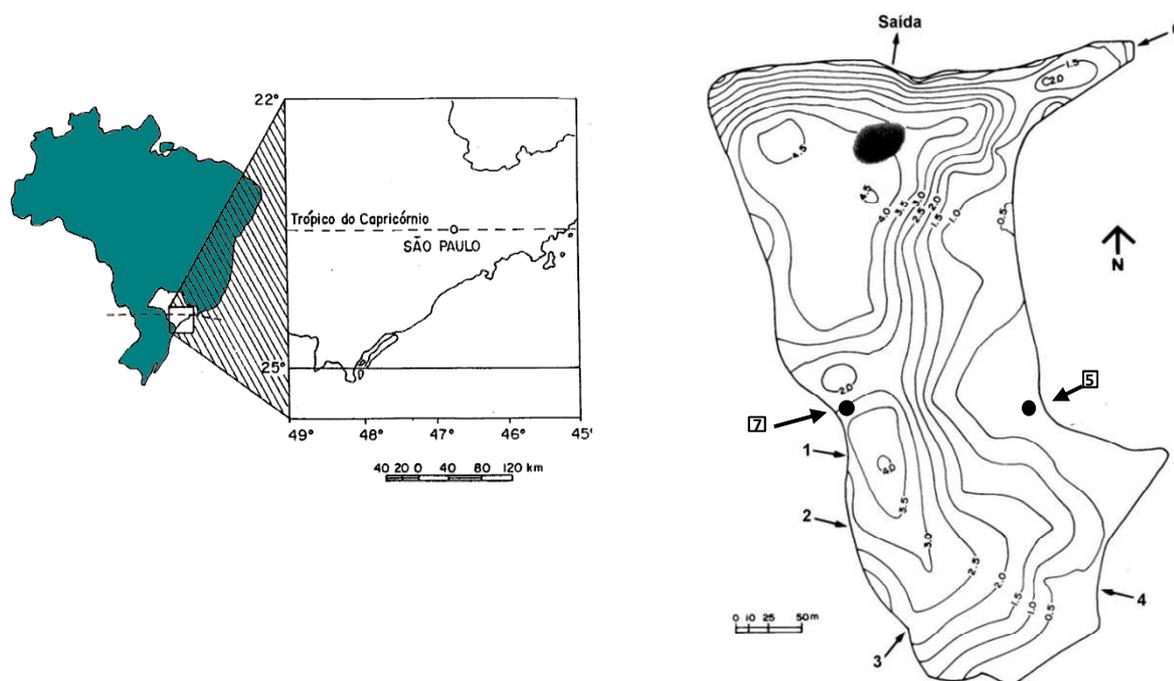


Figura 1. Localização do Lago das Garças e mapa batimétrico com a indicação dos pontos (●) de amostragem próximos à entrada 5 e 7 (Bicudo *et al.* 2002).

2.2. Delineamento amostral

Foram realizadas duas etapas de amostragem, uma no período de chuva e outra no período de seca. A amostragem no período chuvoso foi de 9 de fevereiro a 10 de março e na seca, de 16 de julho a 15 de agosto de 2008, compreendendo um total de 30 dias para cada período. Foram escolhidos dois pontos de amostragem, um (E7) próximo à Entrada 7 (cerca de 2 m) e outro (E5) próximo à Entrada 5 (cerca de 3 m). Estes pontos foram escolhidos em função dos aportes contrastantes de nutrientes encontrada nas entradas 7 e 5.

As coletas para a amostragem das variáveis químicas e físicas da água e biológicas (perifíton e fitoplâncton) foram realizadas a cada três dias na primeira quinzena e a cada cinco dias na segunda. Para a amostragem do perifíton, lâminas de vidro foram utilizadas como substrato artificial, as quais foram colocadas em posição vertical em um aparato de madeira. Optou-se pelo substrato artificial já que há ausência de substrato natural no lago, e por ser de fácil manipulação no tempo e espaço, apresentar área definida e permitir boa reprodutibilidade. As lâminas ficaram submersas a uma profundidade de 20 cm e foram coletadas seguindo critério aleatório e em réplicas (MS, MSLC e clorofila-a $n = 2$; estado nutricional $n = 3$).

2.3. Variáveis analisadas

As variáveis climatológicas foram fornecidas pela Estação Meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, campus da Água Funda, que se localiza cerca

de 200 metros do local de estudo. As variáveis analisadas foram: temperatura do ar e precipitação pluviométrica.

Coletas da água para determinação das variáveis limnológicas abióticas foram feitas na sub-superfície e próximas aos aparatos utilizados para a colonização do perífíton. As amostras ($n = 2$) foram acondicionadas em caixas de isopor e transportadas sob refrigeração. As variáveis limnológicas analisadas foram: temperatura da água, radiação subaquática (luxímetro Licor LI-250A), sendo que os valores da radiação subaquática foram expressos em porcentagem de penetração de luz (luz da água $\times 100$ / luz do ar); condutividade elétrica (condutivímetro Digimed), oxigênio dissolvido (Golterman *et al.* 1978), pH (potenciômetro Digimed), nitrito e nitrato (Mackeret *et al.* 1978), nitrogênio amoniacal (Solorzano 1969), fósforo solúvel reativo (PSR) e fósforo total dissolvido (PDT) (Strickland & Parsons 1965), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) (Valderrama 1981). As amostras para a fração dissolvida dos nutrientes foram filtradas em filtro GF/F pré-calcinado, sob baixa pressão ($\leq 0,5$ atm). As análises foram processadas nos dias de coleta, exceto ao fósforo total e nitrogênio total, que foram armazenados em freezer (-20 °C) e analisados em até três meses após as coletas. A clorofila-a do fitoplâncton, corrigida da feofitina, foi extraída utilizando etanol 90% (Sartory & Grobblelaar 1984).

O material perífítico foi removido do substrato por meio de raspagem com lâminas de barbear e jatos de água destilada ou ultrapura. A clorofila-a do perífíton foi extraída e analisada conforme método de Sartory & Grobblelaar (1984). Um volume conhecido da amostra de perífíton raspado foi filtrado em filtro GF/F, previamente calcinado e pesado. Através deste filtro foi obtida a massa seca (MS) (APHA 1995). O volume filtrado foi utilizado para análise de nutrientes da água intersticial do perífíton: nitrito e nitrato (Mackeret *et al.* 1978), nitrogênio amoniacal (Solorzano 1969) e fósforo solúvel reativo (PSR) (Strickland & Parsons 1965). A quantidade de nutrientes dissolvidos na água intersticial do perífíton foi expressa em microgramas por unidade de área de substrato ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$). Este procedimento permitiu que os nutrientes inorgânicos dissolvidos - nitrogênio inorgânico dissolvido (NI) e fósforo solúvel reativo (PI) - na água intersticial dentro da matriz perífítica fossem analisados (Sekar *et al.* 2002). A quantidade de nutrientes dissolvidos na água intersticial do perífíton foi também expressa em porcentagem de N e P por unidade de massa ($\%NI\cdot MS^{-1}$ e $\%PI\cdot MS^{-1}$). Foram analisados, também, o conteúdo de nitrogênio total do perífíton (Umbreit *et al.* 1964) e conteúdo de fósforo total do perífíton, expressos em porcentagem de N ou P por unidade de massa ($\%N\cdot MS^{-1}$ e $\%P\cdot MS^{-1}$) (Andersen 1976, Pompêo & Moschini-Carlos 2003). Para avaliar a extensão da limitação nutricional do perífíton, utilizou-se a razão ótima 18N:1P proposta por Kahlert (1998), onde há limitação por P quando $N:P > 20$ e limitação por N quando $N:P < 10$. Para isso, calculou-se a razão molar NID:P (nitrogênio inorgânico dissolvido e fósforo solúvel reativo da água), $N_p:P_p$ (nitrogênio e fósforo do material particulado da água), $N_t:P_t$ (nitrogênio total e fósforo

total do perifíton) e NI:PI (nitrogênio dissolvido e fósforo solúvel reativo da água intersticial do perifíton).

O biovolume das algas perifíticas e planctônicas foi calculado pela forma geométrica aproximada das algas, multiplicando a densidade de cada espécie pelo volume médio das células. O volume da maioria das algas foi obtido na lista de biovolume das algas perifíticas e planctônicas dos reservatórios do PEFI (Fonseca *et al.* prelo). O volume das espécies que não incluídas na lista foi calculado a partir das medidas de 10 indivíduos de cada espécie, sempre que possível, e quando necessário foi utilizado literatura específica, e a forma geométrica aplicada seguiu Sun & Liu (2003).

2.4. Tratamento estatístico

Os dados quantitativos foram submetidos à análise descritiva univariada e exploratória. Como medida de tendência central utilizou-se média aritmética e como medidas de dispersão, desvio padrão e coeficiente de variação de Pearson. Para análise inferencial aplicou-se análise de variância (ANOVA 2-fatores) para comparação das variáveis abióticas limnológicas entre os pontos E5 e E7 e os períodos estudados. Para comparação de médias e determinar a diferença mínima significativa, optou-se por utilizar os estádios avançados (20^o - 30^o) do processo sucessional, e utilizou-se o teste t de Tukey e, quando necessário, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney. O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi utilizado para avaliar a relação linear entre nutrientes da água intersticial do perifíton e estado nutricional da comunidade perifítica. Sempre que conveniente, para resolver problemas de escalas, os dados foram logaritimizos (logaritmo natural). O programa estatístico utilizado para as análises de variância e significância foi o SigmaStat 3.5.

3. Resultados

3.1. Variáveis climatológicas

As variáveis climatológicas corroboraram para a caracterização dos períodos climáticos estudados. No período de chuva, a temperatura do ar variou de 20,6 – 24,8 °C (\bar{X} = 23, DP = 1,2). A precipitação total acumulada, para este período de chuva, foi de 188 mm. O 12º dia foi marcado pela elevada precipitação, neste dia choveu 113mm, o equivalente a 60% da precipitação total acumulada no período de chuva. Para o período de seca, a temperatura do ar variou de 13,6 – 20,2 °C (\bar{X} = 17, DP = 1,6) e, a precipitação total acumulada foi de 84 mm.

3.2. Variáveis limnológicas

O resumo das variáveis limnológicas durante o período de estudo e pontos de amostragem E5 e E7 encontra-se na tabela 1.

Em escala sazonal, foi possível caracterizar o reservatório em duas fases limnológicas distintas: uma fase turbida e com maior estabilidade do sistema no período chuvoso e outra menos turbida e com menor estabilidade do sistema no período seco. A fase turbida (período chuvoso) foi caracterizada por uma intensa floração de cianobactérias (*Cylindrospermopsis raciborskii*) cuja densidade total fitoplanctônica foi 8,5 vezes maior do que na fase menos turbida (período seco). O biovolume e a clorofila-a do fitoplâncton foram significativamente diferentes entre períodos climáticos (Biovolume: $F = 54,0$; $P < 0,001$; Clorofila-a: $F = 5,3$; $P = 0,02$) (Figura 2). E a estratificação térmica foi mais pronunciada no período de chuva do que no período de seca (banco de dados do Laboratório de Ecologia Aquática, IBt, dados não publicados referentes à região pelágica) (Figura 3).

Comparando os períodos climáticos (Figura 4), verificou-se que as condições limnológicas no período seco e chuvoso foram significativamente diferentes com base nos valores de variáveis limnológicas analisadas, com exceção do N-NO₂ ($F = 3,1$; $P = 0,08$) e profundidade do disco de Secchi ($F = 2,4$; $P = 0,1$) (tabela 1).

Comparando os pontos de amostragem em cada período (Figura 4), verificou-se que no período chuvoso (fase turbida) as variáveis limnológicas nos pontos de amostragem E5 e E7 apresentaram valores muito próximos (Tabela 1). A análise de variância das variáveis abióticas nos pontos E5 e E7 mostraram ausência de diferença significativa. No período seco (fase menos turbida) as condições limnológicas no ponto E5 e E7 apresentaram diferença significativa na concentração de PT, PSR, N-NH₄ e na transparência da água (PT: $F = 6,8$, $P = 0,007$; PSR: $F = 5,0$, $P = 0,05$; N-NH₄: $F = 8,1$, $P = 0,01$; NID: $F = 6,6$, $P = 0,02$; Secchi: $F = 4,5$, $P = 0,05$).

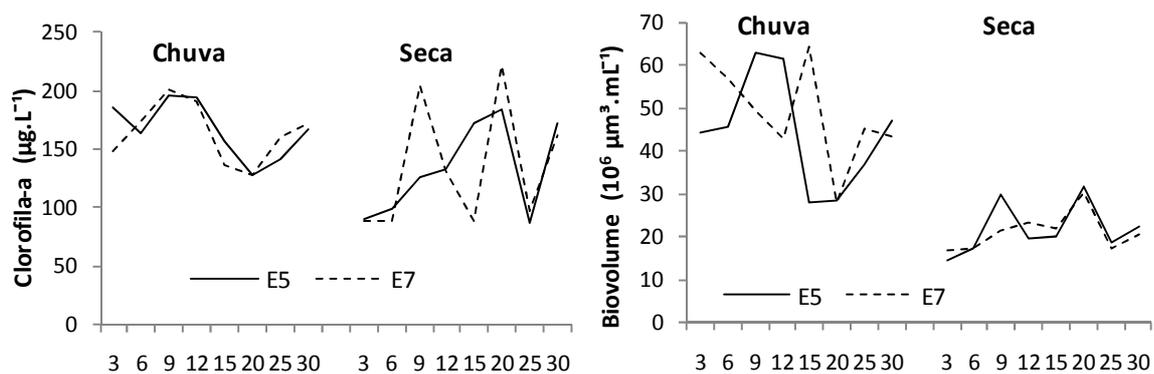


Figura 2. Variação temporal dos valores médios ($n = 2$) da biomassa fitoplanctônica nos pontos E5 e E7, no período chuvoso e seco.

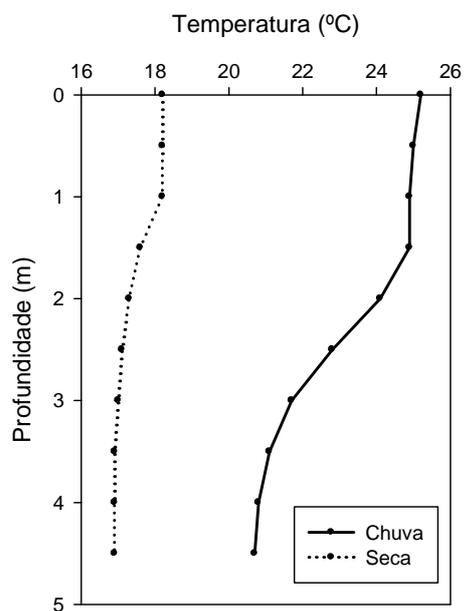


Figura 3. Variação vertical e sazonal do perfil de temperatura na região pelágica do Lago das Garças.

Tabela 1. Amplitude de valor, valor médio e desvio padrão das variáveis abióticas (n = 2). Para detectar diferenças significativas entre os pontos em cada período climático foi usado ANOVA 2-fatores. ns = não significativo; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,001$.

Variáveis	E5		E7		E5	E7	Chuva	Seca	Interação
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva x Seca	Chuva x Seca	E5 x E7	E5 x E7	Chuva x Seca
Temp. da água (°C)	23-28 (26 ±1,5)	17-19 (18 ±0,6)	23-28 (26±1,4)	17-19(19 ±0,7)	**	**	ns	ns	**
% de penetração da luz	18-65 (44 ±16)	35-82 (58 ±17)	12-59 (34 ±17)	25-59 (44 ±12)	ns	ns	ns	*	*
Secchi (cm)	18-33 (28 ±5)	15-33 (26 ±6)	15-30 (24 ±5)	15-28 (20 ±5)	ns	ns	ns	*	ns
pH	7,8-9,8 (9 ±0,6)	7,2-8 (7,6 ±0,3)	8,4-10 (9 ±0,5)	7-8(7,5 ±0,4)	**	**	ns	ns	**
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	194-292 (229 ±35)	24-361 (296 ±37)	189-264 (226 ±30)	272-390 (317 ±35)	**	**	ns	ns	**
OD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6-13 (9 ±2)	3-10 (7 ±2)	6-13 (9 ±2)	3-10(7 ±2)	ns	ns	ns	ns	*
PSR ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	< 10	10-12(10 ±0,7)	< 10	10-641 (164 ±231)	ns	*	ns	*	*
PDT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	16-21(19 ±1,5)	20-43 (34 ±8)	17-23 (19 ±2)	32-643 (167 ±226)	*	*	ns	*	*
N-NO ₂ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	10-22 (12 ±4)	10-21 (16 ±4)	10-28 (13 ±6)	10-21 (15 ±4)	ns	ns	ns	ns	ns
N-NO ₃ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	10-100 (32 ±34)	27-131 (92 ±43)	10-91 (31 ±32)	22-117(68 ±35)	*	ns	ns	ns	**
N-NH ₄ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	5-147 (30 ±51)	771-2024 (1154 ±393)	5-185(132 ±62)	920-2277 (1791 ±526)	**	**	ns	**	**
NID ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	25-394 (95 ±133)	805-2096 (1254 ±393)	25-462 (97 ±150)	952-2341 (1874 ±552)	**	**	ns	*	**
PT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	112-199 (157 ±26)	126-202 (159 ±27)	118-168 (147 ±17)	135-843 (367 ±224)	ns	**	ns	*	*
NT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	2364-7955 (4868 ±2057)	4240-6019 (5245 ±613)	1813-4017 (2812 ±866)	5017-14552 (6884 ±3304)	ns	**	ns	ns	*
Clorofila-ado fitoplâncton ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	128-195 (167 ±24)	87-18 (133 ±39)	127-201 (164 ±26)	88-222(135 ±55)	ns	ns	ns	ns	*
Biovolumedo fitoplâncton (10 ⁶ $\mu\text{m}^3\cdot\text{mL}^{-1}$)	28-63 (44 ±13)	15-32 (22 ±6)	28-64 (49 ±12)	17-31 (21 ±5)	**	**	ns	ns	**

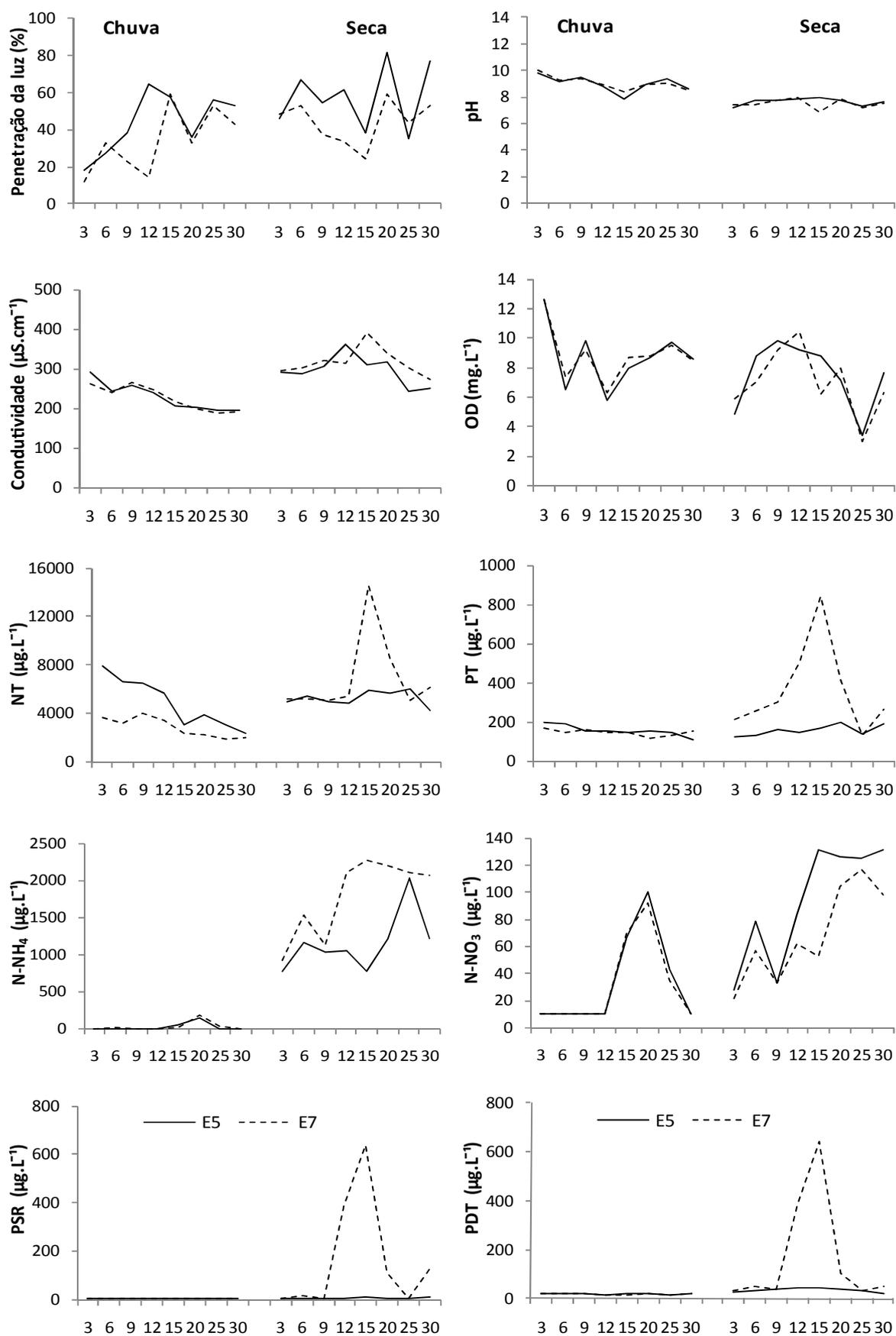


Figura 4. Variação temporal dos valores médios ($n = 2$) das variáveis abióticas nos pontos E5 e E7, no período chuvoso e seco.

3.3. Análise de componentes principais (PCA)

A análise de componentes principais das características limnológicas abióticas e biomassa fitoplanctônica resumiu 69 % da variabilidade conjunta dos dados nos dois primeiros eixos (Figura 5). No primeiro eixo houve a separação das unidades amostrais em função do período climático. As unidades amostrais referentes ao período chuvoso se posicionaram no lado negativo do eixo, associando-se, principalmente, com os altos valores de temperatura, pH, clorofila-a do fitoplâncton, biovolume do fitoplâncton e OD. As unidades amostrais referentes ao período de seca associaram-se no lado positivo do eixo 1 onde as unidades amostrais foram associadas aos altos valores nutrientes e penetração da luz. O segundo eixo tendeu a separar as unidades amostrais em função da variabilidade espacial, no período seco. Neste período, as unidades amostrais referentes ao ponto E5 foram associadas aos altos valores de penetração da luz e nitrato (lado positivo do eixo 2); e as unidades amostrais referentes ao ponto E7, associadas aos altos valores de NT, PT e PSR (lado negativo do eixo 2).

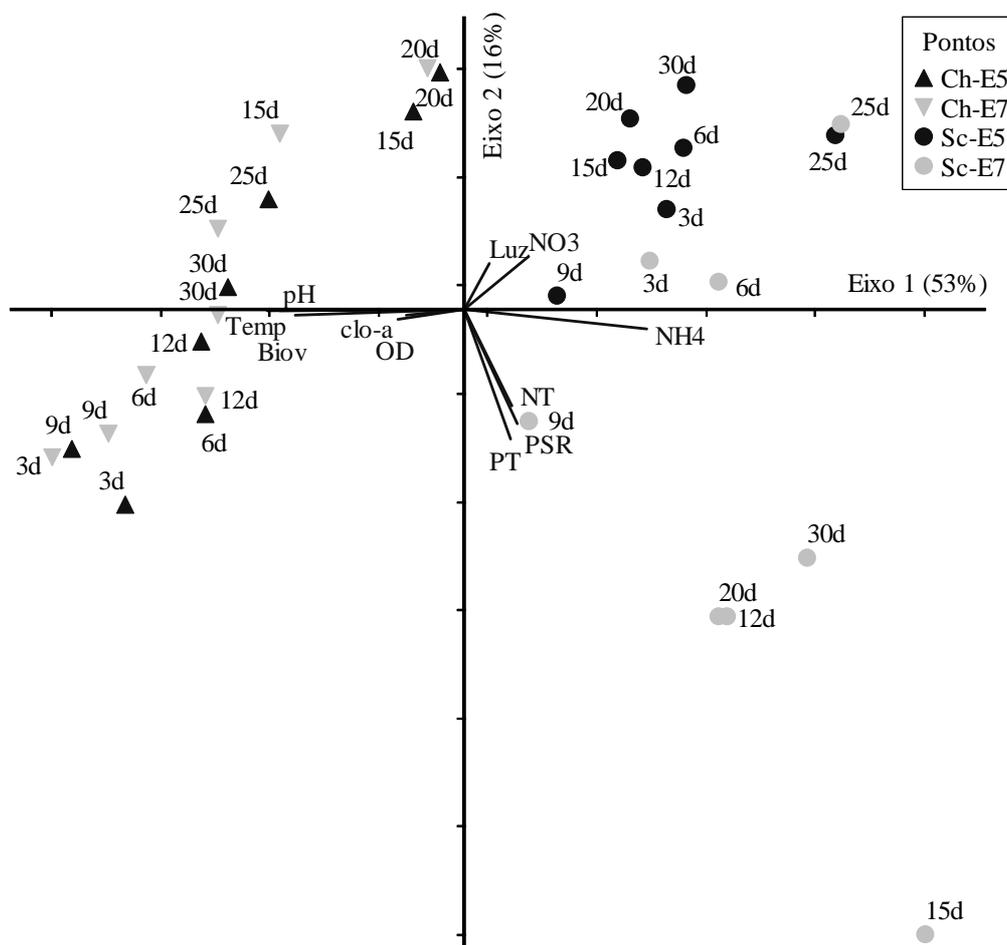


Figura 5. Biplot da PCA, com ordenação das unidades amostrais dos pontos E5 e E7 em período chuvoso (Ch-E5 e Ch-E7) e seco (Sc-E5 e Sc-E7). Abreviações dos vetores: NT = nitrogênio total; PSR = fósforo solúvel reativo; PT = fósforo total; pH = potencial hidrogeniônico; Clo-a = Clorofila-a do fitoplâncton; OD = oxigênio dissolvido; Temp = temperatura da água; Luz = penetração da luz; NO₃ = nitrato; NH₄ = amônio; Biov = biovolume do fitoplâncton). Números = sequência de amostragens.

3.4. Biomassa do perifíton

Os valores de clorofila-a e massa seca do perifíton, no período de chuva e na E5 e E7, aumentaram exponencialmente até o 12º estágio. Posteriormente, ocorreu queda acentuada de cerca de 55%, havendo um novo incremento nos estádios seguintes, com nova perda de biomassa fotossintética no 30º dia. Entre os pontos E5 e E7 os valores de biomassa foram similares. No período de seca, houve incremento de clorofila-a até o 25º dia do estágio sucessional, com perda de clorofila-a no 30º dia em E5 e E7. Até o 20º dia, a clorofila-a do ponto E7 foi em média 7 vezes maior do que no ponto E5. Em relação à MS, nos dois pontos, o crescimento foi exponencial, entretanto foi maior no E7. Entre os períodos climáticos, a biomassa do perifíton foi maior no período de seca.

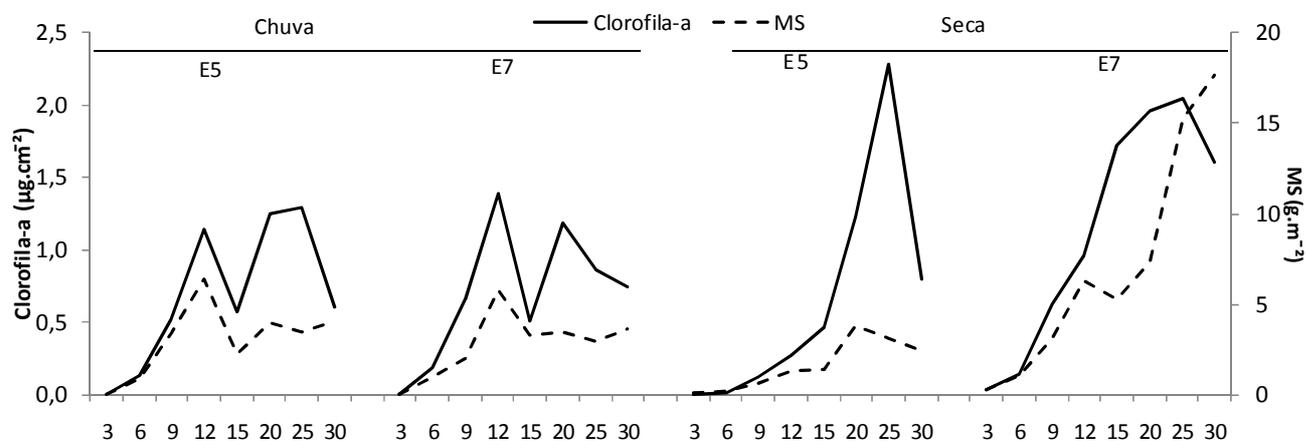


Figura 6. Variação sucessional dos valores médios ($n=2$) de clorofila-a no ponto E5 e E7, no período chuvoso e seco.

3.6. Conteúdo de N e P total (%N, %P) e dissolvido (%NI e %PI) do perifíton

O conteúdo de fósforo total do perifíton (%P) e de fósforo da água intersticial (%PI), no período de chuva e ambos os pontos, foi elevado no início do processo sucessional e tendeu a se estabilizar nos estádios finais. No período de seca e em ambos os pontos, a %P aumentou ao longo do processo sucessional, entretanto a %PI diminuiu. As formas de P por unidade de massa seca variaram em escala sucessional, mas entre períodos climáticos não houve diferença significativa tanto na %P ($P = 0,4$) como na %PI ($P = 0,2$) (Figura 7).

O conteúdo de nitrogênio total dissolvido (%N) e de nitrogênio da água intersticial (%NI), tanto no período de chuva como no período de seca, em ambos os pontos, foi maior no início do processo sucessional, e diminuíram ao longo da sucessão. O conteúdo de NID por unidade de massa seca variou em escala sucessional e sazonal. Comparando os períodos climáticos, a %N no período de seca foi maior do que no período de chuva ($P = 0,01$) e a %NI não apresentou diferença significativa entre períodos ($P = 0,4$) (Figura 7).

Segundo os critérios propostos por Biggs (1995) o limite de, %P > 0,5% indica ausência de limitação por fósforo e %N > 5% ausência de limitação por nitrogênio. A comunidade perifítica do Lago das Garças, em ambos os períodos climáticos e os pontos de amostragem, ao que tudo indica foi limitada por nitrogênio.

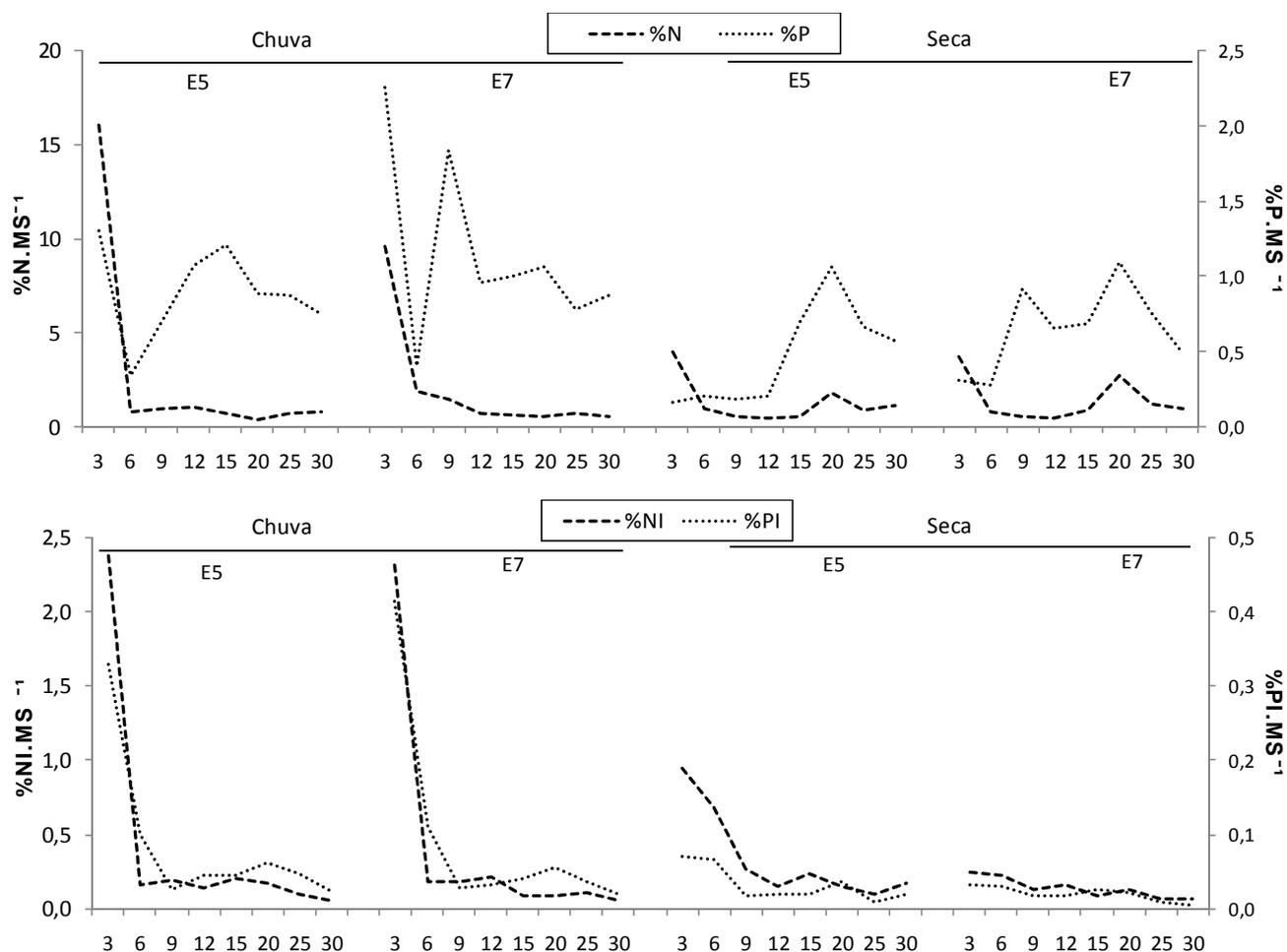


Figura 7. Variação sucessional dos valores médios (n=3) de conteúdo de nitrogênio (%N) e fósforo total da comunidade perifítica (%P) e do conteúdo de nitrogênio (%NI) e fósforo inorgânico dissolvido da água intersticial (%PI) no ponto de amostragem E5 e E7 no período chuvoso e seco.

3.7. Nutrientes inorgânicos dissolvidos da água do lago (NID e PSR) e na água intersticial perifíton (NI e PI – expresso por unidade de área)

O conteúdo NID da água intersticial do perifíton (NI) (Figura 8), no período de chuva, apresentou os menores valores no início do processo sucessional e os maiores no 12º dia, não havendo diferença entre os pontos E5 e E7 ($P = 0,7$). No período de seca, os menores valores também foram encontrados no início do processo sucessional e aumentaram com o avanço da sucessão. Os maiores valores foram encontrados no 20º dia no E5, e no 30º no E7, sendo significativamente maiores no E7 ($P = 0,003$). Comparando os períodos climáticos, os valores de NI foram significativamente maiores na seca ($P = 0,02$).

O conteúdo de PSR da água intersticial do perifíton (PI) apresentou tendência de aumento ao longo da sucessão, no período de chuva e seca, não apresentando diferença entre os pontos E5 e E7, no período de chuva e seca ($P = 0,4$ e $P = 0,2$, respectivamente). Comparando os períodos climáticos, não houve diferença ($P = 0,1$) (Figura 8).

Para avaliar a associação entre a disponibilidade de nutrientes dissolvidos na água do lago com os nutrientes da água intersticial, foram comparadas as flutuações de NID da água e NI e do PSR da água com o PI. Comparando a concentração de NID na água do lago e conteúdo de NI do perifíton, verificou-se que ao longo da sucessão foi possível encontrar relação. Entretanto, em escala sazonal, assim como na água do lago quanto na água intersticial do perifíton, os maiores valores foram encontrados no período de seca ($P < 0,001$ e $P = 0,02$, respectivamente). Considerando os estádios avançados (15-30 dias), verificou-se uma correlação positiva e significativa entre o NID da água e o NI do perifíton ($r = 0,705$, $P = 0,01$).

Comparando o conteúdo de PSR da água e PI, no período de chuva, o PSR da água praticamente não variou ao longo do período de estudo e o PI aumentou (Figura 9). No período de seca, no ponto E5, o PSR da água variou pouco e o PI aumentou. No ponto E7, o PSR da água apresentou elevados valores entre o 12º e 30º dias e o PI aumentou ao longo do processo sucessional. Entre os períodos climáticos, os maiores valores de PSR da água foram encontrados na seca ($P = 0,05$), entretanto, o PI não apresentou diferença significativa ($P = 0,1$). Considerando os estádios avançados (15-30 dias), não foi encontrada correlação entre o PSR da água e o PI do perifíton ($r = -0,186$, $P = 0,564$).

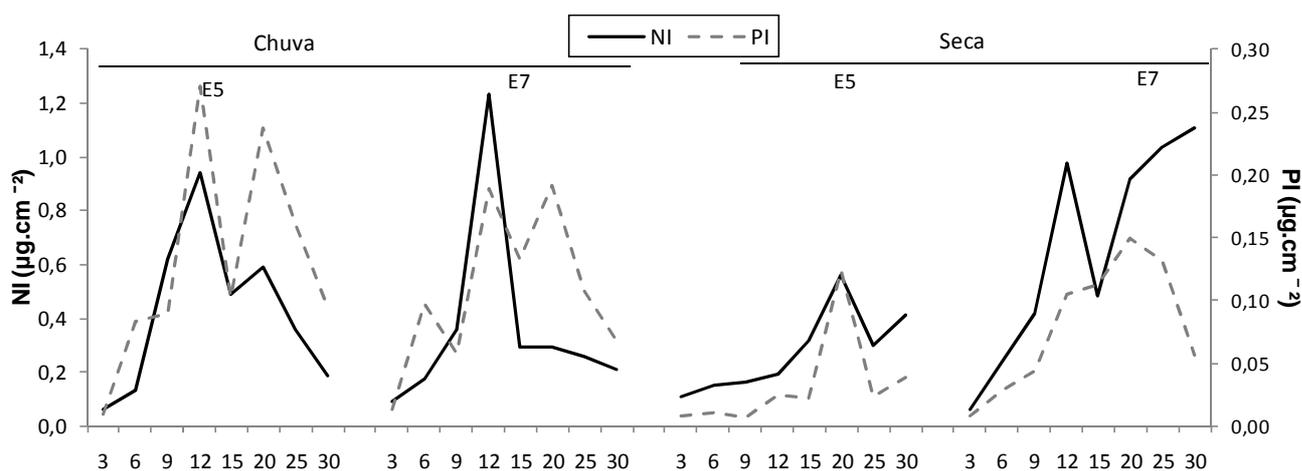


Figura 8. Variação sucessional dos valores médios (n=2) do conteúdo de nitrogênio dissolvido na água intersticial (NI) e PSR da água intersticial do perifíton, nos pontos de amostragem E5 e E7 no período chuvoso e seco.

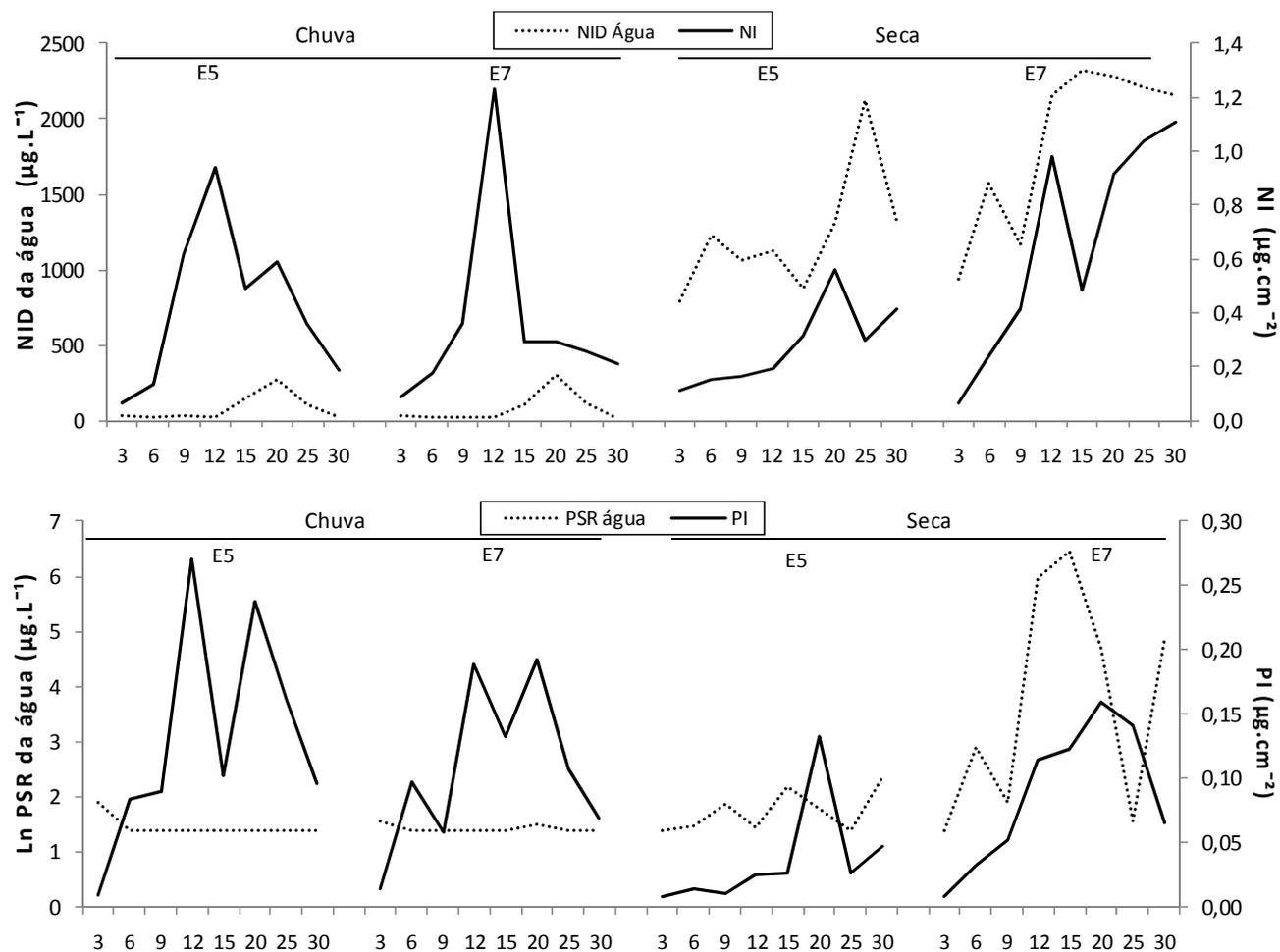


Figura 9. Variação sucessional dos valores médios ($n=2$) do nitrogênio inorgânico dissolvido da água (NID água) e conteúdo de nitrogênio dissolvido na água intersticial (NI); valores médios ($n=2$) do fósforo solúvel reativo da água (PSR Água) e fósforo dissolvido da água intersticial (PI), nos pontos de amostragem E5 e E7 no período chuvoso e seco.

3.7. Extensão da limitação nutricional do perifíton

A Razão molar N:P dos nutrientes dissolvidos da água (NID:P) e do material particulado (Np:Pp) da água, bem como dos nutrientes totais do perifíton (Nt:Pt) e dissolvidos da água intersticial do perifíton (NI:PI) foram analisadas e comparadas (Figura 10 e 11).

No período de chuva e seca a razão molar NID:P e Np:Pp água indicou uma condição ambiental limitada por P nos pontos de amostragem (Figura 10). Entretanto, esta condição foi extremamente acentuada no período de seca com base nos dissolvidos. Contrapondo, a razão do seston (Np:Pp) apresentou pequena variação sazonal, sendo um pouco maior na entrada 5.

Considerando a razão de nutrientes dissolvidos do perifíton (Figura 11), verificou-se que a razão NI:PI indicou N-limitação no período de chuva e P-limitação no período de seca, nos dois pontos de amostragem. A razão Nt:Pt do perifíton (nutrientes totais) indicou uma tendência de N-limitação no período de chuva e boa disponibilidade de nutrientes ($N:P > 10$ e < 20) no período de seca.

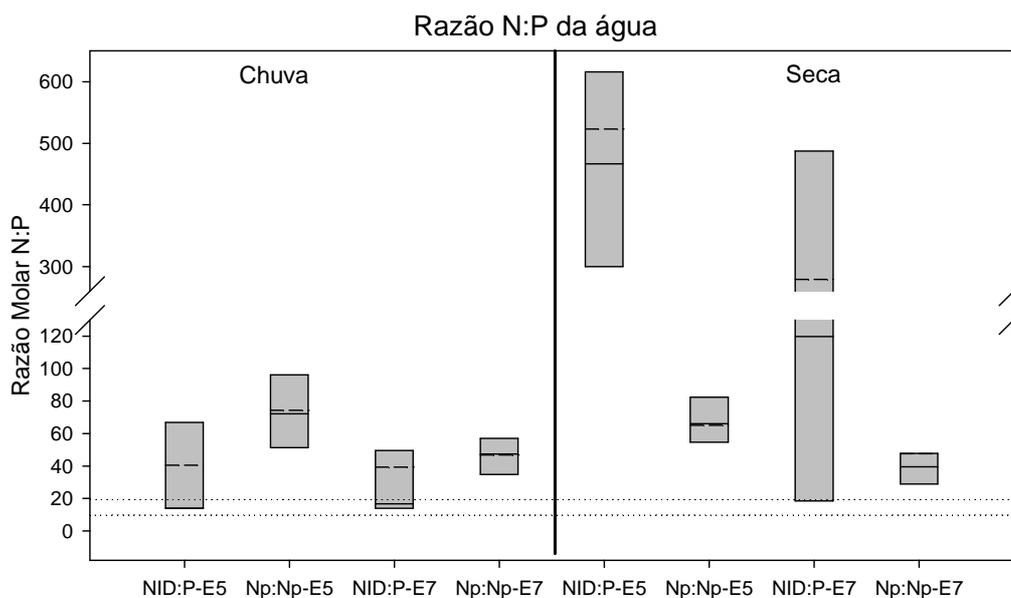


Figura 10. Razão molar N:P dos nutrientes dissolvidos da água (NID:P) e do material particulado da água (Np:Pp), nos pontos E5 e E7, no período de chuva e seca. Dentro das caixas esquemáticas, a linha sólida representa a mediana e a tracejada a média. As linhas pontilhadas indicam o intervalo onde há ausência de limitação por N e P (Kahlert 1998).

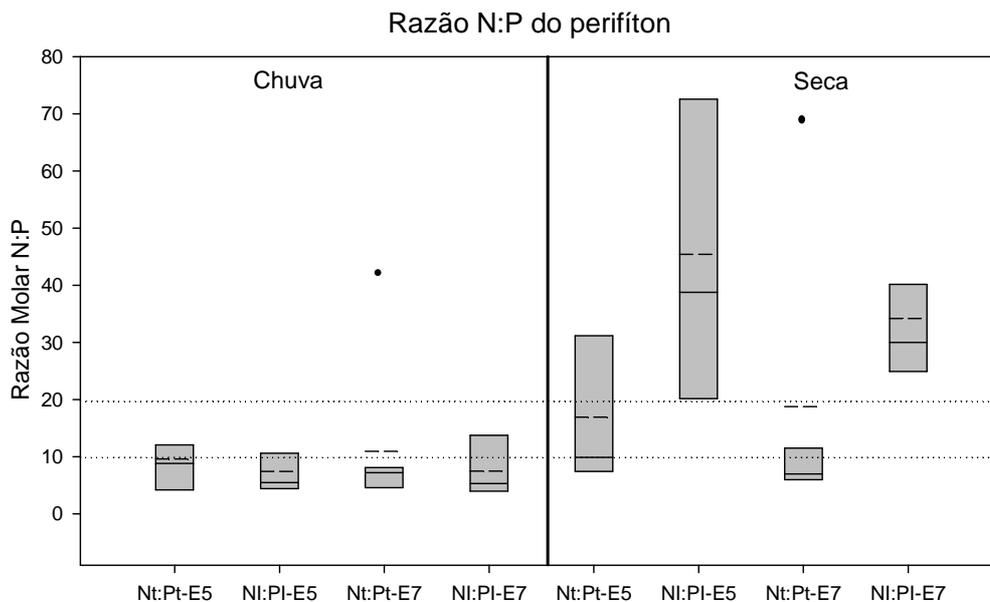


Figura 11. Razão molar N:P dos nutrientes totais do perifíton (Nt:Pt) e dissolvidos da água intersticial do perifíton (NI:PI), nos pontos E5 e E7, no período de chuva e seca. Dentro das caixas esquemáticas, a linha sólida representa a mediana e a tracejada a média. As linhas pontilhadas indicam o intervalo onde há ausência de limitação por N e P (Kahlert 1998).

4. Discussão

O Lago das Garças é um sistema hipereutrófico com ocorrência de floração de cianobactérias permanentes desde 2000, a qual é responsável pelo processo de retroalimentação biológica do lago, mantendo-o em estado degradado de equilíbrio (Bicudo *et al.* 2007). Contudo, apesar da floração permanente, estudos evidenciaram a ocorrência de florações menos intensas, ou seja, fases menos túrbidas ao longo do ano (Borduqui *et al.* 2008, Oliveira *et al.* 2010, Ferrari 2010). No período do presente estudo também foi observado duas fases limnologicamente distintas, principalmente em função da variabilidade da biomassa da comunidade fitoplanctônica. O período chuvoso foi caracterizado por uma fase túrbida na qual houve elevada biomassa fitoplanctônica, estratificação mais intensa, menor disponibilidade de nutrientes, e menor penetração da luz. No período seco foi observada uma fase menos túrbida, caracterizada pela menor biomassa fitoplanctônica, estratificação menos intensa, maior disponibilidade de nutrientes e maior penetração de luz. A influência da água nascente e do efluente doméstico sob as condições limnológicas dos pontos de amostragem foi evidenciada apenas no período seco, pois no chuvoso as condições foram mais homogêneas (exceto NT). No período menos túrbido (seca) os pontos de amostragem E5 e E7 diferenciaram-se por maiores concentrações de nutrientes e, menor penetração da luz no E7. Os resultados evidenciaram que a variabilidade temporal da floração de cianobactérias determinou as condições limnológicas na região litorânea do Lago das Garças em escala sazonal e espacial durante o período de estudo.

Em relação à biomassa, no processo de sucessão do perifíton, Biggs (1996) denominou a fase inicial de “Fase de acréscimo”, onde processos de imigração/colonização e crescimento exponencial dominam; e os estádios tardios denominados “Fase de perda”, onde dominam os processos como morte, emigração, descamação e “grazing”. Sendo assim, no período de chuva (fase turbida), até o 20º dia caracteriza-se “Fase de acréscimo”. No 15º dia houve elevada perda de biomassa, entretanto, esta foi atribuída à elevada precipitação pluviométrica ocorrida dias antes e, não a um início da “Fase de perda” propriamente dito. Além disso, a elevada taxa de acumulação de biomassa é esperada logo após uma perturbação, atribuída à capacidade de resiliência da comunidade perifítica (Pettersson 1996), como visto no 20º dia. Somente então no 25º dia de sucessão que a comunidade entrou em “Fase de perda”. No período de seca (fase menos turbida), a “Fase de acréscimo” foi até o 25º dia de sucessão e a “Fase de perda” se iniciou no 30º dia. Portanto, segundo os critérios estabelecidos por Biggs (1996), nos dois períodos climáticos e em ambos os pontos amostrados, a comunidade perifítica exibiu a curva de incremento de biomassa. Entretanto, a “Fase de crescimento” foi mais longa no período de seca, evidenciando a maior disponibilidade de recursos.

Comparando os dois períodos climáticos, os maiores valores de biomassa foram encontrados no período menos turbido (seca). Nesta fase menos turbida, o perifíton teve a maior disponibilidade de luz e nutrientes, no ponto E5 e E7, possibilitando um maior desenvolvimento do perifíton. Estudos em diversos ecossistemas evidenciaram a disponibilidade de luz e nutrientes como fatores reguladores do desenvolvimento do perifíton. Em lagos na Antártida e na Suécia, os principais fatores reguladores da biomassa perifítica foram, justamente, disponibilidade de luz e nutrientes (Hansson 1992). Tal relação também foi observada em região tropical, sendo o maior incremento de biomassa perifítica associado a maior transparência da água em lagos amazônicos (França *et al.* 2009) e a maior disponibilidade de nutrientes (Vercellino & Bicudo 2006). Em ambientes eutrofizados, o fitoplâncton é o principal regulador destes fatores (luz e nutrientes) para o perifíton em ecossistema temperado (Hansson 1988, Vandeboncoeur *et al.* 2001), subtropical (Philips *et al.* 1993, Steinman *et al.* 1997) e tropical (Borduqui *et al.* 1998, Oliveira *et al.* 2010, Ferrari 2010). No presente estudo a relação inversa entre biomassa fitoplânctônica e perifítica em condição hipereutrófica foi claramente evidenciada, sendo o desenvolvimento do perifíton dependente da intensidade da floração (fase menos turbida).

A capacidade de retenção de nutrientes da comunidade perifítica é amplamente reconhecida (Havens *et al.* 1999, Doods 2003, Vercellino 2007), mas a de indicar a disponibilidade no ambiente tem controvérsias. Estudos mostraram relação positiva entre a disponibilidade de nutrientes no ambiente e no perifíton (Francouer *et al.* 1999, Stelzer & Lamperti 2001, Maberly *et al.* 2002), enquanto outros detectaram pouca ou nenhuma relação (Kahlert & Pettersson 2002). Presentemente, esta relação foi avaliada com base nos nutrientes dissolvidos e totais do perifíton, diferindo da maioria que utiliza apenas os totais na determinação do estado nutricional. Os

resultados mostraram que o conteúdo de nitrogênio dissolvido na água intersticial do perifíton foi acoplado à variação sazonal da concentração de nitrogênio na água. Entretanto, essa relação não foi evidenciada com o fósforo, possivelmente, devido à baixa disponibilidade de nutrientes do reservatório (P-limitante).

Presentemente, o conteúdo de nutrientes dissolvidos da água intersticial e de N e P do perifíton refletiram a variação sazonal de disponibilidade de nutrientes para o perifíton, independente do aumento da biomassa do perifíton. Este resultado aponta para a influência de outros fatores, e não somente o desenvolvimento da biomassa. Nesse sentido, a matriz perifítica pode assumir importante papel, pois proporciona um microambiente com condições particulares para o desenvolvimento do perifíton (Consterton *et al.* 1995, Flemming 1995). A capacidade do perifíton, em substrato artificial, de refletir a disponibilidade de nutrientes dissolvidos do ambiente está diretamente ligada às propriedades estruturais (ex. presença de canais, espessura da matriz) e químicas (caráter polianiônico) da matriz perifítica, bem como da assimilação dos organismos (Lock & Jonh 1979, Consterton *et al.* 1995, Flemming 1995). No entanto, apesar da matriz perifítica ser uma unidade funcional, ela não está separada físico, química e biologicamente do ambiente em seu entorno (Sigeo 2005). E, desta forma, sua estrutura é influenciada pela concentração dos nutrientes da água. Além de a EPS ser hábil na absorção de nutrientes para dentro da matriz (Flemming *et al.* 2007), tanto as bactérias heterotróficas (Caron 1994, Kirchman 1994) quanto as algas (Borchardt 1996, Lee 2008) são eficientes consumidoras de nutrientes inorgânicos. Por esta razão, o perifíton vem sendo proposto como um eficaz sequestrador de nutrientes (Vymazal 1988, Drenner *et al.* 1997, Havens *et al.* 1999, Dodds 2003, Jöbgen 2004, Ogura *et al.* 2008). Portanto, para melhor entender as relação entre disponibilidade de nutriente e estado nutricional do perifíton, são necessários mais estudos que levem em consideração o papel da EPS na dinâmica de nutrientes do perifíton.

Ao longo da sucessão, tanto em escala sazonal como espacial, o conteúdo de nutrientes dissolvidos no perifíton (PI e NI) aumentaram com o aumento da biomassa ao longo da sucessão no período seco e chuvoso. Sekar *et al.* (2002) também encontraram os nutrientes dissolvidos da água intersticial aumentando concomitantemente com a biomassa. O aumento da entrada de nutrientes da coluna d'água para dentro da matriz perifítica, em função da difusão e do movimento da água adjacente ao perifíton, é necessário para manter a taxa de crescimento positiva (Stevenson & Glover 1993). Entretanto, os mesmos autores apontam que o aumento de biomassa pode reduzir o fluxo de nutrientes dentro da água intersticial, pelo aumento na sorção e pela barreira física gerada.

Kahlert (1998) aponta que o uso da razão N:P é um método simples e seguro para estimar o estado nutricional do perifíton. A autora também sugere que a razão N:P ótima para o desenvolvimento das algas perifíticas é 18:1, contudo, indica que há limitação por N quando a razão é < 10 e limitação por P quando a razão é > 20. A razão N:P ótima determina boa repartição de nutrientes ou ausência de limitação ou ainda, a transição entre a limitação por N e P (Borchardt

1996). Estudos experimentais associam a razão N:P ótima de Redfield (1958) ou de Kahlert (1998) ao maior incremento de biomassa e crescimento algal (Maberly *et al.* 2002, Kahlert *et al.* 2002). Nesse sentido, considerou-se a relação entre a razão N:P ótima (faixa 10-20) e o incremento máximo de biomassa para avaliar a sensibilidade da razão N:P ambiental e do perifíton.

No presente estudo, apesar da razão dos nutrientes da água (NID:P e Np:Pp) indicar extrema limitação por P (NP>40), a comunidade apresentou elevado incremento de biomassa (1,2-2,3 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) em comparação a outros estudos no PEFI. Os valores máximos de biomassa registrados não ultrapassaram 0,7 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ nos reservatórios oligotróficos (Vercellino & Bicudo 2007, Ferragut & Bicudo 2010) e mesotróficos (Fermino 2006) descritos como P-limitantes (N:P = 89-238). Além disso, a razão N:P ambiental foi extremamente elevada no período de seca, quando a biomassa perifítica atingiu os maiores valores. Por outro lado, a razão Np:Pp do seston não covariou com a biomassa perifítica. Assim, as razões ambientais (NID:P e Np:Pp) não refletiram o incremento de biomassa em condição hipereutrófica. Outras pesquisas também encontraram a razão dos nutrientes da água desacoplada do incremento de biomassa (Stelzer & Lamberti 2001) e do estado nutricional da comunidade perifítica (Kahlert & Pettersson 2002, Ferragut & Bicudo 2009). Borchardt (1996) aponta que as razões celulares devem ser usadas sempre que possível, pois refletem melhor as condições de limitação nutricional da comunidade.

Considerando a razão dos nutrientes totais e dissolvidos do perifíton, constatou-se que a razão molar NI:PI e Nt:Pt refletiram o incremento de biomassa. No período de seca (fase menos turbida) a razão Nt:Pt do perifíton indicou boa disponibilidade de nutrientes (N:P=10-20), concomitantemente ao maior acúmulo de biomassa perifítica e maior concentração de NID na água. Apesar da razão NI:PI indicar uma comunidade P-limitante os valores médios ficaram entre 8 e 10, portanto, não indicaram limitação extrema. De fato, a baixa razão NI:PI refletiu a maior disponibilidade de NID na água, evidenciando desbalanceamento estequiométrico. Por outro lado, no período de chuva (fase turbida) as duas razões do perifíton indicaram N-limitação, quando a concentração de NID foi cerca de cinco vezes menor do que no período seco. Portanto, a razão molar NI:PI e Nt:Pt do perifíton refletiram o incremento de biomassa e, ainda, foram sensíveis a variação sazonal da disponibilidade de nitrogênio na água.

Com base nos nutrientes totais do perifíton (Nt:Pt), a síntese preliminar sobre a avaliação da limitação de nutrientes ao crescimento do perifíton em ecossistemas lênticos no Brasil apontou o fósforo como o elemento mais comumente limitante (Huszar *et al.* 2005). Em reservatório mesotrófico, Fermino (2006) evidenciou o fósforo como o nutriente limitante primário ao longo do ano. A condição P-limitante do perifíton também foi descrita em reservatórios e lagos oligotróficos (França *et al.* prelo, Ferragut & Bicudo 2009). Na condição hipereutrófica do Lago das Garças, a variação mensal entre a limitação por P e N no perifíton foi observada por Oliveira *et al.* (2010). Posteriormente em 2006-2007, Ferrari (2010) encontrou uma comunidade N-limitante. No presente

estudo, a razão Nt:Pt do perifíton indicou uma comunidade N-limitante, evidenciando dois aspectos importantes em relação a outros estudos. Primeiramente, o estado nutricional do perifíton no Lago das Garças difere da tendência de limitação por P da maioria dos reservatórios brasileiros estudados. Em segundo, o estado nutricional do perifíton alterou sua condição de limitação nos últimos anos, evidenciando possíveis mudanças em nível ecossistêmico.

Em suma, o presente estudo mostrou o efeito da sazonalidade afetando a biomassa fitoplanctônica e, esta como sendo o principal fator controlador da disponibilidade de nutrientes e luz para o perifíton. A relação inversa entre biomassa fitoplanctônica e perifítica foi evidenciada, sendo o desenvolvimento do perifíton dependente da variação sazonal da intensidade da floração (fase menos turbida). Os nutrientes inorgânicos dissolvidos da água intersticial e o conteúdo de N e P total do perifíton variaram em escala sucessional e sazonal. Contudo, apenas o conteúdo de nitrogênio inorgânico dissolvido foi correlacionado com a disponibilidade de nitrogênio do ambiente. A condição de P-limitante da água do reservatório determinou uma pequena variação no conteúdo de PSR no perifíton. O nitrogênio foi indicado como o nutriente limitante primário da comunidade perifítica. Dentre as diferentes formas de estequiometria N:P (perifíton nutrientes totais e dissolvidos, água do lago, seston), a razão molar N:P dos nutrientes inorgânicos dissolvidos da água intersticial e a dos nutrientes totais do perifíton expressaram melhor ao incremento de biomassa perifítica na condição hipereutrófica do Lago das Garças. De modo geral, o incremento de biomassa e estado nutricional do perifíton foram dependentes da escala sazonal e sucessional. Finalmente, o presente estudo contribui para o maior entendimento da dinâmica do perifíton em condição hipereutrófica e traz uma abordagem diferente em relação ao estado nutricional do perifíton - a composição química da água intersticial.

5. Referências Bibliográficas

- Allison, D.G.** 2003. The Biofilm Matrix. *Biofouling* 19: 139-150.
- Andersen, J.M.** 1976. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water Research* 10:329-331.
- American Public Health Association.** 1989. Standard methods for the examination of water and waste water. 17 ed. American Public Health Association, Washington.
- 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 do PEFI. *In: D.C. Bicudo, M.C.Forti, & C.E.M. Bicudo (eds.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo.* Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, pp. 141-158.
- Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bicudo, C.E.M., Bini, L.M. & Jesus, T.A.** 2006. Remoção de *Eichhorniacrassipes* em um reservatório tropical raso e suas implicações na classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago das Garças, São Paulo, Brasil. *In: J.G. Tundisi, T. Tundisi-Matsumura, C. S. Galli (eds.). Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle.* Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, pp. 413-438.
- Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bini, L.M., Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M. & Jesus, T.A.** 2007. Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. *Freshwater Biology* 52: 1120-1133.
- Biggs, B.J.F.** 1996. Patterns in Benthic Algae in Stream. *In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems.* Academic Press, San Diego, pp. 31-56.
- Borchardt, M.A.** 1996. Nutrients. *In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems.* Academic Press, San Diego, pp. 184-227.
- Borduqui, M., Ferragut, C. & Bicudo, C.E.M.** 2008. Chemical composition and taxonomic structure vertical and seasonal variation of periphyton community in a shallow hypereutrophic reservoir (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). *Acta Limnológica Brasiliensia* 20: 381-392.
- Carmo, C.F., Henry, R., Bicudo, D.C. & Bicudo, C.E.M.** 2002. A degradação da água nos reservatórios do PEFI. *In: D.C. Bicudo, M.C. Forti & C.E.M. Bicudo (eds.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo.* Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, pp. 271-296.
- Caron, D.A.** 1994. Inorganic Nutrients, Bacteria, and the Microbial Loop. *Microbial Ecology* 28: 295-298.
- Cattaneo, A.** 1987. Periphyton in lakes of different trophy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 44: 296-303.
- Consterton, J.W., Lewandowski, Z., Caldwell, D.E., Korber, D.R. & Lappin-Scott, H.M.** 1995. Microbial biofilms. *Annual Review of Microbiology* 49: 711-745
- DeBeer, D. & Scharmm.** 1999. Micro-Environments and mass transfer phenomena in biofilms studied with microsensors. *Water Science Technology* 39: 173-178.
- Dodds, W.K., Smith, V.H. & Lohman, K.** 2002. Nitrogen and phosphorus relationships to benthic algal biomass in temperate streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 865-874.

- Dodds, W.K.** 2003. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic systems. *Journal of Phycology* 39: 840-849.
- Drenner, R.W., Day, D.J., Basham, S.J., Smith, J.D. & Jensen, S.I.** 1997. Ecological water treatment system for removal of phosphorus and nitrogen from polluted water. *Ecological Applications* 7: 381-390.
- Fermino, F.S.** 2006. Avaliação sazonal dos efeitos do enriquecimento por N e P sobre o perifiton em represa tropical rasa mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Ferragut, C. & Bicudo, D.C.** 2009. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). *Revista Brasileira de Botânica*. 32: 571-585.
- Flemming, H-C.** 1995. Sorption sites in biofilms. *Water Science and Technology* 32: 27-33.
- Flemming, H.-C. & Wingender J.** 2002. Extracellular polymeric substances: structure, ecological functions, technical relevance. *In: G. Bitton (ed.). Encyclopedia of environmental microbiology*, vol. 3. Wiley, New York, pp. 1223-1231.
- Flemming, H-C., Neu, T.R. & Wozniak, D.J.** 2007. The EPS Matrix: The “House of Biofilm Cells”. *Journal of Bacteriology*, 189: 7945:7947.
- França, R.C.S., Lopes, M.R.M. & Ferragut, C.** 2009. Temporal variation of biomass and status nutrient of periphyton in shallow Amazonian Lake (Rio Branco, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*. 21: 175 – 183.
- França, R.C.S., Lopes, M.R.M. & Ferragut, C.** Structural and successional variability of periphytic algal community in a Amazonian lake during the dry and rainy season (Rio Branco, Acre). *Acta Amazonica* (prelo).
- Francoeur, S.N., Biggs, B.J.F., Smith, R.A. & Lowe R.L.** 1999. Nutrient limitation of algal biomass accrual in streams: seasonal patterns and a comparison of methods. *Journal of the North American Benthological Society* 18: 242-260.
- Gaiser, E.E., Scintoa, L.J., Richardsb, J.H., Jayachandran, K., Childersa, D.L., Trexlerb, J.C. & Jones, R.D.** 2004. Phosphorus in periphyton mats provides the best metric for detecting low-level P enrichment in an oligotrophic wetland. *Water Research* 38: 507-516.
- Gaiser, E.E., Childer, D. L., Jones, R.D., Richards J.H., Scinto, L.J. & Trexler, J.C.** 2006. Periphyton responses to eutrophication in the Florida Everglades: Cross-system patterns of structural and compositional change. *Limnology and Oceanography* 51: 617-630.
- Golterman, H.L., Clymo, R.S. & Ohmstad, M.A.M.** 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Hansson, L.-A.** 1988. Effects of competitive interactions on the biomass development of planktonic and periphytic algae in lakes. *Limnology and Oceanography* 33: 121-128.
- Hansson, L.-A.** 1992. Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnology and Oceanography* 37: 322-328.
- Havens, K.E., East, T.L., Rodusky, A.J. & Sharfstein, B.** 1999. Littoral periphyton responses to nitrogen and phosphorus: an experimental study in a subtropical lake. *Aquatic Botany* 63: 267-290.

- Hillebrand, H. & Sommer, U.** 2000. Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquatic Botany* 67: 221-223.
- Huszar, V.L.M., Bicudo, D.C., Giani, A., Ferragut, C., Martinelli, L.A. & Henry, R.** 2005. Subsídios para a compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e perifíton em ecossistemas continentais lênticos no Brasil. *In: F. Roland, D. César & M. Marinho (eds.). Lições em limnologia.* RiMa, São Carlos, pp. 243-260.
- Jöngen, A.M., Palm, A. and Melkonian, M.** 2004. Phosphorus removal from eutrophic lakes using periphyton on submerged artificial substrata. *Hydrobiologia* 528: 123 – 142.
- Kahlert, M.** 1998. C:N:P ratios of freshwater benthic algae. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 51: 104 – 114.
- Kahlert, M. & Pettersson, K.** 2002. The impact of substrate and lake trophy on the biomass and nutrient status of benthic algae. *Hydrobiologia* 489: 161-169.
- Kahlert, M., Hasselrot, A.T., Hillebrand, H. & Pettersson, K.** 2002. Spatial and temporal variation in the biomass and nutrient status of epilithic algae in Lake Erken, Sweden. *Freshwater Biology* 47: 1191-1215.
- Kirchman, D.L.** 1994. The Uptake of Inorganic Nutrients by Heterotrophic Bacteria. *Microbial Ecology* 28: 255-271.
- Larned, S.T.** 2010. A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. *Journal of the North American Benthological Society* 29:182-206.
- Lee, R.E.** 2008. *Phycology.* 4ed. Cambridge University Press, New York.
- Liboriussen, L. & Jeppesen, E.** 2006. Structure, biomass, production and depth distribution of periphyton on artificial substratum in shallow lakes with contrasting nutrient concentrations. *Freshwater Biology* 51: 95-109.
- Lock, M.A., Wallace, R.R., Costerton, J.W., Ventullo, R.M. & Charlton, S.E.** 1984. River epilithon: toward a structural - funcional model. *Oikos* 42: 10-12.
- Maberly, S.C., King, L., Dent, M.M., Jones, R.I & Gibson C.E.** 2002. Nutrient limitation of phytoplankton and periphyton growth in upland lakes. *Freshwater Biology* 47: 2136-2152.
- Mackereth, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F.** 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologists.* Titus Wilson and Son Ltda, Kendall.
- Moschini-Carlos, V., Pompêo, M.L.M. & Henry, R.** 1998. Temporal variation in C, N and P of the temporal aquatic macrophyte *Echinocloa polystachya* (H. B. K.) Mitch. in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Japanese Journal of Limnology* 59: 281-294.
- Mulholland, P.J.** 1996. Role in Nutrient Cycling in Streams. *In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems.* Academic Press, San Diego, pp. 609-639.
- Ogura, A., Takeda, K. & Nakatsubo, T.** 2008. Periphyton contribution to nitrogen dynamics in the discharge from a wastewater treatment plant. *River Research Applications* 25: 229-235.
- Oliveira, D.E, Ferragut, C. & Bicudo, D.C.** 2010. Relationships between environmental factors, periphyton biomass and nutrient content in Garças Reservoir, a hypereutrophic tropical reservoir in southeastern Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 15: 129-137.

- Peterson, C.G.** 1996. Response of Benthic Algal Communities to Natural Physical Disturbance. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 375-402.
- Philips, E.J., Zimba, P.V., Hopson, M.S. & Crisman, T.L.** 1993. Dynamics of the plankton community in submerged plant dominated regions of Lake Okeechobee, Florida, USA. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 25: 423-426.
- Pompêo, M.L.M. & Moschini-Carlos, V.** 2003. Macrófitas aquáticas e perifíton: aspectos ecológicos e metodológicos. Rima/Fapesp, São Carlos.
- Redfield, A.C.** 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist* 46: 205-222.
- Sánchez, M.L., Pizarro, H., Tell, G. & Izaguirre, I.** 2010. Relative importance of periphyton and phytoplankton in turbid and clear vegetated shallow lakes from the PampaPlain (Argentina): a comparative experimental study. *Hydrobiologia* 646: 271-280.
- Sartory, D.P. & Grobbelar, J.U.** 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114: 177-187.
- Sekar, R. Nair, K.V.K. Rao, V.N.R. & Venugopalan, V.P.** 2002. Nutrient dynamics and successional changes in a lentic freshwater biofilm. *Freshwater Biology* 47: 1983-1907.
- Scheffer, M., Straile, D., Van Nes, E.H. & Hopper H.** 2003. Climatic effects on regime shifts in lakes: A reply. *Limnology and Oceanography* 48: 1353-1356.
- Sigee, D. C.** 2005. *Freshwater Microbiology – Biodiversity and DinamycInterctions of Microorganisms in the Aquatic Enviroment*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex.
- Solorzano, L.** 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14:799-801.
- Steinman A.D., Meeker R.H., Rodusky A.J., Davis W.P. & McIntire C.D.** 1997. Spatial and temporal distribution of algal biomass in a large, subtropical lake. *Archiv für Hydrobiologie* 139: 29-50.
- Stelzer. R.S. & Lamberti, A.** 2001. Effects of N: P ratio and total nutrient concentration on stream periphyton community structure, biomass, and elemental composition. *Limnology and Oceanography* 46: 356-367
- Stevenson, R.J. & Glover, R.** 1993. Effects of Algal Density and Current on Ion Transport Through Periphyton Communities. *Limnology and Oceanography* 38: 1276-1281.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R.** 1965. A manual of seawater analysis. *Bulletin. Fisheries Research Board of Canada*. 125:1-185.
- Sun, J. & Liu, D.** 2003. Geometrics models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 25: 1331-1346.
- Umbreit, W.W., Burris, R.H. & Stauffer, J.F.** 1964. *Manometric methods applicable to the study of tissue metabolism*. Burgess Publishing Co, Minneapolis.
- Vadeboncoeur Y., Lodge, D.M. & Carpenter, S.R.** 2001. Whole-lake fertilization effects on distribution of primary production between benthic and pelagic habitats. *Ecology* 82: 1065-1077.
- Valderrama, G.C.** 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109-112.

- Vercellino, 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: 363-337.
- Vercellino, I.S. 2007.** Respostas do perifíton aos pulsos de enriquecimento em níveis crescentes de fósforo e nitrogênio em represa tropical mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo). Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Vymazal, J. 1988.** The use of periphyton communities for nutrient removal from polluted streams. *Hydrobiologia* 166: 225-237.
- Vymazal, J., Craft, C.B. & Richardson, C.J. 1994.** Periphyton response to nitrogen and phosphorus additions in Florida Everglades. *Algological Studies*, 73: 75-97.
- Wetzel, R.G. 1983.** Attached algal-substrata interations: fact or myth, and when and how? *In*: R.G. Wetzel (ed.). *Periphyton of Freshwater Ecosystems*. Dr. W. Junk Publishers, Hague, pp. 207-215.
- Wetzel, R.G. 2001.** *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3 ed. Academic Press. San Diego.

Fatores que controlam a sucessão das algas perifíticas em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico em reservatório hipereutrófico

Resumo - O presente estudo pretende avaliar a sucessão das algas perifíticas em dois pontos no Lago das Garças em escala sazonal, um próximo ao efluente de esgoto doméstico (E7) e outro próximo à entrada de água de nascente (E5). Visa avaliar a dinâmica da comunidade em condição hipereutrófica, identificando fases sucessionais e fontes de variabilidade estrutural, além de comparar os modelos sucessionais em escala sazonal e espacial. Lâminas de vidro foram usadas como substrato artificial para a colonização do perifíton durante 30 dias. A amostragem para determinação das variáveis físicas, químicas e biológicas foi realizada em intervalos de 3 dias na primeira quinzena e 5 dias na segunda (3d, 6d, 9d, 12d, 15d, 20d, 25d, 30d). Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas das algas perifíticas e planctônicas. No período de chuva a estrutura específica das espécies descritoras foi igual nos dois pontos de amostragem, com elevada contribuição de Cyanophyceae (*Synechocystis aquatilis*, *Merismopedia glauca* e *Cylindrospermopsis raciborskii*) nos estágios iniciais e de Bacillariophyceae (*Gomphonema gracile* e o complexo *Achnanthydium minutissimum*) nos avançados. No período de seca no ponto E5, nos estágios iniciais houve elevada representatividade de *Ulnaria acus*, nos estágios intermediário *U. acus* e *G. gracile* e, nos estágios avançados *G. gracile* e complexo *Achnanthydium minutissimum*. No ponto E7, nos estágios iniciais, houve elevada representatividade de *Merismopedia glauca* e *Leptolyngbya* cf. *subtilis*, nos estágios intermediários de *U. acus* e *G. gracile*, e nos estágios avançados de *G. gracile*. Assim, a estrutura da comunidade de algas perifíticas foi dirigida primariamente pela escala sazonal, a qual determinou períodos de água turbida (maior biomassa fitoplanctônica) e menos turbida (menor biomassa fitoplanctônica). Em escala espacial, a influência da entrada de água de nascente e efluente doméstico atuou secundariamente sobre o processo sucessional. Fato evidenciado pela ocorrência de fases sucessionais similares no período de chuva (período de água mais turbida) e mais diferenciadas no período seco (período de água menos turbida).

Abstract - This study aims to evaluate the succession of periphytic algae in two samplings points of Garças Reservoir in the seasonal scale, one near to a sewage effluent (E7) and another near the inflow of spring water. To claim assessing the community dynamics in hypereutrophic condition, identifying successional stages and sources of structural variability and to compare the successional models in seasonal and spatial scale. Glass slides were used as substrate for the periphyton colonization for 30 days. Sampling for the determination of physical, chemical and biological variables were collected at intervals of three days in the succession first half and the second half at five days intervals (3d, 6d, 9d, 12d, 15d, 20d, 25d, 30d). Were processed planktonic and periphytic algae qualitative and quantitative analysis. During rainy season the descriptor species structure was similar in both sampling points with high Cyanophyceae contribution (*Synechocystis aquatilis*, *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Merismopedia glauca*) in the early stages and Bacillariophyceae (*Gomphonema gracile* and *Achnanthydium minutissimum* complex) in advanced. During the dry season in point E5, the early stages were high *Ulnaria acus* participation, in intermediary *U. acus* and *G. gracile* and in the advanced stages *G. gracile* and complex *Achnanthydium minutissimum*. In point E7, in the early stages were high *Merismopedia glauca* and *Leptolyngbya cf. subtilis* participation, and in intermediary stages *U.acus* and *G. gracile*, and in the advanced stages *G.gracile*. Thus, the periphyton community structure was primarily driven by the seasonal scale, which determined turbid water periods (higher phytoplankton biomass) and less turbid (lower phytoplankton biomass). In spatial scale, the water spring influence inflow and sewage effluent acted secondarily on the successional process. Evidenced by the occurrence of similar successional stages during the rainy season (period of more turbid water) and more differentiated during the dry period (period of less turbid water).

1. Introdução

Algas perifíticas desempenham um papel importante nos ecossistemas aquáticos (Kahlert & Pettersson 2002, Liboriussen & Jeppesen 2006), especialmente, nos lagos rasos onde seu crescimento é potencialmente favorecido pelas extensas zonas litorâneas (Vadeboncoeur & Steinman 2002). E, diversos são os fatores, abióticos e bióticos, que controlam a estrutura da comunidade de algas do perifiton (Larned 2010). A comunidade de algas perifíticas possui atributos importantes para bioindicação, principalmente por três motivos: ubiquidade, visto que se distribuem em praticamente todos ambientes aquáticos; geralmente é rica em espécies, fornecendo um sistema rico de informações ecológicas para o monitoramento ambiental (Lowe & Pan 1996); as espécies apresentam ciclos de vida curtos, de forma a responderem mais rapidamente às alterações ambientais (McCormick & Stevenson 1998). E, ainda, o perifiton apresenta modo de vida sésstil, ou seja, não migra em condições adversas, de forma a responder às mudanças abióticas da água. Dentre os atributos da comunidade perifítica, estudos mostraram que a estrutura específica é tão ou mais sensível do que a biomassa às mudanças ambientais (Pan *et al.* 2000, Luttenton & Lowe 2006, Ferragut & Bicudo 2009, Ferragut & Bicudo 2010).

Sucessão ecológica é um processo temporal de padrão razoavelmente direcional e contínuo de colonização e extinção de espécies, onde resulta da modificação do ambiente físico pela comunidade e pelas interações em nível de população (Begon *et al.* 2007). A sucessão ecológica é fundamentalmente um processo de substituição de espécies e de mudança no desempenho das espécies (Pickett *et al.* 1987). A sucessão na comunidade perifítica é análoga à sucessão de plantas terrestres, com sequência de espécies definidas no tempo (Hoagland *et al.* 1982). O modelo sucessional da comunidade de algas perifíticas depende de um conjunto complexo de interações entre características dos hábitat, fatores alogênicos e autogênicos e da própria composição de espécies (Peterson 1996, McCormick & Stevenson 1991). As mudanças na substituição de espécies na trajetória sucessional dependem das condições ambientais (Hoagland *et al.* 1982, McCormick & Stevenson 1991). Experimentalmente, Ferragut (2004) reportou que a disponibilidade de nutrientes na água redireciona profundamente o processo sucessional. Em ecossistema lêntico, os estudos observacionais mostraram que a escala sazonal influencia a sucessão da comunidade de algas perifíticas (Moschini-Carlos *et al.* 2000, Vercellino & Bicudo 2006). Especificamente no Brasil, Rodrigues & Bicudo (2004) relataram que o pulso de inundação influenciava o processo sucessional na planície de inundação do rio Paraná. Siqueira (2008) observou que os processos autogênicos, tais como pressão de “grazing”, direcionaram a sucessão em tanques-rede; França *et al.* (prelo) mostrou que a variação do pulso hidrológico controlou a sucessão; e Vercellino & Bicudo (2006) reportou que a disponibilidade de nutrientes direcionou o processo sucessional.

A maioria dos modelos sucessionais das algas perifíticas foi descrito para ecossistema lótico (McCormick & Stevenson 1991, Peterson & Grimm 1992, Biggs 1996). Em riachos, frequentemente a sucessão é descrita com desenvolvimento de uma matriz orgânica, uma flora de bactérias, seguida pela transição de diatomáceas pequenas e prostadas para as diatomáceas coloniais aderidas apicalmente e, finalmente, algas verdes (Biggs 1996). Diferentemente, em reservatório tropical estudos descreveram Zygnemaphyceae (Felisberto 2007) e Chlorophyceae (Sekar *et al.* 2004, Vercellino & Bicudo 2006, Ferragut & Bicudo 2009) como colonizadores pioneiros. Assim, os modelos sucessionais parecem diferir daqueles descritos para ecossistemas lóticos, tornando necessária a identificação da sequencial sucessional em ecossistema lêntico tropical.

Considerando a área do presente estudo, os modelos de colonização e sucessão algal do perifíton foram descritos em estudos experimentais de enriquecimento contínuo (Fermino 2006, Ferragut & Bicudo 2009, 2010) e oligotrofização (Barcelos 2003) e observacional (Vercellino 2001). Especificamente, no Lago das Garças (PEFI, SP), um modelo sucessional foi descrito por Vercellino (2001) em uma fase caracterizada pela ocorrência de florações de cianobactérias apenas na primavera (Bicudo *et al.* 2006). A partir de 2000, deu-se início a uma fase com florações permanentes, sendo determinada de estado degradado de equilíbrio (Bicudo *et al.* 2007). O presente trabalho desenvolveu-se nesta fase e, pretende descrever o modelo sucessional em reservatório hipereutrófico, contribuindo para o melhor conhecimento da dinâmica das algas perifíticas.

Atualmente, o Lago das Garças encontra-se em fase inicial de recuperação (Programa de saneamento e desvio de cargas - ECOPEFI-SMA). Portanto, o maior conhecimento da estrutura da comunidade perifítica poderá auxiliar na compreensão da resposta algal às alterações ambientais decorrentes de processos de recuperação, os quais causam mudanças abruptas e, ainda, são pouco previsíveis em nível sistêmico.

As diferenças interespecíficas nas estratégias adaptativas e mudanças autogênicas são resultantes das condições ambientais e podem causar mudanças preditivas na estrutura da comunidade (McCormick & Stevenson 1991). Nesse sentido, o presente estudo pretende avaliar a sucessão das algas perifíticas em dois pontos no Lago das Garças em escala sazonal, um próximo ao efluente de esgoto doméstico (E7) e outro próximo à entrada de água de nascente (E5). Mais especificamente, pretende avaliar a dinâmica da comunidade em condição hipereutrófica (estado degradado de equilíbrio), procurando identificar fases sucessionais e fontes de variabilidade estrutural, além de descrever e comparar os modelos sucessionais em escala sazonal e espacial.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo encontra-se descrita no capítulo 1 deste trabalho.

2.2. Variáveis abióticas analisadas

O procedimento de amostragem, as variáveis climatológicas e abióticas e, seus respectivos métodos, encontram-se descritos no Capítulo 1 do presente estudo.

2.3. Comunidade perifítica

O material perifítico foi removido do substrato por meio de raspagem com lâminas de barbear e jatos de água destilada ou ultrapura. A clorofila-a do perifíton foi extraída e analisada conforme método de Sartory & Grobbelaar (1984). As taxas de acumulação de biomassa foram calculadas como sendo a diferença entre o teor de clorofila-a entre dois estádios consecutivos, dividida pelo intervalo de tempo considerado em dias (Sládeček & Sládecková 1964).

Para análise taxonômica, o material perifítico foi removido das lâminas e fixado em formalina a 4%. A oxidação e o preparo das lâminas permanentes, para análise das diatomáceas, seguiram Hasle & Fryxell (1970), utilizando Hyrax como meio de inclusão.

Amostras para quantificação das algas foram fixadas e preservadas em lugol acético 0,5%. A quantificação das algas perifíticas foi determinada pelo método de Utermöhl (1958) e, o tempo de sedimentação das amostras nas câmaras seguiu Lund *et al.* (1958). O número de campos quantificados foi estabelecido com base em dois critérios conjuntamente (Bicudo 1990): contagem de no mínimo 100 indivíduos da espécie mais frequente em determinada amostra e curva de rarefação de espécies. Foram consideradas espécies dominantes aquelas cujas densidades superaram 50% da densidade total da amostra e espécies abundantes as que superaram a densidade média de cada amostra (Lobo & Leighton 1986).

Com base nas densidades das espécies nos diferentes estádios foi determinado o índice de diversidade de Shannon-Wiener (Odum 1983).

Com a finalidade de apresentar uma sequencia sucessional das algas perifíticas no Lago das Garças, em condição hipereutrófica, foi apresentado um modelo sucessional para representar toda sequência sucessional. Considerou-se modelo, uma formulação gráfica que pretende representar um fenômeno natural, visando uma compreensão básica ou descrição acurada (Glossário de Ecologia 1997).

A ordenação das variáveis bióticas em função das abióticas foi feita a partir da análise de correspondência canônica (CCA) com dados bióticos transformados pela amplitude de variação dos dados (ranging: $[(x-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})]$) e os dados abióticos pelo logaritmo $[\log(x+1)]$. Na construção da matriz biológica foram consideradas as espécies com representação igual ou superior a 2% da

abundância total no decorrer de todo processo sucessional para cada ponto amostrado e para cada período climático. E os testes utilizados foram o teste t de Tukey e, quando os dados não apresentavam distribuição normal, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney. O programa estatístico usado foi o PAST, versão 2.02 (Hammer *et al.* 2001). A transformação dos dados (CCA) foi realizada pelo programa FITOPAC (Shepherd 1996) e as análises, pelo programa PC-ORD versão 5.15 para Windows (McCune & Mefford 2006).

3. Resultados

3.1. Variáveis climáticas e abióticas

Os resultados referentes às variáveis climáticas, físicas e químicas da água, foram descritos no Capítulo 1.

3.2. Estrutura da comunidade de algas perifíticas

3.2.1. Biomassa (clorofila-a)

A clorofila-a do perifíton tendeu a aumentar ao longo da sucessão nos pontos e períodos de amostragem (Figura 1). Comparativamente, o valor máximo de clorofila-a foi de 1,8 e 1,5 vezes maior no período seco do que no chuvoso, nos pontos E5 e E7, respectivamente.

No período de chuva, os picos de clorofila-a e da taxa de acumulação líquida de biomassa perifítica foram atingidos no 25º dia no E5 e no 12º dia no E7. Houve perdas pronunciadas de biomassa no 15º dia e nos estádios finais. Os valores de clorofila-a foram similares entre os pontos de amostragem, ao longo do processo sucessional.

No período de seca, os picos de clorofila-a foram atingidos no 25º dia, em ambos os pontos de amostragem. Entretanto, o acúmulo de biomassa foi maior no E7, até o 20º dia a acumulação líquida de biomassa foi de 2 a 7 vezes maior no E7. Sendo assim, até o 20º dia os valores de clorofila-a no E7 foram de 4 a 8 vezes maior. A partir do 20º, o acúmulo de biomassa no E7 foi menor e as perdas de biomassa foram observadas somente no 30º dia de sucessão, em ambos os pontos.

3.2.2. Densidade Total (DT)

A densidade total de algas perifíticas tendeu a aumentar ao longo da sucessão, em ambos os pontos e períodos de amostragem (Figura 2). Entre os períodos climáticos os valores foram similares, com exceção do pico de DT no E7 do período seco.

No período de chuva a densidade total aumentou exponencialmente até o 12º dia, nos dois pontos de amostragem, sendo observada redução de 1,5 vezes entre o 12º e o 15º dia. Nos estádios seguintes houve, pouca flutuação, com exceção do 30º dia, no qual se observou redução de

densidade no E5 e aumento pronunciado no E7 (1,7 vezes). Entre os pontos amostrados a tendência foi a mesma e os valores foram similares.

No período seco houve aumento exponencial até o 25º dia, em ambos os pontos amostrados. No último estágio houve diminuição da densidade total, contudo foi mais pronunciada no ponto E7 (2 vezes). Entre os pontos amostrados, os valores de DT foram sempre maiores no E7, de 2 a 7 vezes maior.

3.2.3. Biovolume Total

O biovolume algal tendeu a aumentar ao longo da sucessão nos pontos e períodos de amostragem (Figura 3). Comparativamente, o valor máximo do biovolume foram 1,5 e 2,8 vezes maior no período seco do que no chuvoso.

No período de chuva o biovolume das algas perifíticas na E5 e E7 aumentou até o 12º dia em ambos os pontos de amostragem, posteriormente houve uma flutuação dos valores. Os dois pontos amostrados apresentaram valores de biovolume total similares.

No período de seca, o biovolume aumentou exponencialmente até o 15º dia, posteriormente houve flutuação dos valores até o 30º dia de sucessão. Entretanto, o biovolume foi sempre maior no E7, de 2 a 4 vezes.

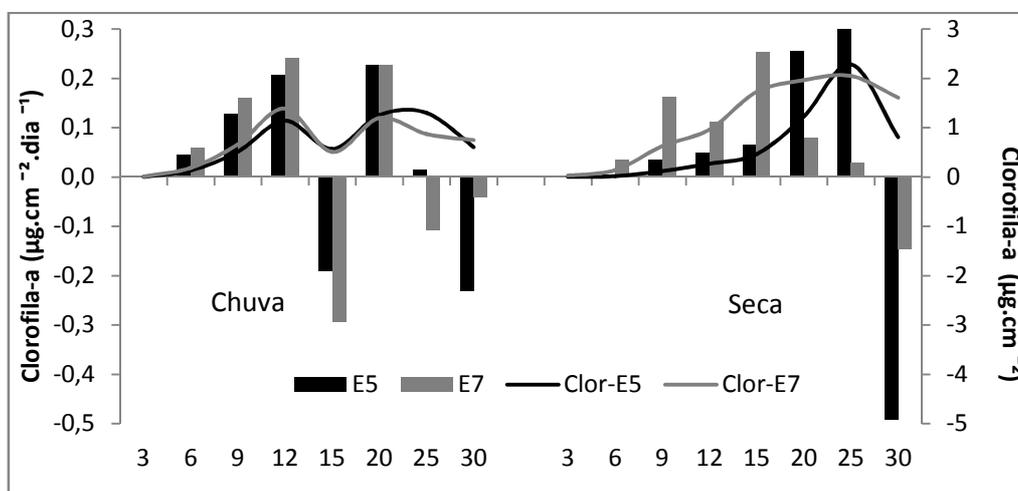


Figura 1. Acumulação de biomassa fotossintética (n = 2, barras) e teores de clorofila-a (n = 2; linhas) durante a sucessão do perifiton no Lago das Garças nos pontos E5 e E7 no período chuvoso e seco. (Legenda: Clor-E5 = clorofila-a no Ponto E5; Clor-E7 = Clorofila-a no Ponto E7).

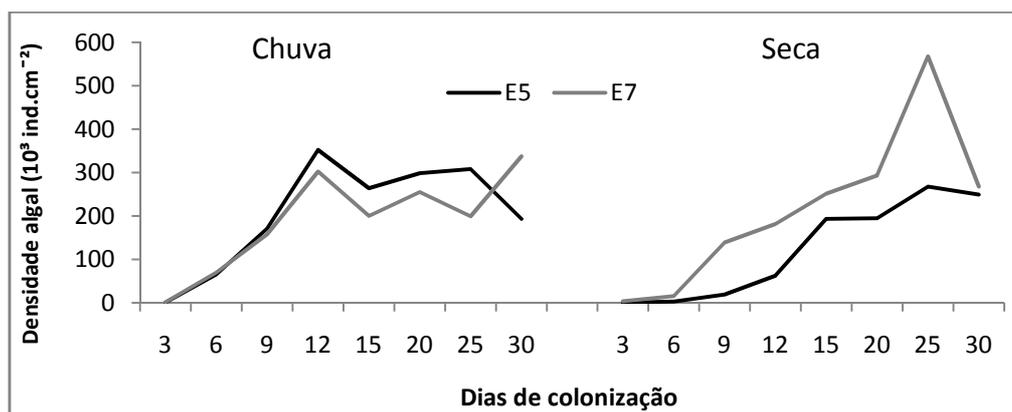


Figura 2. Densidade total das algas perifíticas ao longo dos 30 dias de colonização no período seco e chuvoso nos pontos de amostragem (E5 e E7).

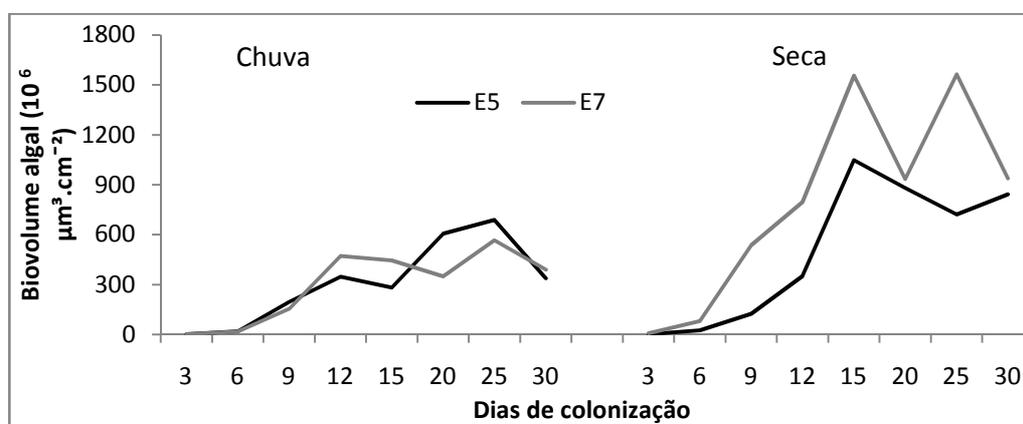


Figura 3. Biovolume das algas perifíticas ao longo dos 30 dias de colonização em períodos seco e chuvoso nos pontos de amostragem (E5 e E7).

3.2.4. Densidade de Classes Algais

Cyanophyceae e Bacillariophyceae foram as classes de maior representatividade nos pontos de amostragem no período de chuva e seca.

No período chuvoso, a classe Cyanophyceae foi dominante até o 15º dia da sucessão, apresentando contribuição média de 82% e 73% no ponto E5 e E7, respectivamente, até o 15º dia de sucessão. A partir deste estágio, Cyanophyceae foi sendo substituída por Bacillariophyceae que contribuiu com 51% e 42% nos pontos E5 e E7, respectivamente (Figura 4). De modo geral, com o avanço do processo sucessional, ocorreu redução da participação de Cyanophyceae e aumento de Bacillariophyceae, nos dois pontos de amostragem.

No período de seca, a classe Cyanophyceae apresentou elevada contribuição na estrutura da comunidade nos estádios iniciais da sucessão no ponto E5 e E7 (46% e 68%, respectivamente) (Figura 4). A partir do 6º dia, a Cyanophyceae foi substituída por Bacillariophyceae, a qual foi dominante até o 30º dia da sucessão no ponto E5 e E7, entretanto, a contribuição de Bacillariophyceae foi maior no E7 (83% e 61%, E5 e E7 respectivamente).

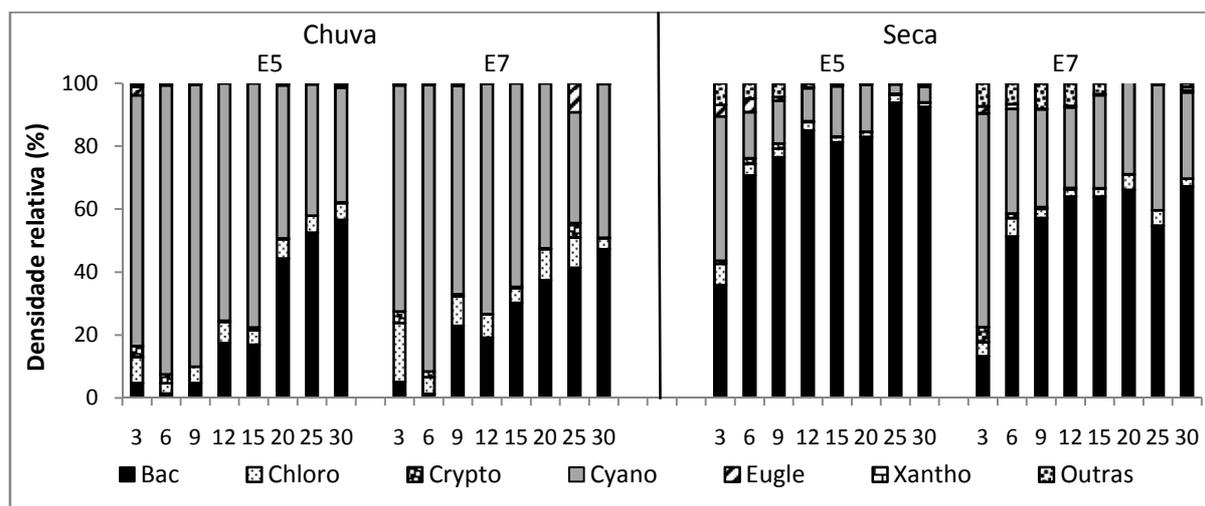


Figura 4. Densidade relativa das classes algais no perifiton, ao longo da sucessão, nas entradas 5 e 7 (E5, E7), períodos de chuva e seca. (Bac = Bacillariophyceae; Chloro = Chlorophyceae; Crypto = Cryptophyceae; Eugle = Euglenophyceae; Xantho = Xanthophyceae).

3.2.5. Análise qualitativa

Foram identificados 213 táxons, distribuídos em 10 classes (131 em nível específico e infra-específico - 22 variedades - demais em nível genérico). Qualitativamente, as classes de melhor representatividade foram Chlorophyceae (101 espécies) e Cyanophyceae (50 espécies).

3.2.6. Descritoras da comunidade

Foram consideradas descritoras as espécies com representatividade igual ou superior a 5% da densidade total em cada estágio sucessional nos pontos de amostragem e períodos climáticos.

No período de chuva doze espécies foram consideradas como descritoras em pelo menos um dos estágios sucessionais nos pontos de amostragem E5 e E7. Destas espécies, nove foram comuns para ambos os pontos (tabela 1). Houve dominância (*Synechocystis aquatilis*) apenas no 6º dia de sucessão em ambos os pontos amostrados.

No período seco, oito espécies foram consideradas como descritoras, no ponto E5. Dentre estas, *Ulnaria acus* foi dominante no 6º dia de colonização, *Gomphonema gracile* no 12º e 15º dias e o complexo *Achnanthydium minutissimum* no 25º dia. No ponto E7 doze espécies foram consideradas descritoras da comunidade, entretanto, houve dominância (*Gomphonema gracile*) somente no 20º e 30º dias

Tabela 1. Espécies descritoras ($\geq 5\%$) em pelo menos um estágio sucessional nos períodos de chuva e seca, nos pontos de amostragem E5 e E7.

(*) Espécie descritora. (§) Espécie dominante.

Táxons	Chuva		Seca	
	E5	E7	E5	E7
Complexo <i>Achnanthydium minutissimum</i>	*	*	* §	*
<i>Bacularia vermicularis</i> (Fedorov) Komárek				*
<i>Closterium setaceum</i> Ehrenberg ex Ralfs var. <i>setaceum</i>				*
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Wolosz.) Seenayya & S. Raju	*	*	*	*
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Alboal		*	* §	*
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	*	*	* §	* §
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	*	*	*	*
<i>Leptolyngbya cf. subtilis</i> (West) Anagnostidis				*
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing	*	*	*	*
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	*	*	*	*
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Komárek	*	*	*	*
<i>Pseudanabaena galeata</i> Börcher	*	*		
<i>Pseudanabaena</i> sp. 1		*		
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	* §	* §		*
<i>Trachelomonas planctonica</i> Swirenko var. <i>flexicollis</i>		*		

3.2.7. Diversidade de Shannon-Wiener

No período de chuva a diversidade aumentou ao longo da sucessão, com exceção no 6º dia, no qual houve perda (cerca de 60%) de diversidade. Entre os dois pontos os valores foram semelhantes, em média 3,1 no E5 e 3,3 no E7 (Figura 5). No período de seca, a diversidade tendeu a diminuir ao longo da sucessão. No ponto E5 a média foi de 2,5 e no E7 foi 3,1. Entre os períodos climáticos a diversidade foi semelhante.

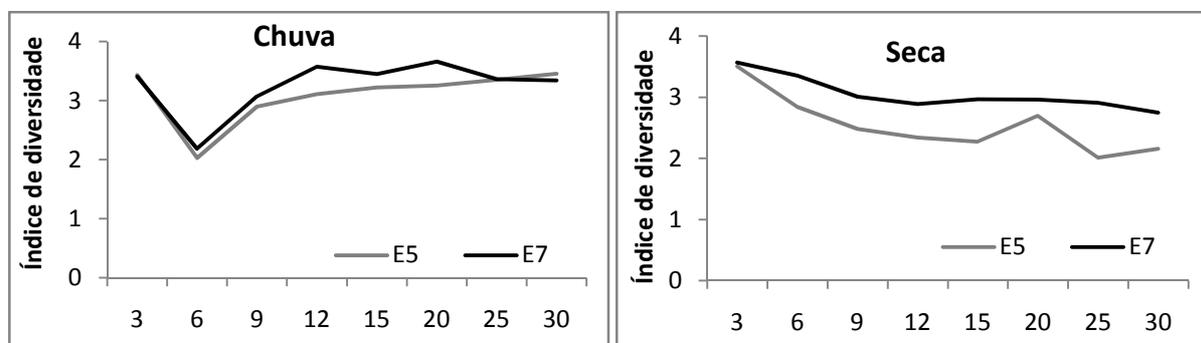


Figura 5. Variação do Índice de diversidade de Shannon-Wiener ao longo do processo sucessional nos pontos de amostragem E5 e E7, no período de chuva e seca, no Lago das Garças.

3.2.8. Sucessão das algas perifíticas

Para avaliação do processo sucessional em nível de estrutura específica foram consideradas apenas as espécies com densidade relativa igual ou superior a 5% da densidade total, em pelo menos dois dias amostrados (Figura 6).

No período de chuva, no ponto E5, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Synechocystis aquatilis* e *Merismopedia glauca* apresentaram a maior participação na estrutura da comunidade do 3º ao 12º dia (Figura 6). Neste período tais espécies variaram de densidade, havendo a dominância de *Synechocystis aquatilis* (60%) no 6º dia e elevada abundância de *Merismopedia glauca* (37-40%) no 9º e 12º dia. Apesar de *S. aquatilis* e *M. glauca* ainda apresentarem elevada participação, *Pseudanabaena galeata* também foi abundante no 15º dia. Nos estádios mais avançados (20-30º dia) a estrutura foi representada principalmente por *Gomphonema gracile* cuja contribuição variou de 24-37%. No 30º dia, ocorreu aumento da participação do complexo *Achnanthydium minutissimum*. No ponto E7 as descritoras da comunidade apresentaram a mesma sequência sucessional observada no ponto de amostragem E5. Entretanto, uma diferença observada dentre as descritoras foi o aumento da participação de *Gomphonema gracile* desde o 12º dia (15 -35%).

No período de seca, no ponto E5, *Ulnaria acus* (34%) e *Planktothrix agardhii* (19%) foram co-abundantes no estágio inicial da sucessão (3º dia) (Figura 6). Nos demais estádios sucessionais, houve dominância de diatomáceas (71-94%), sendo *Gomphonema gracile* e *Ulnaria acus* co-abundantes do 6º ao 20º dia. Destaca-se que *G. gracile* foi dominante no 12º e 15º dia. No 30º dia, *U. acus* foi substituída pelo complexo *Achnanthydium minutissimum*. No ponto E7, apesar de *Gomphonema gracile* e *Ulnaria acus* manterem a elevada participação na estrutura comunidade, a sequência sucessional das co-abundantes foi diferente. No estágio inicial (3º dia) ocorreu elevada contribuição de *Ulnaria acus* (12%), *Merismopedia glauca* (28%) e *Leptolyngbya cf. subtilis* (23%). Nos demais estádios *Gomphonema gracile* foi a mais bem representada, alcançando dominância no 20º e 30º dia.

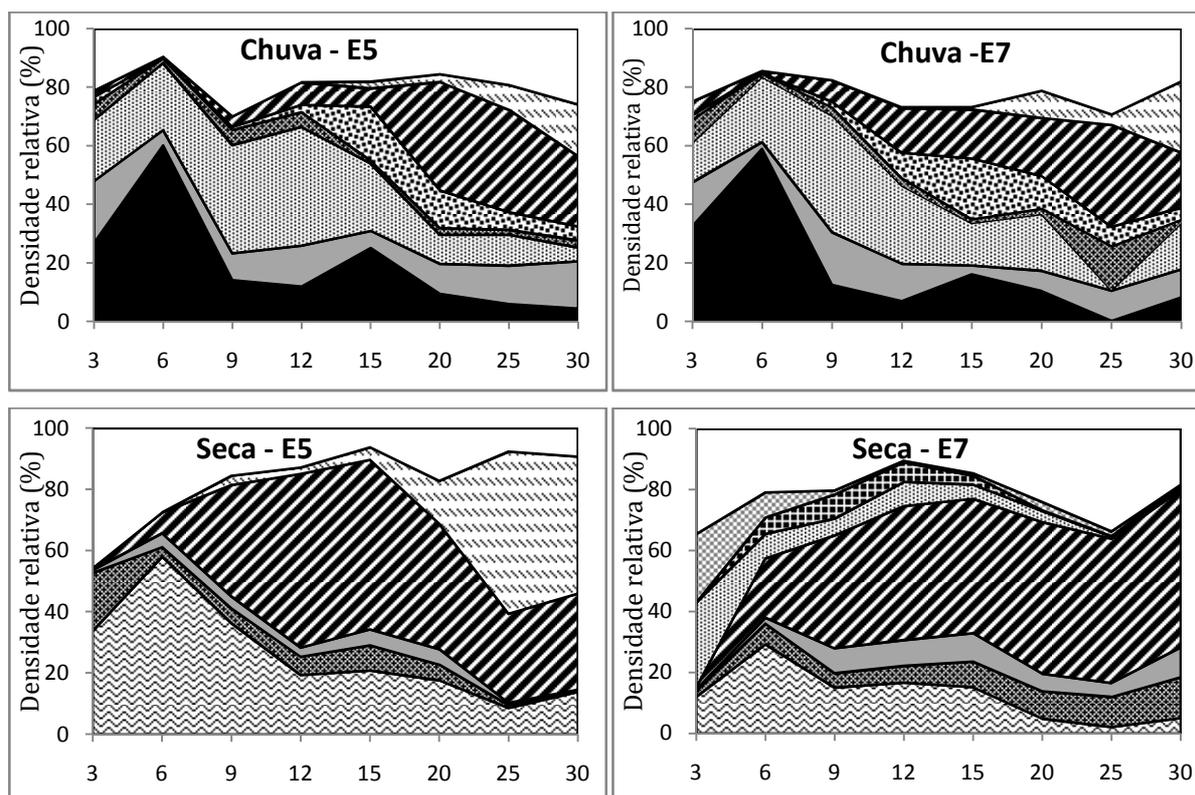


Figura 6. Abundância relativa das espécies descritoras durante a sucessão no Lago das Garças no período chuvoso e seco, nos pontos de amostragem E5 e E7. (■ = *Synechocystis aquatilis*; ▨ = *Merismopedia glauca*; ▩ = *Pseudanabaena galeata*; ▪ = complexo *Achananthidium minutissimum*; ▧ = *Cyndrospermopsis raciborskii*; ▦ = *Planktothrix agardhii*; ▨ = *Gomphonema gracile*; ▩ = *Ulnaria acus*; ▪ = *Closterium setaceum*; ▧ = *Leptolyngbya cf. subtilis*; □ = Outras).

3.2.9. Fases Sucessionais da Comunidade de Algas Perifíticas

Com base na densidade total, biovolume total, dominância, contribuição de classes algais e principalmente na substituição das espécies foram identificadas fases sucessionais. Foram consideradas descritoras da fase aquelas espécies com representatividade média, na fase, igual ou superior a 20%.

No período de chuva, foram identificadas duas fases sucessionais em cada ponto amostrado. Em ambos os pontos, o processo sucessional do perifíton apresentou a mesma representatividade de classes algais, espécies descritoras e praticamente a mesma flutuação da densidade e biovolume. Na Fase I, *Synechocystis aquatilis* (28% e 23% no E5 e E7, respectivamente) e *Merismopedia glauca* (29% e 25% no E5 e E7, respectivamente) foram consideradas as espécies descritoras. A transição de uma fase para outra ocorreu no 15º dia. Até o 15º dia, Cyanophyceae apresentou uma representatividade média de 82% no E5 e 73% no E7. No 15º dia, que houve perda de 25% e 34% da densidade total no E5 e E7, respectivamente. Na Fase II a espécie descritora foi *Gomphonema gracile* (32% e 24% no E5

e E7, respectivamente) e Bacillariophyceae teve uma representatividade média de 52% no E5 e 42% no E7 (Figura 7).

No período de seca, foram identificadas três fases sucessionais em cada ponto. No ponto E5 não houve mudança em nível de classe ao longo das fases, e a espécie descritora da Fase I foi *Ulnaria acus* (46%). Na transição da Fase I para a Fase II (9º dia), *U. acus* perdeu 22% de representatividade, a dominância diminuiu 23% e *Gomphonema gracile* passou a contribuir em média, nesta Fase II, com 47%. Na transição da Fase II para a Fase III houve perda de 16% no biovolume, perda de 34% na dominância e *G. gracile* perdeu 17%, em média, de representatividade. Na Fase III, as espécies descritoras foram *G. gracile* (30%) e complexo *Achnanthydium minutissimum* (49%). No ponto E7 as espécies descritoras da Fase I foram *Merismopedia glauca* (28%) e *Leptolyngbya cf. subtilis* (23%). A classe Cyanophyceae contribuiu nesta Fase com 68%. Na Fase II (início no 6º dia) Cyanophyceae diminuiu para 30% a sua porcentagem de contribuição, Bacillariophyceae contribuiu com 61%. *Ulnaria acus* contribuiu em média com 20% e *Gomphonema gracile* com 36%. Na transição da Fase II para a Fase III *U. acus* perdeu 16% de contribuição e houve perda de 40% do biovolume total. Na Fase III *G. gracile* apresentou 50% de representatividade (Figura 7).

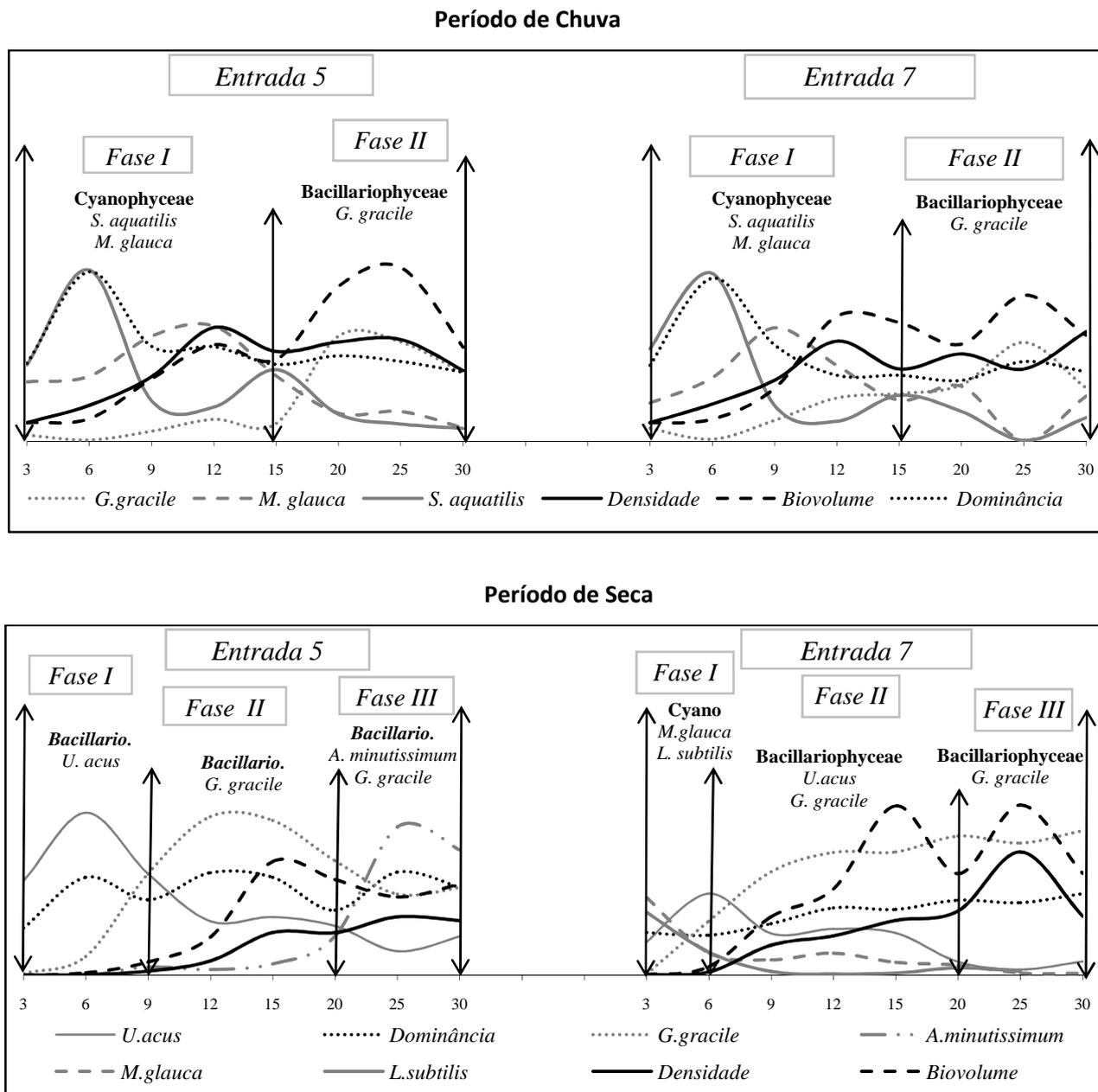


Figura 7. Modelo sucessional encontrado nos pontos de amostragem E5 e E7 ao longo do estudo, durante os períodos de chuva e de seca, no Lago das Garças.

3.2.10. Sucessão das algas perifíticas e fatores ambientais

A análise de correspondência canônica (CCA) foi realizada com a finalidade de avaliar as principais variáveis ambientais responsáveis pela maior variabilidade das descritoras da comunidade perifítica ao longo do processo sucessional em escala sazonal e espacial.

A análise de correspondência canônica foi realizada com seis variáveis ambientais e a densidade de 40 espécies de algas perifíticas com abundância relativa maior ou igual a 2% (Figura 8). Os autovalores para o eixo 1 ($\lambda = 0,48$) e 2 ($\lambda = 0,27$) explicaram 14,1% da variabilidade dos dados. A elevada correlação espécie-ambiente de Pearson para o eixo 1 ($r = 0,93$) e 2 ($r = 0,78$) indicou forte

relação entre a distribuição das espécies e as variáveis ambientais. O teste Monte Carlo de permutação demonstrou que a correlação entre as espécies de algas perifíticas e as condições ambientais foram estatisticamente significativas ($p = 0,01$) nos eixos 1 e 2.

As variáveis ambientais correlacionadas com eixo 1 descreveram um gradiente sazonal, onde as unidades amostrais do período chuvoso foram ordenadas no lado negativo e, do seco, no lado positivo. Os coeficientes canônicos e as correlações “intra-set” para o eixo 1 mostraram que temperatura foi a variável ambiental mais importante na ordenação neste eixo (Tabela 2). Do lado positivo do eixo, situaram-se as unidades amostrais do período de seca, associadas aos maiores teores de NH_4 e PT e, do lado negativo, situaram-se todas as unidades do período de chuva, associadas aos valores mais elevados de temperatura.

Com base na propriedade centróide da CCA das espécies em relação as unidade amostrais e das correlações de Pearson da densidade das espécies com os escores dos eixos canônicos, verificou-se que as espécies da comunidade mais correlacionadas com os escores do período de chuva foram ordenadas no lado negativo do eixo 1, e as mais com correlacionadas com os escores do período de seca no lado positivo. Além do mais, no período de seca (lado positivo do eixo 1), as espécies mais correlacionadas com os escores do ponto E5 se posicionaram no lado negativo do eixo 2 e as mais correlacionadas com os escores do ponto E7 com o lado positivo (Tabela 3).

Tabela 2. Coeficientes canônicos e correlações “intra-set” das variáveis ambientais com os eixos 1 e 2 da CCA.

Variável	Coeficiente canônico		Coeficiente de correlação “intra-set”		Correlação de Pearson	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
Temperatura	-1,28	1,34	-0,93	0,32	-0,87	0,25
pH	0,11	0,20	-0,84	0,23	-0,79	0,18
N- NH_4	-0,05	1,04	0,94	-0,11	0,88	-0,09
NT	-0,34	-0,79	0,58	-0,06	0,54	-0,05
PT	0,74	1,35	0,66	0,55	0,62	0,43
Luz	0,22	0,01	0,25	-0,21	0,23	0,18

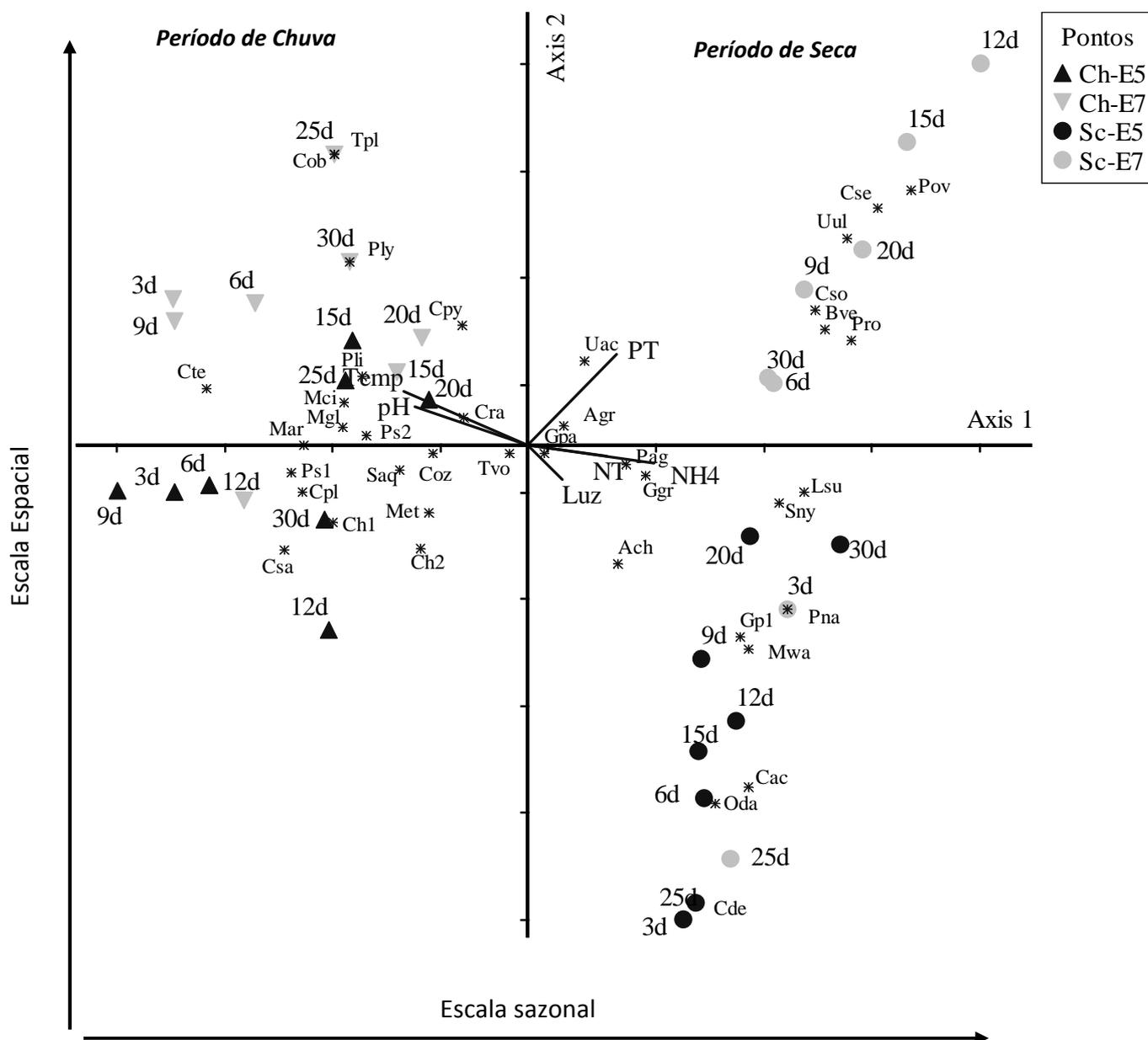


Figura 8. Ordenação pela CCA dos estádios sucessionais da comunidade de algas perifíticas nos pontos de amostragem E5 e E7 do Lago das Garças no período de chuva e de seca, gerado a partir de 40 descritoras da comunidade ($\geq 2\%$) e 6 variáveis ambientais. Abreviações \Rightarrow *Unidades Amostrais* = estádios sucessionais (d=dia); *Vetores*: Temp = temperatura; NT = nitrogênio total; PT = fósforo total; Potencial hidrogeniônico = pH; porcentagem de penetração de luz = Luz; NH4 = amônio. Os códigos das espécies encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Correlação de Pearson das espécies de algas de algas perifíticas com os eixos canônicos 1 e 2 da CCA, com seus respectivos códigos.

Táxons	Abrev.	Eixo 1 (r)	Eixo 2 (r)
Complexo <i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	Ach	0,166	-0,212
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Agr	0,073	0,128
<i>Bacularia vermicularis</i> (Fedorov) Komárek	Bve	0,441	0,225
<i>Characium obesum</i> W. R. Taylor	Cob	-0,138	0,260
<i>Chlamydomonas debaryana</i> Goroschankin	Cde	0,104	-0,367
<i>Chlamydomonas planctoglea</i> Skuja	Cpl	-0,343	-0,037
<i>Chlamydomonas sagittula</i> Skuja	Csa	-0,269	0,101
<i>Chlamydomonas sordida</i> Ettl	Cso	0,267	0,180
<i>Chlamydomonas</i> sp.1	Ch1	-0,256	-0,077
<i>Chlamydomonas</i> sp.2	Ch2	-0,123	-0,099
<i>Chlorococcum acidum</i> Archibald & Bold	Cac	0,184	-0,318
<i>Closterium setaceum</i> Ehrenberg ex Ralfs	Cse	0,488	0,440
<i>Cryptomonas ozolini</i> Skuja	Coz	-0,300	0,066
<i>Cryptomonas pyrenoidifera</i> Skuja	Cpy	-0,160	0,388
<i>Cryptomonas tetrapyrenoidosa</i> Skuja	Cte	-0,407	0,122
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Wolosz.) Seenayya & S. Raju	Cra	-0,279	0,261
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	Ggr	0,415	0,014
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	Gpa	0,035	0,063
<i>Gomphonema</i> sp.1	Gp1	0,241	-0,226
<i>Leptolygbya</i> cf. <i>subtilis</i> (West) Anagnostidis	Lsu	0,416	-0,036
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing	Mgl	-0,505	0,139
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	Met	-0,246	-0,116
<i>Merismopedia warmingiana</i> Lagerheim	Mwa	0,245	0,237
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Koršikov) Hindák	Mar	-0,363	0,049
<i>Monoraphidium circinale</i> (Nygaard) Nygaard	Mci	-0,403	0,176
<i>Ochromonas danica</i> Pringsheim	Oda	0,220	-0,474
<i>Pedinomonas natantes</i> Skvortzov	Pna	0,177	-0,113
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová	Ply	-0,127	0,172
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Komárek	Pag	0,266	0,023
<i>Prototractomonas ovalis</i> Skvortzov	Pov	0,437	0,385
<i>Prototractomonas rotundata</i> Skvortzov	Pro	0,528	0,257
<i>Pseudanabaena galeata</i> Börcher	Pli	-0,379	0,252
<i>Pseudanabaena</i> sp. 1	Ps1	-0,292	-0,001
<i>Pseudanabaena</i> sp. 2	Ps2	-0,264	-0,068
<i>Synechococcus nidulans</i> Skuja	Sny	0,412	-0,063
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	Saq	-0,398	0,004
<i>Trachelomonas planctonica</i> Swirenko var. <i>flexicollis</i> Balech	Tpl	-0,138	0,260
<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg var. <i>volvocina</i>	Tvo	-0,067	0,063
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	Uac	0,105	0,264
<i>Ulnaria ulna</i> Nitzsch) Compère	Uul	0,337	0,295

4. Discussão

O Lago das Garças é um lago hipereutrófico com ocorrência de florações de cianobactérias permanentes desde 2000, sendo caracterizado em fase degradada de equilíbrio (Bicudo *et al.* 2007). Claramente, essas condições limnológicas não favorecem o desenvolvimento da comunidade perifítica, pois em águas túrbidas o fitoplâncton é responsável pela maior parte da produção primária do ecossistema (Liboriussen & Jeppesen 2003). Contudo, a comunidade perifítica desenvolveu-se em condição hipereutrófica, evidenciando a capacidade de resiliência da comunidade frente à baixa disponibilidade luz (Petterson 1996). Conforme Petterson (1996), muitos táxons são capazes de tolerar condições de pouca ou nenhuma luz na base da matriz nos estádios sucessionais avançados e, também tendem a apresentar alta resistência à perturbação induzida pela limitação por luz. Os modelos sucessionais da comunidade de algas perifíticas mostraram a influência direta da escala sazonal, a qual altera a condição limnológica do ecossistema. De acordo com Borduqui & Ferragut (capítulo I), o período chuvoso caracterizou-se por águas muito túrbidas (maior biomassa fitoplanctônica), onde a condição limnológica foi mais homogênea entre os pontos de amostragem. Contrapondo, o período seco caracterizou-se por águas menos túrbidas (menor biomassa fitoplanctônica), sendo os pontos de amostragem mais diferenciados limnologicamente. Assim, a influência do efluente doméstico e da entrada de água nascente sob as condições limnológicas nos pontos de amostragem foi mais bem observada no período seco (menos turbido). Neste período climático os pontos de amostragem diferenciaram-se, principalmente, pela maior disponibilidade de nutrientes no ponto E7 (efluente doméstico). Presentemente, foi possível identificar modelos sucessionais específicos nos períodos de águas mais e menos túrbidas, e evidenciar a sensibilidade da sequência sucessional à contrastante disponibilidade de nutrientes em duas entradas (E5 e E7) do reservatório.

Considerando a escala sazonal, o período de seca (águas menos túrbidas) favoreceu o crescimento do perifíton. Os valores máximos de clorofila-a e biovolume total confirmam tal afirmação neste período. Estudos anteriores no Lago das Garças identificaram a influência da turbidez (Vercellino 2001) e da biomassa fitoplanctônica (Ferrari 2010, Oliveira *et al.* 2010) no crescimento do perifíton. Em ecossistema oligotrófico, Vercellino & Bicudo (2006) demonstraram maior crescimento algal no período de chuva e os fatores controladores foram nutrientes, temperatura e regime de precipitação. Em região subtropical, o Lago Okeechobee exibiu frequente floração de cianobactérias (Havens 1995) e, apresenta picos de biomassa perifítica nos períodos de baixa biomassa fitoplanctônica, e vice e versa (Philips *et al.* 1993, Steinmann *et al.* 1997). Os autores sugerem que este fato pode estar relacionado à interação competitiva, por nutrientes e luz, entre as duas comunidades. Sabe-se que esta interação se intensifica com a eutrofização (Moss 1981). Desta forma, no Lago das Garças, um ecossistema hipereutrófico, a biomassa fitoplanctônica agiu como um

fator controlador da comunidade perifítica, pois regulou a disponibilidade de recursos (luz e nutrientes) para o perifíton.

Em escala espacial, no período chuvoso, a elevada biomassa fitoplanctônica, a forte estratificação térmica na região pelágica e a distribuição na horizontal dos nutrientes evidenciaram a maior homogeneidade das condições limnológicas no reservatório (Borduqui & Ferragut Capítulo 1). Esta condição limnológica favoreceu a similaridade entre os valores de biomassa perifítica entre os dois pontos amostrados. No período de seca, quando ocorreu diminuição da biomassa e biovolume fitoplanctônica (águas menos túrbidas) foi possível detectar diferenças limnológicas entre os pontos, sendo, diferenças também observada no desenvolvimento da comunidade perifítica. Desta forma, no E7, ponto que recebe cargas difusas de esgoto doméstico, houve maior disponibilidade de nutrientes em relação ao E5 e maiores valores de biomassa (clorofila-a, densidade total e biovolume total). A disponibilidade de nutrientes tem papel controlador, não só sobre a composição de espécies, mas também sobre a biomassa dos produtores primários, incluindo fitoplâncton e perifíton (Huszar *et al.* 2005). O aumento, principalmente, de fósforo e nitrogênio pode resultar no acréscimo da produtividade das comunidades algais (Hansson 1992). Dentro do PEFI, relações entre os valores de biomassa e a disponibilidade de nutrientes foram registradas anteriormente tanto em estudos observacionais (Ferrari 2010, Vercellino 2001), como em experimentais (Barcelos 2003, Ferragut & Bicudo, 2009, Fermino 2006), mostrando que os nutrientes são controladores primários da biomassa perifítica na área de estudo. Presentemente, o maior o incremento de biomassa e crescimento algal foi observado em condição de maior disponibilidade de luz (fase menos turbida) e nutrientes na água (E7). Assim, em condição hipereutrófica o incremento de biomassa perifítica foi dependente da disponibilidade de luz e nutrientes na água, controlada pela variação sazonal da biomassa fitoplanctônica (intensidade da floração).

No período de chuva, caracterizado como uma fase mais turbida, Cyanophyceae foi o grupo mais favorecido no início do processo sucessional nos dois pontos de amostragem, sendo representada principalmente por *Synechocystis aquatilis*, *Merismopedia glauca* e *Cylindrospermopsis raciborskii*. Segundo Paerl (1988), as cianofíceas são algas extremamente oportunistas, em virtude de suas características ecológicas e fisiológicas. Desta forma, o substrato desnudo se torna um hábitat com nichos vagos e propício para o desenvolvimento dessas algas oportunistas. Espécies picoplanctônicas, como o caso de *Synechocystis aquatilis* e *Merismopedia glauca*, apresentam elevada razão superfície-volume, são eficientes na assimilação de nutrientes e possuem habilidades competitivas sob baixas intensidades luminosas (Callieri & Stockner 2002). Sendo assim, podem dominar lagos eutróficos, particularmente em períodos de depleção nutricional (Wehr 1989). *Cylindrospermopsis raciborskii* é uma espécie tolerante à baixa disponibilidade de luz, tem capacidade de estocar e assimilar rapidamente o fósforo, além fixar nitrogênio atmosférico (Padisák 1997, Isvanovics *et al.* 2000). Estas características ecológicas tornam essas espécies eficientes

competidoras sob as condições limnológicas encontradas no período de chuva e no início do processo sucessional.

Nos estádios mais avançados nos pontos E5 e E7, a partir do 15º dia houve mudança na estrutura específica e Bacillariophyceae apresentou maior participação, principalmente das pedunculadas *Gomphonema gracile* e complexo *Achnantheidium minutissimum*. Trabalhos que avaliaram a comunidade perifítica em um estado maduro da sucessão, no Lago das Garças, reportaram a elevada representatividade de Bacillariophyceae (Borduqui *et al.* 2008, Ferrari 2010). Espécies pedunculadas de diatomáceas normalmente são encontradas nos estádios intermediários e tardios do processo sucessional em região temperada (Hoagland *et al.* 1982, Fairchild & Lowe 1984, Ács & Kiss 1993). E, especificamente, *Gomphonema gracile* é uma espécie com alta relação comprimento largura, C-estrategista altamente competitiva e esperada em ambientes produtivos (Passy 2007), eutrofizados (Biggs *et al.* 1998a, 1998b) e estádios avançados na sucessão. Espécies do complexo *Achnantheidium minutissimum* apresentam elevada amplitude de tolerância a diversos fatores ambientais e, por isso, são bem distribuídas (Ponader & Popatova 2007). Além disso, são r-estrategistas, imigrantes eficientes e hábeis em manter elevadas taxas de crescimento em estágios avançados (Stevenson *et al.* 1991). Podem, ainda, ser encontradas nos estádios tardios, nos quais ocorre perda de biomassa, o que favorece sua re-colonização (Szabó *et al.* 2008).

No período de seca, fase menos turbida, a sequência sucessional das algas perifíticas descritoras foi diferente nos pontos de amostragem E5 e E7. De um modo geral, nos dois pontos, a classe Bacillariophyceae foi a que apresentou maior representatividade durante toda sucessão. Outros trabalhos já reportaram a elevada representatividade de Bacillariophyceae no perifíton do Lago das Garças no período seco (Vercellino 2001, Borduqui *et al.* 2008). Durante a fase II (floração na primavera) do Lago das Garças (Bicudo *et al.* 2006), Vercellino (2001) apontou que a ocorrência de perturbações ocasionou a elevada representatividade desta classe. Por outro lado, Borduqui *et al.* (2008), na Fase III (floração permanente), reportaram a dominância de Bacillariophyceae em condição de menor intensidade da floração de cianobactérias. Conforme Ferrari (2010), o aprofundamento da zona de mistura no período seco foi fator controlador da distribuição das diatomáceas no Lago das Garças. Presentemente, o maior biovolume das diatomáceas no fitoplâncton também ocorreu no período seco (Borduqui & Ferragut, Capítulo 3). As diatomáceas são favorecidas por menores temperaturas e maior turbulência, assim, normalmente substituem Cyanophyceae em lagos eutróficos durante períodos mais frios e de maior instabilidade no sistema (Willén 1991). O aumento da turbulência favorece as diatomáceas não somente por aumentar a disponibilidade de nutrientes, mas por aumentar a resuspensão e evitar a perda por sedimentação (Sommer 1988). Desta forma, a importância relativa das diatomáceas deve ser mais sazonal em lagos mais eutróficos. Presentemente, em condição hipereutrífica, a dominância das diatomáceas no perifíton na fase menos turbida pode ser relacionada à menor estabilidade térmica (aumento da

profundidade Zmix), aumento da disponibilidade de nutrientes e aumento de presença de inóculos no fitoplâncton.

A sequência sucessional das algas perifíticas descritoras da comunidade nos pontos de amostragem E5 e E7 foram diferentes na fase menos turbida (seca). Apesar da presença de espécies descritoras comuns entre os pontos (ex. *Ulnaria acus*, *Gomphonema gracile*), elas ocorreram em estádios diferentes, evidenciando uma sequência sucessional dissemelhante entre os pontos E5 e E7. Nos estádios iniciais da sucessão a *Ulnaria acus* foi descritora da comunidade no ponto E5. No Lago das Garças, *Ulnaria acus* foi uma das descritoras da comunidade, no período de seca, durante a Fase II do lago - floração restrita à primavera (Vercellino 2001) e da Fase III do lago - floração permanente (Ferrari 2010). Seguindo o processo sucessional, a descritora *Ulnaria acus* foi substituída por *Gomphonema gracile* nos estádios intermediários (9^o-20^o dias). Espécies do gênero *Gomphonema* são mais lentas no processo de imigração, apresentam forma de aderência, são boas competidoras por nutrientes e, por isso, ocorrem em estádios intermediários e tardios (Hoagland *et al.* 1982, Ács & Kiss 1993). E, por fim, nos últimos dias do processo sucessional (20^o-30^o dias), o complexo *Achnanthydium minutissimum* substituiu *Gomphonema gracile* em termos de representatividade. Espécies do complexo *Achnanthydium minutissimum* ocorrem em estádios avançados da sucessão pelos motivos descritos acima.

As cianofíceas além da elevada participação na estrutura da comunidade na fase mais turbida (chuva), também apresentaram alta participação no ponto próximo ao efluente doméstico (E7), na fase menos turbida (seca). As condições limnológicas no ponto E7, principalmente a maior disponibilidade de nutrientes, favoreceu o crescimento populacional de *Merismopedia glauca* e *Leptolyngbya cf. subtilis*. Como mencionado anteriormente, as cianofíceas são de um modo geral, oportunistas e de crescimento rápido, se tornando ótimas colonizadoras iniciais. A fase menos turbida no reservatório favoreceu o desenvolvimento de *Leptolyngbya cf. subtilis* que é uma espécie de Cyanophyceae tipicamente perifítica (Komárek *et al.* 2003). Entretanto, a substituição destas descritoras ocorreu rapidamente. Já, no 6^o dia de colonização, ocorreu aumento da densidade populacional de *Ulnaria acus*, juntamente com *Gomphonema gracile*. Com o aumento do tempo de colonização, a *G. gracile* aumentou sua representatividade em relação à *Ulnaria acus* (queda abrupta do biovolume), chegando à dominância a partir 20^o dia do processo sucessional.

Em relação à diversidade de espécies, redução da diversidade com o aumento da trofia já foi registrada (Hillerbrand & Sommer 2000), do mesmo modo que o enriquecimento por N e P não mostraram efeito na diversidade do perifíton (Liess & Kahlert 2007). Comparativamente, em lagos chineses, Pei *et al.* (2010) mostraram que em condição hipereutrófica a diversidade é menor do que em condição eutrófica. Da mesma forma, Carrick *et al.* (1988) experimentalmente observaram redução da diversidade com o enriquecimento. No PEFI, Vercellino (2001) encontrou maior diversidade perifítica no reservatório eutrófico (floração na primavera), em relação ao reservatório

oligotrófico. Diferentemente, Ferrari (2010), comparando os mesmos reservatórios, encontrou diversidade maior no oligotrófico. Assim como Ferrari (2010), a diversidade do Lago das Garças, no presente estudo, foi menor em relação à diversidade do Lago do IAG (oligotrófico). Em comparação com Lago das Ninféias (mesotrófico) (Fermino 2006), a diversidade do Lago das Garças foi menor. De um modo geral, a baixa diversidade da atual condição hipereutrófica, em comparação com os outros reservatórios do PEFI, evidenciou a simplificação do sistema em ambientes eutrofizados. Entretanto, como ressaltado por Vercellino (2001) e Ferragut (2004), são necessários mais estudos que avaliem os fatores controladores da diversidade e a sensibilidade dos índices biológicos frente às alterações ecológicas do meio, principalmente para sistemas tropicais, nos quais há escassez de informação.

Baseado na variação da biomassa, densidade, biovolume total, classes algais e, principalmente, na substituição de espécies foram identificadas fases sucessionais iniciais, intermediárias e avançadas. No período chuvoso, o modelo sucessional caracterizou-se pela elevada representatividade de Cyanophyceae (*Synechocystis aquatilis* e *Merismopedia glauca*) nos estádios iniciais (Fase I). A transição da Fase I para Fase II ocorreu no 15º dia. Os estádios avançados da sucessão (Fase II) foram caracterizados pela elevada representatividade Bacillariophyceae, principalmente *Gomphonema gracile*. No período seco, apesar da ocorrência de descritoras comuns, o modelo sucessional foi sensível à entrada de água da nascente e efluente doméstico. No ponto E5, os estádios iniciais (Fase I) foram caracterizados pela elevada representatividade de *Ulnaria acus*. Nos estádios intermediários (Fase II) pelo aumento na abundância relativa de *Gomphonema gracile* e elevada representatividade desta espécie; os estádios avançados (Fase III), pelo aumento na abundância relativa do complexo *Achnanthydium minutissimum* e elevada representatividade do complexo *Achnanthydium minutissimum* e *G. gracile*. No ponto E7, efluente doméstico, a Fase I foi caracterizada pela elevada representatividade de Cyanophyceae (*Merismopedia glauca* e *Leptolyngbya cf. subtilis*). A Fase II foi caracterizada pelo aumento na abundância relativa de Bacillariophyceae e elevada representatividade de *U. acus* e *G. gracile*. E a Fase III, pela dominância de *G. gracile*. Portanto, evidenciou-se a forte influência da escala sazonal sobre o modelo sucessional da comunidade de algas perifíticas. Contudo, as diferenças espaciais que seriam dadas pela entrada de água da nascente e efluente doméstico só foram observadas no modelo sucessional do período seco.

O peso da escala sazonal no direcionamento do processo sucessional e a influencia das alterações limnológicas da água circundante do perifiton em função da entrada de água de nascente e de efluente doméstico foi evidenciado pela análise de canônica de correspondência (CCA). O eixo 1 representou a escala sazonal, onde as variáveis de maior peso na ordenação dos estádios sucessionais da comunidade de algas perifíticas foram amônio, pH e temperatura. Este resultado mostrou claramente a influencia da floração de cianobactérias, a qual determinou uma fase mais turbida na chuva e menos turbida na seca. O eixo 2 representou a escala espacial, na qual a maioria

dos estádios sucessionais do ponto E5 e E7 foi ordenado em função da concentração de PT. Neste segundo eixo, a maioria das unidades amostrais referentes ao ponto E7 esteve associada aos altos valores de PT e a unidades amostrais referentes ao ponto E5, aos baixos valores.

Os modelos sucessionais foram dirigidos primariamente pela escala sazonal, a qual determinou períodos de água turbida e menos turbida. Em escala espacial, a influência da entrada de água de nascente e efluente doméstico atuou secundariamente sobre o processo sucessional. Fato evidenciado pela ocorrência de fases sucessionais similares no período de chuva (período de água mais turbida) e mais diferenciadas no período seco (período de água menos turbida). O maior desenvolvimento do perifíton na fase menos turbida do ecossistema apontam para o reestabelecimento da comunidade após um processo de re-oligotrofização do ecossistema. Claramente, a colonização e sucessão da comunidade perifítica em condição hipereutrófica é dependente da variação da biomassa fitoplanctônica, a qual segundo Bicudo *et al.* (2007) é importante fator no estado de auto-estabilização do ecossistema (estado degradado estável).

5. Referências Bibliográficas

- Ács, E. & Kiss, K.T.** 1993. Colonization process of diatoms on artificial substrates in the River Danube near Budapest (Hungary). *Hydrobiologia* 269/270 : 301-315.
- Barcelos, E.M.** 2003. Avaliação do perifíton como sensor da oligotrofização experimental em reservatório eutrófico (Lago das Garças, São Paulo). Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L.** 2007. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. 4 ed. Artmed, Porto Alegre.
- Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bicudo, C.E.M., Bini, L.M. & Jesus, T.A.** 2006. Remoção de *Eichhorniacrassipes* em um reservatório tropical raso e suas implicações na classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago das Garças, São Paulo, Brasil. *In*: J.G. Tundisi, T. Tundisi-Matsumura, C. S. Galli, (eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, pp. 413-438.
- Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bini, L.M., Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M. & Jesus, T.A.** 2007. Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. *Freshwater Biology*. 52: 1120-1133.
- Bicudo, D.C.** 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia* 3: 459-475.
- Biggs, B.J.F., Stevenson, R.J. & Lowe, R.L.** 1998a. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archiv für Hydrobiologie* 143: 21-56.

- Biggs, B.J.F., Goring, D.G. & Nikora, V.I.** 1998b. Subsidy and stress responses of streamperiphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form. *Journal of Phycology* 34: 598-607.
- Biggs, B.J.F.** 1996. Patterns in Benthic Algae in Stream. *In*: R. J. Stevenson., M.L. Botwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, California, pp. 31-56.
- Borduqui, M., Ferragut, C. & Bicudo, C.E.M.** 2008. Chemical composition and taxonomic structure vertical and seasonal variation of periphyton community in a shallow hypereutrophic reservoir (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica. Brasiliensia* 20: 381-392.
- Callieri, C. & Stockner, J.G.** 2002. Freshwater autotrophic picoplankton: a review. *Journal of Limnology* 61: 1-14.
- Carrick, H.J., Lowe, R.L. & Rotenberry, J.T.** 1988. Guilds of benthic algae along nutrient gradients: relationships to algal community. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 117-128.
- Fairchild, G.W & Lowe, R.L.** 1984. Artificial substrates which release nutrients: Effects on periphyton and invertebrate succession. *Hydrobiologia* 114: 20-37.
- Felisberto, S.A.** 2006. Algas perifíticas sobre substrato artificial e Natural no rio do corvo (tributário do Reservatório de rosana): Composição, abundância, biomassa e produtividade. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Ferrari, F.** 2010. Estrutura e dinâmica da comunidade de algas planctônicas e perifíticas (com ênfase nas diatomáceas) em reservatórios oligotrófico e hipertrófico (Parque Estadual Das Fontes do Ipiranga, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Fermino, F.S.** 2006. Avaliação sazonal dos efeitos do enriquecimento por N e P sobre o perifiton em represa tropical rasa mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Ferragut, C.** 2004. Respostas das algas perifíticas e planctônicas à manipulação de nutrientes (N e P) em reservatório urbano (Lago do IAG, São Paulo). Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Ferragut, C. & Bicudo, D.C.** 2009. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). *Revista Brasileira de Botânica* 32: 571-585.
- Ferragut, C. & Bicudo, D.C.** 2010. Periphytic algal community adaptive strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. *Hydrobiologia* 646: 295-309.
- Glossário de Ecologia.** 2007.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D.** 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1-9.
- Hasle, G.R. & Fryxell, G.A.** 1970. Diatoms: cleaning and mouting for light and electron microscopy. *Transactions of the American Microscopical Society* 89: 469-474.
- Hansson, L.-A.** 1992. Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnology and Oceanography* 37: 322-328.
- Havens, K.E.** 1995. Particulate light attenuation in a large subtropical lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52: 1803-1811.

- Hillebrand, H. & U. Sommer, U.** 2000. Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquatic Botany* 67: 221-223.
- Hoagland, K. D., Roemer, S.C. & Rosowski, J.R.** 1982. Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). *American Journal of Botany* 69: 188-213.
- Huszar, V.L.M., Bicudo, D.C., Giani, A., Ferragut, C., Martinelli, L.A. & Henry, R.** 2005. Subsídios para a compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e perifíton em ecossistemas continentais lênticos no Brasil. In: F. Roland, D. César & M. Marinho (eds.). *Lições em limnologia*. RiMa, São Carlos, pp. 243-260.
- Isvanovics, V., Shafik, H.M., Presing, M. & Juhos, S.** 2000. Growth and phosphate uptake kinetics of the cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii* in throughflow cultures. *Freshwater Biology* 43: 257-275.
- Kahlert, M. & Pettersson, K.** 2002. The impact of substrate and lake trophy on the biomass and nutrient status of benthic algae. *Hydrobiologia* 489: 161-169.
- Komárek, J., Kling, H. & Komárková, J.** 2003. Filamentous Cyanobacteria. In: J.D., Wehr & R. G., Sheath (eds.). *Freshwater algae of North America: Ecology and classification*. Academic Press, California pp. 117-196.
- Larned, S. T.** 2010. A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. *Journal of the North American Benthological Society* 29: 182-206.
- Liboriussen, L. & Jeppesen, E.** 2003. Temporal dynamics in epipellic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. *Freshwater Biology* 48: 418-431.
- Liboriussen, L. & Jeppesen, E.** 2006. Structure, biomass, production and depth distribution of periphyton on artificial substratum in shallow lakes with contrasting nutrient concentrations. *Freshwater Biology* 51: 95-109.
- Liess, A. & Kahlert, M.** 2007. Gastropod grazers and nutrients, but not light, interact in determining periphytic algal diversity. *Oecologia* 152: 101-111.
- Lobo, E. & Leighton, G.** 1986. Estructuras comunitárias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marina*. 22: 143-170.
- Lowe, R.L. & Pan, Y.** 1996. Benthic algal Communities as Biological Monitors. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 705-739.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le-Cren, E.D.** 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- Luttenton, M.R. & Lowe, R.L.** 2006. Response of a lentic periphyton community to nutrient enrichment at low N:P ratios. *Journal of Phycology* 42: 1007-1015.
- McCormick, P.V. & Stevenson, R.J.** 1991. Mechanisms of benthic algal succession in lotic environments. *Ecology* 72: 1835-1848.
- McCormick, P.V. & Stevenson, R.J.** 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *Journal of Phycology* 34: 726-733.

- McCune, B. & Mefford, M.J.** 2006. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5.15 MjM Software, Gleneden Beach, Oregon.
- Moschini-Carlos V., Henry R. & Pompêo M.L.M.** 2000. Seasonal variation of biomass and productivity of the periphytic community on artificial substrata in the Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia* 434: 35-40.
- Moss, B.** 1981. The composition and ecology of periphyton communities in freshwaters. II. Interrelationships between water chemistry, phytoplankton populations and periphyton populations in a shallow lake and associated experimental reservoirs ('Lund tubes'). *European Journal of Phycology*, 16: 59-76.
- Odum, E.G.** 1983. *Ecologia*. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro.
- Oliveira, D.E, Ferragut, C. & Bicudo, D.C.** 2010. Relationships between environmental factors, periphyton biomass and nutrient content in Garcas Reservoir, a hypereutrophic tropical reservoir in southeastern Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 15: 129-137.
- Padisák, J.** 1997. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynnska) Seenayya et SubbaRaju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Archiv für Hydrobiologie* 107: 563-593.
- Passy, S.I.** 2007. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* 86: 171-178.
- Paerl, H.W.** 1988. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (Cyanobacteria). *In: C.D. Sandgren (Ed.). Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton.* Cambridge University Press, Cambridge, pp. 261-315.
- Pan, Y., Stevenson, R.J., Vaithyanathan, P., Slate, J. & Richardson, C.J.** 2000. Changes in algal assemblages along observed and experimental phosphorus gradients in a subtropical wetland, USA. *Freshwater Biology* 44: 339-353.
- Pei, G.F., Liu, G.X. & Hu, Z.Y.** 2010. A comparative study of benthic algae colonization in shallow lakes of China. *Journal of Freshwater Ecology* 3: 403-411.
- Peterson, C.G.** 1996. Response of Benthic Algal Communities to Natural Physical Disturbance. *In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems.* Academic Press, San Diego, pp. 375- 402.
- Peterson, C.G. & Grimm, N.B.** 1992. Temporal variation in enrichment effects during periphyton succession in a nitrogen-limited desert stream ecosystem. *Journal of the North American Benthological Society* 11: 20-36.
- Philips, E.J., Zimba, P.V., Hopson, M.S. & Crisman, T.L.** 1993. Dynamics of the plankton community in submerged plant dominated regions of Lake Okeechobee, Florida, USA. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 25: 423-426.
- Pickett, S.T.A., Collins, S.L. & Armesto, J.J.** 1987. Models, mechanisms, and pathways of succession. *Botanical Review* 53: 335-371.
- Ponader, K.C. & Potapova, M.G.** 2007. Diatoms from the genus *Achnanthes* in flowing waters of the Appalachian Mountains (North America): Ecology, distribution and taxonomic notes. *Limnologia* 37: 227-241.

- Rodrigues, L. & Bicudo, D.C.** 2004. Periphytic algae. *In*: S.M. Thomaz, A.A. Agostinho & N.S. Hahn (eds). The upper paran river and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Backhuys Publishers, Leiden, pp. 125-143.
- Sartory, D.P. & Grobbelaar, J.U.** 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114: 177-187.
- Sekar, R., Nair, K.V.K., Nandakumar, K., Venugopalan, V.P. & Rao, V.N.R.** 2004. Early stages of biofilm succession in a lentic freshwater environment. *Hydrobiologia*, 512: 97-108.
- Shepherd, G.J.** 1996. Fitopac1: manual do usuário. Departamento de Botânica, UNICAMP.
- Siqueira, N.S.** 2008. Comunidade de algas perifíticas em tanques de cultivo de peixes em reservatório: o processo de colonização e sucessão utilizando substrato artificial. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Sldecek, V. & Sládecková, A.** 1964. Determination of the periphyton production by means of the glass slide method. *Hydrobiologia* 23: 125-158.
- Sommer, U.** 1988. Growth and survival strategies of planktonic diatoms. *In*: C.D. Sandgren (Ed.). Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 261-315.
- Steinman A.D., Meeker R.H., Rodusky A.J., Davis W.P. & McIntire C.D.** 1997. Spatial and temporal distribution of algal biomass in a large, subtropical lake. *Archiv fr Hydrobiologie* 139: 29-50.
- Szabó, K. ., Makk, J., Kiss, K.T., Eiler, A., cs, E., Kiss, A.K., Bertilsson, A.S.** 2008. Sequential colonization by river periphyton analysed by microscopy and molecular fingerprinting. *Freshwater Biology* 53: 1359-1371.
- Stevenson, R.J., Peterson, C.G., Kirschtel, D.B., King, C.G. & Tuchman, N.C.** 1991. Density dependent growth, ecological strategies, and effects of nutrient and shading on benthic diatom succession in streams. *Journal of Phycology* 27: 59-69.
- Utermöhl, H.** 1958. Zur Vervollkommenung der quantitative phytoplankton: metodik. *Internationale Vereinigung Theoretische und Angewandte Limnologie* 9: 1-38.
- Vadeboncoeur, Y. & Steinman. A.D.** 2002. Periphyton Function in Lake Ecosystems. *The scientific world journal* 2: 1-20.
- Vercellino, I.S.** 2001. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em dois reservatórios do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo: influência do estado trfico e período climatológico. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Vercellino, 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: 363-377.
- Wehr, J.D.** 1989. Experimental tests of nutrient limitation in freshwater picoplankton. *Applied and Environmental Microbiology*. 55: 1605-1611.
- Willn, E.** 1991. Planktonic diatoms – an ecological review. *Algological studies* 62: 69-106.

Avaliação temporal da inter-relação das algas perifíticas e planctônicas em reservatório hipereutrófico em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico

Resumo - A estrutura da comunidade de algas perifíticas foi avaliada ao longo de um processo sucessional conjuntamente com a estrutura da comunidade fitoplanctônica durante 30 dias em dois pontos de amostragem, de um lago hipereutrófico (Lago das Garças, PEFI, SP), em dois períodos climáticos (chuva e seca). Investigou-se a influência da sazonalidade sobre a estrutura específica da comunidade perifítica e a inter-relação com o fitoplâncton. Lâminas de vidro foram usadas como substrato artificial para a colonização do perifíton durante 30 dias consecutivos. A amostragem para determinação das variáveis físicas, químicas e biológicas foi realizada em intervalos de 3 dias na primeira quinzena e 5 dias na segunda (3d, 6d, 9d, 12d, 15d, 20d, 25d, 30d). Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas das algas perifíticas e planctônicas. A biomassa fitoplanctônica foi maior no período de chuva e a do perifíton no período de seca. No período de chuva, a inter-relação entre as comunidades foi mais evidente, principalmente nos estádios iniciais da sucessão no perifíton, como revelou a análise de agrupamento. Nestes dias, *Synechocystis aquatilis* teve elevada contribuição nas duas comunidades. *Cylindrospermopsis raciborskii* teve correlação positiva e significativa entre as duas comunidades, no período de chuva. No período de seca a inter-relação foi menos evidente, já que duas comunidades apresentaram baixa similaridade (análise de cluster). A elevada biomassa do fitoplâncton e as condições desfavoráveis para o desenvolvimento do perifíton determinaram a maior inter-relação no período de chuva. Desta forma, o presente estudo destaca a importância da elevada biomassa fitoplanctônica (densidade e biovolume) sobre as flutuações da comunidade perifítica em condição hipereutrófica. Finalmente, evidenciou-se que o intercâmbio de espécies (migração de espécies ou inter-relação) do plâncton para o perifíton tem importantes implicações para a dinâmica e o funcionamento da comunidade perifítica em condição hipereutrófica.

Abstract - The periphytic algae community structure was assessed along a successional process in addition with the phytoplankton community structure during 30 days in two sampling points in a hypereutrophic lake (Garças Reservoir, PEFI, SP) in two climatic periods (rain and dry). Was investigated the seasonality influence on periphytic community structure and interchange with the phytoplankton. Glass slides were used as substrate for the periphyton colonization for 30 days. Sampling for the physical, chemical and biological variables determination was collected at three days intervals of in the first half of the and the second half at five days intervals (3d, 6d, 9d, 12d, 15d, 20d, 25d, 30d). Were processed planktonic and periphytic algae qualitative and quantitative analysis. Phytoplankton biomass was higher during the rainy season and periphyton in the dry season. In the rainy season, the interchange between the communities was more evident, especially in the periphyton succession initial stages as revealed by cluster analysis. These days, *Synechocystis aquatilis* had high contribution in the two communities. *Cylindrospermopsis raciborskii* had positive and significant correlation between the two communities during the rainy season. During the dry season the interchange was less clear, since both communities showed low similarity (cluster analysis). The high biomass of phytoplankton and unfavorable conditions for the periphyton development caused a greater interchange during the rainy season. Thus, this study highlights the importance of high phytoplankton biomass (density and biovolume) on the periphytic community fluctuations in hypereutrophic condition. Finally, it became clear that the species interchange (species migration or inter-relationship) from plankton to the periphyton has important implications for the periphytic community dynamics and functioning in hypereutrophic condition.

1. Introdução

Perifíton e fitoplâncton são importantes produtores primários em ambientes aquáticos (Vadeboncouer *et al.* 2001), ocupam a base da cadeia trófica (Lamberti 1996, Padisák 2004) e competem pelos mesmos recursos (Havens *et al.* 1996, Steinman *et al.* 1997). Apesar disso, ocupam habitats diferentes e exibem estratégias diferentes na obtenção destes recursos. O fitoplâncton flutua na coluna d'água e pode interceptar a luz antes dela alcançar o perifíton (Sand-Jensen & Borum 1990). Além da coluna d'água, o perifíton utiliza outras fontes de nutrientes, tais como o substrato e a água intersticial (Sand-Jensen 1983, Burkholder 1996, Wetzel 1996).

Além da interação competitiva, estes grupos algais podem exibir intercâmbio de espécies algais. Muitas espécies podem ser claramente mais comuns no perifíton do que no fitoplâncton e, alguns grupos taxonômicos são caracterizados como estritamente “bentônico” ou “planctônico” (Stevenson 1996). Entretanto, outros grupos são desprovidos desta classificação e, desta forma, são encontrados tanto em habitat perifítico como em habitat planctônico. Este intercâmbio de espécies, então, pode acontecer tanto de espécies do perifíton migrando para o fitoplâncton atribuído pelo revolvimento do sedimento, perturbação física do substrato ou elevada velocidade da corrente (Carrick *et al.* 1993, Havens *et al.* 1996). Ou ainda, espécies do fitoplâncton migrando para o perifíton encontrando possíveis melhores condições de recursos (Werner & Köhler 2005). Estudos de intercâmbio populacional podem trazer elucidacões importantes sobre os padrões de flutuação espacial e temporal das comunidades fitoplanctônicas e perifíticas, uma vez que estes padrões muitas vezes não estão associados às condições do meio, mas sim com as exportações de indivíduos de uma comunidade para outra (Brown & Austin 1973, Roeder 1977, Moss 1981). Entretanto, trabalhos que abordam comparativamente a estrutura específica do perifíton e fitoplâncton ainda são muito poucos, dificultando a maior compreensão das possíveis relações ecológicas (Hansson 1990, Rodriguez 1993).

Para o Brasil, existem apenas três trabalhos observacionais avaliando o intercâmbio de espécies entre o fitoplâncton e perifíton, Konrath *et al.* (1998), Tanigushi *et al.* (2000) e Tanigushi *et al.* (2005). Konrath *et al.* (1998) compararam a estrutura específica destas duas comunidades no Lago Caconde, uma lagoa costeira. Tanigushi *et al.* (2000, 2005) que traz informações sobre as comunidades algais no gradiente litorâneo-limnético da Lagoa do Diogo, mostrando o intercâmbio populacional de desmídias planctônicas e perifíticas. Experimentalmente, Ferragut (2004) não abordou especificamente o intercambio de espécies, mas evidenciou que a estrutura da comunidade perifítica foi mais sensível ao enriquecimento do que a fitoplanctônica.

Considerando a área do presente estudo, tanto a estrutura do perifíton (Vercellino 2001, Ferrari 2010) como a do fitoplâncton (Fonseca & Bicudo 2005, Crossetti & Bicudo 2008a-b, Crossetti *et al.* 2008) foram descritas e discutidas. Os trabalhos observacionais que avaliaram a interação

destas duas comunidades, somente foram realizados em termos de biomassa e composição química (Oliveira *et al.* 2010, Vercellino 2007). Respostas das algas perifíticas e planctônicas ao enriquecimento artificial foram evidenciadas em estudo experimental (Ferragut 2004). Desta forma, o presente estudo ao avaliar a estrutura da comunidade perifítica conjuntamente com a estrutura da comunidade fitoplanctônica traz uma abordagem inovadora para a área de estudo.

Conforme Liborius & Jeppesen (2003) não considerar apenas o fitoplâncton como produtor primário chave nos ecossistemas lênticos permite uma visão mais holística, pois a integração dos produtores perifíticos pode promover um significativo avanço no entendimento da dinâmica dos lagos e, aumentar a percepção sobre os efeitos do enriquecimento artificial e recuperação dos sistemas. Nesse sentido, o presente estudo pretende avaliar a inter-relação entre variação sazonal da estrutura da comunidade de algas perifíticas e planctônicas em dois pontos no Lago das Garças, um com efluente de esgoto doméstico (entrada 7) e outro com entrada de água de nascente (entrada 5). Especificamente, visa avaliar o intercâmbio de espécies entre as comunidades algais, buscando entender como o fitoplâncton atua sobre a dinâmica das algas perifíticas em condição hipereutrófica.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo encontra-se descrita no capítulo 1 deste trabalho.

2.2. Comunidade perifítica

O procedimento de amostragem, identificação e quantificação da comunidade perifítica, encontram-se descritos nos Capítulos 1 e 2 do presente estudo.

2.3. Comunidade fitoplanctônica

As amostragens da comunidade fitoplanctônica foram realizadas a cada três dias até o 15º dia e a cada cinco dias a partir do 15º dia. Totalizando oito amostragens nos dois pontos amostrados (E5 e E7) no período de chuva e de seca. Isso garantiu que o fitoplâncton foi amostrado nos mesmos dias que o perifíton. As amostragens foram realizadas na subsuperfície, mesma profundidade que se encontravam as lâminas de vidro para colonização do perifíton. Além disso, foram realizadas sempre próximas de onde o perifíton estava sendo colonizado.

Para o estudo qualitativo as amostras foram fixadas em formalina a 4%. Para o estudo quantitativo as amostras foram fixadas com lugol acético 0,5% e preservadas em caixas com ausência de luz até o momento da análise. A quantificação das algas fitoplanctônicas foi determinada pelo método de Utermöhl (1958) e, o tempo de sedimentação das amostras nas câmaras seguiu Lund *et*

al. (1958). O número de campos quantificados foi estabelecido com base em dois critérios conjuntamente (Bicudo 1990): contagem de no mínimo 100 indivíduos da espécie mais freqüente em determinada amostra e curva de rarefação de espécies. Foram consideradas espécies dominantes aquelas cujas densidades superaram 50% da densidade total da amostra e espécies abundantes as que superaram a densidade média de cada amostra (Lobo & Leighton 1986).

O biovolume das algas perifíticas e planctônicas foi calculado pela forma geométrica aproximada das algas, multiplicando a densidade de cada espécie pelo volume médio das células. O volume da maioria das algas foi obtido na lista de biovolume das algas perifíticas e planctônicas dos reservatórios do PEFI (Fonseca *et al.*, em preparação). O volume das espécies que não incluídas na lista foi calculado a partir das medidas de 10 indivíduos de cada espécie sempre que possível e quando necessário foi utilizado literatura específica e, a forma geométrica aplicada seguiu Sun & Liu (2003).

Para o fitoplâncton os dados quantitativos foram utilizados para a determinação do biovolume ($\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$), biovolume relativo (% biovolume total), biomassa total (mg.L^{-1}), densidade algal (org.mL^{-1}) e densidade relativa (% densidade total). O mesmo cálculo foi realizado para o perifíton, mas as estimativas foram baseadas na área do substrato (cm^{-2}).

2.4. Tratamento estatístico

Para comparação de médias e determinar a diferença mínima significativa no perifíton, optou-se por utilizar os estádios avançados (20^o - 30^o) do processo sucessional. Os testes utilizados foram o teste t de Tukey e, quando os dados não apresentavam distribuição normal, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney. Para avaliar o grau de relação linear foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (*r*).

Para avaliar o grau de similaridade entre a comunidade de algas perifíticas e planctônicas foi feita análise de agrupamento, que foi calculada por associação média (UPGMA) e índice de distância Euclidiana a partir de matriz abundância relativa das algas com densidade total $\geq 1\%$. Os dados foram transformados por $[\sqrt{x + 1}]$.

Os programas estatísticos utilizados foram FITOPAC (Shepherd 1996) e PAST versão 2.02 (Hammer *et al.* 2001).

3. Resultados

3.1. Variáveis climáticas e abióticas

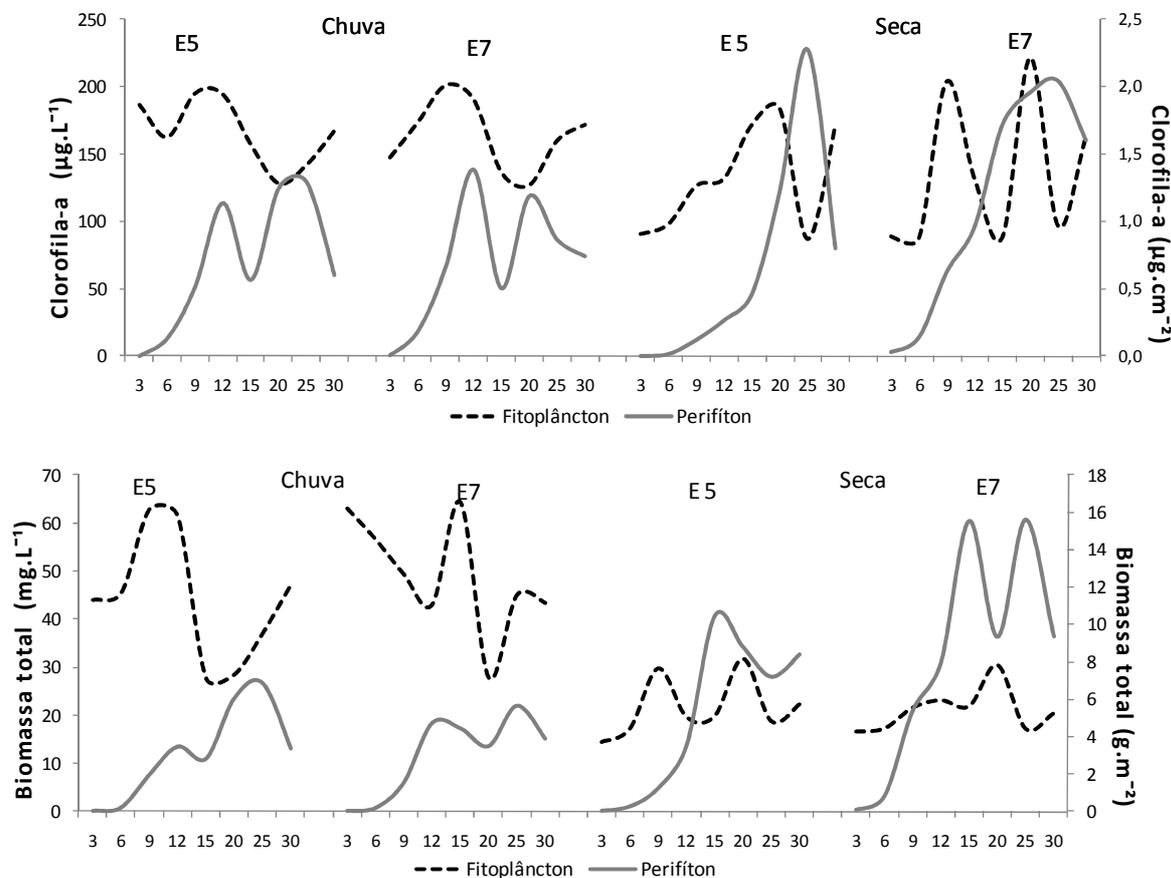
Os resultados referentes às variáveis climáticas, físicas e químicas foram descritos no Capítulo 1.

3.2. Inter-relação entre a estrutura da comunidade fitoplanctônica e perifítica.

3.2.1. Biomassa

A biomassa do fitoplâncton, em termos de clorofila-a, densidade total e biomassa total não apresentaram diferença significativa entre os pontos de amostragem E5 e E7, no período de chuva e seca ($P > 0,4$). Comparando os períodos climáticos, a biomassa do fitoplâncton foi maior no período de chuva (clorofila-a: $P = 0,02$; densidade total: $P < 0,001$; biomassa total: $P < 0,001$) (Figura 1).

A biomassa do perifíton, no período de chuva, foi bem similar entre os pontos. Já, no período de seca, o E7 tendeu aos maiores valores. Comparando os períodos climáticos, a biomassa do perifíton apresentou os maiores valores (até 3 vezes maior) no período de seca, em termos de clorofila-a e biomassa total, mas não em densidade total.



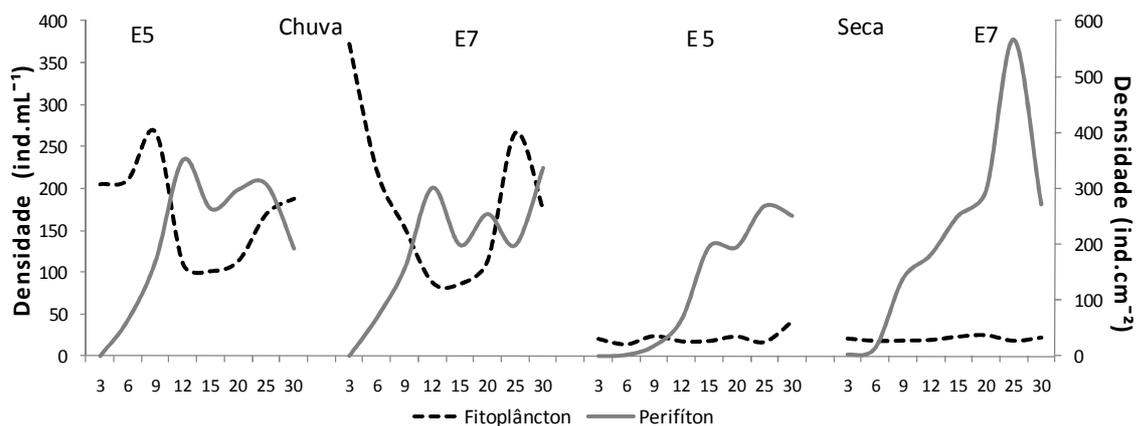


Figura 1. Valores médios (n=2) dos valores de clorofila-a, biovolume total e densidade total do fitoplâncton e perífíton, durante os 30 dias de estudo no período de chuva e seca, no ponto E5 e E7.

3.2.2. Densidade das algas

No perífíton, durante o período de chuva, *Synechocystis aquatilis* foi a espécie que apresentou maior percentual de contribuição nos estágios iniciais. Nos estágios intermediários houve elevada contribuição de *Merismopedia glauca*. Nos estágios avançados as espécies que mais contribuíram foram *Gomphonema gracile* e o complexo *Achnanthydium minutissimum*. No fitoplâncton, durante os 30 dias amostrados, no período de chuva, *Synechocystis aquatilis* foi a espécie que mais contribuiu, tendo em média 71% de contribuição, seguida pela *Cylindrospermopsis raciborskii* (Figura 2).

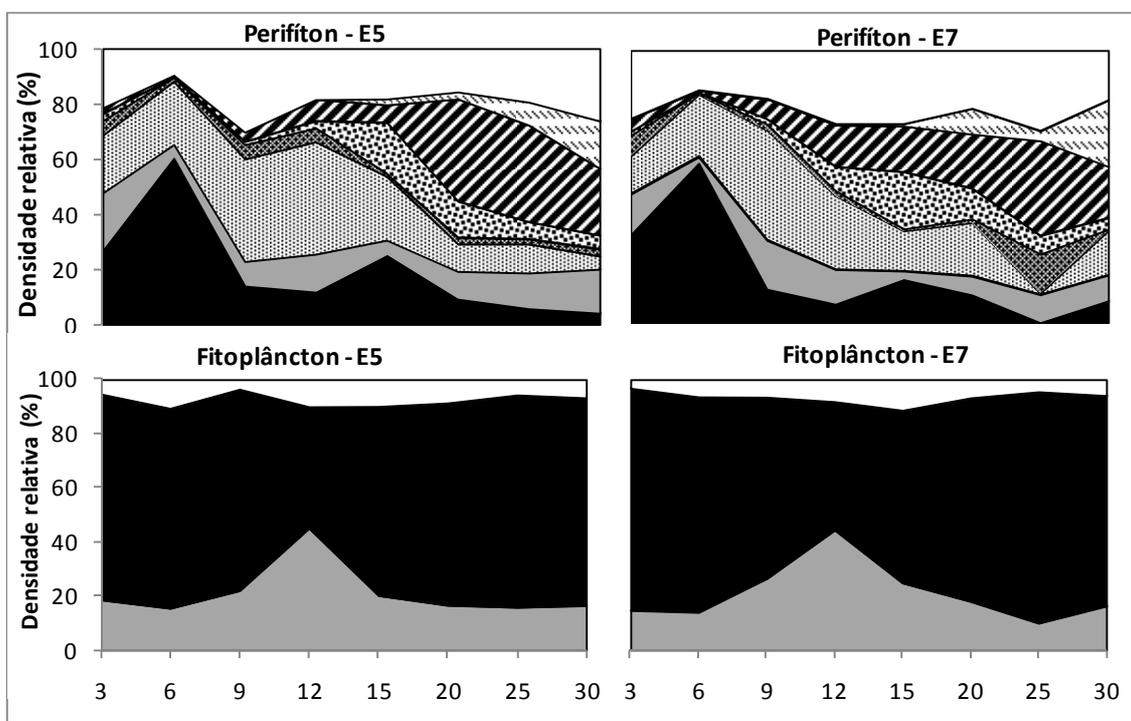


Figura 2. Abundância relativa das espécies abundantes no perífíton e no fitoplâncton, ao longo dos 30 dias amostrados, durante o período de chuva. (■ = *Synechocystis aquatilis*; ▨ = *Planktothrix agardhii*; ▩ = complexo *Achnanthydium minutissimum*; ▪ = *Cylindrospermopsis raciborskii*; ▫ = *Pseudanabaena galeata*; ▬ = *Merismopedia glauca*; ▮ = *Gomphonema gracile*; □ = Outras)

No período de seca, no ponto E5, *Ulnaria acus* foi a espécie mais bem representada nos estágios iniciais do perifíton. Nos estágios intermediários houve elevada contribuição de *Gomphonema gracile*. Enquanto, nos estágios avançados *Gomphonema gracile* e complexo *Achnantheidium minutissimum* foram as espécies que mais contribuíram para a estrutura específica. No ponto E7 as espécies que apresentaram maior densidade nos estágios iniciais foram *Merismopedia glauca*, *Leptolyngbya cf. subtilis* e *Ulnaria acus*. Nos estágios intermediários e avançados *Gomphonema gracile* foi a espécie de maior representatividade. No fitoplâncton, a espécie que apresentou maior representatividade, durante os 30 dias amostrados, nos dois pontos amostrados, foi *Cylindrospermopsis raciborskii*, com uma média de 57% de contribuição, seguida por *Planktothrix agardhii* (Figura 3).

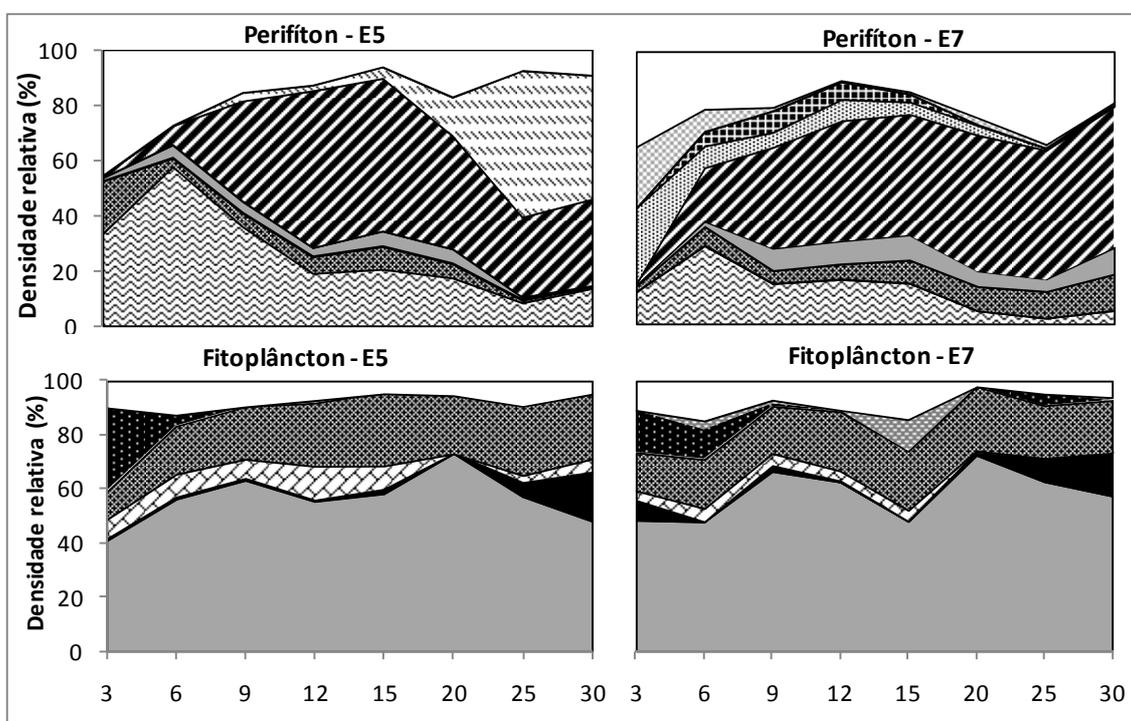


Figura 3. Abundância relativa das espécies abundantes no perifíton e no fitoplâncton, ao longo dos 30 dias amostrados, durante o período de seca. (■ = *Synechocystis aquatilis*; ▣ = *Planktothrix agardhii*; ▤ = complexo *Achnantheidium minutissimum*; ▥ = *Cylindrospermopsis raciborskii*; ▦ = *Gomphonema gracile*; ▧ = *Synechococcus nidulans*; ▨ = *Ulnaria acus*; ▩ = *Leptolyngbya cf. subtilis*; ▪ = *Closterium setaceum*; ▫ = *Pseudanabaena sp.1*; ▬ = *Leptolungbya sp.1*; □ = Outras)

Com a finalidade de avaliar a inter-relação entre a estrutura específica do fitoplâncton e do perifíton foi escolhida a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*. Por exibir floração no Lago das Garças e, por ter sido abundante em ambos os períodos e em ambas as comunidades.

No período de chuva, tanto no E5 como no E7, a densidade de *Cylindrospermopsis raciborskii* no perifíton, apresentou a mesma tendência da densidade de *Cylindrospermopsis raciborskii* no fitoplâncton. Houve aumento nos valores de densidade desta espécie no 12º dia, queda no 15º dia e

novamente aumento, no 20º dia em ambos habitats (Figura 4). A correlação de Pearson entre as densidades da espécie foi positiva e significativa ($r = 0,48$; $P = 0,05$) (Figura 5). No período de seca, a densidade de *C. raciborskii* no perifíton não apresentou mesma tendência de variação no fitoplâncton (Figura 4). As densidades populacionais não apresentaram correlação significativa ($r = 0,10$; $P = 0,7$) (Figura 5).

No período de chuva não houve diferença significativa entre os valores de densidade de *C. raciborskii* no fitoplâncton no ponto E5 e E7 ($P = 0,8$). No perifíton também não houve diferença significativa ($P = 0,5$). No período de seca, os valores de densidade de *C. raciborskii* no fitoplâncton não foram diferentes entre E5 e E7 ($P = 0,9$). Entretanto, no perifíton, os valores de densidade de *C. raciborskii* foram maiores no E7 ($P = 0,01$). Comparando os períodos climáticos, os valores de *C. raciborskii* no fitoplâncton foram maiores no período de chuva, tanto no E5 como no E7 ($P < 0,001$). No perifíton, foram maiores na chuva no E5 ($P = 0,03$) e não houve diferença no E7 ($P = 0,6$).

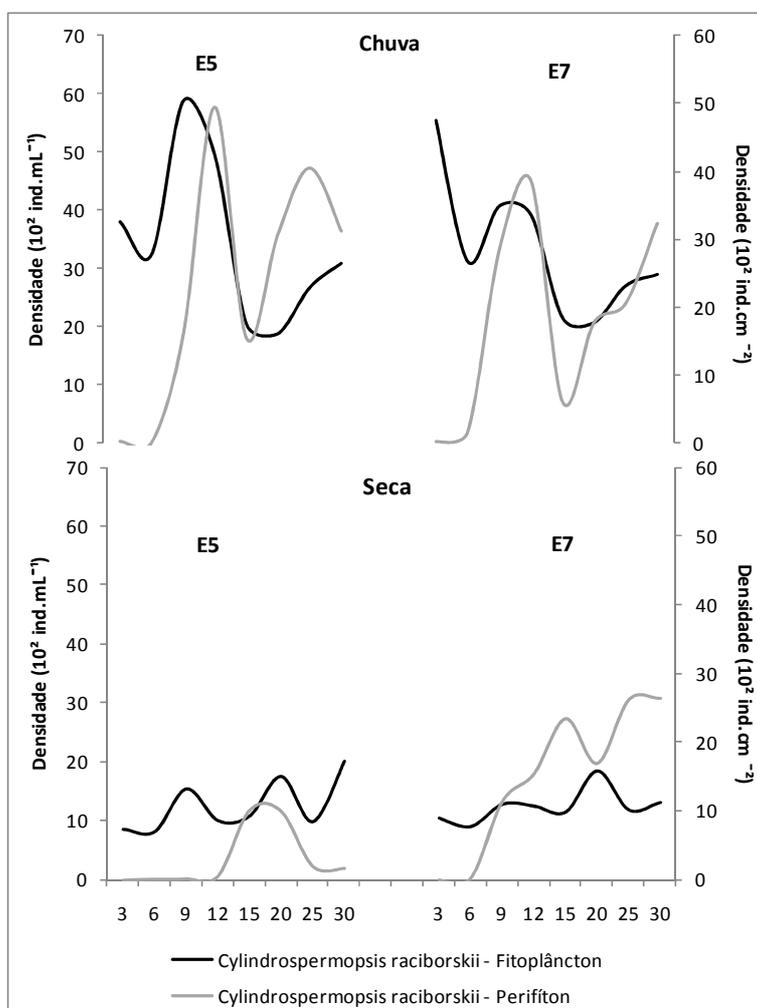


Figura 4. Densidade de *Cylindrospermopsis raciborskii* no fitoplâncton e no perifíton nos pontos E5 e E7, no período de chuva e seca.

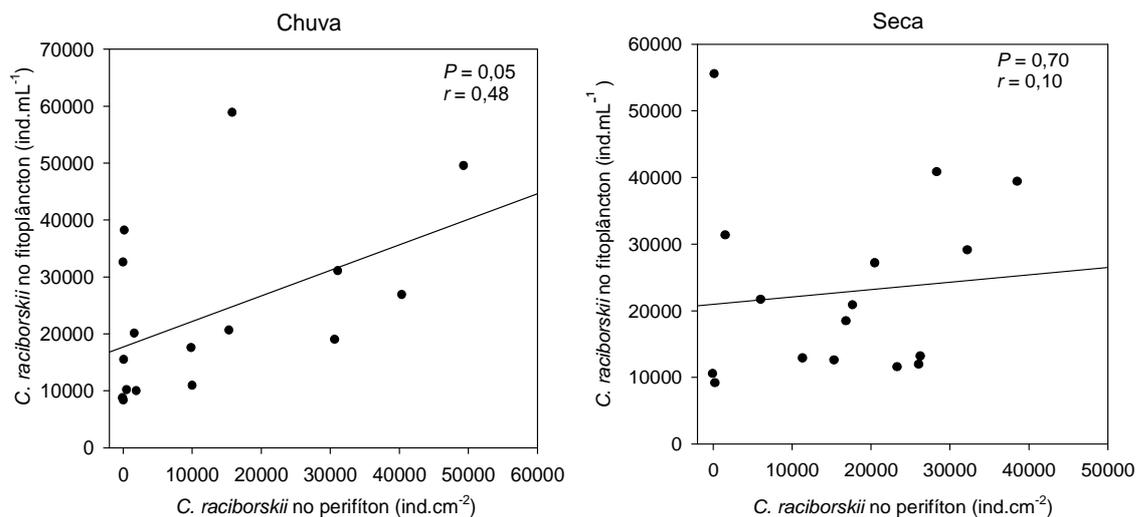


Figura 5. Correlação de Pearson entre os valores de densidade de *Cylindrospermopsis raciborskii* no fitoplâncton e no perifiton, no período de chuva e seca.

3.2.3 Biovolume das Algas

Com base no biovolume algal a classe Cyanophyceae foi a que mais contribuiu nos pontos E5 e E7, no período de chuva (92%) e no período de seca (79%). Entretanto, no período de seca a classe Bacillariophyceae aumentou sua contribuição em relação ao período de chuva, passando de 4% na chuva para 16% na seca (Figura 7).

No fitoplâncton ocorreu elevada contribuição de *Cylindrospermopsis raciborskii* durante no período seco e chuvoso e pontos de amostragem (58-43%). Enquanto, no perifiton verificou-se uma variação da biovolume das populações, as quais variaram ao longo da sucessão. No período chuvoso o perifiton apresentou maior participação de *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Planktothrix agardhii* e *Ulnaria acus*, enquanto nos estádios avançados houve dominância de *Gomphonema gracile*. Enquanto no período seco, ocorreu dominância de *Ulnaria acus* nos estádios iniciais (75-59%) e de *Gomphonema gracile* nos estádios finais e pontos E5 e E7 (44-53%).

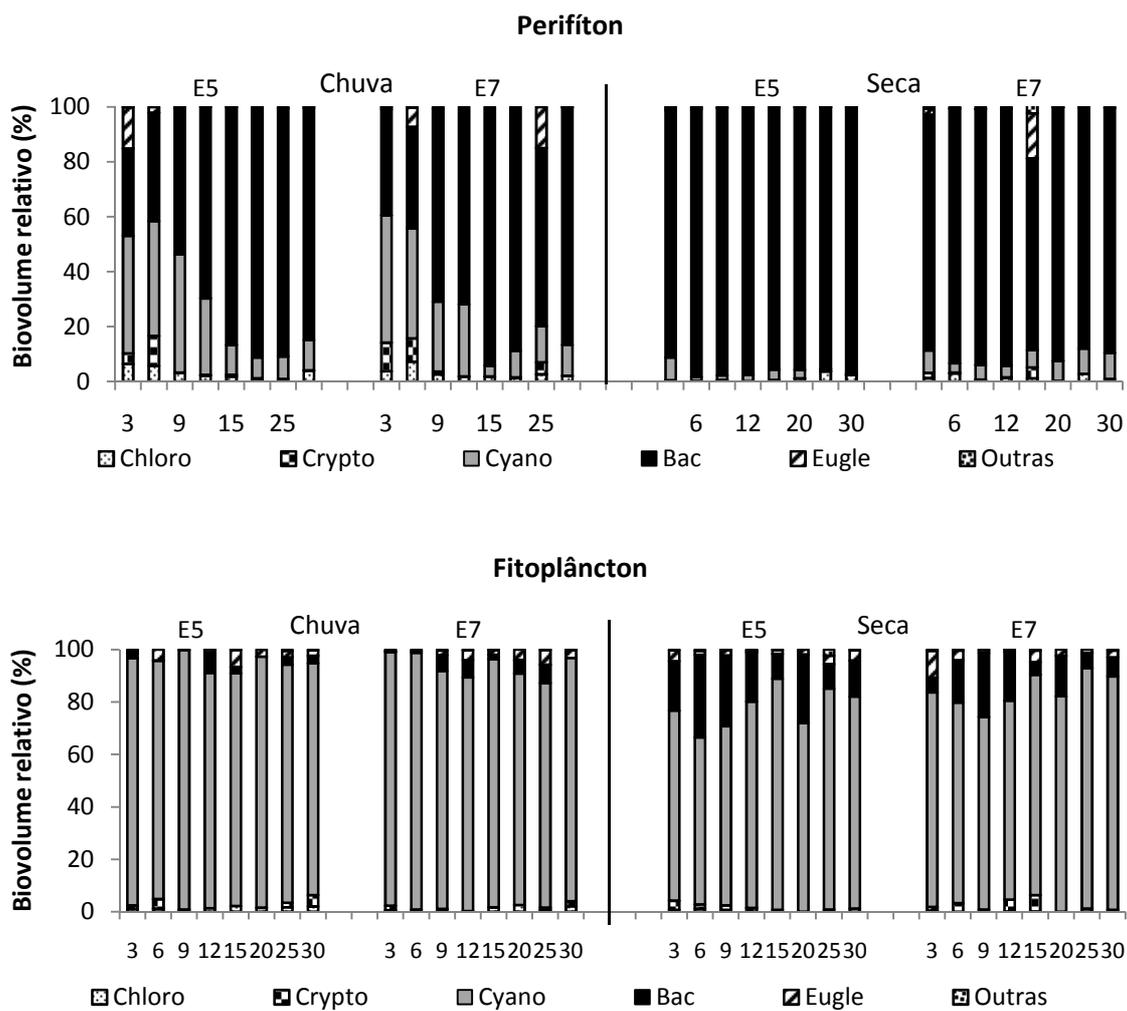
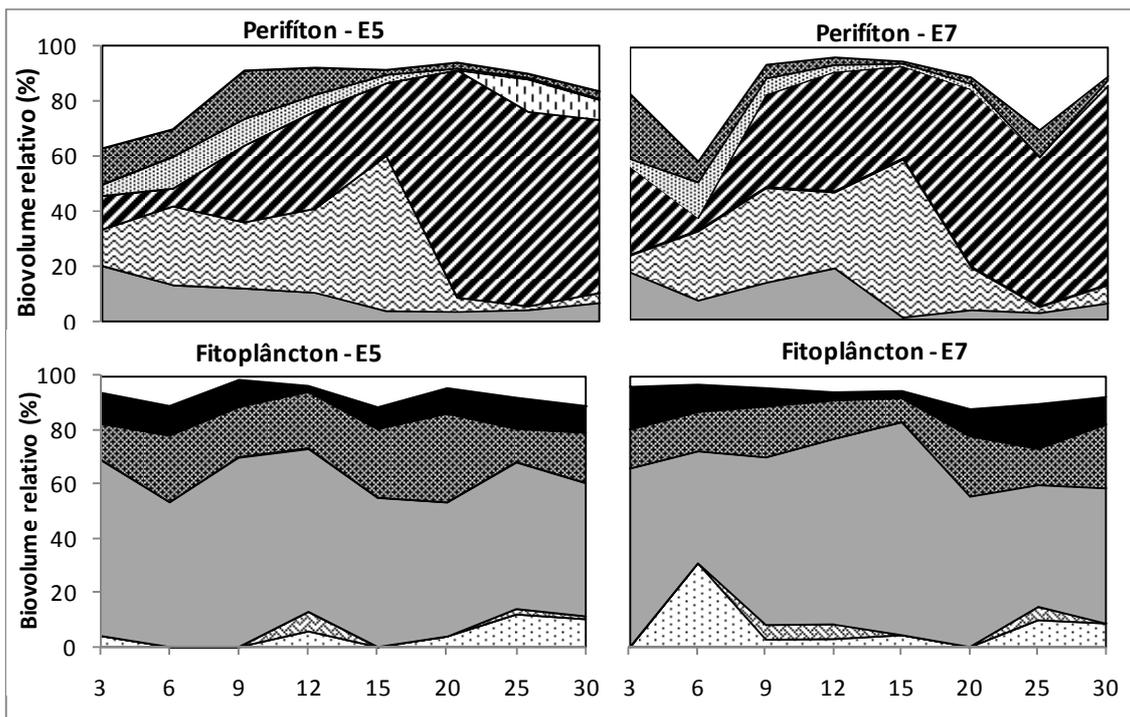


Figura 7. Biovolume relativo das classes algais no perifiton e fitoplâncton, ao longo do período de estudo, nos pontos E5 e E7, nos períodos de chuva e seca. (Bac = Bacillariophyceae; Chloro = Chlorophyceae; Crypto = Cryptophyceae; Eugle = Euglenophyceae; Xantho = Xanthophyceae)

PERÍODO DE CHUVA



PERÍODO DE SECA

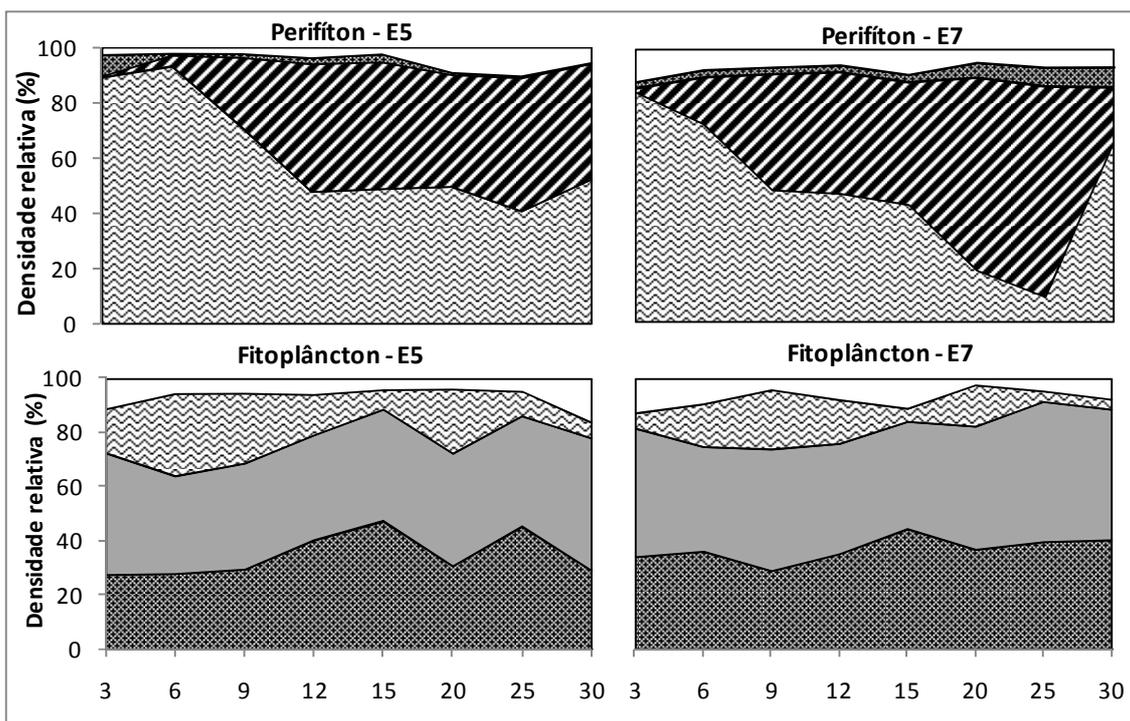


Figura 6. Biovolume relativo das espécies abundantes no perifíton e no fitoplâncton, ao longo dos 30 dias amostrados, durante o período de chuva e seca. (■ = *Synechocystis aquatilis*; ▨ = *Planktothrix agardhii*; ■ = *Cylindrospermopsis raciborskii*; ▩ = *Gomphonema gracile*; ▪ = *Ulnaria acus*; ▫ = *Anabaena spiroides*; ▬ = *Cyclotella meneghiniana*; ▭ = *Merismopedia glauca*; ▮ = *Gomphonema laticollum*; □ = Outras)

3.2.4. Análise qualitativa

A riqueza de espécies no fitoplâncton foi maior no período de chuva (148 táxons) em comparação com o período de seca (69 táxons). Em contrapartida, a maior riqueza de espécies do perifíton foi encontrada no período de seca (213 espécies) em comparação com o período de chuva (158 espécies). No período de chuva, as duas comunidades apresentaram o maior número de espécies em comum (63), no período de seca foram 44.

3.2.5. Riqueza e índice de diversidade

Durante todo o período de estudo e pontos de amostragem, a riqueza de espécies variou pouco no perifíton (CV <10%) e mais no fitoplâncton (CV = 28-42%). Um total de 179 táxons foi identificado no fitoplâncton. No período de chuva a riqueza variou de 13 a 39 e a o índice de diversidade de Simpson foi 1,8. No período de seca, a riqueza variou de 6 a 27 e a diversidade foi de 2,6. No perifíton foram identificados 213 táxons, com riqueza variando, no período de chuva, de 29 a 44, com uma diversidade de 5,8. No período de seca a riqueza variou de 30 a 38 e a diversidade foi de 4,1.

3.2.6. Similaridade na composição taxonômica (análise de agrupamento - cluster)

A análise de agrupamento realizada a partir da matriz de densidade relativa de espécies do fitoplâncton e perifíton resultou no dendograma dado na Figura 7. O coeficiente de correlação cofenético foi 0,94 para o período de chuva e 0,95 para o período de seca (Figura 7).

O dendograma do período de chuva formou dois grandes grupos. Um primeiro formado pelas unidades amostrais dos estádios iniciais do perifíton (3º e 6º dias) e pelas unidades amostrais do fitoplâncton. O dendograma do período de seca também formou dois grandes grupos, entretanto, estes foram agrupados em função do hábitat. Um grupo com as unidades amostrais do perifíton e o outro com as unidades amostrais do fitoplâncton.

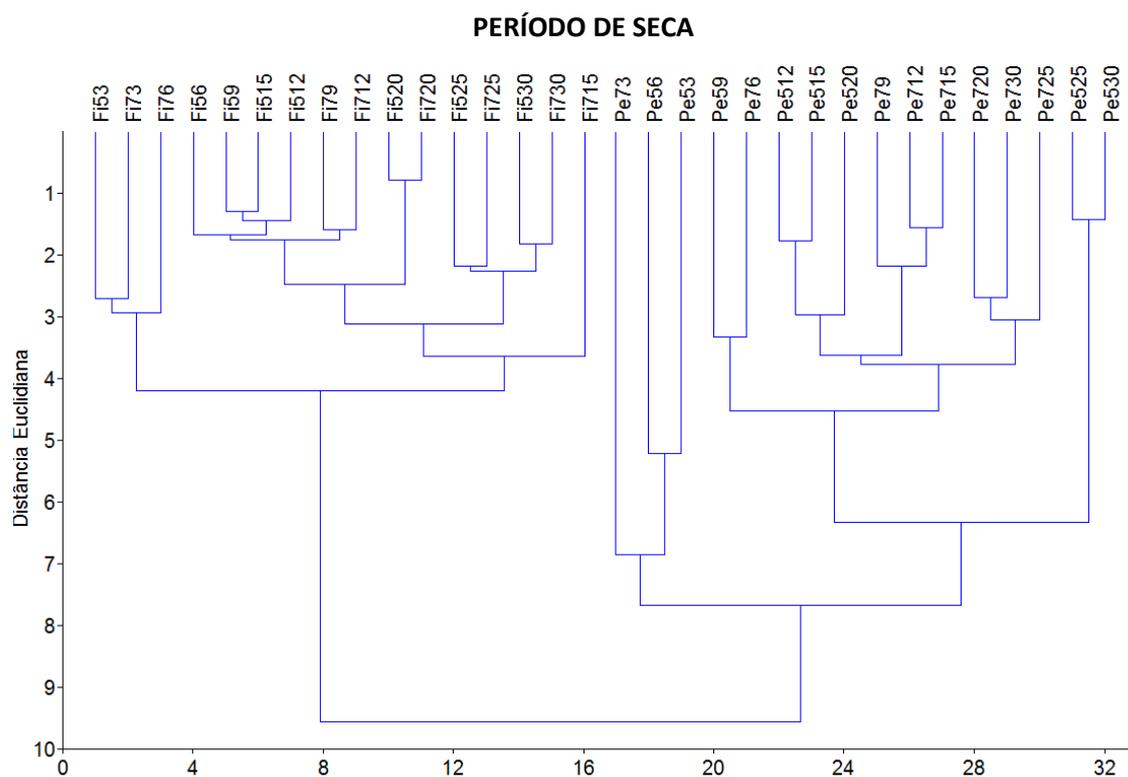
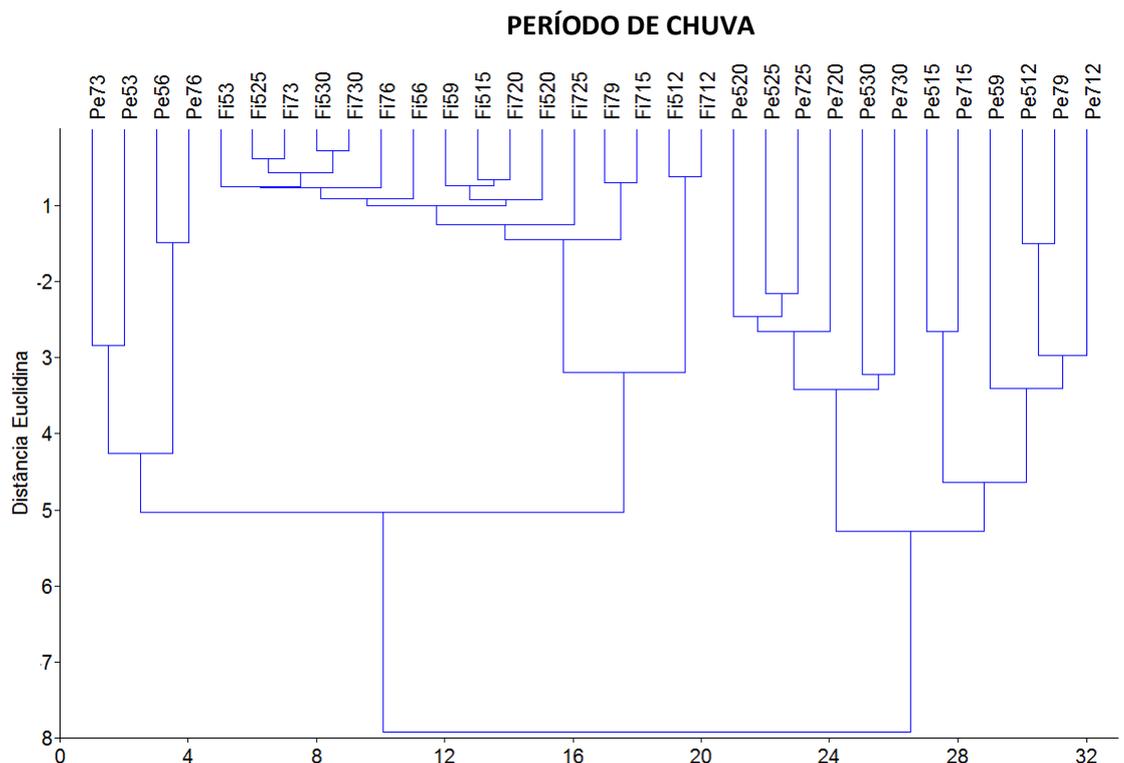


Figura 7. Análise de agrupamento calculada por associação média (UPGMA) e pelo índice de distância Euclidiana das algas do fitoplâncton e perifíton, ao longo do período de estudo, no período de chuva e seca. Onde na sigla Fi53 ou Pe53, Fi = fitoplâncton e Pe = perifíton, 5 = ponto E5, 3 = ao dia da sucessão no perifíton.

4. Discussão

As interações entre fitoplâncton e perifíton são de interesse do ponto de vista ecológico e, estão diretamente relacionadas às decisões de gestão (Havens *et al.* 1996). No caso do Lago das Garças que é hipereutrófico e, passa por um processo de redução de cargas, torna-se fundamental a maior compreensão da relação perifíton-fitoplâncton dentro da meta de recuperação do ecossistema. Como descrito anteriormente no capítulo I e II, as condições limnológicas foram distintas entre os períodos climáticos. Contudo, a influência da entrada de água da nascente e efluente doméstico sobre os pontos de amostragem foi observada apenas no período seco. A condição limnológica na fase turbida (período chuvoso) gerou maior intercâmbio de espécies entre a estrutura do fitoplâncton e perifíton. Enquanto, a interação entre estrutura específica do fitoplâncton e do perifíton foi menos intensa na fase menos turbida (período seco).

O Lago das Garças encontra-se em “Estado de Equilíbrio Degradado”, onde a floração de cianobactéria permanente promove maior estabilidade do sistema (Bicudo *et al.* 2007). No período de chuva, a elevada biomassa fitoplanctônica deve ter sustentado esta maior estabilidade resultando e uma menor disponibilidade de recursos. Diferentemente, no período de seca, com a menor biomassa fitoplanctônica, deve ter diminuído a estabilidade e aumentando a disponibilidade recursos. Fatos corroborados pelo perfil térmico na região pelágica, que evidenciou menor estabilidade térmica (aumento Z_{mix}) do sistema no período seco e forte estratificação na chuva, mostrando uma fase menos turbida e turbida, respectivamente (Capítulo 1).

A interação entre fitoplâncton e perifíton aparece em termos de competição por recursos (Sand-Jensen & Borum 1990) e, até mesmo no intercâmbio de propágulos e espécies algais (Rodriguez 1993). Em lagos produtivos, a elevada biomassa fitoplanctônica e a grande quantidade de material orgânico e inorgânico em suspensão aumentam a atenuação da luz na coluna d’água (Dodds 2002). Adicionado a isso, o fitoplâncton circula na coluna d’água, levando vantagem competitiva sobre o perifíton na interceptação da luz (Sand-Jensen & Borum 1990). Além disso, o fitoplâncton exibe vantagem competitiva sobre o perifíton na taxa de assimilação de nutrientes na coluna d’água (Hwang *et al.* 1998, Vadeboncoeur & Steinman 2002). Neste sentido, a fase turbida no período de chuva, a maior biomassa fitoplanctônica deve ter intensificado a competição por recursos em microescala, desfavorecendo o desenvolvimento do perifíton (menor clorofila-a e biovolume algal).

O intercâmbio de espécies entre as duas comunidades foi mais evidente no período de chuva, principalmente nos estádios iniciais do processo sucessional do perifíton, como evidenciou a análise de agrupamento. A elevada biomassa fitoplanctônica e as condições desfavoráveis para o desenvolvimento do perifíton (fase turbida) devem ter contribuído para esse maior intercâmbio. Além disso, o maior número de propágulos na coluna de água também poderia explicar esse intercâmbio. Contudo, a diversidade do fitoplâncton foi menor no período de chuva, evidenciando

que a intensidade da floração foi o fator determinante da migração e permanência de espécies planctônicas no perifíton. Assim, os resultados apontaram para um perifíton mais independente da variação planctônica na fase menos turbida no período seco.

Synechocystis aquatilis foi a espécie de maior contribuição para densidade total do fitoplâncton no período chuvoso. Esta mesma espécie foi dominante nos estágios iniciais de colonização do perifíton. Ács *et al.* (2000) também reportaram a elevada quantidade de espécies tipicamente planctônicas colonizando os estágios iniciais da comunidade perifítica. Nas fases iniciais de colonização de um substrato, a matriz perifítica, por ser pouco densa, reflete melhor as condições ambientais circundantes (Sand-Jensen 1983). Foi também no período de chuva que a densidade de *Cylindrospermopsis raciborskii* no perifíton e fitoplâncton apresentou elevada correlação positiva e significativa. Moss (1981) reportou que espécies que são numericamente predominantes no fitoplâncton, em determinadas épocas do ano, são também numericamente abundantes ou predominantes, na mesma época ou em outras, no perifíton. Werner & Köhler (2005) também reportaram a contribuição de espécies planctônicas no perifíton e, atribuíram este fato à baixa velocidade da corrente que favorece a sedimentação destas espécies no perifíton. Desta forma, como enfatizado por Goldsborough & Robinson (1996), em ambientes rasos, é difícil estabelecer limites de habitats para as populações algais, uma vez que há grande interação entre os distintos compartimentos do sistema.

No período de seca, entretanto, o intercâmbio de espécies foi menos evidente, muito provavelmente pela menor biomassa fitoplanctônica e melhores condições para o desenvolvimento do perifíton (fase menos turbida). Isso deve ter contribuído para o perifíton ter se desenvolvido de forma mais independente, como revelado pela análise de agrupamento que separou as duas comunidades em termos de composição taxonômica. Assim, não foi possível encontrar nenhum padrão de exportação de espécies de uma comunidade para a outra. As espécies que apresentaram maior contribuição para densidade total do perifíton foram diatomáceas, que não ocorreram ou pouco contribuíram no fitoplâncton (eg. *Ulnaria acus*, *Gomphonema gracile* e complexo *Achnanthydium minutissimum*) (Capítulo 2). A densidade de *C. raciborskii* no perifíton e no fitoplâncton não apresentou boa correlação, mesmo sendo a espécie que apresentou maior contribuição no fitoplâncton. Elevados valores de densidade e biovolume no fitoplâncton foram fatores importantes para aumentar o intercâmbio entre espécies algais no perifíton (Moss 1981, Werner & Köhler 2005). Fato que explicaria o menor intercâmbio no período de seca. Desta mesma forma, parece que os elevados valores de densidade e biovolume algal no plâncton, encontrados no período de chuva, devem ter contribuído para aumentar o intercâmbio entre estas duas comunidades.

Os resultados do presente estudo destacam a importância da biomassa fitoplanctônica (densidade e biovolume) sobre as flutuações da comunidade perifítica, bem como sobre a interação

e trocas entre fitoplâncton e perifíton no Lago das Garças. Como ressaltado por Moss (1981) com a eutrofização, as comunidades perifíticas e fitoplanctônicas perdem a especificidade por habitats. Desta forma, pode-se dizer que em lagos produtivos, como é o caso do Lago das Garças, a exportação do fitoplâncton para o perifíton pode ter importantes implicações para a dinâmica e o funcionamento da comunidade perifítica.

5. Referências Bibliográficas

- Ács, E., Kiss, K.T., Szabó K. & Makk, J.** 2000. Short-term colonization sequence of periphyton on glass slides in a large river (River Danube, near Budapest). *Algological Studies* 100: 135-156.
- Bicudo, D.C.** 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia* 3:459-475.
- Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bini, L.M., Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M. & Jesus, T.A.** 2007. Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. *Freshwater Biology* 52: 1120-1133.
- Brown, S.-D. & Austin, A.P.** 1973. Spatial and temporal variation in periphyton and physico-chemical conditions in the littoral of a lake. *Archiv für Hydrobiologie* 71: 183-232.
- Burkholder, J.M.** 1996. Interactions of Benthic Algae with Their Substrata. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 253-297.
- Carrick, H.J., Aldridje, F.J. & Schelske, C.L.** 1993. Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake. *Limnology and Oceanography* 38: 1179-1192.
- Crossetti, L.O. & Bicudo, C.E.M.** 2008a. Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garças Pond): the assemblage index application. *Hydrobiologia* 610: 161-173.
- Crossetti, L.O. & Bicudo, C.E.M.** 2008b. Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a shallow urban tropical eutrophic reservoir, Garças Reservoir, over 8 years. *Hydrobiologia* 614: 91-105.
- Crossetti, L.O., Bicudo, D.C., Bicudo, C.E.M. & Bini, L.M.** 2008. Phytoplankton biodiversity changes in a shallow tropical reservoir during the hypertrophication process. *Brazilian Journal of Biology* 68: p. 1061-1067.
- Dodds, W.K.** 2002. *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications*. Academic Press, San Diego.
- Ferragut, C.** 2004. Respostas das algas perifíticas e planctônicas à manipulação de nutrientes (N e P) em reservatório urbano (Lago do IAG, São Paulo). Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Ferrari, F.** 2010. Estrutura e dinâmica da comunidade de algasplanctônicas e perifíticas (com ênfase nas diatomáceas) em reservatórios oligotrófico e hipertrófico (Parque Estadual Das Fontes do Ipiranga, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Fonseca, B.M. & Bicudo, C.E.M.** 2008. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). *Hydrobiologia* 600: 267-282.

- Goldsborough, L.G. & Robison, G.G.** 1996. Pattern in wetlands. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, p.77-117.
- Havens, K.E., East, T.L., Meeker, R.H., Davis, W.P. & Steinman, A.D.** 1996. Phytoplankton and periphyton responses to in situ experimental nutrient enrichment in a shallow subtropical lake. *Journal of Plankton Research* 18: 551-566.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D.** 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1-9.
- Hansson, L.A.** 1990. Quantifying the impact of periphytic algae on nutrient availability for phytoplankton. *Freshwater Biology*. 24: 265-273.
- Hwang, S.-J., Havens, K.E. & Steinman, A.D.** 1998. Phosphorus kinetics of planktonic and benthic assemblages in a shallow subtropical lake. *Freshwater Biology* 40, 729-745
- Konrath, J., Tedesco, C.D. & Schwarzbald, A.** 1998. Structural interchanges of phytoplankton and periphytic microalgae communities of a southern Brazilian coastal lake. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 26: 1483-1486.
- Lamberti, G.A.** 1996. The Role of Periphyton in Benthic Food Webs. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 533 – 572.
- Liboriussen, L. & Jeppesen, E.** 2003. Temporal dynamics in epilimnetic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. *Freshwater Biology* 48: 418-431.
- Lobo, E. & Leighton, G.** 1986. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marina*. 22: 143-170.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le-Cren, E.D.** 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- Moss, B.** 1981. The composition and ecology of periphyton communities in freshwaters. II. Interrelationships between water chemistry, phytoplankton populations and periphyton populations in a shallow lake and associated experimental reservoirs ('Lund tubes'). *European Journal of Phycology*, 16: 59-76
- Oliveira, D.E., Ferragur, C. & Bicudo, D.C.** 2010. Relationships between environmental factors, periphyton biomass and nutrient content in Garças Reservoir, a hypereutrophic tropical reservoir in southeastern Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 15: 129-137.
- Padisák, J.** 2004. Phytoplankton. *In*: P.E., O'Sullivan & C.S., Reynolds (eds.). *The Lakes Handbook: Volume 1 Limnology and Limnetic Ecology*. Blackwell Publishing, Malden, pp. 251-308.
- Rodriguez, M.A.** 1993. A Comparison of Phytoplankton and Algae Growing on Plexiglas Slides in an Oligotrophic Lake. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 78: 273-282.
- Roeder, D.R.** 1977. Relationships between phytoplankton and periphyton communities in a central Iowa stream. *Hydrobiologia* 56: 145-151.
- Sand-Jensen, K & Borum, J.** 1991. Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany* 41: 137-175.

- Sand-Jensen, K.** 1983. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. *In*: R.G. Wetzel (ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, pp. 63-71.
- Shepherd, G.J.** 1996. Fitopac1: manual do usuário. Departamento de Botânica, UNICAMP.
- Steinman A.D., Meeker R.H., Rodusky A.J., Davis W.P. & McIntire C.D.** 1997. Spatial and temporal distribution of algal biomass in a large, subtropical lake. *Archiv für Hydrobiologie* 139: 29-50.
- Stevenson, R.J.** 1996. An Introduction to Algal Ecology in Fresh water Benthic Habitats. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego, p. 3-30.
- Sun, J. & Liu, D.** 2003. Geometrics models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 25: 1331-1346.
- Taniguchi, G.M., Bicudo, D.C. & Senna, P.A.C.** 2000. Intercâmbio populacional de desmídias planctônicas eperifíticas na Lagoa do Diogo, planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu. *In*: J.E. Santos & J.S.R. (eds.) Pires Estação Ecológica de Jataí v.2. RiMa, São Carlos, pp. 431-444.
- Taniguchi, G.M., Bicudo, D.C. & Senna, P.A.C.** 2005. Gradiente litorâneo-limnético do fitoplâncton e ficoperifiton em uma lagoa da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu. *Revista Brasileira de Botânica*. 28: 137-147.
- Utermöhl, H.** 1958. Zur Vervollkomnung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen* 9: 1-38.
- Vadeboncoeur Y., Lodge, D.M. & Carpenter, S.R.** 2001. Whole-lake fertilization effects on distribution of primary production between benthic and pelagic habitats. *Ecology* 82: 1065-1077.
- Vadeboncoeur, Y. & Steinman. A.D.** 2002. Periphyton Function in Lake Ecosystems. *The scientific world journal* 2: 1 -20.
- Vercellino, I. S.** 2001. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em dois reservatórios do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo: influência do estado trófico e período climatológico. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Vercellino, I.S.** 2007. Respostas do perifíton aos pulsos de enriquecimento em níveis crescentes de fósforo e nitrogênio em represa tropical mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Werner, P. & Köhler, J.** 2005. Seasonal Dynamics of Benthic and Planktonic Algae in a Nutrient-Rich Lowland River (Spree, Germany). *International Review of Hydrobiology* 90: 1-20.
- Wetzel, R.G.** 1996. Benthic Algae and Nutrient Cycling in Lentic Fresh water Ecosystems. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego, pp. 641-667.

Considerações finais

De um modo geral, muito se tem avançado no entendimento da comunidade perifítica, principalmente nos últimos 10 anos. Entretanto, ainda existem diversas lacunas em relação à ecologia da comunidade e, que certamente contribuiriam para o maior entendimento do funcionamento dos ecossistemas.

Nesse sentido, o presente estudo traz informações sobre perifíton desenvolvido em ambiente hipereutrófico. Evidenciando que a biomassa fitoplanctônica foi um agente controlador da comunidade perifítica. Pois, o fitoplâncton, no Lago das Garças representado pela floração de cianobactérias, atua sobre a estabilidade térmica do lago, controlando a disponibilidade de luz e nutrientes para o perifíton. E, ainda, pode controlar migrações de espécies para o perifíton, podendo ter importantes implicações para a dinâmica da comunidade. O estado nutricional da comunidade perifítica, foi sensível à disponibilidade de nutrientes, mesmo em condição hipereutrófica. Evidenciando a capacidade de retenção da comunidade, principalmente para o nutriente limitante na água. E neste sentido, as razões N:P baseadas no perifíton melhor representaram o incremento de biomassa e as condições de limitação da comunidade.

Em ambientes tropicais brasileiros, estudos apontavam para uma tendência de o fósforo ser o principal nutriente limitante do perifíton. Mais recentemente, verificou-se que o nitrogênio também pode ser limitante em ambiente tropical, como observado no presente estudo e em outros realizados no Lago das Garças. Fica claro que há escassez de informações sobre limitação de nutrientes para o crescimento do perifíton e, que há necessidade de se avaliar o estado nutricional do perifíton em diversos ambientes. Não só para identificar o nutriente limitante, mas também para estabelecer metas de recuperação em ecossistemas lênticos, principalmente incluindo o restabelecimento da comunidade perifítica.

Fica evidente que a comunidade perifítica exerce um papel importante na recuperação de ambientes eutrofizados. Pois, as disponibilidades de recursos para o perifíton e fitoplâncton estão vinculadas às interações entre estas duas comunidades. Desenvolver estudos que avaliem as interações entre as duas comunidades é importante, porque podem revelar limiares de nutrientes para a recuperação. Para isso, é necessário entendermos melhor as necessidades nutricionais do perifíton. Estudos experimentais que avaliem o estado nutricional do perifíton e a água intersticial da comunidade, são de extrema importância. Portanto, entendermos a variação do estado nutricional do perifíton e as interações entre as comunidades são de interesse do ponto de vista ecológico e, estão diretamente relacionadas às decisões de gestão.