



Universidade Estadual de Maringá  
Programa de Pós-Graduação em  
Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais

**RESPOSTA DAS ALGAS PERIFÍTICAS  
DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ  
ÀS ALTERAÇÕES DE TEMPERATURA E AO  
ENRIQUECIMENTO ARTIFICIAL DE NUTRIENTES**

**ELIZA AKANE MURAKAMI**



Maringá - PR

2008

ELIZA AKANE MURAKAMI

**RESPOSTA DAS ALGAS PERIFÍTICAS  
DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ  
ÀS ALTERAÇÕES DE TEMPERATURA E AO  
ENRIQUECIMENTO ARTIFICIAL DE NUTRIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

**Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Liliana Rodrigues**

Maringá – PR

2008

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"  
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

M972r Murakami, Eliza Akane, 1975-  
Resposta das algas perifíticas da planície de inundação do alto rio Paraná às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes / Eliza Akane Murakami. -- Maringá, 2008.

xii, 83 f. : il. (algumas color.) + anexo (3 f.).

Tese (doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2008.

Orientador: Profª Drª Líliliana Rodrigues.

1. Perifíton - Ecologia - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 2. Algas perifíticas - Enriquecimento artificial - Temperatura - Planície de inundação - Alto rio Paraná. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em "Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais".

CDD 22. ed. -579.8176409816  
NBR/CIP - 12899 AACR

**RESPOSTA DAS ALGAS PERIFÍTICAS DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO  
ALTO RIO PARANÁ ÀS ALTERAÇÕES DE TEMPERATURA E AO  
ENRIQUECIMENTO ARTIFICIAL DE NUTRIENTES**

ELIZA AKANE MURAKAMI

Data da defesa: 28 de março de 2008, no Anfiteatro do Nupélia, Bloco G-90, *campus* da  
Universidade Estadual de Maringá.

Banca Examinadora:

Dra. Liliana Rodrigues – Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Dra. Carla Ferragut – Instituto de Botânica/SP

Dra. Denise de Campos Bicudo – Instituto de Botânica/SP

Dra. Cláudia Costa Bonecker – UEM

Dra. Sueli Train – UEM

*Dedico*

*Ao Circo*

*aos meus pais Meri e Yasushi e*

*aos meus irmãos Arata e Atsushi*

*Com grande carinho*

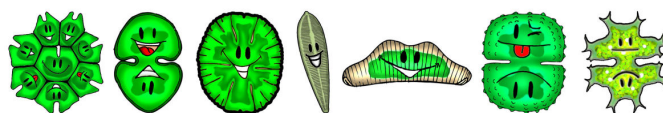
*A Ana Beth Y. Murakami*

*Saudades...*

# Agradecimentos

*A todos que contribuíram para que este trabalho fosse realizado.*

*Muito obrigada !!*



Em especial....

*À prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Líliana Rodrigues, pela orientação, carinho, apoio, dedicação e presença constante desde o início do trabalho.*

*À Dra<sup>a</sup>. Carla Ferragut, Dra<sup>a</sup>. Cláudia Costa Bonecker, Dra<sup>a</sup>. Denise de Campos Bicudo e Dra<sup>a</sup>. Sueli Train, por terem aceitado participar da banca examinadora e aos membros suplentes, Dr. Albano Schwarzbold e Dr. Sidinei Magela, Thomaz, por terem aceitado contribuir nessa etapa do trabalho.*

*Ao Curso de Pós de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA), docentes, discentes e funcionários, pelo conhecimento, companheirismo e apoio. À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado.*

*Ao projeto PELD (Pesquisas Ecológicas de Longa Duração/CNPq, sítio 6), pelo suporte logístico para realização deste trabalho. Ao Nupélia (Núcleo de Pesquisa em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura) pelo suporte técnico-científico. À equipe do laboratório de Limnologia básica, especialmente Maria do Carmo Roberto, pelo auxílio na realização das análises químicas.*

*Aos bibliotecários Maria Saete R. Arita, João F. Hidebrandt e Márcia R. Paiva, pelo atendimento sempre atencioso.*

*Ao Sebastião Rodrigues (Tião), Leandro Rodrigues e Alfredo S. da Silva pelo auxílio essencial para montagem do experimento em Porto Rico. À Josi, Cíntia, Ana Cristina e João, e a todos aqueles que auxiliaram para que o experimento fosse realizado. E em especial, ao Tião e Valdice, pela ajuda e companhia durante o tempo de realização do trabalho em campo.*

*Ao Ciro Yoshio Joko, por ter acompanhado todos os momentos desse trabalho, desde a montagem do experimento até as últimas figuras da tese. E principalmente estar comigo em mais essa etapa.*

*Ao Timothy J. Joko-Veltman, pela tradução dos resumos.*

*A todos os amigos de Maringá, com muito carinho.*

*A todos do laboratório de perifiton, Carina, Cássio, Iraúza, Jaques, Luciana, Natália e Vanessa e aos que já estiveram por lá, Arnaldo, Elizângela, Josimeire, Sirlene e Vanusa, pelo apoio em todas as etapas desse trabalho, pela convivência, aprendizado e amizade.*

*Aos colegas dos outros laboratórios, em especial ao laboratório de Zooplâncton e à prof<sup>a</sup> Claudinha, pela amizade e aprendizado. Muito bom ter feito parte desse grupo de pesquisa. E com carinho, a todos do laboratório de Zoobentos e à prof<sup>a</sup> Alice M. Takeda, pela acolhida e por sempre terem feito com que eu sentisse-me bem-vinda.*

*A Sayuri e família, Sirlene, Sandra e David, pela amizade e apoio.*

*A todos da Universidade de Brasília (UnB) e do laboratório de Limnologia, professores, funcionários, colegas, alunos e orientadores que tive, pela amizade, apoio e ensinamentos. Em especial à prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> June Springer de Freitas, por tanto ter contribuído para a minha formação acadêmica e profissional, estando sempre perto desde o primeiro dia de graduação e principalmente por ter despertado meu interesse para as algas perifíticas.*

*Às colegas de futebol (ACEMA, Lãs Esponjitas, Complexo de Gol, Aquáticas e do campinho da UEM) e ao técnico Hugo, pelos momentos de descontração (e muita corrida!!).*

*Aos amigos de Brasília, e especial, Valéria, Mariana e Ieda pela amizade desde a graduação e com carinho, a Luciana e Nei Galvão, pelo apoio e amizade sempre, apesar da distância.*

*Aos tomodaches, Carina, Akí, Reinaldo, Midori, Massami, Ilka, Tim, Natália, Augusto, Rute e Fernanda, por continuarmos sendo a tchurma.*

*Ao Tadahiro, Alice, tia Takako, Karen, Ilka, Tim, Caio e Gíu, pelo carinho e apoio constante. Em especial, ao Matteo e Sofia, muitas alegrias e saudades!!!*

*Ao Ciro, com carinho, por estar sempre junto... Qualquer dia, em qualquer lugar, é sempre feliz com você ao meu lado.*

*Aos meus pais, Yasushi e Meri, ao Arata e Sanae, Atsushi e Toshiko e a toda a minha família, com carinho.*

*Aos meus pais e irmãos, pelo amor e carinho, por todo o apoio que deram em mais essa etapa e principalmente por estarem sempre tão presentes em todos os momentos.*

## SUMÁRIO

Resumo Geral	ix
Abstract	xi

### **Capítulo 01. O EFEITO DA TEMPERATURA E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA E RIQUEZA DE ALGAS PERIFÍTICAS: UM EXPERIMENTO DE MESOCOSMOS**

Resumo	01
Abstract	01
Introdução	02
Material e Métodos	03
Montagem do experimento em campo	03
Montagem do experimento no laboratório	06
Amostragem	09
Análise qualitativa	09
Análise dos dados	10
Resultados	10
Variáveis abióticas	10
Riqueza e composição específica	13
Discussão	19
Referências	22
Anexo	28

### **Capítulo 02. RESPOSTA DAS DIATOMÁCEAS (BACILLARIOPHYCEAE) PERIFÍTICAS ÀS ALTERAÇÕES DE TEMPERATURA E AO ENRIQUECIMENTO ARTIFICIAL DE NUTRIENTES**

Resumo	34
Abstract	34
Introdução	35
Material e Métodos	36
Montagem do experimento no laboratório	36
Amostragem	37
Análise qualitativa	38
Análise quantitativa	38
Análise dos dados	39
Resultados	39
Discussão	51
Referências	55



### **Capítulo 03. RESPOSTA DAS ALGAS PERIFÉRICAS ÀS ALTERAÇÕES DE TEMPERATURA E AO ENRIQUECIMENTO ARTIFICIAL DE NUTRIENTES**

Resumo	61
Abstract	61
Introdução	62
Material e Métodos	63
Montagem do experimento no laboratório	64
Amostragem e análise dos dados	64
Resultados	66
Discussão	73
Referências	77

ANEXO

LXXXIV

## **Resposta das algas perifíticas da planície de inundação do alto rio Paraná às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes.**

### **Response of Periphytic Algae of the Upper Paraná River Floodplain to Temperature Changes and Artificial Nutrient Enrichment**

#### **RESUMO GERAL**

O presente estudo constituiu o primeiro trabalho experimental de manipulação de temperatura e nutrientes para a comunidade de algas perifíticas na planície de inundação do alto rio Paraná e está inserido no projeto PELD – Pesquisas Ecológicas de Longa Duração/CNPq, sítio 6. Este trabalho visou avaliar, em um experimento em mesocosmos, a influência da diminuição de temperatura e adição de nutrientes, fósforo (P) e nitrogênio (N), na estrutura da comunidade de algas perifíticas, em termos de composição específica, riqueza e abundância. O estudo foi estruturado em três capítulos: (Capítulo 01) O efeito da temperatura e concentração de nutrientes na composição específica e riqueza de algas perifíticas: um experimento em mesocosmos; (Capítulo 02) Resposta das diatomáceas (Bacillariophyceae) perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes; (Capítulo 03) Respostas das algas perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes. As diatomáceas foram consideradas separadamente das demais classes de algas devido à sua dominância no perifíton na planície de inundação. O delineamento experimental constituiu de cinco tratamentos: controle (C) e adição de nutrientes (P+, N+ e NP+) a 25°C, e frio (F) com diminuição da temperatura a 15°C e sem adição de nutrientes. Lâminas de vidro foram utilizadas como substrato artificial para colonização das algas e as amostragens foram feitas entre o 15º ao 31º dia de sucessão das algas perifíticas. Análise de Componentes Principais resumiu 63,32% da variabilidade total dos dados abióticos em seus dois primeiros eixos, podendo-se observar a separação dos tratamentos. No estudo foi registrado um total de 285 táxons de algas perifíticas, distribuídos em 107 gêneros e dez classes. As classes que mais contribuíram para a riqueza foram, nessa ordem, Zygnemaphyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae. Já em termos de abundância, ocorreu dominância de Bacillariophyceae, que representaram acima de 84% da densidade total de algas perifíticas em todo o experimento. A diminuição da temperatura e o enriquecimento de nutrientes alteraram a estrutura das algas perifíticas. Pela Análise de Correspondência Canônica (ACC) fica clara a separação entre o controle e os tratamento frio e com adição de nutrientes. A riqueza e em geral, a densidade total, foram maiores no tratamento frio. A composição específica das comunidades desses tratamentos diferiu. As densidades relativas de alguns gêneros de Bacillariophyceae foram menores no tratamento frio do que no controle. Em relação às demais classes, a diminuição de temperatura afetou a abundância das algas, principalmente pela redução da densidade relativa de Cyanophyceae, que era abundante no controle, e aumento das demais, principalmente de Zygnemaphyceae. As algas perifíticas responderam sensivelmente ao enriquecimento

artificial de nutrientes. A riqueza de espécies foi favorecida nos tratamentos com adição de nutrientes, principalmente de N+, seguido por NP+ e P+. Contudo, a densidade total das algas foi, em geral, menor nos tratamentos com adição de nutrientes comparado com o controle. As algas responderam diferentemente às adições de nutrientes, com cada tratamento apresentando uma estrutura específica de composição e densidade de algas. As densidades relativas das classes (exceto Bacillariophyceae), em geral, aumentaram com a adição de nutrientes, principalmente de P. O fósforo pode ser considerado direcionador na densidade das algas perifíticas, como pode ser observado pela rápida resposta após os enriquecimentos artificiais. A adição de nutrientes alterou a abundância das classes de algas perifíticas com substituição de Cyanophyceae pelos demais grupos. Considerando-se as diatomáceas especificamente, a densidade total foi menor nos tratamentos com adição de nutrientes do que no controle, podendo ser devido principalmente à resposta do complexo *A. minutissimum* que foi dominante e apresentou maiores densidades no controle e frio. Em geral, as densidades relativas foram maiores nos tratamentos com adição de nitrogênio, tratamentos N+ e NP+, exceto para os gêneros *Achnantheidium* e *Cymbella*. Conclui-se com este estudo que a diminuição de temperatura e o enriquecimento nas concentrações de nutrientes alteraram a estrutura da comunidade de algas perifíticas. Apesar do aumento na riqueza favorecida pela diminuição da temperatura e adição de nutrientes, mudanças claras na composição e abundância das algas ocorreram. Importante ressaltar que a resposta das algas perifíticas depende das espécies presentes no ambiente. Considerando a importância da comunidade perifítica na produtividade do ecossistema e a retenção dos nutrientes pelos reservatórios, principalmente o fósforo, alertar-se para as possíveis alterações futuras na cadeia trófica do sistema.

Palavras chave: Algas perifíticas, riqueza e composição de espécies, abundância, enriquecimento artificial, temperatura, planície de inundação.

## ABSTRACT

### **Response of Periphytic Algae of the Upper Paraná River Floodplain to Temperature Changes and Artificial Nutrient Enrichment**

This is the first experimental study of the manipulation of temperature and nutrients in periphytic algae communities of the Rio Paraná floodplain, and constitutes a part of the LTER (Long Term Ecological Research)/CNPq project, site 6. The study set out to evaluate via a mesocosm experiment, the influence of the decrease in temperature and the addition of the nutrients phosphorus (P) and nitrogen (N) on the structure of periphytic algae communities in terms of specific composition, richness, and abundance. It is comprised of three chapters: Chapter 1, Effect of temperature and nutrient concentration on the specific composition and richness of periphytic algae: a mesocosm experiment; Chapter 2, Response of the periphytic diatoms (Bacillariophyceae) to the alteration of temperature and artificial nutrient enrichment; and Chapter 3, Periphytic algae response to temperature changes and artificial nutrient enrichment. Diatoms were considered separately from the other classes of algae due to their dominance in the floodplain periphyton. The experiment consisted of 5 treatments: control group (C), added nutrients (P+, N+, NP+) at 25°C, and at 15°C without added nutrients. Glass slides were used for the periphytic algae colonization, and the samples were taken on the 15th and 31st days following colonization. Principal Components Analysis showed 63.32% of the total variability in the abiotic data on the first two axes, and the different treatments were distinguishable. In this study, a total of 285 periphytic algae taxa were recorded. The classes which most contributed to the richness were, in order: Zygnemaphyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyceae and Cyanophyceae. In terms of abundance, the Bacillariophyceae dominated, with over 84% of the total overall periphytic algae density. The periphytic algae responded sensitively to decreases in temperature and increases in nutrient concentrations. Canonical Correspondence Analysis (CCA) showed a clear difference between the control, the cool treatment group, and the added nutrient group. The richness and, in general, the overall density, were greater in the cool treatment group. The specific composition of these treatments differed. The relative densities of some Bacillariophyceae genera were lower in the cool treatment than in the control, and others higher, principally Zygnemaphyceae. Periphytic algae responded sensitively to artificial nutrient enrichment. Species richness was favored in the groups with added nutrients, principally those with N+, followed by NP+ and P+. However, the total densities of algae were in general lower with the addition of nutrients compared with the control group. The algae responded differently to the addition of nutrients, principally P. Phosphorus may be considered a forcing agent of periphytic algae density, as can be observed by the rapid response after the addition of artificial nutrients. The addition of nutrients altered the abundance of periphytic algae classes, with the substitution of Cyanophyceae by other groups. In the specific case of diatoms, the total density was lowest in the treatments with added nutrients than in the control group, possibly due principally to the response of the *A. minutissimum* complex, which was dominant, and presented greater density in the control group and cool

treatment. In general, relative densities were greatest in treatments with added nitrogen (N+ and NP+), except for the *Achnanthydium* and *Cymbella* genera. This study shows that with decrease in temperature and the addition of nutrients, clear changes occur in composition and abundance. It is important to remember, however, that the response of periphytic algae depends greatly on the species present in the environment. Considering the importance of periphytic algae in ecosystem productivity and the retention of nutrients in reservoirs, principally phosphorus, be aware of possible future alterations in the system's food chain.

Key words: periphytic algae, richness and species composition, abundance, artificial enrichment, temperature, floodplain.

## Capítulo 01

### O EFEITO DA TEMPERATURA E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA E RIQUEZA DE ALGAS PERIFÍTICAS: UM EXPERIMENTO EM MESOCOSMOS

**RESUMO.** Este estudo visou avaliar, em um experimento em mesocosmos, a influência da temperatura e da concentração de nutrientes (N e P) na composição específica e riqueza da comunidade de algas perifíticas da planície de inundação do alto rio Paraná. O delineamento experimental constituiu-se de cinco tratamentos: controle (C) e adição de nutrientes (P+, N+ e NP+) a 25°C, e frio (F) com diminuição da temperatura a 15°C e sem adição de nutrientes. Lâminas de vidro foram utilizadas para colonização das algas perifíticas e as amostragens foram feitas entre o 15º ao 31º dia de sucessão. Análise de Componentes Principais resumiu 63,32% da variabilidade total dos dados abióticos em seus dois primeiros eixos, podendo-se observar a separação dos tratamentos. No estudo foi registrado o total de 285 táxons de algas perifíticas. As classes que mais contribuíram para a riqueza foram, nessa ordem, Zygnemaphyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae. As algas perifíticas responderam sensivelmente, em termos de riqueza e composição de espécies, à diminuição de temperatura e ao aumento das concentrações de nutrientes. A riqueza foi maior no tratamento frio do que no controle e a composição da comunidade de algas perifíticas nas diferentes temperaturas foi distinta. A riqueza de espécies foi favorecida nos tratamentos com adição de nutrientes, nessa ordem, N+, NP+ e P+.

**Palavras chaves:** Algas perifíticas, enriquecimento artificial, temperatura, riqueza e composição de espécies, planície de inundação.

**Abstract. Effect of Temperature and Nutrient Concentration on the Specific Composition and Richness of Periphytic Algae: a Mesocosm Experiment.** This study set out to evaluate, via a mesocosm experiment, the influence of temperature and concentration of nutrients (N and P) in the specific composition and richness of periphytic algae communities of the Paraná River floodplain. The experiment was designed using 5 treatments: a control group (C), added nutrients (P+, N+, NP+) at 25°C, and at 15°C without added nutrients. Glass slides were used for the periphytic algae colonization, and the samples were taken on the 15th and 31st days following colonization. Principal Components Analysis showed 63.32% of the total variability in the abiotic data on the first two axes, and the different treatments were distinguishable. In this study, a total of 285 periphytic algae taxa were recorded. The classes which most contributed to the richness where, in order: Zygnemaphyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyceae and Cyanophyceae. In terms of richness and species composition, the periphytic algae responded sensitively to decreases in temperature and increases in nutrient concentrations. The richness was greater in the cool treatment than in the control group, and the composition of the periphytic algae communities at the two temperatures was distinct. The species richness was favored by the addition of nutrients, in this order: N+, NP+ and P+.

**Key words:** Periphytic algae, artificial enrichment, temperature, richness and species composition, floodplain.

## INTRODUÇÃO

As algas perifíticas constituem uma boa ferramenta para análise das condições do ambiente devido as suas características (modo de vida sésil, curto ciclo de vida, fácil manipulação e, comparada com outros grupos aquáticos, normalmente ricas em espécies) e habilidade em responder às alterações ambientais (Sládecková, 1962; Wetzel, 1983; Lowe e Pan, 1996; McCormick e Stevenson, 1998). Segundo McCormick e Stevenson (1998), o perifíton pode ser utilizado na detecção de sinais de eutrofização antes de outras alterações ecológicas.

As algas perifíticas recebem influência de inúmeros fatores para o seu desenvolvimento, incluindo macro e micronutrientes, luz, temperatura, substrato, herbivoria, velocidade da água e partículas transportadas pela corrente (Sand-Jensen, 1983; Stevenson *et al.*, 1996; Rodrigues *et al.*, 2003). Em estudos realizados na planície de inundação do alto rio Paraná, a temperatura e a concentração de nutrientes foram fatores considerados importantes na estrutura da comunidade de algas perifíticas (Rodrigues e Bicudo, 2001; Fonseca, 2004; Rodrigues e Bicudo, 2004; Algarte *et al.*, 2006; Leandrini, 2006).

O efeito da temperatura nas reações bioquímicas faz com que este seja um dos fatores ambientais mais importantes que afeta a comunidade perifítica. A temperatura influencia a estrutura da comunidade em termos de classes de algas dominantes, composição e diversidade de espécies, sucessão, distribuição geográfica e interações de competição e trofia (Tilman *et al.*, 1986; Coesel e Wandennar, 1990; DeNicola, 1996; Butterwick *et al.*, 2005). A temperatura afeta, primariamente, o metabolismo fotossintético do ficoperifíton através de seu controle das taxas de reações enzimáticas (DeNicola, 1996) e estudos demonstram diferenças interespecíficas claras no crescimento das algas a diferentes temperaturas (Butterwick *et al.*, 2005).

Experimentos de enriquecimento com nutrientes são importantes para avaliar o efeito dos diferentes graus de trofia sobre a comunidade perifítica. Fósforo (P) e nitrogênio (N) são os nutrientes mais estudados e considerados como limitantes para as algas (Borchardt, 1996). Em estudos feitos em microcosmos e mesocosmos, observaram-se diferenças na biomassa ou na estrutura da comunidade perifítica com a adição de P e N juntos ou separadamente (Cerrao *et al.*, 1991; Rosemond *et al.*, 1993; Havens *et al.*, 1996; McCormick e O'Dell, 1996; Havens *et al.*, 1999; Stelzer e Lamberti, 2001; Hillebrand e Kahlert, 2001).

Segundo Huszar *et al.* (2005), a maioria dos trabalhos ecológicos sobre o perifíton no Brasil foi realizada em sistemas lênticos e apresentando abordagem não experimental. Foram feitos os seguintes trabalhos experimentais com nutrientes envolvendo a comunidade perifítica: em uma lagoa (Suzuki, 1991) e em uma represa em São Paulo (Cerraio *et al.*, 1991), em uma lagoa na planície de inundação amazônica (Engle e Melack, 1993), em córrego em Minas Gerais (Mendes e Barbosa, 2002) e no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga em São Paulo (Ferragut, 1999, 2004; Barcelos, 2003; Fermino, 2006; Vercellino, 2007).

O presente trabalho constitui a primeira pesquisa experimental de manipulação de temperatura e nutrientes para a comunidade de algas perifíticas na planície de inundação do alto rio Paraná.

Considerando-se que: a) a temperatura deve alterar a riqueza e composição específica da comunidade de algas perifíticas, pois as espécies respondem diferentemente aos efeitos da temperatura; b) a riqueza de algas perifíticas é favorecida com o enriquecimento artificial de nutrientes limitantes; c) a composição específica da comunidade de algas perifíticas difere com a adição de nutrientes limitantes, este estudo visou avaliar, em um experimento em mesocosmos, a influência da temperatura e da concentração de nutrientes (N e P) na riqueza e composição específica da comunidade de algas perifíticas da planície. Os objetivos foram: a) comparar a riqueza e composição específica da comunidade de algas perifíticas em diferentes temperaturas; b) avaliar e comparar a riqueza de espécies em cada tratamento de adição de nutrientes; c) verificar quais táxons ou classes de algas perifíticas são favorecidos com a adição de nutrientes.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Montagem do experimento no campo**

A colonização e o estabelecimento das algas perifíticas ocorreram sobre substratos artificiais e em condições naturais.

O experimento foi montado na lagoa das Garças, na planície de inundação do alto rio Paraná, no dia 16 de março de 2005, considerado período de águas altas, quando o nível era de 3,21m.



A Lagoa das Garças está localizada na planície de inundação do alto Rio Paraná, no Estado do Mato Grosso do Sul, sob as coordenadas 22°43'S e 53°14'W. Situa-se na margem direita deste rio, com o qual mantém comunicação permanente através de um estreito canal de aproximadamente 100 metros de extensão (Figura 1). Apresenta cerca de 150m de largura, 2000m de comprimento e profundidade média de 2,5m. A região litorânea encontra-se dominada por estandes multiespecíficos de macrófitas aquáticas, destacando-se *Eichhornia azurea* Kunth.

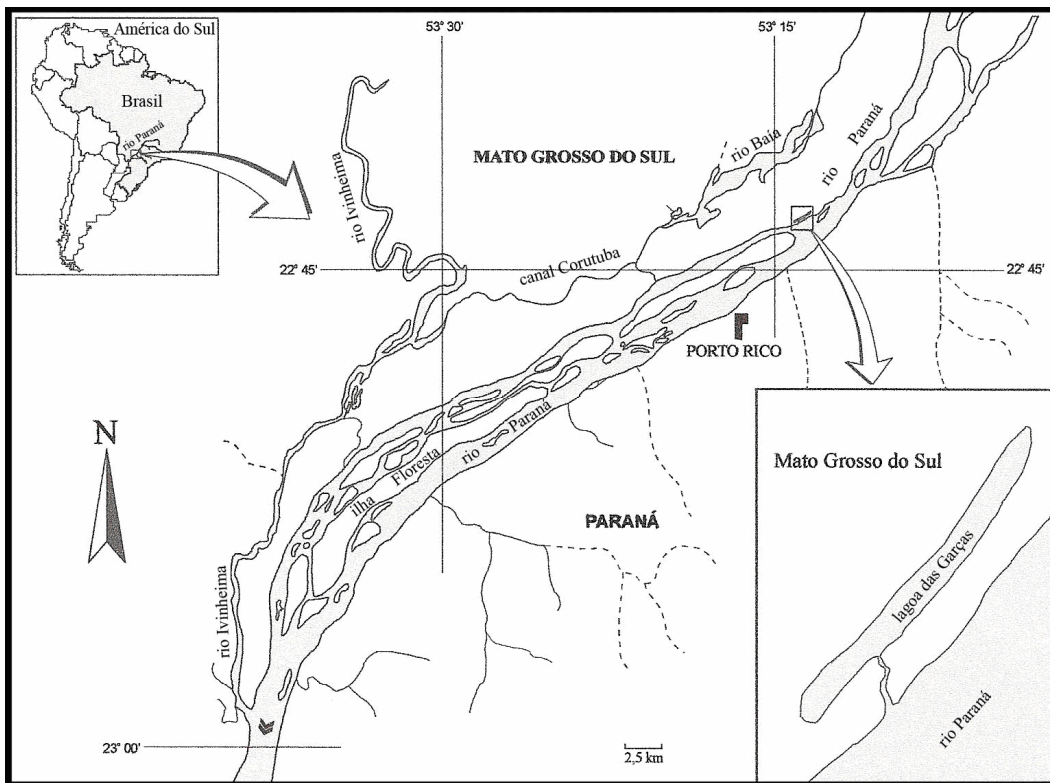


Figura 1. Mapa localizando a lagoa das Garças, na planície de Inundação do alto rio Paraná.

Após o estabelecimento da comunidade, os substratos foram transferidos para aquários em laboratório. O experimento no seu todo foi realizado entre os dias 16 de março a 16 de abril de 2005.

Lâminas de vidro, em suportes de madeira, foram utilizadas como substratos artificiais para a colonização e o estabelecimento das algas perifíticas (Figura 2). Os suportes de madeira foram colocados próximos aos bancos de macrófita, na região litorânea da lagoa, ao lado de *E. azurea* (Figura 3).



Figura 2. Lâminas de vidro, como substratos artificiais para o perífíton, em suporte de madeira.



Figura 3. Suportes de madeira, com lâminas de vidro, próximos aos bancos de macrófitas na lagoa das Garças.

A transferência dos substratos artificiais da lagoa, ambiente natural, para os aquários, no laboratório, realizou-se no dia 31 de março de 2005, 15º dia de sucessão das algas perifíticas, quando a comunidade já estava estabelecida, conforme estudos anteriores realizados nesse local (Rodrigues e Bicudo, 2001) (Figura 4).

Os suportes de madeira com as lâminas de vidro foram trazidos da lagoa para o laboratório em caixa térmica com gelo e, em seguida, as lâminas foram transferidas para suportes de isopor (Figura 5). Optou-se pelo uso de suportes de isopor devido ao seu peso e tamanho, mais compatíveis com a estrutura do aquário, e pela facilidade de manipulação.

### **Montagem do experimento no laboratório**

O experimento no laboratório foi realizado na Base Avançada de Pesquisa do Nupélia/UEM, localizada na margem do rio Paraná (Porto Rico – PR). O delineamento experimental foi constituído de cinco tratamentos, em triplicata: controle, adição de fósforo (P+), adição de nitrogênio (N+), adição de nitrogênio e fósforo (NP+) e frio (F), sem adição de nutrientes. Cada tratamento foi realizado em uma bateria de aquários (Figura 6).

Os mesocosmos, com capacidade de 300 L cada, estavam dispostos em fileiras, constituindo cada fileira uma bateria com controle independente de temperatura. Para o experimento foram utilizados três aquários em cada bateria.

Os aquários foram enchidos com água do ambiente natural, no dia 26 de março de 2005. A água foi coletada na lagoa das Garças, com auxílio de mangueiras e bomba, e transportada em caixas d'água para transferência para os aquários.

No tratamento frio a temperatura da água foi reduzida e mantida a 15°C. Nos demais tratamentos a temperatura foi mantida a 25°C.

Nos tratamentos P+, N+ e NP+ foram adicionados nutrientes. O enriquecimento com N e P foi feito adicionando-se 12,5 mL de soluções de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (1600mgP/L) e de  $\text{NaNO}_3$  (10000mgN/L) em cada aquário no início do experimento no laboratório (30/03/2005) e após uma semana (06/04/2005).



Figura 4. Lâminas de vidro colonizadas (15° dia de sucessão das algas perifíticas), no dia da transferência da lagoa das Garças para os aquários.

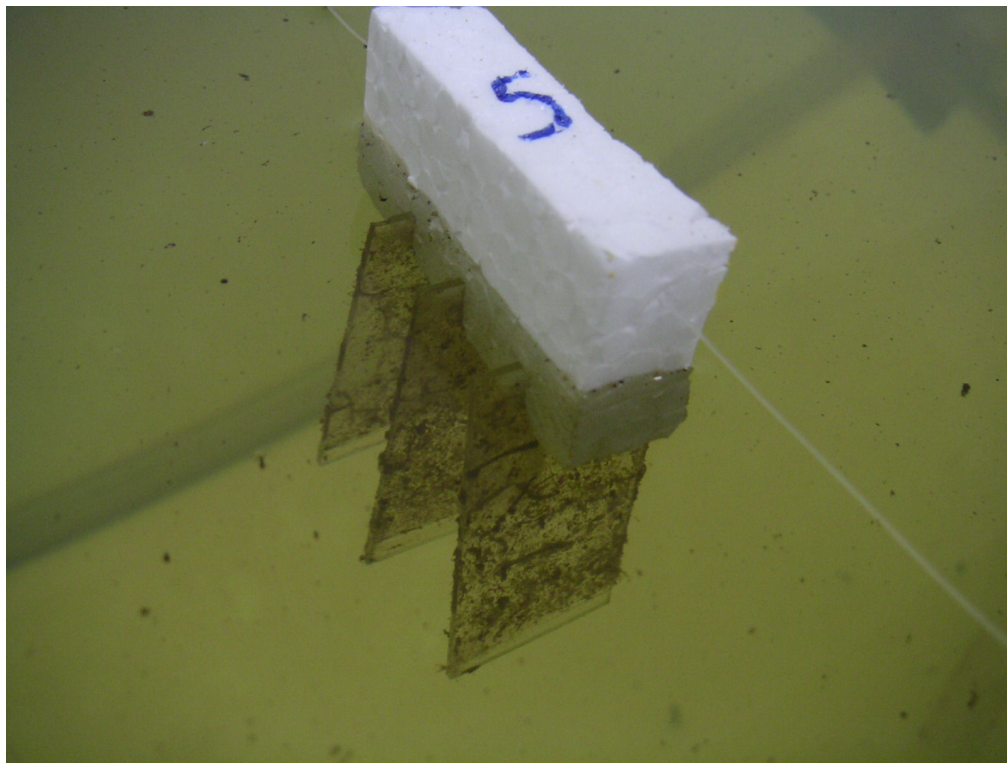


Figura 5. Lâminas de vidro, no suporte de isopor, em um aquário durante o experimento.

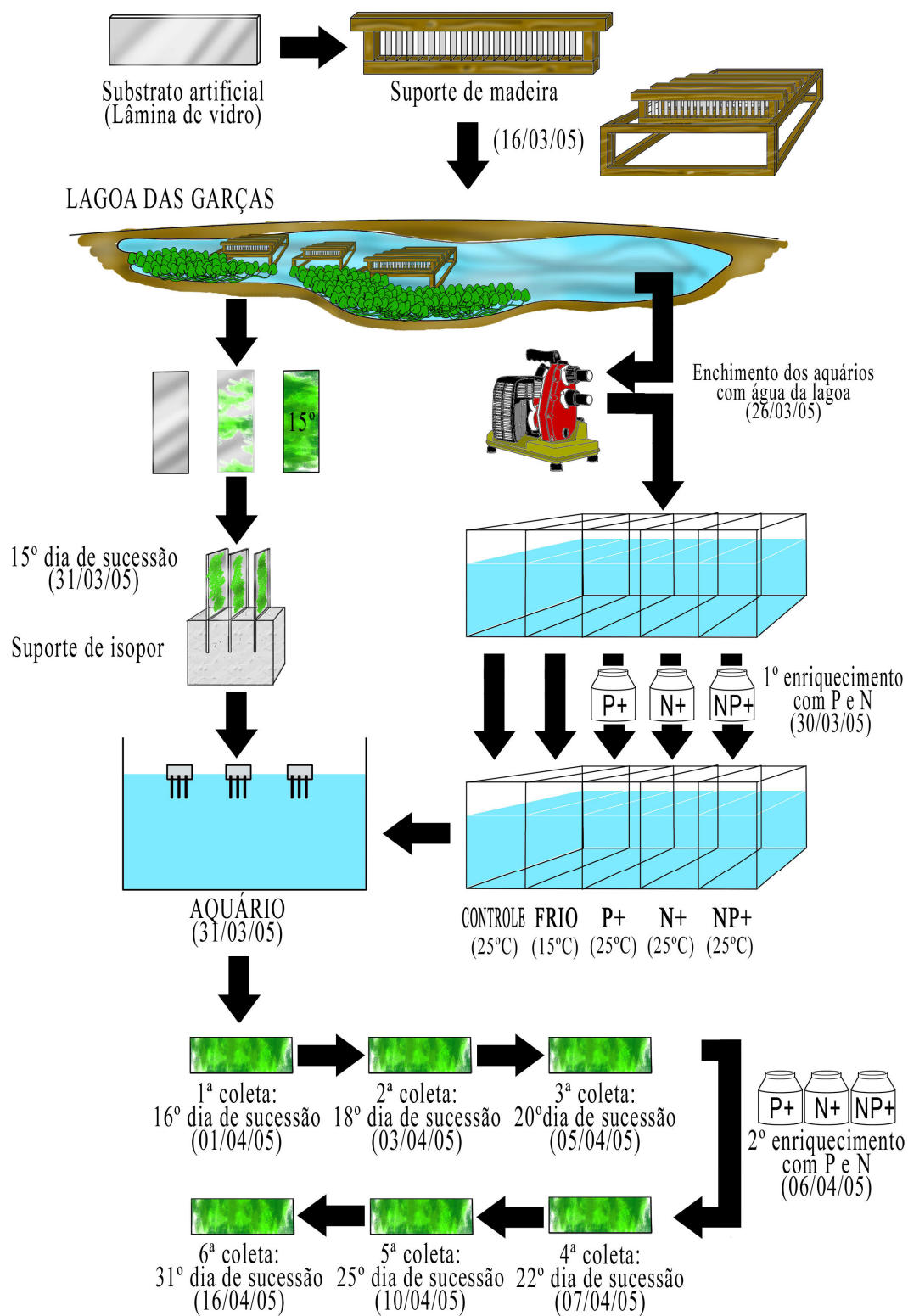


Figura 6. Esquema do experimento com os tratamentos controle, frio e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+), realizado entre os dias 16 de março a 16 de abril de 2005.

## **Amostragem**

As amostragens foram realizadas coletando-se as lâminas de vidro referentes ao 15º dia de colonização, ainda na lagoa das Garças, e no 16º, 18º, 20º, 22º, 25º e 31º dia de sucessão, nos aquários (31/03/2005 a 16/04/2005) (Figura 6). A amostragem do perifíton foi feita segundo critério aleatório de sorteio das lâminas de vidro a serem coletadas. As amostragens foram realizadas em réplica.

O perifíton foi removido das lâminas de vidro com o auxílio de lâminas de aço e jatos de água destilada. O material foi acondicionado em frascos de vidro de 150 mL e fixado e preservado com solução de Transeau.

Os dados abióticos foram coletados simultaneamente aos dados bióticos. Os parâmetros físicos e químicos utilizados foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade, pH, nitrogênio total (NT), nitrato (N-NO<sub>3</sub>), nitrito (N-NO<sub>2</sub>), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>).

A temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade e pH foram medidos com auxílio de aparelhos portáteis (marca Digimed). Amostras da água foram coletadas para filtragem utilizando-se membranas GF/C para análises das concentrações de nutrientes. As concentrações PT e P-PO<sub>4</sub> foram quantificadas por espectrofotometria pela reação de molibdato de sódio (Mackereth *et al.*, 1978). As concentrações de N-NH<sub>4</sub> foram quantificadas segundo Mackereth *et al.* (1978). As concentração de NT, N-NO<sub>3</sub> e N-NO<sub>2</sub> foram determinadas através do método de análise de injeção de fluxo (FIA) (Zagatto *et al.*, 1981).

## **Análise qualitativa**

A análise taxonômica das algas perifíticas foi realizada em microscópio óptico. A identificação das espécies foi feita com base na literatura clássica (Anagnostidis e Komárek, 1988; Croasdale e Flint, 1986, 1988; Dillard, 1990, 1991; Föster, 1982; Komárek e Anagnostidis, 1986, 1989; Krammer e Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991; Patrick e Reimer, 1966, 1975; Prescott, 1982; Prescott *et al.*, 1981, 1982) e outras específicas e regionais. O sistema de classificação em nível de classes utilizado foi o de Round (1965, 1971), complementado por Bicudo e Menezes (2006).

## **Análise dos dados**

Análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para ordenação das unidades amostrais dos tratamentos e da lagoa das Garças em relação às variáveis abióticas.

Para verificar a existência de relações entre a riqueza de espécies e as variáveis físicas e químicas, os dados foram analisados pela matriz de correlação de Spearman ( $p < 0,05$ ).

Para a análise de ACP utilizou-se o programa PC-ORD, versão 4.01 (McCune e Mefford, 1999). E para análise de correlação de Spearman e construção dos gráficos, o programa STATISTICA, versão 7.1 (StatSoft, 2005).

A similaridade das comunidades de algas perifíticas entre os tratamentos e entre os dias de sucessão em cada tratamento foi medida pela análise de agrupamento (UPGMA), com base no índice de Jaccard, utilizando o programa NTSYS.

## **RESULTADOS**

### **Variáveis abióticas**

Os valores dos parâmetros abióticos da lagoa das Garças (15º dia de sucessão da comunidade de algas perifíticas) e as condições físicas e químicas de cada tratamento do experimento encontram-se resumidos na Tabela 1.

A temperatura da água registrada na lagoa foi de 27,8°C e nos tratamentos controle e com adição de nutrientes variou de 23,4°C a 26,9°C. No tratamento frio a média foi de 15,3°C ( $\pm 0,1$ ).

Os valores de oxigênio dissolvido e pH foram maiores nos tratamentos do que na lagoa das Garças. A condutividade também foi mais elevada nos tratamentos do que na lagoa das Garças, exceto para o tratamento frio.

Apesar de não terem sido adicionados nutrientes nos tratamentos controle e frio, as concentrações, em geral, foram maiores do que aquelas registradas na lagoa das Garças. Contudo, no tratamento controle, as concentrações de nutrientes foram mais baixas do que nos tratamentos com adição de nutrientes. No tratamento frio, as

concentrações de nitrogênio total e nitrato foram mais elevadas do que no controle, estando próximas aos valores dos tratamentos com adição de N (N+ e NP+).

Tabela 1. Valores máximo e mínimo e, entre parênteses, valor médio e desvio padrão, dos dados abióticos na lagoa das Garças (n=1) e nos tratamentos controle, frio e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) (n=6, para concentração de nutrientes e n=18, para demais dados).

Dado abiótico	Lagoa	Controle	Frio	P+	N+	NP+
Temperatura (°C)	27,8	24,3 – 25,2 (24,8 ± 0,3)	15,2 – 15,4 (15,3 ± 0,1)	23,4 – 25,4 (25,0 ± 0,6)	24,8 – 25,8 (25,5 ± 0,4)	26 – 26,9 (26,5 ± 0,3)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	7,1	7,97 – 8,23 (8,07 ± 0,07)	10,16 – 10,33 (10,25 ± 0,06)	8,01 – 9,63 (8,29 ± 0,51)	7,87 – 8,66 (8,17 ± 0,22)	7,71 – 7,91 (7,78 ± 0,06)
Condutividade (µS/cm)	58,3	60,8 – 67,2 (63,3 ± 2,3)	47,8 – 50,4 (48,8 ± 0,9)	62,4 – 70,3 (65,4 ± 2,7)	61,6 – 83,4 (72,4 ± 6,6)	65,3 – 76,3 (70,1 ± 4,2)
pH	6,76	7,38 – 7,57 (7,49 ± 0,06)	7,12 – 7,38 (7,28 ± 0,08)	7,29 – 7,73 (7,53 ± 0,12)	7,32 – 7,66 (7,51 ± 0,10)	7,36 – 7,64 (7,51 ± 0,08)
Nitrogênio total (µg/L)	287	432 – 517 (460 ± 30)	1014 – 1332 (1150 ± 111)	612 – 779 (695 ± 54)	1439 – 2188 (1788 ± 359)	1394 – 1928 (1596 ± 217)
N-NO <sub>3</sub> (µg/L)	167	198 – 307 (228 ± 41)	680 – 1004 (810 ± 118)	176 – 334 (223 ± 58)	552 – 1120 (804 ± 259)	537 – 1244 (861 ± 316)
N-NO <sub>2</sub> (µg/L)	4	1 – 69 (15 ± 27)	2 – 3 (2 ± 0,3)	2 – 26 (10 ± 11)	3 – 46 (13 ± 17)	2 – 99 (28 ± 42)
N-NH <sub>4</sub> (µg/L)	24	12 – 66 (43 ± 20)	18 – 59 (36 ± 16)	10 – 67 (43 ± 22)	12 – 76 (45 ± 25)	10 – 69 (43 ± 24)
P total (µg/L)	15	42 – 77 (54 ± 13)	35 – 40 (38 ± 2)	89 – 160 (124 ± 37)	35 – 68 (48 ± 12)	94 ± 173 (132 ± 38)
P-PO <sub>4</sub> (µg/L)	7	22 – 62 (40 ± 14)	20 – 32 (25 ± 4)	67 – 147 (106 ± 35)	16 – 58 (35 ± 14)	76 – 158 (114 ± 38)
NT:PT (razão atômica)	39,5	13,9 – 21,2 (18,0 ± 2,8)	56,1 – 68,0 (62,9 ± 5,2)	7,9 – 16,3 (12,5 ± 3,8)	63,8 – 88,1 (78,6 ± 10,4)	20,8 – 30,6 (25,9 ± 4,4)

A Análise de Componentes Principais (ACP) resumiu 63,32 % da variabilidade total dos dados abióticos em seus dois primeiros eixos. Através da análise pode-se observar a separação dos tratamentos, estando os tratamentos com adição de fósforo no lado negativo do eixo 1 (P+ e NP+) e os tratamentos sem adição desse nutriente no lado positivo (C e Frio) (Figura 7). Este primeiro eixo (39,95%) esteve associado negativamente com a condutividade, temperatura da água, ortofosfato e fósforo total e positivamente com as concentrações de oxigênio dissolvido (Tabela 2).



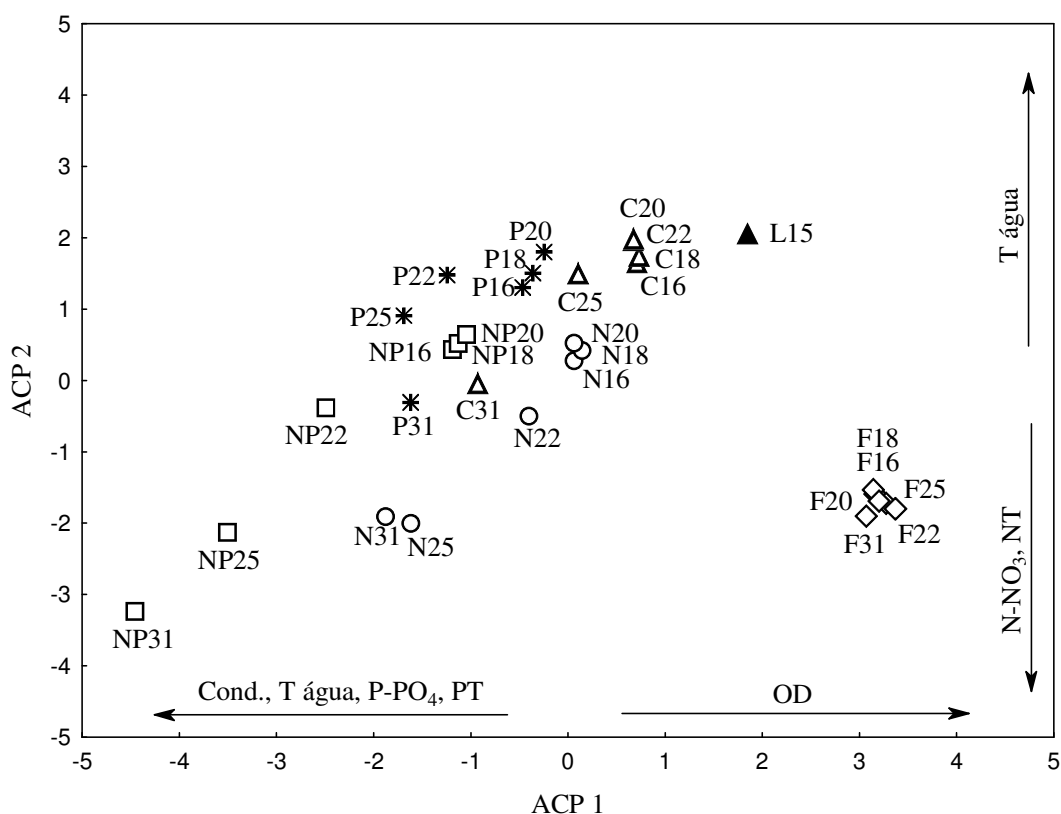


Figura 7. Ordenação pela Análise de Componentes Principais (ACP) das unidades amostrais da lagoa das Garças (15º dia de sucessão das algas perifíticas) e dos tratamentos C (controle), F (frio) P (adição de fósforo), N (adição de nitrogênio) e NP (adição de fósforo e nitrogênio), nos 16º, 18º, 20º, 22º, 25º e 31º dia de sucessão das algas perifíticas. Abreviações: Cond.=condutividade, T água= temperatura da água, P-PO<sub>4</sub>=ortofosfato; PT= fósforo total, OD= oxigênio dissolvido; N-NO<sub>3</sub>= nitrato, NT= nitrogênio total.

Tabela 2. Correlações das variáveis abióticas com os Componentes Principais 1 e 2.

Variáveis abióticas	Componentes Principais	
	1	2
Temperatura da água	<b>-0,793</b>	<b>0,506</b>
Oxigênio dissolvido	<b>0,708</b>	-0,558
Condutividade	<b>-0,909</b>	0,018
pH	-0,529	0,093
N total	-0,351	<b>-0,709</b>
N-NO <sub>3</sub>	-0,155	<b>-0,904</b>
N-NO <sub>2</sub>	-0,604	-0,478
N-NH <sub>4</sub>	0,062	0,438
P total	<b>-0,787</b>	-0,089
P-PO <sub>4</sub>	<b>-0,789</b>	-0,110
<b>Variação explicada</b>	<b>39,95 %</b>	<b>23,37 %</b>

O eixo 2 (23,37 %) esteve correlacionado negativamente com as concentrações de nitrato e nitrogênio total e positivamente com a temperatura da água. Esse eixo separou os tratamentos com adição de nitrogênio (N+ e NP+) dos tratamentos controle e com adição de fósforo (P+). O tratamento frio, apesar de não terem sido adicionados nutrientes, apresentou uma elevada concentração de nitrato, estando no lado negativo desse eixo (Figura 7).

As condições do tratamento controle estiveram próximas ao da lagoa das Garças.

### Riqueza e composição específica

Na lagoa das Garças (15º dia de sucessão) e nos tratamentos, foram registrados o total 285 táxons de algas perifíticas, distribuídas em 107 gêneros e 10 classes (39 Cyanophyceae, 6 Chlamydoephyceae, 57 Chlorophyceae, 103 Zygnemaphyceae, 7 Oedogoniophyceae, 6 Euglenophyceae, 1 Chyptophyceae, 6 Xanthophyceae, 5 Chrysophyceae, 55 Bacillariophyceae) (Tabela 3, Anexo 1).

As classes que mais contribuíram para a riqueza de algas perifíticas foram, nessa ordem, Zygnemaphyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae (Figura 8). Essas classes representaram mais de 85% da riqueza de espécies em todos os tratamentos.

Tabela 3. Número de táxons de algas perifíticas, por classes, registrado na lagoa das Garças e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adições de fósforo (P+), de nitrogênio (N+) e de nitrogênio e fósforo (NP+) durante o experimento.

Classes	lagoa	C	F	P+	N+	NP+	Total
Cyanophyceae	8	18	21	18	18	12	39
Chlamydoephyceae	0	4	3	3	4	3	6
Chlorophyceae	16	29	36	32	39	39	57
Zygnemaphyceae	29	37	69	43	56	49	103
Oedogoniophyceae	4	5	6	6	5	5	7
Euglenophyceae	0	3	2	1	2	2	6
Cryptophyceae	0	0	0	0	1	0	1
Xanthophyceae	2	6	5	4	4	5	6
Chrysophyceae	2	2	4	4	4	5	5
Bacillariophyceae	25	37	40	39	42	45	55
<b>Total</b>	<b>86</b>	<b>141</b>	<b>186</b>	<b>152</b>	<b>175</b>	<b>165</b>	<b>285</b>

No tratamento frio e com adição de nutrientes (P+, N+, NP+) ocorreu um aumento na riqueza de espécies comparando-se com o tratamento controle e com a lagoa das Garças (Tabela 3). No tratamento frio foi registrado o maior número de táxons (186), devido principalmente a riqueza de Zygnemaphyceae. A riqueza de Zygnemaphyceae esteve correlacionada negativamente com os valores de condutividade ( $r = -0,55$ ), fósforo total ( $r = -0,59$ ) e ortofosfato ( $r = -0,60$ ).

A riqueza de Cyanophyceae manteve-se a mesma com a adição de fósforo (P+) e nitrogênio (N+), separadamente, e diminuiu com a adição conjunta desses nutrientes (NP+). A riqueza dessa classe foi correlacionada negativamente com as concentrações de fósforo total ( $r = -0,47$ ) e ortofosfato ( $r = -0,48$ ).

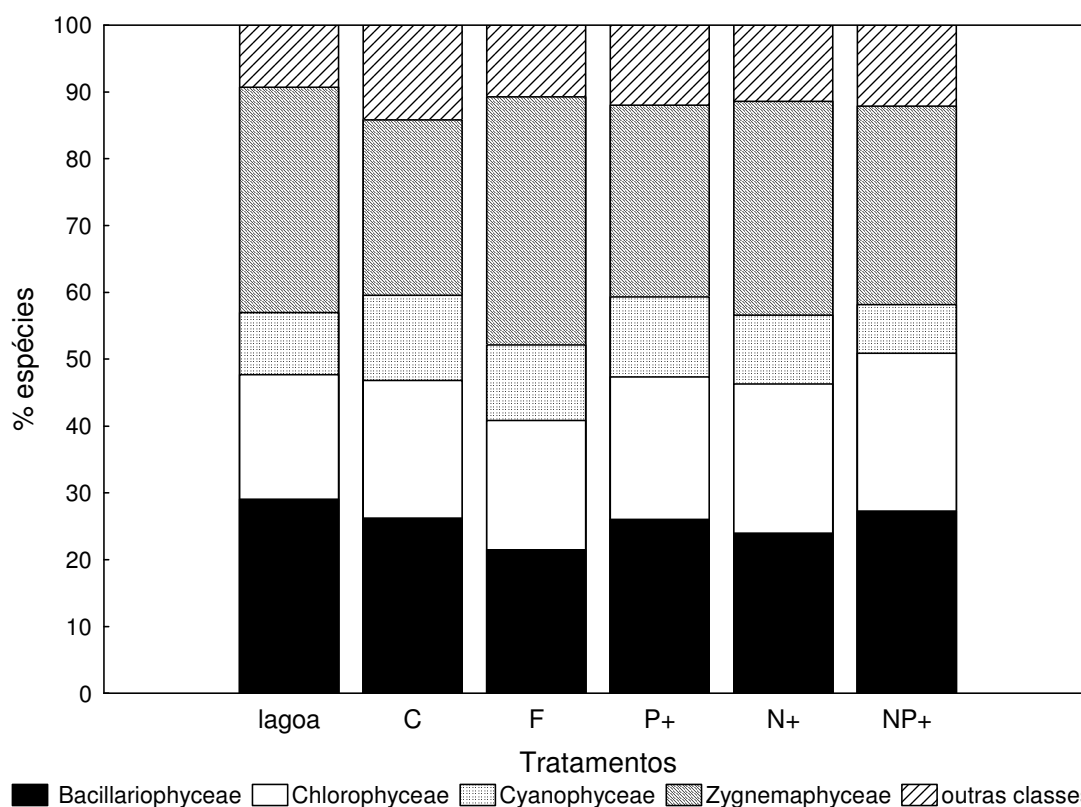


Figura 8. Porcentagem de espécies por classe de algas perifíticas na lagoa das Garças (15º dia de sucessão) e nos tratamentos controle (C), frio e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) durante o experimento.

Considerando-se a riqueza de espécies ao longo da sucessão das algas perifíticas, no tratamento controle observou-se uma diminuição no final da sucessão (Figura 9). Isso também ocorre nos tratamentos com adição de nutrientes (P+, N+ e NP+). Apenas a riqueza de Bacillariophyceae permaneceu semelhante ao longo da sucessão das algas

perifíticas em todos os tratamentos (Figura 9). Assim, a porcentagem de espécies de Bacillariophyceae ao final da sucessão aumenta, em relação às demais classes. A riqueza de Bacillariophyceae esteve correlacionada positivamente com a temperatura da água ( $r = 0,60$ ) e nitrogênio total ( $r = 0,61$ ). A riqueza das demais classes foi decrescendo ao final da sucessão.

No tratamento frio, contudo, a riqueza de espécies por classes permaneceu semelhante ao longo da sucessão (Figura 9). No último dia de sucessão (31°), a riqueza de espécies no frio foi maior do que nos demais tratamentos. O número de espécies do último dia de sucessão do tratamento frio foi maior inclusive do que dos dias 18° ao 31° do controle.

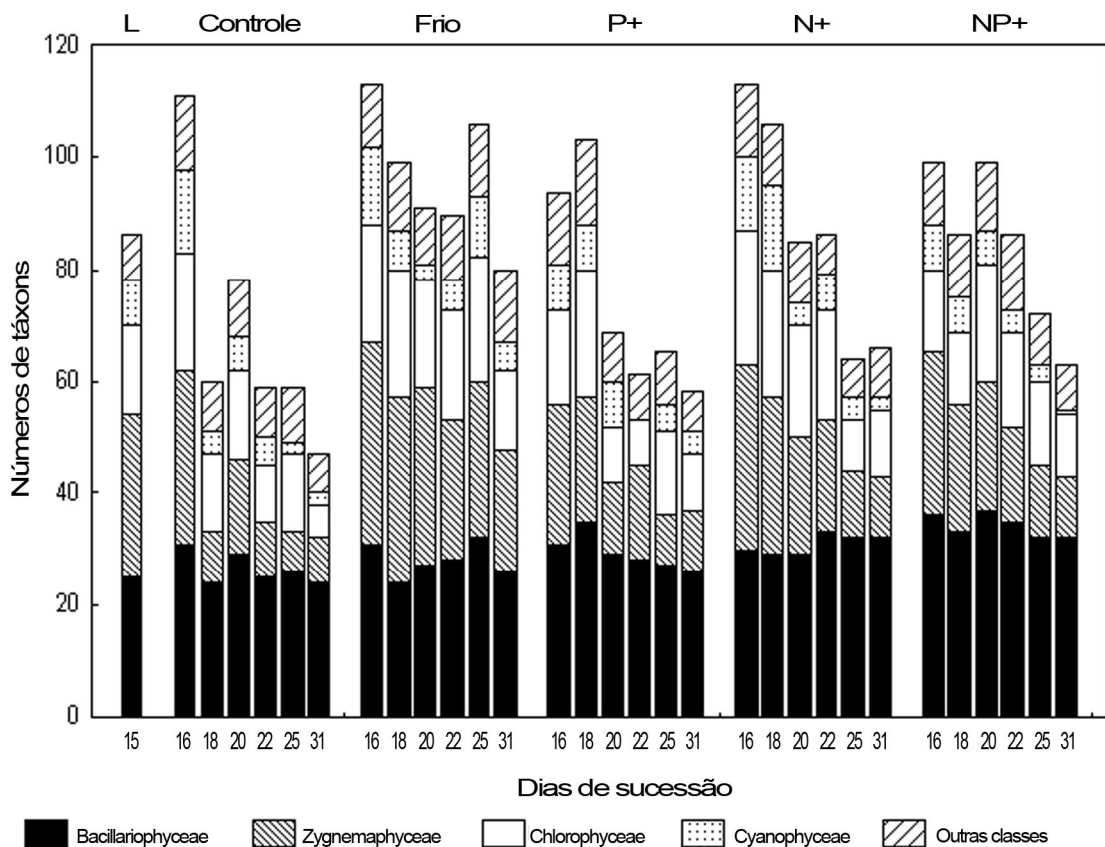


Figura 9. Número de espécies por classe de algas perifíticas na lagoa das Garças (L) e nos tratamentos controle, frio e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) durante os dias de sucessão.

Considerando-se as espécies exclusivas em cada tratamento, o maior número ocorreu no tratamento frio, com 22 espécies, sendo 15 delas de Zygnemaphyceae. No tratamento controle, 21 espécies foram exclusivas, sendo seis delas de Cyanophyceae

(Tabela 4). Nos tratamentos NP+ e P+ ocorreram poucas espécies exclusivas, apenas sete e nove espécies, respectivamente. No tratamento N+, 13 espécies foram exclusivas (Tabela 4).

Tabela 4. Espécies de algas perifíticas exclusivas de cada tratamento.

Tratamento	Espécies exclusivas
Controle	<i>Aphanothece</i> sp., <i>Chroococcus</i> sp.1, <i>Merismospedia punctata</i> , <i>Oscillartoria subbrevis</i> , <i>Pseudanabaena catenata</i> , <i>Spirulina princeps</i> , <i>Coelastrum proboscideum</i> , <i>Monoraphidium</i> sp., <i>Sorastrum americanum</i> , <i>Closterium navicula</i> , <i>Euastrum</i> sp.1, <i>Octacanthium mucronulatus</i> , <i>Staurastrum</i> sp.4, <i>Teilingia excavata</i> , <i>Trachelomonas</i> sp., <i>Trachelomonas</i> sp.1, <i>Characiopsis</i> sp., <i>Chloromonas</i> sp.1, <i>Achnanthes</i> sp., <i>Diploneis eliptica</i> e <i>Gyrosigma acuminatum</i> .
Frio	<i>Borzia trilocularis</i> , <i>Calotrix fusca</i> , <i>Merismopedia glauca</i> , <i>Quadrigula</i> cf. <i>lacustris</i> , <i>Closterium</i> sp.1, <i>Cosmarium baileyi</i> , <i>C. subcostatum</i> , <i>Cosmocladium</i> sp., <i>Desmidium</i> cf. <i>swartzii</i> , <i>Micrasterias abrupta</i> , <i>M. truncata</i> , <i>M. truncata</i> var. <i>pusilla</i> , <i>Mougeotia</i> sp., <i>Onychonema</i> sp., <i>Penium margaritaceum</i> , <i>Staurastrum exigum</i> , <i>S. forficulatum</i> , <i>S. subavicularia</i> , <i>Xanthidium</i> sp., <i>Euglena</i> sp., <i>Cyclotella meneghiniana</i> e <i>Gomphonema</i> sp.
P+	<i>Leptolyngbya</i> sp., <i>Planktolyngbya contorta</i> , <i>Tychonema</i> sp., <i>Characium</i> sp., <i>Cosmarium laeve</i> var. <i>westii</i> , <i>Cosmarium</i> sp.1, <i>Euastrum divergens</i> , <i>Staurodesmus</i> cf. <i>clepsydra</i> e <i>Xanthidium</i> sp.1.
N+	<i>Microcystis</i> sp., <i>Elakatothrix gelatinosa</i> , <i>Pediastrum argentinense</i> , <i>Cosmarium</i> cf. <i>pseduoxiguum</i> , <i>C. vexatum</i> , <i>Euastrum</i> sp., <i>Onychonema larvae</i> var. <i>retangulare</i> , <i>Staurastrum orbiculare</i> , <i>Staurastrum</i> sp., <i>Staurastrum</i> sp.2, <i>Cryptomonas</i> sp., <i>Chlamydomonas</i> sp.1 e <i>Amphora</i> sp.
NP+	<i>Coenococcus planctonicus</i> , <i>Pediastrum duplex</i> , <i>Cosmarium quadrum</i> , <i>Staurastrum leptacanthum</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Eunotia</i> cf. <i>sudetica</i> e <i>Sellaphora pupula</i> .

A distinção da comunidade perifítica entre os tratamentos é evidente através do dendrograma de similaridade (Figura 10). Inicialmente observa-se a separação da comunidade de algas perifíticas do tratamento controle de todos os demais tratamentos (nível de ligação de 47%).

Dentro dos demais tratamentos, houve formação de três subgrupos em nível de ligação de 58%, correspondente: (a) comunidades no tratamento frio, (b) comunidades nos tratamentos N+ e NP+ e (c) comunidades no tratamento P+.

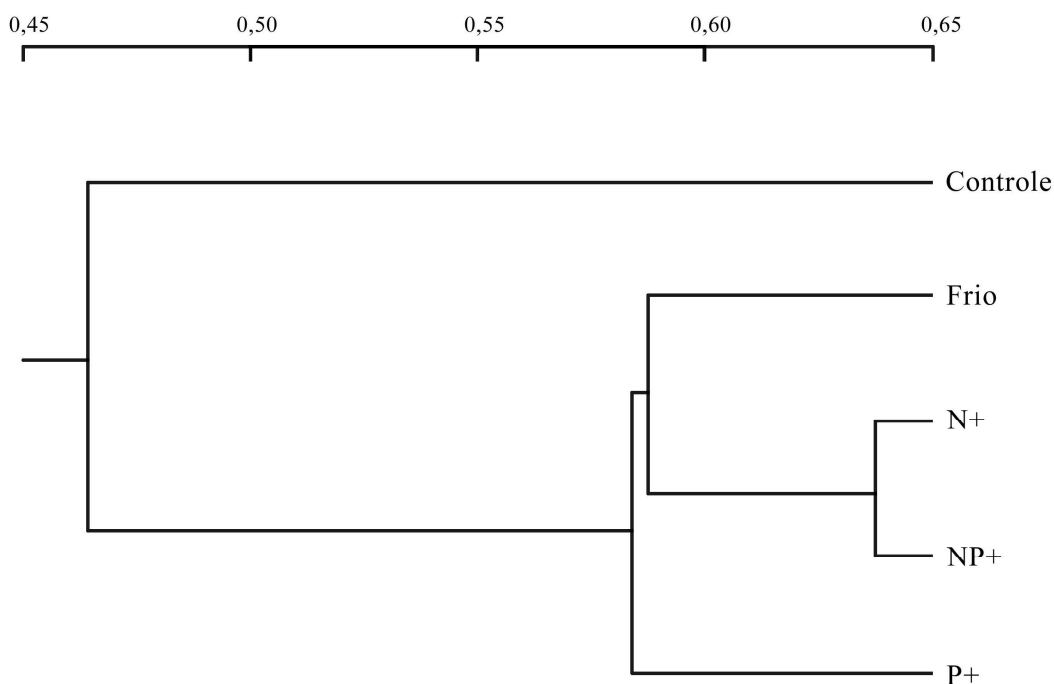


Figura 10. Dendrograma de similaridade entre as comunidades de algas perifíticas dos tratamentos controle, frio e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) (Teste de Mantel,  $r = 0,98$ ).

Analisando-se a comunidade de algas perifíticas ao longo da sucessão, a distinção da comunidade entre os tratamentos também é evidente através do dendrograma de similaridade (Figura 11). Inicialmente distinguiu-se a comunidade da lagoa das Garças (15° dia de sucessão) e do tratamento controle (16° dia de sucessão) dos demais tratamentos e dias de sucessão (nível de ligação de 38%). As comunidades do tratamento controle, do 18° ao 31° dia de sucessão, estiveram agrupadas (nível de ligação de 52%). As comunidades do tratamento frio ao longo da sucessão estiveram

agrupadas também (exceto o 20º dia). A comunidade do tratamento frio esteve mais próxima da comunidade do tratamento P+.

A similaridade da comunidade periférica esteve relacionada com o tratamento, principalmente, sendo que o dia sucessional também foi importante. Os 16º e 18º dias sucessionais dos tratamentos P+ e N+ ficaram separados dos demais dias de sucessão. O mesmo ocorreu no 20º dia, no tratamento frio (Figura 11).

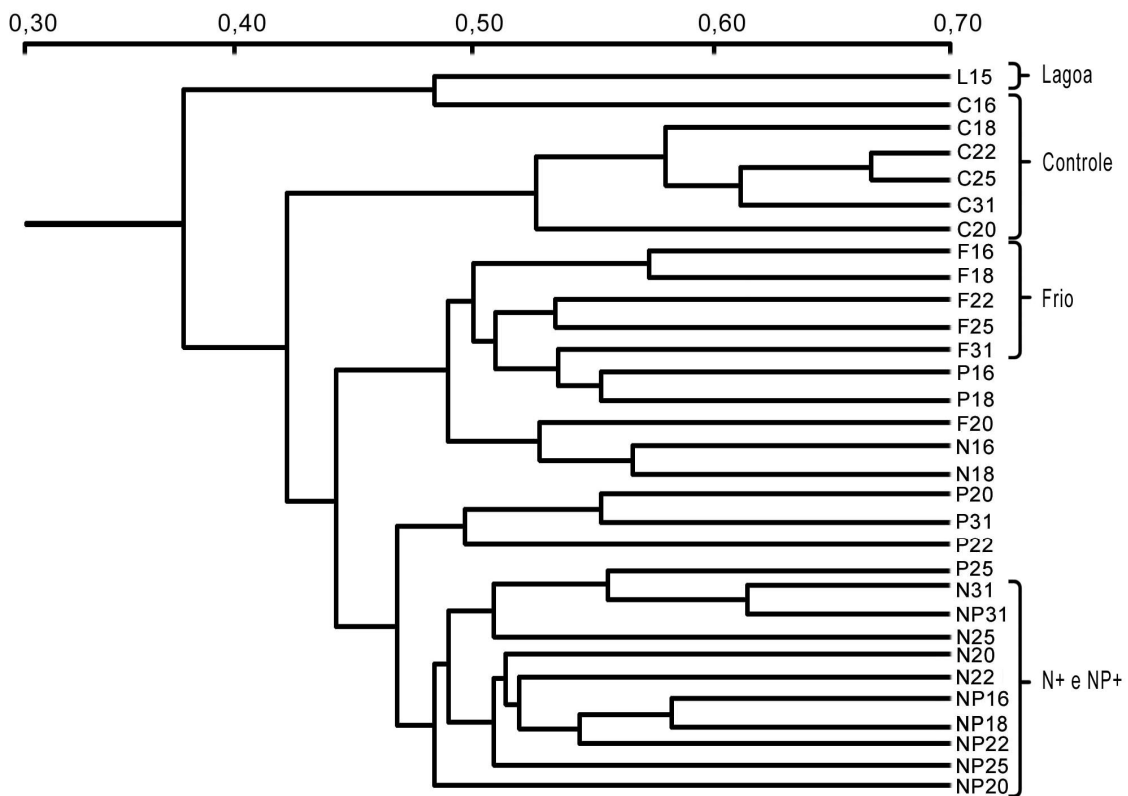


Figura 11. Dendrograma de similaridade entre as comunidades de algas perifíticas da lagoa das Garças (15º dia de sucessão) e dos tratamentos C (controle), P (adição de fósforo), N (adição de nitrogênio) e NP (adição de fósforo e nitrogênio), nos 16º, 18º, 20º, 22º, 25º e 31º dia de sucessão das algas. (Teste de Mantel,  $r = 0,75$ ).

## DISCUSSÃO

As algas perifíticas responderam sensivelmente, em termos de riqueza e composição de espécies, às alterações de temperatura e das concentrações de nutrientes impostas no presente experimento.

Pela ACP pode-se observar que os tratamentos foram distintos em relação às variáveis abióticas. Importante ressaltar que todos os dias de sucessão no controle permaneceram agrupados e separados dos demais tratamentos, contudo próximos da lagoa das Garças. Dessa forma, no experimento, as condições do tratamento controle permaneceram semelhantes ao do ambiente natural. A mudança na temperatura e a adição de nutrientes foram fatores mais correlacionados com os eixos da ACP, sendo assim responsáveis pela separação dos tratamentos, como era esperado no experimento.

As espécies respondem diferentemente aos efeitos da temperatura: positivamente, sensíveis a altas temperaturas ou com ampla faixa de variação à temperatura (Cox, 1993). Na planície de inundação, maior temperatura esteve relacionada com o maior desenvolvimento da biomassa perifítica (Rodrigues e Bicudo, 2004) e maior número de espécies de Cyanophyceae (Fonseca, 2004). No experimento realizado, o tratamento frio diferiu do controle quanto à riqueza e composição de espécies. No tratamento frio registrou-se maior riqueza, com 45 espécies a mais do que no controle e o maior número de espécies exclusivas.

No tratamento frio a riqueza manteve-se alta ao longo de todo o período sucessional. Uma temperatura mais baixa pode ter alterado o processo sucessional, favorecendo a permanência de mais espécies. Nos demais tratamentos, inclusive no controle, observou-se um decréscimo no número de táxons ao final da sucessão.

A riqueza e composição da comunidade de algas dos tratamentos com adição de nutrientes também diferiram do tratamento controle. Nos tratamentos de enriquecimento com nutrientes foi registrado um aumento na riqueza de espécies em relação ao controle. Esse resultado também foi obtido por Ferragut (2004) e Vercellino (2007).

Contudo, aumento na riqueza de espécies com adição de nutrientes não é um consenso. Em Luttenton e Lowe (2006), o substrato controle suportou maior número de espécies do que os tratamentos com enriquecimento de nutrientes com diferentes razões N:P. No estudo de Fermino (2006), a riqueza de espécies e de grandes grupos taxonômicos da comunidade de algas perifíticas não foi sensível às mudanças de



enriquecimento experimental, contudo, as associações de espécies foram influenciadas pela disponibilidade de fósforo.

No estudo de Ferragut (2004), a manipulação de nutrientes foi feita em reservatório urbano oligotrófico, também limitado por fósforo, e a maior riqueza foi registrada no tratamento com adição de P, seguido por NP e N. Contudo, no presente experimento, os tratamentos com adição de nitrogênio (N+ e NP+) apresentaram número de táxons maior do que no tratamento com adição de fósforo (P+) apenas.

Além da riqueza, a composição específica das comunidades dos tratamentos frio e com adição de nutrientes diferiram da do controle, como pode ser observado pelo dendrograma (nível de ligação de apenas 47%).

A riqueza de Bacillariophyceae esteve correlacionada positivamente com as concentrações de nitrogênio total. Em Tilman *et al.* (1986), as Bacillariophyceae foram dominantes em altas razões N:P e em todas as temperaturas estudadas. De fato, a riqueza de Bacillariophyceae foi mais alta nos tratamentos com adição de nitrogênio (NP+ e N+) do que no tratamento com adição de fósforo apenas. Esses dados levam a afirmar que Bacillariophyceae apresenta preferência à condições com elevadas concentrações de nitrogênio.

Algas verdes (Chlorophyceae) exibem uma distribuição ampla em termos de latitude e os tipos predominantes variam grandemente com as condições de nutrientes da água e as características físicas do corpo d'água. As taxas de crescimento ótimas desse grupo dependem da disponibilidade adequada de nutrientes (Haphey-Wood, 1988). No presente experimento, ocorreu um maior aumento na riqueza de Chlorophyceae no tratamento com adição de nitrogênio e fósforo, resultado também obtido em Ferragut (2004).

Em Haphey-Wood (1988), as densidades de três algas verdes foram maiores no tratamento com adição de nutrientes, entre elas de *Scenedesmus acuminatus*. No presente estudo, esta espécie esteve presente nos tratamentos frio, N+ e NP+ e ausente no controle.

A maioria dos táxons de Zygnemaphyceae é de habitat oligotrófico a mesotrófico, com condições baixas de nutrientes (Coesel, 1996). No experimento, a riqueza de Zygnemaphyceae esteve correlacionada negativamente com fósforo total e ortofosfato.

Em relação à temperatura, segundo Coesel e Wardennar (1990), espécies de Zygnemaphyceae apresentaram maior crescimento em temperaturas mais elevadas, com

o ótimo variando entre 25°C a 30° C. Em Felisberto e Rodrigues (2005a; 2005b) maior riqueza e densidade de desmídias foi devido possivelmente aos valores mais elevados de temperatura entre outros fatores como pH, condutividade e maior riqueza de macrófitas.

Apesar desses estudos relacionando uma maior abundância e riqueza de Zygnemaphyceae em temperaturas maiores, no presente experimento, a maior riqueza foi registrada no tratamento frio. A riqueza dessa classe pode ser devido ao fato da baixa temperatura ter alterado o processo sucessional, favorecendo a permanência de mais espécies, como foi discutido anteriormente. Contudo, mais estudos experimentais sobre a ecologia dessa classe em ambientes tropicais seriam necessários, levando-se em considerações variáveis, como pH, condutividade, alcalinidade entre outras.

Na planície, um maior número de espécies de Cyanophyceae foi encontrado em águas altas, sendo relacionado possivelmente as mais elevadas temperaturas da água, entrada de propágulos e baixas concentrações de fósforo (Fonseca, 2004). E em Huszar *et al.* (2000), a abundância relativa de Cyanophyceae demonstrou ser positivamente correlacionado com a temperatura. Contudo, no presente experimento, a riqueza foi maior no tratamento com a temperatura mais baixa. Mas em relação aos nutrientes, a riqueza de Cyanophyceae correlacionou-se negativamente com as concentrações de fósforo total e ortofosfato. Ressalta-se ainda, a alteração na composição das espécies dessas comunidades, com presença de espécies exclusivas em cada tratamento.

Conclui-se com este estudo que as algas perifíticas responderam sensivelmente, em termos de riqueza e composição de espécies à diminuição de temperatura e ao aumento das concentrações de nutrientes. A riqueza foi maior no tratamento frio do que no controle e a composição da comunidade de algas perifíticas nas diferentes temperaturas foi distinta. A riqueza de espécies foi favorecida nos tratamentos com adição de nutrientes, nessa ordem, N+, NP+ e P+. A composição específica das comunidades dos tratamentos com adição de nutrientes diferiu da comunidade do controle.

A perda de espécies presentes em ambientes oligotróficos representa uma mudança ecológica importante porque o perifíton constitui a fonte de hábitat e alimento para outras espécies, assim como desempenha um importante papel nos principais ciclos (MacCormick e Stevenson, 1998). Portanto, apesar da riqueza de algas perifíticas ter aumentado com a adição de nutrientes, é importante ressaltar a alteração da composição específica, com a ausência de espécies que só ocorreram no tratamento controle.

## REFERÊNCIAS

- ALGARTE, V.M. *et al.* Algas do perifíton de distintos ambientes na planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Sci.Biol.Sci.*, Maringá, v. 28, p. 243-251, 2006.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Morden approach to the classification system of Cyanophytes 3 – Oscillatoriales. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 80, p. 327-472, 1988.
- BARCELOS, E.M. *Avaliação do perifíton como sensor da oligotrofização experimental em reservatório eutrófico (Lago das Garças, São Paulo)*. 2003. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2003.
- BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil*. (Chave de identificação e descrições). São Carlos: RIMA, 2006, 489p.
- BORCHARDT, M.A. Nutrients. *In: STEVENSON, R.J. et al.* (eds). *Algal ecology; freshwater benthic ecosystems*. EUA: Academic Press, 1996, cap. 7, p. 184-227.
- BUTTERWICK, C. *et al.* Diversity in the influence of temperature on the growth rates of freshwater algae, and its ecological relevance. *Freshw.Biol.*, Oxford, v. 50, p. 291-300, 2005.
- CERRAO, G.C. *et al.* Efeito do enriquecimento artificial sobre a biomassa de perifíton em tanques artificiais na Represa do Lobo (Broa). *Rev.Brasil.Biol.*, Rio de Janeiro, v. 51, n. 1, p. 71-78, 1991.
- COESEL, P.F.M. Biogeography of desmids. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 336, p. 41-53, 1996.
- COESEL, P.F.M.; WARDENAAR, K. Growth responses of planktonic desmid species in a temperature – light gradient. *Freshw. Biol.*, Oxford, v. 23, p. 551-560, 1990.
- COX, E.J. Freshwater diatom ecology: developing an experimental approach as an aid to interpreting field data. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v.269/270, p. 447-452, 1993.
- CROASDALE, H.; FLINT, E.A. *Flora of New Zealand: Freshwater Algae, Chlorophyta, Desmids*. Wellington: Government Printer, 1986. 132p.
- CROASDALE, H.; FLINT, E.A. *Flora of New Zealand: Freshwater algae, Chlorophyta, Desmids*. Wellington: Government Printer, 1988. 147p.
- DeNICOLA, D.M.. Periphyton responses to temperature. *In: STEVENSON, R.J. et al.* (eds). *Algal ecology; freshwater benthic ecosystems*. EUA: Academic Press, 1996, cap. 6, p. 149-181.

- DILLARD, G.E. *Freshwater Algae of the Southeastern United States*. Part 3. Chrolophyceae: Zygnematales: Mesotaeniaceae and Desmidiaceae (Section 1). *Bibliotheca phycologica*, v. 85. Berlin: Cramer, 1990. 172p.
- DILLARD, G.E. *Freshwater Algae of the Southeastern United States*. Part 4. Chrolophyceae: Zygnematales: Desmidiaceae (Section 2). *Bibliotheca phycologica*, v. 89. Berlin: Cramer, 1991. 205p.
- ENGLE, D.L.; MELACK, J.M. Consequences of riverine flooding for seston and the perifhyton of floating meadows in a Amazon floodplain lake. *Limnol.Oceanogr.*, Waco, v.38, p. 1500-1520, 1993.
- FELISBERTO, S.A.; RODRIGUES, L. Influência do gradiente longitudinal (rio-barragem) na similaridade das comunidades de desmídias perifíticas. *Rev.Brasil. Bot.*, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 241-254, 2005a.
- FELISBERTO, S.A.; RODRIGUES, L. Abundance of periphytic desmids in two Brazilian reservoirs with distinct environmental conditions. *Acta Limnol. Bras.*, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 433-443, 2005b.
- FERMINO, F.S. *Avaliação sazonal dos efeitos de enriquecimento por N e P sobre o perifíton em represa tropical rasa mesotrófica (lago das Ninféias, São Paulo)*. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2006.
- FERRAGUT, C. *Efeito do enriquecimento por nitrogênio e fósforo sobre a colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas: biomanipulação em reservatório raso oligotrófico em São Paulo*. 1999. (Mestrado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 1999.
- FERRAGUT, C. *Respostas das algas perifíticas e planctônicas à manipulação de nutrientes (N e P) em reservatório urbano (Lago do IAG, São Paulo)*. 2004. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2004.
- FONSECA, I. *Comunidade perifítica, com ênfase para cianobactérias, em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná*. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Maringá, PR, 2004.
- FÖRSTER, K. Conjugatophyceae: Zygnematales und Desmidiales (excl. Zygnemataceae). In: HUBER-PESTALOZZI, G. (ed). *Das Phytoplankton des Süßwassers: Systematik und Biologie*. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1982. 543p.

- HAPPEY-WOOD, C.M. Ecology of Freshwater Planktonic Green Algae. In: SANDGREEN, C.D. (ed). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988, cap. 5, p. 175-226.
- HAVENS, K.E. *et al.* Phytoplankton and periphyton responses to *in situ* experimental nutrient enrichment in a shallow subtropical lake. *J. Plankton Res.*, New York, v. 18, n. 4, p. 551-566, 1996.
- HAVENS, K.E.H. *et al.* Littoral periphyton responses to nitrogen and phosphorus: an experimental study in a subtropical lake. *Aquat. Bot.*, Amsterdam, v. 63, p. 267-290, 1999.
- HILLEBRAND, H.; KAHLERT, M.. Effect of grazing and nutrient supply on periphyton biomass and nutrient stoichiometry in habitats of different productivity. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 46, n. 8, p. 1881-1898, 2001.
- HUSZAR, V.L.M. *et al.* Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian water. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 424, p. 67-77, 2000.
- HUSZAR, V.L.M. *et al.* Subsídios para compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e do perifíton em ecossistemas continentais lênticos do Brasil. In: ROLAND; F.D. *et al.* (eds). *Lições de Limnologia*. São Carlos: RiMa, 2005, p. 243-260.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 2 – Chroococcales. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 73, p. 157-226, 1986.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 4 – Nostocales. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 82, p. 247-345, 1989.
- KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Naviculaceae. In: Ettl, H.; *et al.* (eds.). *Süßwasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (1). Stuttgart: Gustav Fischer, 1986. 876 p.
- KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H. *et al.* (eds.). *Süßwasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (2/2). Stuttgart: Gustav Fischer, 1988. 596 p.
- KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H. *et al.* (eds.). *Süßwasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (3). Stuttgart: Gustav Fischer, 1991. 576 p.
- LEANDRINI, J.A. Perifíton – Diatomáceas e biomassa- em sistemas semilóticos da planície de inundação do alto rio Paraná. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Maringá, PR, 2006.

- LOWE, R.L. E PAN, Y. Benthic algal communities as biological monitors. *In: STEVENSON, R.J. et al. (eds). Algal ecology; freshwater benthic ecosystems.* EUA: Academic Press, 1996, cap. 22, p.705-739.
- LUTTENTON, M.R., LOWE, R.L. Response of a lentic periphyton community to nutrient enrichment at low N:P ratios. *J.Phycol.*, California, v. 42, p. 1007-1015, 2006.
- MACKERETH, F.Y.H. *et al. Water analysis: some revised methods for limnologists.* Freshwater Biological Association, 1978.
- McCORMICK, P.V.; STEVENSON, R.J. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida everglades. *J. Phycol.*, California, v. 34, p. 726-733, 1998.
- McCORMICK, P.V.; O'DELL, M.B. Quantifying periphyton responses to phosphorus in the Florida Everglades: a synoptic-experimental approach. *J.N.Am.Benthol.Soc.*, Wolfville, v. 15, n. 4, 450-468, 1996.
- McCUNE, B.; MEFFORD, M.J. *Multivariate analysis of ecological data.* Version 4.0. Oregon: MjM Software, 1999.
- MENDES, R.S., BARBOSA, F.A.R. Efeito do enriquecimento in situ sobre a biomassa da comunidade perifítica de um córrego de altitude na Serra do Cipó (M.G.). *Acta Limnol.Bras.*, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 77-86, 2002.
- PATRICK, R.; REIMER, C.W. *The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii.* Monography n.13, v. 1, pt.1. Philadelphia: Livingstgon Company, 1966. 688 p.
- PATRICK, R. E REIMER, C.W. *The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii.* Monography n.13, v. 2, pt.1. Philadelphia: Livingstgon Company, 1975. 213 p.
- PRESCOTT, G.W. *Algae of the western great lakes area.* Koenigstein/W-Germany: Otto Koeltz Science Publishers, 1982. 977p.
- PRESCOTT, G.W. *et al.* A Synophysis of North American Desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 3. *In: PRESCOTT, G.W. (ed.). Desmidiales.* Lincoln: University Nebraska Press, 1981. 720p.
- PRESCOTT, G.W. *et al.* A Synophysis of North American Desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 4. *In: PRESCOTT, G.W. (ed.). Desmidiales.* Lincoln: University Nebraska Press, 1982. 698p.

- RODRIGUES, L.; BICUDO, D.C. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Rev.Brasil.Bot.*, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 235-248, 2001.
- RODRIGUES, L.; BICUDO, D.C. Periphytic algae. In: THOMAZ, S.M. *et al.* (eds) *The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*. The Netherlands: Backhuys Publishers, 2004, cap. 6, p.125-143.
- RODRIGUES, L. *et al.*. O papel do perifíton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais In: THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: EDUEM, 2003, cap. 10, p. 211-230.
- ROSEMOND, A.D. *et al.*. Top-Down and bottom-up control of stream periphyton: effects of nutrients and herbivores. *Ecology*, Washington, v. 74, n. 4, p. 1264-1280, 1993.
- ROUND, F.E. *The biology of algae*. London: Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1965. 269p.
- ROUND, F.E. The taxonomy of the Chlorophyta, 2. *Br. Phycol. J.*, Oxford , v. 6, n. 2, p. 235-264, 1971.
- SAND-JENSEN, K. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. In: Wetzel, R.G. (ed). *Periphyton of freshwater ecosystem*. The Netherlands: Dr. W. Junk Publishers, 1983, 63-71p.
- SLÁDECKOVÁ, A. Limnological investigation methods for the periphyton (“aufwuchs”) community. *Bot. Rev.*, New York, v. 28, n. 2, p. 286-350, 1962.
- STATSOFT, InC. *Statistica (data analysis software system)*. Version 7.1. www.statsoft.com. 2005.
- STELZER, R.S.;LAMBERTI, G.A. Effects of N:P ratio and total nutrient concentration on stream periphyton community structure, biomass, and elemental composition. *Limnol.Oceanogr.*, Waco, v. 46, n. 2, p. 356-367, 2001.
- STEVENSON, R.J. *et al.* (eds). *Algal ecology; freshwater benthic ecosystems*. EUA: Academic Press, 1996. 753p.
- SUZUKI, M.S. *Mudanças na estrutura e sucessão das comunidades fitoplanctônicas e perifíticas da lagoa do Infernã (SP), causadas pelo processo de enriquecimento artificial*. 1991. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1991.

TILMAN, D. *et al.* Green, bluegreen and diatom algae: Taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 106, n.4, p. 473-485, 1986.

VERCELLINO, I. S. *Respostas do perifíton aos pulsos de enriquecimento em níveis crescentes de fósforo e nitrogênio em represa tropical mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo)*. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2007.

WETZEL, R.G. *Periphyton of freshwater ecosystems*. Boston: The Hague, 1983. 345p.

ZAGATTO, E.A.G. *et al.* *Manual de análises de plantas empregando sistemas de injeção de fluxo*. Piracicaba: Universidade de São Paulo-ESALQ, 1981.



Anexo 1. Ocorrência dos táxons de algas perifíticas na lagoa das Garças (L) e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) durante o período experimental.

	L	C	F	P+	N+	NP+
<b>CYANOPHYCEAE</b>						
<i>Anabaena cylindrica</i> Rab.		X	X			
<i>Anabaena sphaerica</i> Born. et Flah.						X
<i>Aphanocapsa elachista</i> W. West & G.S. West			X	X	X	X
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>planctonica</i> (Smith) Kom. & Anag.			X	X	X	
<i>Aphanothece</i> sp.		X				
<i>Borzia trilocularis</i> Cohn ex Gom.			X			
<i>Calothrix brevissima</i> G.S. West		X	X	X	X	X
<i>Calothrix fusca</i> Born. et Flah.			X			
<i>Chroococcus minutus</i> (Kütz.) Näeg.		X	X	X	X	X
<i>Chroococcus</i> sp.		X				
<i>Chroococcus</i> sp.1	X	X		X		
<i>Geitlerinema amphibium</i> (Agardh) Anag.			X	X	X	X
<i>Geitlerinema splendidum</i> (Grev.) Anag.		X			X	
<i>Hapalosiphon arboreus</i> W. & G.S. West						X
<i>Jaagnema quadripunctulatum</i> (Bruhl. et Biswas.) Anag. & Kom.		X		X		
<i>Leptolyngbya perelegans</i> (Lemm.) Anag. & Kom.			X	X		
<i>Leptolyngbya subtilis</i> (W. West) Anag.	X	X	X	X	X	X
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>tenuis</i> (Gom.) Anag. & Kom.	X		X	X	X	X
<i>Leptolyngbya</i> sp.				X		
<i>Leptolyngbya</i> sp.1			X	X	X	X
<i>Leptolyngbya</i> sp.2			X			
<i>Leptolyngbya</i> sp.3			X	X		
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehr.) Kütz			X			
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen	X	X				
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemm.		X	X		X	
<i>Microcystis</i> sp.					X	
<i>Nostoc</i> sp.	X		X		X	
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>annae</i> van Goor		X			X	
<i>Oscillatoria limosa</i> Ag.		X	X	X	X	X
<i>Oscillatoria subbrevis</i> Schm.		X				
<i>Phormidium</i> sp.					X	
<i>Planktolyngbya contorta</i> (Lemm.) Anag. & Kom.				X		
<i>Porphyrosiphon martensianus</i> (Men. ex Gom.) Anag. & Kom.	X	X	X	X	X	X
<i>Pseudanabaena biceps</i> Böcher					X	
<i>Pseudanabaena catenata</i> Laut.	X	X				
<i>Spirulina princeps</i> W. West & G.S. West		X				
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauv.			X	X	X	X
<i>Tychonema</i> sp.				X		
<i>Woronichinia naegliana</i> (Unger) Elenkin	X	X	X			
<b>CLAMYDOPHYCEAE</b>						
<i>Chlamydomonas</i> sp.		X				X
<i>Chlamydomonas</i> sp.1					X	
<i>Chlamydomonas</i> sp.2		X	X	X	X	X
<i>Chloromonas</i> sp.		X	X	X	X	X
<i>Chloromonas</i> sp.1		X				
<i>Chloromonas</i> sp.2			X	X	X	
<b>CHLOROPHYCEAE</b>						
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	X	X	X	X	X	X
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda		X	X	X	X	X
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (Turn.) Lemm.	X	X	X	X	X	X

	L	C	F	P+	N+	NP+
<i>Aphanochaete repens</i> Braun	X		X		X	
<i>Chaetosphaeridium globosum</i> (Nordst.) Kleb.	X	X	X	X	X	X
<i>Characiellopsis skujae</i> (Fott.) Kom.		X	X	X	X	X
<i>Characium</i> cf. <i>obtusum</i> Braun.					X	X
<i>Characium ornithocephalum</i> Braun		X				X
<i>Characium ornithocephalum</i> (Braun) var. <i>harpochytriiforme</i> Prin.						X
<i>Characium rostratum</i> Rein.		X	X	X	X	X
<i>Characium</i> sp.				X		
<i>Characium</i> sp.1	X					
<i>Coelastrum cambricum</i> Archer	X	X		X		X
<i>Coelastrum proboscideum</i> Bohl.		X				
<i>Coenococcus planctonicus</i> Kors.						X
<i>Coleochaete irregularis</i> Prings.		X	X			
<i>Coleochaete orbicularis</i> Prings.		X	X	X	X	X
<i>Desmodesmus armatus</i> (Chod.) Hegew.		X	X		X	
<i>Desmodesmus bicaudatus</i> (Deduss.)				X	X	
<i>Desmodesmus brevispina</i> (Smith) Chod.				X	X	X
<i>Desmodesmus denticulatus</i> (Lagerh.) Friedl & Hegew.	X	X	X	X	X	X
<i>Desmodesmus denticulatus</i> (Lagerh.) Friedl & Hegew. var. <i>linearis</i> (Hansg.) Hegew.			X	X	X	X
<i>Desmodesmus quadricauda</i> (Turp.) Hegew.	X	X	X	X	X	X
<i>Desmodesmus serratus</i> (Corda) Friedl & Hegew.		X	X	X	X	
<i>Desmodesmus spinosus</i> (Chod.) Hegew.			X	X		X
<i>Dictyosphaerium</i> sp.		X	X		X	X
<i>Dimorphococcus lunatus</i> Braun	X	X	X		X	X
<i>Draparnaldia</i> cf. <i>mutabilis</i> (Roth) Bory.	X	X	X	X	X	X
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille					X	
<i>Golenkinia paucispina</i> W. West & G.S.West			X	X	X	X
<i>Golenkinia</i> sp.			X	X		X
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirch.)		X	X		X	X
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berk.) Jom.-Legn.			X		X	
<i>Monoraphidium minutum</i> (Näg.) Kom.-Legn.				X	X	X
<i>Monoraphidium</i> sp.		X				
<i>Nephrocytium lunatum</i> W. West				X	X	
<i>Oocystis solitaria</i> Wittrock	X	X	X	X	X	X
<i>Pediastrum argentiniense</i> Bourr. & Tell					X	
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	X					X
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehr.) Ralfs	X	X	X	X	X	X
<i>Quadrigula</i> cf. <i>lacustris</i> (Chod.) Smith			X			
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh.) Chod.			X		X	X
<i>Scenedesmus acutus</i> (Meyen) Chod.		X		X		
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turp.) Kütz.		X	X	X	X	X
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehr.) Chod.			X	X	X	X
<i>Selenastrum gracile</i> (Rein.)			X	X	X	X
<i>Sorastrum americanum</i> (Bohlin) Schm.		X				
<i>Sphaerocystis</i> sp.	X	X	X	X	X	X
<i>Stichococcus</i> sp.					X	X
<i>Stigeoclonium</i> sp.	X	X	X	X	X	X
<i>Tetraëdron caudatum</i> (Corda) Hans.		X	X			
<i>Tetraëdron minimum</i> (Braun) Hans.	X	X	X	X	X	X
<i>Tetraëdron</i> sp.						X
<i>Tetraëdron</i> sp.1			X		X	X
<i>Ulothrix aequalis</i> Kütz.				X		X
<i>Ulothrix subtilissima</i> Rab.			X		X	X
<i>Uronema</i> sp.			X	X	X	

	L	C	F	P+	N+	NP+
<b>ZYGNEMAPHYCEAE</b>						
<i>Actinotaenium globosum</i> (Bulnh.) Teil.		X	X	X	X	X
<i>Actinotaenium</i> sp.					X	X
<i>Closterium navicula</i> (Bréb.) Lütke.		X				
<i>Closterium</i> cf. <i>parvulum</i> Näg.	X					
<i>Closterium</i> sp.			X		X	
<i>Closterium</i> sp.1			X			
<i>Cosmarium abbreviatum</i> Racib.	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium baileyi</i> Wolle			X			
<i>Cosmarium blyttii</i> Wille		X				X
<i>Cosmarium contractum</i> Kirch.	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium excavatum</i> Nordst.						X
<i>Cosmarium exiguum</i> Archer			X		X	X
<i>Cosmarium granatum</i> Bréb. ex Ralfs		X	X	X	X	X
<i>Cosmarium impressulum</i> Efv.		X	X	X	X	
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenh.		X	X	X	X	X
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenh. var. <i>westii</i> Krieg. & Gerl.				X		
<i>Cosmarium minimum</i> W. West & G.S. West	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium moerlianus</i> Lütke.	X	X	X	X		X
<i>Cosmarium norimbergense</i> Reinsch.	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium phaseolus</i> Bréb. ex Ralfs		X	X	X	X	X
<i>Cosmarium protractum</i> (Näg.) de Barry			X		X	X
<i>Cosmarium pseudobroomei</i> Wolle		X	X	X	X	X
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i> Nordst.			X			X
<i>Cosmarium</i> cf. <i>pseudoexiguum</i> Racib.					X	
<i>Cosmarium pseudopyramidatum</i> Lund.	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium punctulatum</i> Bréb.	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium pyramidatum</i> Bréb. (Ralfs.)				X		X
<i>Cosmarium quadrum</i> Lund.						X
<i>Cosmarium quadrum</i> Lund. var. <i>minus</i> Nordst.			X	X	X	X
<i>Cosmarium regnelii</i> Wille				X	X	X
<i>Cosmarium regnesii</i> Reinsch.	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium reniforme</i> (Ralfs) Arch.	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium sexnotatum</i> Gütowski	X	X	X			
<i>Cosmarium subcostatum</i> Nordst.			X			
<i>Cosmarium sublobatum</i> (Bréb.) Archer		X	X	X	X	X
<i>Cosmarium sublobatum</i> (Bréb.) Archer var. <i>brasiliense</i> Borge			X	X		
<i>Cosmarium subtumidum</i> Nordst.	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium trilobulatum</i> Reinsch				X	X	X
<i>Cosmarium vexatum</i> West	X				X	
<i>Cosmarium</i> sp.	X	X	X		X	X
<i>Cosmarium</i> sp.1				X		
<i>Cosmocladium</i> sp.			X			
<i>Desmidium baileyi</i> (Ralfs) Nordst.			X		X	
<i>Desmidium</i> cf. <i>swartzii</i> Agardh	X		X			
<i>Euastrum abruptum</i> Nordst.		X		X	X	X
<i>Euastrum denticulatum</i> (Kirchn.) Gay		X	X		X	X
<i>Euastrum divergens</i> Joshua				X		
<i>Euastrum evolutum</i> (Nordst.) West & G.S. West			X		X	
<i>Euastrum reticulatum</i> Fretsch & Rich			X	X	X	X
<i>Euastrum</i> sp.					X	
<i>Euastrum</i> sp. 1	X	X				
<i>Gonatozygon aculeatum</i> Hast.			X		X	
<i>Gonatozygon pilosum</i> Wolle			X		X	X
<i>Hyalotheca dissiliens</i> (Smith) Bréb. ex Ralfs			X	X	X	

	L	C	F	P+	N+	NP+
<i>Micrasterias abrupta</i> West & G.S. West			X			
<i>Micrasterias truncata</i> (Corda) Bréb. ex Ralfs			X			
<i>Micrasterias truncata</i> (Corda) Bréb. ex Ralfs var. <i>pusilla</i> G.S. West			X			
<i>Mougeotia</i> sp.	X		X			
<i>Mougeotia</i> sp.1			X	X		
<i>Octacanthium mucronulatus</i> (Nordst.) Comp.		X				
<i>Onychonema filiforme</i> Schm.			X	X		
<i>Onychonema laeve</i> Nordst.	X	X				X
<i>Onychonema laeve</i> Nordst. var. <i>retangulare</i> Grönbland					X	
<i>Onychonema</i> sp.			X			
<i>Penium margaritaceum</i> (Ehr.) ex Bréb.			X			
<i>Spirogyra</i> sp.					X	X
<i>Spirogyra</i> sp.1		X			X	
<i>Spirogyra</i> sp.2		X	X	X	X	X
<i>Spirogyra</i> sp.3			X		X	X
<i>Spondylosium panduriforme</i> (Heimerl) Teil.			X			X
<i>Spondylosium planum</i> (Wolle) West & G.S. West		X	X	X		
<i>Staurastrum alternans</i> Bréb.			X		X	
<i>Staurastrum ambiguum</i> Turner	X	X	X	X	X	X
<i>Staurastrum bieneanum</i> Rabenh.			X	X	X	X
<i>Staurastrum claviferum</i> West & G.S. West		X			X	
<i>Staurastrum cyclacanthum</i> West & G.S. West	X	X	X	X		
<i>Staurastrum dilatatum</i> (Ehr.) Ralfs	X	X	X		X	
<i>Staurastrum disputatum</i> West & G.S. West	X		X	X	X	X
<i>Staurastrum exiguum</i> Wolle			X			
<i>Staurastrum forficulatum</i> Lund.			X			
<i>Staurastrum leptacanthum</i> Nordst.						X
<i>Staurastrum leptocladum</i> Nordst.			X			X
<i>Staurastrum leptocladum</i> Nordst. var. <i>cornutum</i> Wille			X			X
<i>Staurastrum</i> cf. <i>minesotense</i> Wolle	X					
<i>Staurastrum orbiculare</i> (Ehr.) Ralfs					X	
<i>Staurastrum quadrangulare</i> Bréb. ex Ralfs	X		X	X		X
<i>Staurastrum setigerum</i> Cleve			X	X	X	X
<i>Staurastrum subavicula</i> West & G.S. West			X			
<i>Staurastrum tetracerum</i> (Kütz.) Ralfs	X	X	X	X	X	X
<i>Staurastrum</i> sp.					X	
<i>Staurastrum</i> sp.1					X	X
<i>Staurastrum</i> sp.2					X	
<i>Staurastrum</i> sp.3	X					
<i>Staurastrum</i> sp.4		X				
<i>Staurodesmus</i> cf. <i>clepsydra</i> (Nordst.) Teil.				X		
<i>Staurodesmus corniculatus</i> (Lund.) Teil.	X	X	X		X	
<i>Staurodesmus cuspidatus</i> (Bréb. ex Ralfs)	X		X	X	X	
<i>Staurodesmus dickieii</i> (Ralfs) S. Lill.	X		X	X		X
<i>Teilingia excavata</i> (Ralfs) Bourr.		X				
<i>Xanthidium</i> sp.			X			
<i>Xanthidium</i> sp.1				X		
<i>Zygnema</i> sp.			X		X	
<i>Zygnema</i> sp.1			X		X	X
<b>OEDOGONIOPHYCEAE</b>						
<i>Bulbochaete</i> sp.		X	X	X	X	X
<i>Bulbochaete</i> sp.1		X	X	X	X	X
<i>Oedogonium</i> sp.	X					
<i>Oedogonium</i> sp.1	X	X	X	X	X	X
<i>Oedogonium</i> sp.2	X	X	X	X	X	X

	<b>L</b>	<b>C</b>	<b>F</b>	<b>P+</b>	<b>N+</b>	<b>NP+</b>
<i>Oedogonium</i> sp.3	X	X	X	X	X	X
<i>Oedogonium</i> sp.4			X	X		
<b>EUGLENOPHYCEAE</b>						
<i>Euglena</i> sp.			X			
<i>Euglena</i> sp.1		X			X	X
<i>Phacus</i> sp.			X			X
<i>Strombomonas</i> sp.				X	X	
<i>Trachelomonas</i> sp.		X				
<i>Trachelomonas</i> sp.1		X				
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>						
<i>Cryptomonas</i> sp.					X	
<b>XANTHOPHYCEAE</b>						
<i>Characiopsis acuta</i> (Braun) Borzi	X	X	X	X	X	X
<i>Characiopsis anabaenae</i> Pascher		X	X	X		X
<i>Characiopsis longipes</i> (Rab.) Borzi		X	X	X	X	X
<i>Characiopsis pyriformes</i> (Braun) Borzi	X	X	X	X	X	X
<i>Characiopsis</i> sp.		X				
<i>Peroniella planctonica</i> Smith		X	X		X	X
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>						
<i>Lagynion ampullaceum</i> (Stokes) Pascher				X		X
<i>Lagynion macrotrachellum</i> (Stokes) Pascher	X		X		X	X
<i>Mallomonas</i> sp.	X	X	X	X	X	X
<i>Mallomonas</i> sp.1		X	X	X	X	X
<i>Mallomonas</i> sp.2			X	X	X	X
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>						
<i>Achnanthes</i> sp.		X				
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kütz.) Czarn.	X	X	X	X	X	X
<i>Amphora</i> sp.					X	
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim.						X
<i>Capartogramma crucicula</i> (Grun. & Cleve)				X	X	
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.			X	X	X	X
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.			X			
<i>Cyclotella</i> sp.			X	X	X	X
<i>Cymbella affinis</i> Kütz.	X	X	X			
<i>Cymbella gracilis</i> (Ehr.) Kütz.		X	X	X	X	X
<i>Diploneis elliptica</i> (Kütz.) Cleve		X				
<i>Encyonema mesianum</i> (Chol.) Mann	X	X	X	X	X	X
<i>Encyonema minutum</i> (Hil.) Mann	X	X	X	X	X	X
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleis.) Mann	X	X	X	X	X	X
<i>Eunotia camelus</i> Ehr.	X	X	X	X	X	X
<i>Eunotia flexuosa</i> Bréb.			X	X	X	X
<i>Eunotia minor</i> (Kütz.) Grun.		X	X	X	X	X
<i>Eunotia pectinalis</i> (Dillw.) Rab.	X	X	X	X	X	X
<i>Eunotia</i> cf. <i>sudetica</i> O. Müll.						X
<i>Eunotia</i> sp.		X		X	X	X
<i>Fragilaria capucina</i> Desm.	X	X	X	X	X	X
<i>Fragilaria</i> sp.	X	X	X	X	X	X
<i>Fragilaria</i> sp.1			X	X	X	X
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni		X				X
<i>Gomphocymbella</i> sp.		X	X	X	X	X

	L	C	F	P+	N+	NP+
<i>Gomphonema affine</i> Kütz.	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema augur</i> Ehr.	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema augur</i> Ehr. var. <i>turris</i> Lang.-Bert.	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema brasiliense</i> Grun.	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema gracile</i> Ehr.	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema parvulum</i> Kütz.	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema pseudoaugur</i> Lang.-Bert.	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema subtile</i> Ehr.	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehr.		X	X	X	X	X
<i>Gomphonema</i> sp.			X			
<i>Gomphonema</i> sp.1					X	X
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rab.	X	X				
<i>Melosira varians</i> Agardh				X		X
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	X	X	X	X	X	X
<i>Navicula</i> sp.		X	X	X	X	X
<i>Navicula</i> sp.1					X	X
<i>Nitzschia amphibia</i> Grun.	X	X	X	X	X	X
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) Smith	X	X	X	X	X	X
<i>Nitzschia filiformes</i> (Smith) V. Heurck		X	X	X	X	X
<i>Nitzschia sigma</i> (Kütz.) Smith		X	X	X	X	X
<i>Nitzschia</i> sp.			X	X	X	X
<i>Nitzschia</i> sp.1					X	X
<i>Nitzschia</i> sp.2					X	X
<i>Pinnularia braunii</i> Grun.		X	X	X	X	X
<i>Pinnularia</i> sp.	X		X	X	X	X
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehr.) O. Müll.	X	X	X	X		
<i>Sellaphora pupula</i> Kütz.	X					X
<i>Synedra goulardii</i> Bréb.		X	X	X	X	X
<i>Synedra</i> sp.		X	X			
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitz.) Comp.	X	X	X	X	X	X

## Capítulo 02

### RESPOSTA DAS DIATOMÁCEAS (BACILLARIOPHYCEAE) PERIFÍTICAS ÀS ALTERAÇÕES DE TEMPERATURA E AO ENRIQUECIMENTO ARTIFICIAL DE NUTRIENTES

**RESUMO.** Este estudo visou avaliar, em um experimento em mesocosmos, a resposta das diatomáceas perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes. O delineamento experimental constituiu de cinco tratamentos: controle (C) e adição de nutrientes (P+, N+ e NP+) a 25°C, e frio (F) com diminuição da temperatura a 15°C e sem adição de nutrientes. Lâminas de vidro foram utilizadas para colonização das algas perifíticas e as amostragens foram feitas entre o 15º ao 31º dia de sucessão. As diatomáceas foram predominantes representando acima de 84% da densidade total de algas perifíticas em todo o experimento. As diatomáceas responderam às alterações de temperatura, ocorrendo diminuição da densidade relativa de alguns gêneros na temperatura mais baixa. Contudo, a densidade geral foi próxima ao do controle. A densidade total das diatomáceas foi menor nos tratamentos com adição de nutrientes do que no controle, podendo ser devido principalmente à resposta do complexo *A. minutissimum* que foi dominante e apresentou maiores densidades no controle e frio. Em geral, as densidades relativas foram maiores nos tratamentos com adição de nitrogênio, tratamentos N+ e NP+, exceto para os gêneros *Achnanthydium* e *Cymbella*. Importante ressaltar que a resposta das diatomáceas depende das espécies presentes no ambiente, pois como foi possível observar na Análise de Correspondência Canônica, ocorreu uma separação clara de espécies perante às adições de P, N e NP. Cada tratamento apresentou uma estrutura específica de composição e densidade de diatomáceas.

**Palavras chaves:** diatomáceas, perifíton, enriquecimento artificial, temperatura, planície de inundação.

**Abstract. Response of the Periphytic Diatoms (Bacillariophyceae) to the Alteration of Temperature and Artificial Nutrient Enrichment.** This study set out to evaluate, via a mesocosm experiment, the response of the periphytic diatoms to the alteration of temperature and artificial nutrient enrichment. The experiment was designed using 5 treatments: a control (C), added nutrients (P+, N+, NP+) at 25°C, and at 15°C without added nutrients. Glass slides were used for the periphytic algae colonization, and the samples were taken on the 15th and 31st days following colonization. The diatoms were predominant, representing over 84% of the total periphytic algae density in the experiment. They responded to alterations in temperature, with a decrease in relative density of some genera at the lowest temperatures. Nevertheless, the general density was close to that of the control. The total density of diatoms was lower in the treatments with additional nutrients than in the control, possibly entirely due to the response of the *A. minutissimum* complex, which was dominant, and showed greater densities both in the control group, and the cool treatment. In general, the relative densities were higher in the treatments with the addition of nitrogen (N+ and NP+), except in the *Achnanthydium* and *Cymbella* genera. It is important to emphasize that the diatom response depends on the species present in the environment, as there was a clear separation of species to the additions of P, N and NP observed in the Canonical Correspondence Analysis. Each treatment showed specific diatom composition and densities.

**Key words:** diatom, periphyton, artificial enrichment, temperature, floodplain.

## INTRODUÇÃO

A maioria das algas bênticas em águas continentais são diatomáceas, cianofíceas, clorofíceas ou algas vermelhas (Stevenson, 1996). As diatomáceas são unicelulares ou coloniais, amplamente distribuídas, apresentam mais de 250 gêneros com cerca de 1000.000 espécies e as especificamente bentônicas pertencem, na maioria, ao grupo das penadas (Ordem Pennales) (Hoeck *et al.*, 1995).

As diatomáceas apresentam características que conferem vantagens no uso como indicadores de qualidade da água, como: a ampla ocorrência; presença de espécies muito sensíveis às mudanças ambientais e outras muito tolerantes; resposta às mudanças ambientais em curto e longo prazo; facilidade de coleta de grandes quantidades em superfícies pequenas e com relativa rapidez; a preservação do material para análise, além da grande quantidade de informações sobre a ecologia das diatomáceas (Lobo *et al.*, 2002).

Dessa forma, as diatomáceas têm sido utilizadas como bioindicadoras de eutrofização e/ou no desenvolvimento de índices de avaliação das condições de ambientes temperados (Ten Cate *et al.*, 1993; Kutka e Richards, 1996; Winter e Duthie, 2000; Fore e Grafe, 2002) e tropicais (Wu e Kow, 2002; Lobo *et al.*, 2004; Bellinger *et al.*, 2006). Além dos nutrientes, a temperatura desempenha importante papel na estrutura das comunidades de algas perifíticas em geral. Trabalhos como de Patrick (1971) e Montagnes e Franklin (2001) procuram analisar o efeito da temperatura sobre as diatomáceas.

Trabalhos experimentais com nutrientes foram realizados para a comunidade perifítica no Brasil (Cerrao *et al.*, 1991; Suzuki, 1991; Engle e Melack, 1993; Mendes e Barbosa, 2002; Ferragut, 1999, 2004; Barcelos, 2003; Fermino, 2006; Vercellino, 2007), mas nenhum abordando especificamente as diatomáceas.

As diatomáceas constituem a classe predominante, quantitativamente, na comunidade perifítica na maioria dos ambientes estudados da planície de inundação do alto rio Paraná desde 2000 (Rodrigues *et al.*, 2001, 2002, 2003). Este estudo constitui o primeiro trabalho experimental de manipulação de temperatura e nutrientes para as diatomáceas perifíticas na planície e está inserido no projeto PELD – Pesquisas Ecológicas de Longa Duração/CNPq, sítio 6.

As hipóteses do estudo são que: a) as diatomáceas perifíticas são favorecidas em temperaturas mais elevadas; b) a densidade das diatomáceas perifíticas aumenta com o



enriquecimento artificial de nutriente; c) as respostas dos táxons de diatomáceas são distintas, pois as algas respondem diferentemente (em nível de gênero e/ou espécie) às alterações de temperatura e concentrações de nutrientes.

Dessa forma, este estudo visou avaliar, em um experimento em mesocosmos, a respostas das diatomáceas perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes (P e N). Os objetivos foram: a) comparar a estrutura das diatomáceas em diferentes temperaturas; b) avaliar as alterações na abundância de diatomáceas perifíticas com as adições de nutrientes; c) caracterizar os táxons indicadores das condições experimentais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A influência da temperatura e do enriquecimento artificial de nitrogênio (N) e fósforo (P) sobre as diatomáceas perifíticas foi testada em mesocosmos. A colonização e o estabelecimento das algas perifíticas foram em substratos artificiais e em condições naturais em um ambiente lântico da planície de inundação do alto rio Paraná – lagoa das Garças. Após o estabelecimento da comunidade (15 dias), os substratos foram transferidos para aquários em laboratório. O experimento foi realizado entre os dias 16 de março a 16 de abril de 2005.

Lâminas de vidro, em suportes de madeira, foram utilizadas como substratos artificiais para a colonização e o estabelecimento das algas perifíticas. Os suportes de madeira foram colocados próximos aos bancos de macrófita, na região litorânea da lagoa, ao lado da macrófita *Eichhornia azurea* Kunth.

### **Montagem do experimento no laboratório**

O experimento no laboratório foi realizado na Base Avançada de Pesquisa do Nupélia/UEM, localizada na margem do rio Paraná (Porto Rico – PR). O delineamento experimental constituiu de cinco tratamentos, em triplicata: controle, adição de fósforo (P+), adição de nitrogênio (N+), adição de nitrogênio e fósforo (NP+) e frio. Cada tratamento foi realizado em uma bateria de aquários.

Os aquários, com capacidade de 300 L cada, estavam dispostos em fileiras, constituindo cada fileira uma bateria com controle independente de temperatura. Para o experimento foram utilizados três aquários em cada bateria.

Os aquários foram enchidos com água do ambiente natural, no dia 26 de março de 2005. A água foi coletada na lagoa das Garças, com auxílio de mangueiras e bomba, e transportada em caixas d'água para transferência para os aquários.

No tratamento frio a temperatura da água foi reduzida e mantida a 15°C. Nos demais tratamentos a temperatura foi mantida a 25°C.

Nos tratamentos P+, N+ e NP+ foram adicionados nutrientes. O enriquecimento com N e P foi feito adicionando-se 12,5 mL de soluções de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (1600mgP/L) e de  $\text{NaNO}_3$  (10000mgN/L) em cada aquário no início do experimento no laboratório (30/03/2005) e após uma semana (06/04/2005).

A transferência dos substratos artificiais da lagoa, ambiente natural, para os aquários, no laboratório, realizou-se no dia 31 de março de 2005, 15º dia de sucessão das algas perifíticas, quando a comunidade já estava estabelecida, segundo Rodrigues e Bicudo (2001).

Os suportes de madeira com as lâminas de vidro foram trazidos da lagoa para o laboratório em caixa térmica com gelo e, em seguida, as lâminas foram transferidas para suportes de isopor. Optou-se pelo uso de suportes de isopor devido ao seu peso e tamanho, mais compatíveis com a estrutura do aquário e facilidade de manipulação.

## **Amostragem**

As amostragens foram realizadas coletando-se as lâminas de vidro referentes ao 15º dia de sucessão, ainda na lagoa das Garças, e no 16º, 18º, 20º, 22º, 25º e 31º dia de sucessão, nos aquários (31/03/2005 a 16/04/2005). A amostragem do perifíton foi feita segundo critério aleatório de sorteio das lâminas de vidro a serem coletadas. As coletas foram realizadas em réplica.

O perifíton foi removido das lâminas de vidro com o auxílio de lâminas de aço e jatos de água destilada. O material foi acondicionado em frascos de vidro de 150 mL e fixado e preservado com solução de Transeau, para análise qualitativa, e com solução de lugol acético 0,5%, para análise quantitativa.

Os dados abióticos foram coletados simultaneamente aos dados bióticos e os resultados encontram-se no capítulo 01 (pág. 10). Os parâmetros físicos e químicos utilizados foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade, pH, nitrogênio total (NT), nitrato (N-NO<sub>3</sub>), nitrito (N-NO<sub>2</sub>), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>).

A temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade e pH foram medidos com auxílio de aparelhos de campo (marca Digimed). Amostras da água foram coletadas para filtragem utilizando-se membranas GF/C para análises das concentrações de nutrientes. As concentrações PT e P-PO<sub>4</sub> foram quantificadas por espectrofotometria pela reação de molibdato de sódio (Mackereth *et al.*, 1978). As concentrações de N-NH<sub>4</sub> foram quantificadas segundo Mackereth *et al.* (1978). As concentração de NT, N-NO<sub>3</sub> e N-NO<sub>2</sub> foram determinadas através do método de análise de injeção de fluxo (FIA) (Zagatto *et al.*, 1981).

### **Análise qualitativa**

A análise taxonômica das algas perifíticas foi realizada em microscópio óptico. A identificação das espécies foi feita com base na literatura clássica (Patrick e Reimer, 1966, 1975; Krammer e Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991; Simonsen, 1987a, 1987b, 1987c) e regionais (Rodrigues, 1988; Train, 1990; Ludwig, 1996; Leandrini, 1999). O sistema de classificação utilizado foi Round (1990).

### **Análise quantitativa**

A quantificação das diatomáceas perifíticas foi realizada em microscópio invertido, utilizando-se o método de Utermöhl (1958). A contagem foi em campos aleatórios até atingir uma estabilização da curva (de rarefação de espécies) e um total de 100 indivíduos da espécie mais comum (Bicudo, 1990).

A densidade das diatomáceas perifíticas foi calculada segundo a equação de Ros (1979). As espécies dominantes e abundantes foram estabelecidas segundo Lobo e Leighton (1986). As espécies com densidades superiores a 50% da densidade total da

amostra foram consideradas dominantes e aquelas com densidades acima da densidade média de cada amostra como abundantes.

### **Análise dos dados**

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi utilizada para ordenação das variáveis bióticas em função das abióticas.

Para verificar a existência de relações entre a densidade relativa dos gêneros com maior densidade e as concentrações de nitrogênio e fósforo, os dados foram analisados pela matriz de correlação de Spearman.

Para a análise de ACC utilizou-se o programa PC-ORD, versão 4.01 (McCune e Mefford, 1999). E para a análise de correlação de Spearman e a construção dos gráficos o programa STATISTICA, versão 7.1 (StatSoft, 2005).

## **RESULTADOS**

No total foram identificados 55 táxons de Bacillariophyceae, distribuídos em 24 gêneros. O gênero com o maior número de táxons foi *Gomphonema* (11), seguido por *Nitzschia* (7) e *Eunotia* (6). Os demais gêneros apresentaram um número igual ou inferior a três táxons separadamente (Tabela 1).

A classe Bacillariophyceae foi dominante, em termos de densidade, representando acima de 84% da densidade total de algas perifíticas. No 15º dia de sucessão, na lagoa das Garças, essa classe representou 88% da densidade total das algas. Considerando-se os tratamentos, os maiores valores de densidade relativa de Bacillariophyceae foram registrados no tratamento NP+, variando de 91% a 93% da densidade total de algas. Em seguida, foi no tratamento frio (88% a 91%), P+ (86% a 91%), N+ (84% a 92%) e controle (84% a 90%).

Tabela 1. Número de táxons por gênero de Bacillariophyceae.

Gêneros	nº taxons
<i>Achnanthes</i>	1
<i>Achnanthidium</i>	1
<i>Amphora</i>	1
<i>Aulacoseira</i>	1
<i>Capartogramma</i>	1
<i>Cocconeis</i>	1
<i>Cyclotella</i>	2
<i>Cymbella</i>	2
<i>Diploneis</i>	1
<i>Encyonema</i>	3
<i>Eunotia</i>	6
<i>Fragilaria</i>	3
<i>Frustulia</i>	1
<i>Gomphocymbella</i>	1
<i>Gomphonema</i>	11
<i>Gyrosigma</i>	1
<i>Melosira</i>	1
<i>Navicula</i>	3
<i>Nitzschia</i>	7
<i>Pinnularia</i>	2
<i>Rhopalodia</i>	1
<i>Sellaphora</i>	1
<i>Synedra</i>	2
<i>Ulnaria</i>	1
<b>Total</b>	<b>55</b>

Analisando o processo de sucessão, em geral, a densidade de Bacillariophyceae variou de  $132,77 \times 10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$ , no 16º dia, a  $30 \times 10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$ , no 31º dia (Figura 1).

No 15º dia de sucessão, na lagoa das Garças, a densidade foi de  $57,19 \times 10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$ . No dia seguinte (16º) foram registrados os maiores valores de densidade ao longo da sucessão, que ocorreram nos tratamentos controle ( $132,77 \times 10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$ ) e frio ( $132,14 \times 10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$ ). No controle, após esse pico, a densidade reduziu para  $61,64 \times 10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$ . No tratamento frio, contudo, a densidade manteve-se alta ( $107,42 \times 10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$ ).

As densidades nos tratamentos P+ e N+, em geral, foram menores, estando abaixo de  $70 \times 10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$  durante o experimento (Figura 1).

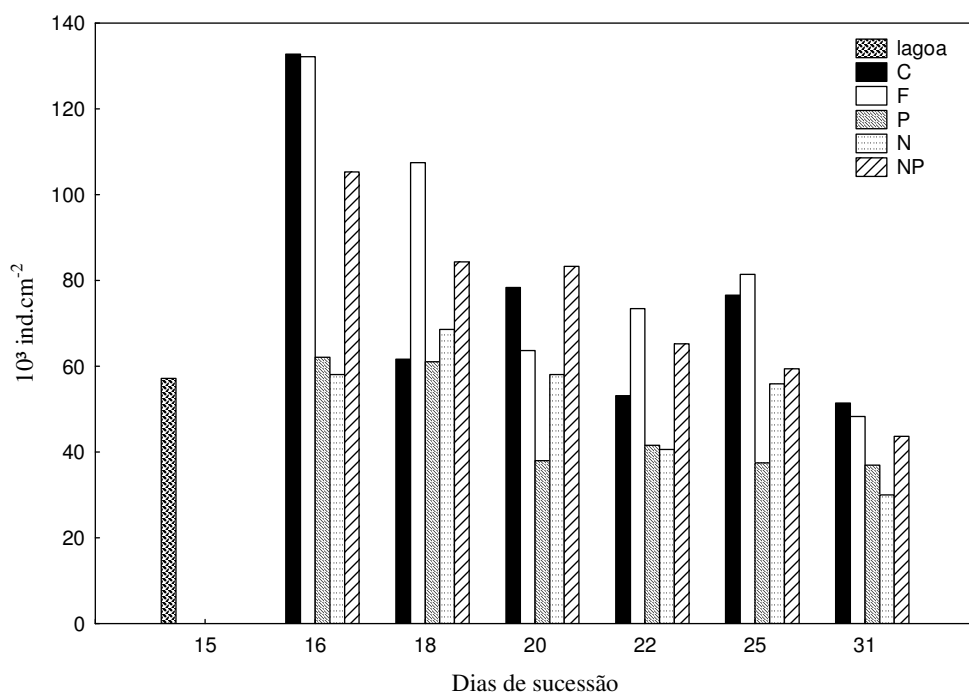


Figura 1. Densidade de Bacillariophyceae ( $10^3 \text{ ind.cm}^{-2}$ ) na lagoa das Garças e nos tratamentos e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) ao longo da sucessão (15° ao 31° dia).

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) resumiu 39,6% da variabilidade total dos dados em seus dois primeiros eixos. As correlações de Pearson espécie-ambiente foram elevadas tanto para o eixo 1 ( $r = 0,947$ ) quanto para o eixo 2 ( $r = 0,891$ ), indicando forte relação entre as densidades das espécies de algas perifíticas e as variáveis abióticas analisadas. Essas correlações foram significativas (teste de Monte Carlo), para o eixo 1 ( $p = 0,001$ ) e eixo 2 ( $p = 0,007$ ).

Através da ACC, pode-se observar uma clara separação entre os tratamentos e um gradiente partindo do controle e da lagoa das Garças para os demais tratamentos (Figura 2). Além disso, observa-se a influência do estágio sucessional na distribuição das unidades amostrais em cada tratamento, com os primeiros estágios posicionados à esquerda do eixo 1 e os finais à direita.

Nos tratamentos, exceto para o frio, observa-se que entre o 22° e o 25° dia ocorreu uma alteração ou até mesmo um retrocesso na sucessão, dependendo do tratamento. No tratamento frio, o retrocesso ocorreu entre o 18° e 20° dia de sucessão.

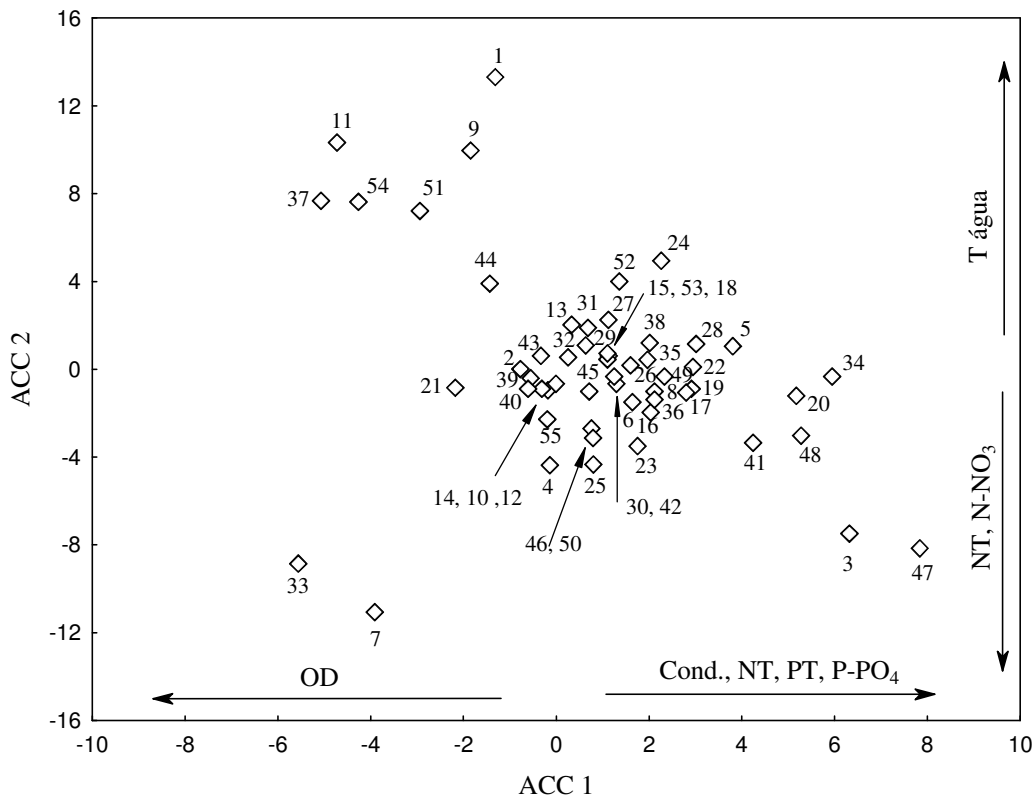
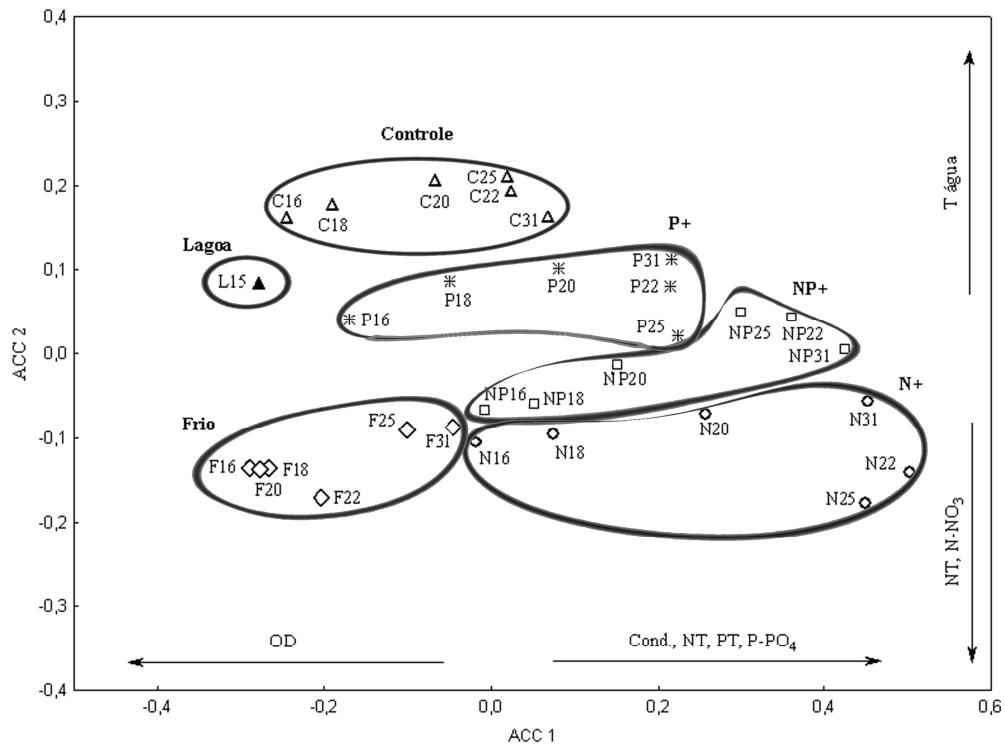


Figura 2. Ordenação pela Análise de Correspondência Canônica (ACC) da lagoa das Garças (L) e dos tratamentos controle (C), frio (F) e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N) e nitrogênio e fósforo (NP+), ao longo da sucessão (15° ao 31° dia). Abreviações: OD= oxigênio dissolvido, Cond.= condutividade, NT= nitrogênio total, PT= fósforo total, P-PO<sub>4</sub>= ortofosfato, N-NO<sub>3</sub>= nitrato, T água= temperatura da água. Números correspondentes às espécies de algas conforme Tabela 3.

O eixo 1 (30,5%) esteve associado positivamente com os valores de condutividade, nitrogênio total, fósforo total e ortofosfato e negativamente com oxigênio dissolvido (Figura 2, Tabela 2). Essas variáveis também foram as mais importantes indicadas nas correlações “intra-set”. Através dos valores dos coeficientes canônicos, a condutividade e oxigênio foram as variáveis abióticas que mais pesaram para a ordenação desse eixo (Tabela 2). Em geral, a lagoa das Garças e os tratamentos controle e frio estiveram posicionados no lado negativo do eixo 1 e os demais tratamentos, no lado positivo.

Em relação às variáveis bióticas, oito táxons apresentaram correlações mais elevadas ( $r > 0,5$ ) com o eixo 1 (Tabela 3). As espécies correlacionadas positivamente com esse eixo foram: *Gomphonema subtile*, *Fragilaria* sp., *Nitzschia* sp.2 e *Eunotia* sp. e as correlacionadas negativamente foram: *Fragilaria capucina*, *Achnanthydium minutissimum*, *Nitzschia palea* e *Encyonema silesiacum* (Figura 2, Tabela 3).

O eixo 2 (9,1%) esteve associado positivamente com a temperatura da água e negativamente com o nitrogênio total e nitrato (Figura 2, Tabela 2). Essas variáveis também foram as mais importantes indicadas nas correlações “intra-set”. Nitrogênio total e nitrato tiveram os maiores coeficientes canônicos (Tabela 2). Os tratamentos N+ e frio estiveram posicionados no lado negativo desse eixo, assim como os estágios iniciais do tratamento NP+. A lagoa das Garças e os tratamentos controle, P+ e os estágios finais do tratamento NP+ no lado positivo desse eixo. Os táxons que apresentaram maiores correlações com esse eixo foram, positivamente, *Cymbella affinis* e *Gomphonema parvulum* e negativamente, *Ulnaria ulna* (Tabela 3).



Tabela 2. Correlações de Pearson e Kendall, coeficientes canônicos e correlações “intra-set” das variáveis abióticas com os eixos 1 e 2 da Análise de Correspondência Canônica (ACC).

Variáveis abióticas	Correlações de Pearson e Kendall		Coeficientes canônicos		Correlações “intra-set”	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
Temperatura da água	0,516	<b>0,474</b>	-0,050	-0,025	0,519	0,477
Oxigênio dissolvido	<b>-0,404</b>	-0,496	0,102	-0,067	-0,444	-0,501
Condutividade	<b>0,868</b>	0,186	0,262	0,070	0,808	0,271
pH	0,299	0,153	-0,047	0,037	0,259	0,179
N total	<b>0,649</b>	<b>-0,712</b>	0,082	-0,243	0,595	-0,623
N-NO <sub>3</sub>	0,467	<b>-0,660</b>	-0,070	0,147	0,391	-0,606
N-NO <sub>2</sub>	0,490	0,101	0,045	-0,007	0,479	0,094
N-NH <sub>4</sub>	0,168	0,086	0,074	0,021	0,305	0,133
P total	<b>0,561</b>	0,260	-0,038	-0,107	0,589	0,195
P-PO <sub>4</sub>	<b>0,588</b>	0,265	0,070	0,103	0,618	0,197

Tabela 3. Correlação das espécies de Bacillariophyceae com os eixos 1 e 2 da ACC.

Número	Espécie	Eixo 1	Eixo 2
1	<i>Achnanthes</i> sp.	-0,094	0,304
2	<i>Achnantheidium minutissimum</i> (complexo)	<b>-0,689</b>	-0,083
3	<i>Amphora</i> sp.	0,377	-0,327
4	<i>Aulacoseira granulata</i>	-0,047	-0,111
5	<i>Capartogramma crucicola</i>	0,161	0,023
6	<i>Cocconeis placentula</i>	0,083	-0,148
7	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	-0,199	-0,269
8	<i>Cyclotella</i> sp.	0,142	-0,106
9	<i>Cymbella affinis</i>	-0,269	<b>0,525</b>
10	<i>Cymbella gracilis</i>	-0,245	-0,158
11	<i>Diploneis eliptica</i>	-0,232	0,234
12	<i>Encyonema mesianum</i>	-0,319	-0,185
13	<i>Encyonema minutum</i>	-0,263	0,360
14	<i>Encyonema silesiacum</i>	<b>-0,554</b>	-0,305
15	<i>Eunotia camelus</i>	0,038	0,052
16	<i>Eunotia flexuosa</i>	0,150	-0,203
17	<i>Eunotia minor</i>	0,382	-0,181
18	<i>Eunotia pectinalis</i>	0,022	0,012
19	<i>Eunotia</i> cf. <i>sudetica</i>	0,076	-0,030
20	<i>Eunotia</i> sp.	<b>0,582</b>	-0,130
21	<i>Fragilaria capucina</i>	<b>-0,706</b>	-0,156
22	<i>Fragilaria</i> sp.	<b>0,548</b>	-0,042
23	<i>Fragilaria</i> sp.1	0,160	-0,500
24	<i>Frustulia rhomboides</i>	0,071	0,154
25	<i>Gomphocymbella</i> sp.	-0,023	-0,276
26	<i>Gomphonema affine</i>	0,162	-0,030
27	<i>Gomphonema augur</i>	0,014	0,173
28	<i>Gomphonema augur</i> var. <i>turris</i>	0,462	0,106
29	<i>Gomphonema brasiliense</i>	-0,245	0,260

Número	Espécie	Eixo 1	Eixo 2
30	<i>Gomphonema gracile</i>	0,211	-0,476
31	<i>Gomphonema parvulum</i>	-0,215	<b>0,543</b>
32	<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	-0,287	0,037
33	<i>Gomphonema</i> sp.	-0,265	-0,217
34	<i>Gomphonema</i> sp.1	0,383	-0,032
35	<i>Gomphonema subtile</i>	<b>0,507</b>	0,020
36	<i>Gomphonema truncatum</i>	0,213	-0,200
37	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	-0,352	0,246
38	<i>Melosira varians</i>	0,071	0,035
39	<i>Navicula cryptocephala</i>	-0,481	-0,140
40	<i>Navicula</i> sp.	-0,462	-0,210
41	<i>Navicula</i> sp.1	0,404	-0,273
42	<i>Nitzschia amphibia</i>	0,140	-0,260
43	<i>Nitzschia filiformis</i>	-0,464	0,045
44	<i>Nitzschia palea</i>	<b>-0,582</b>	0,488
45	<i>Nitzschia sigma</i>	-0,135	-0,339
46	<i>Nitzschia</i> sp.	-0,034	-0,224
47	<i>Nitzschia</i> sp.1	0,364	-0,267
48	<i>Nitzschia</i> sp.2	<b>0,574</b>	-0,267
49	<i>Pinnularia braunii</i>	0,284	-0,090
50	<i>Pinnularia</i> sp.	-0,023	-0,206
51	<i>Rhopalodia gibberulla</i>	-0,432	0,435
52	<i>Sellaphora pupula</i>	0,019	0,122
53	<i>Synedra goulardii</i>	0,007	0,021
54	<i>Synedra</i> sp.	-0,252	0,202
55	<i>Ulnaria ulna</i>	-0,438	<b>-0,556</b>

Na lagoa das Garças, *Achnantheidium* representou 49% da densidade total, seguido por *Gomphonema* (19%), *Encyonema* (17%), *Fragilaria* (6%) e *Nitzschia* (6%). Os demais gêneros (7) totalizaram 3% da densidade total. Foram registradas sete espécies abundantes, *Achnantheidium minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Fragilaria capucina*, *Gomphonema brasiliense*, *G. gracile*, *G. parvulum* e *Nitzschia amphibia*, que juntas totalizaram 88% da densidade total de Bacillariophyceae. *A. minutissimum* foi a mais abundante e sozinha representou 48% da densidade total.

Nos tratamentos, as maiores densidades relativas dos gêneros foram, nessa ordem: *Achnantheidium*, *Gomphonema*, *Encyonema*, *Nitzschia*, *Fragilaria*, *Ulnaria*, *Eunotia*, *Navicula*, *Cymbella* e *Pinnularia* (Figura 3). Os demais gêneros, juntos, representaram menos de 0,5% da densidade total. Destes, *Achnantheidium*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Pinnularia* e *Ulnaria* apresentaram correlação significativa (correlação de Spearman,  $p < 0,05$ ) com a concentração de nitrogênio e/ou fósforo (Figuras 4). Considerando-se todos os tratamentos, ocorreu apenas uma espécie

dominante, *A. minutissimum*, e 10 espécies abundantes, *Encyonema minutum*, *E. silesiacum*, *Eunotia camelus*, *Fragilaria capucina*, *Gomphonema affine*, *G. brasiliense*, *G. gracile*, *G. parvulum*, *Nitzschia amphibia* e *Ulnaria ulna* (Figura 5).

Em geral, as densidades relativas foram maiores nos tratamentos com adição de nitrogênio nessa ordem, N+ e NP+, exceto para os gêneros *Achnantheidium* e *Cymbella* (Figura 3).

A densidade relativa de *Achnantheidium* no controle variou de 36% a 56%. No tratamento frio observaram-se dois picos, chegando a atingir 59% da densidade total. No tratamento P+, as densidades relativas desse gênero foram decrescendo, de 52% (16° dia de sucessão) a 38% (31° dia de sucessão). No tratamento N+, as densidades relativas foram, em geral, menores do que nos demais tratamentos, com um máximo de 41% da densidade total. No tratamento NP+, as densidades relativas foram menores que no controle, chegando ao mínimo de 23% da densidade total no 31° dia de sucessão (Figura 3). Esse gênero esteve correlacionado negativamente com as concentrações de nitrato ( $r = -0,38$  e ortofosfato ( $r = -0,48$ ) (Figuras 4).

O complexo *Achnantheidium minutissimum* ocorreu em todos os tratamentos e dias de sucessão, sendo dominante em três tratamentos (controle, frio e P+) e abundante nos demais. Nos tratamentos controle e P+, *A. minutissimum* foi dominante no 16° dia de sucessão. No tratamento frio, houve dominância nos 18°, 22° e 25° dias de sucessão (Figura 5). Essa espécie apresentou densidade semelhantes no controle e frio, e maiores do que nos demais tratamentos. No controle, a densidade variou de 19 a 74 x 10<sup>3</sup> ind.cm<sup>-2</sup>. Nos tratamentos com adição de nutrientes, as densidades estiveram abaixo do controle e variaram de 9 x 10<sup>3</sup> ind.cm<sup>-2</sup> (31° dia no tratamento N+) a um máximo de 46 x 10<sup>3</sup> ind.cm<sup>-2</sup> (16° dia no tratamento NP+) (Figura 6).

A densidade relativa de *Cymbella* foi crescendo ao longo da sucessão no tratamento controle. Nos demais tratamentos a densidade relativa desse gênero esteve abaixo da densidade do controle (Figura 3).

As densidades relativas de *Gomphonema* foram maiores nos tratamentos com adição de nutrientes (P+, N+ e NP+) do que no controle. No tratamento P+, no 22° dia de sucessão, registrou-se o maior valor de densidade relativa deste gênero (34%). *Gomphonema* foi correlacionado positivamente com as concentrações de ortofosfato ( $r = 0,57$ ) (Figura 4).

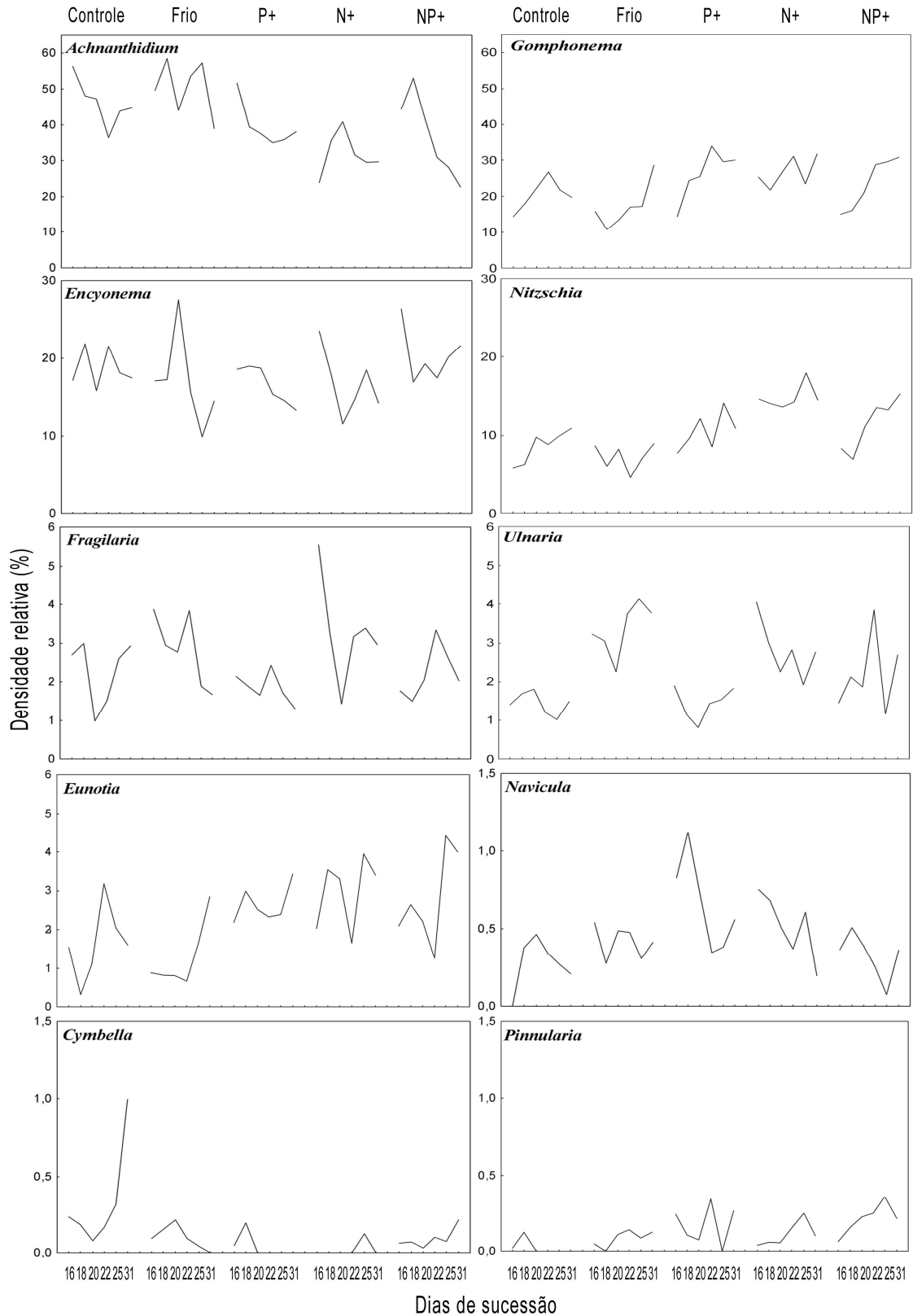


Figura 3. Densidade relativa (%) dos dez gêneros de Bacillariophyceae de maior densidade ao longo da sucessão nos tratamentos controle, frio e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+). Escalas diferentes.

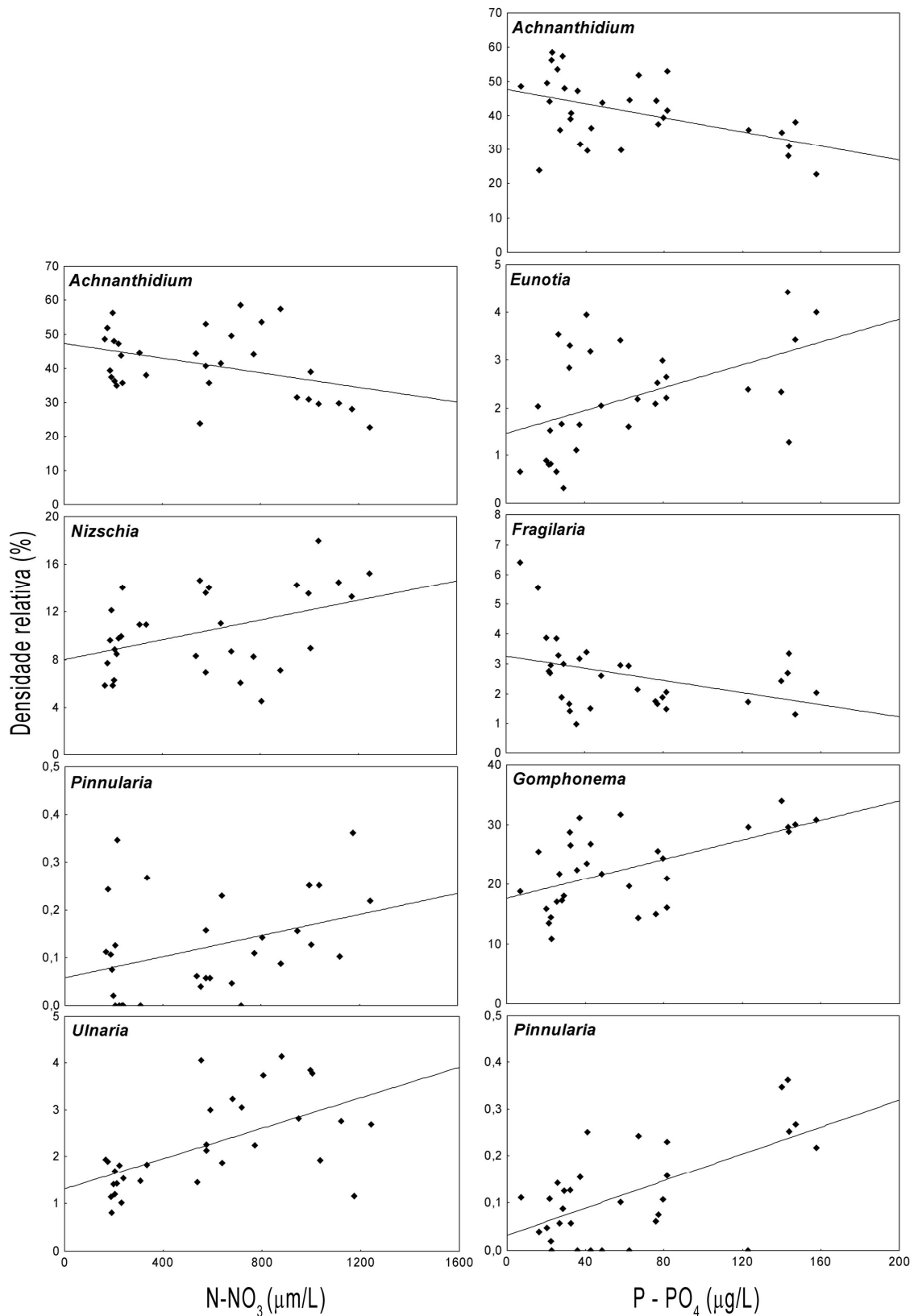


Figura 4. Relação entre a densidade relativa (%) dos gêneros mais abundantes de Bacillariophyceae e as concentrações de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) e ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) (correlação de Spearman,  $p < 0,05$ ). Escalas diferentes.

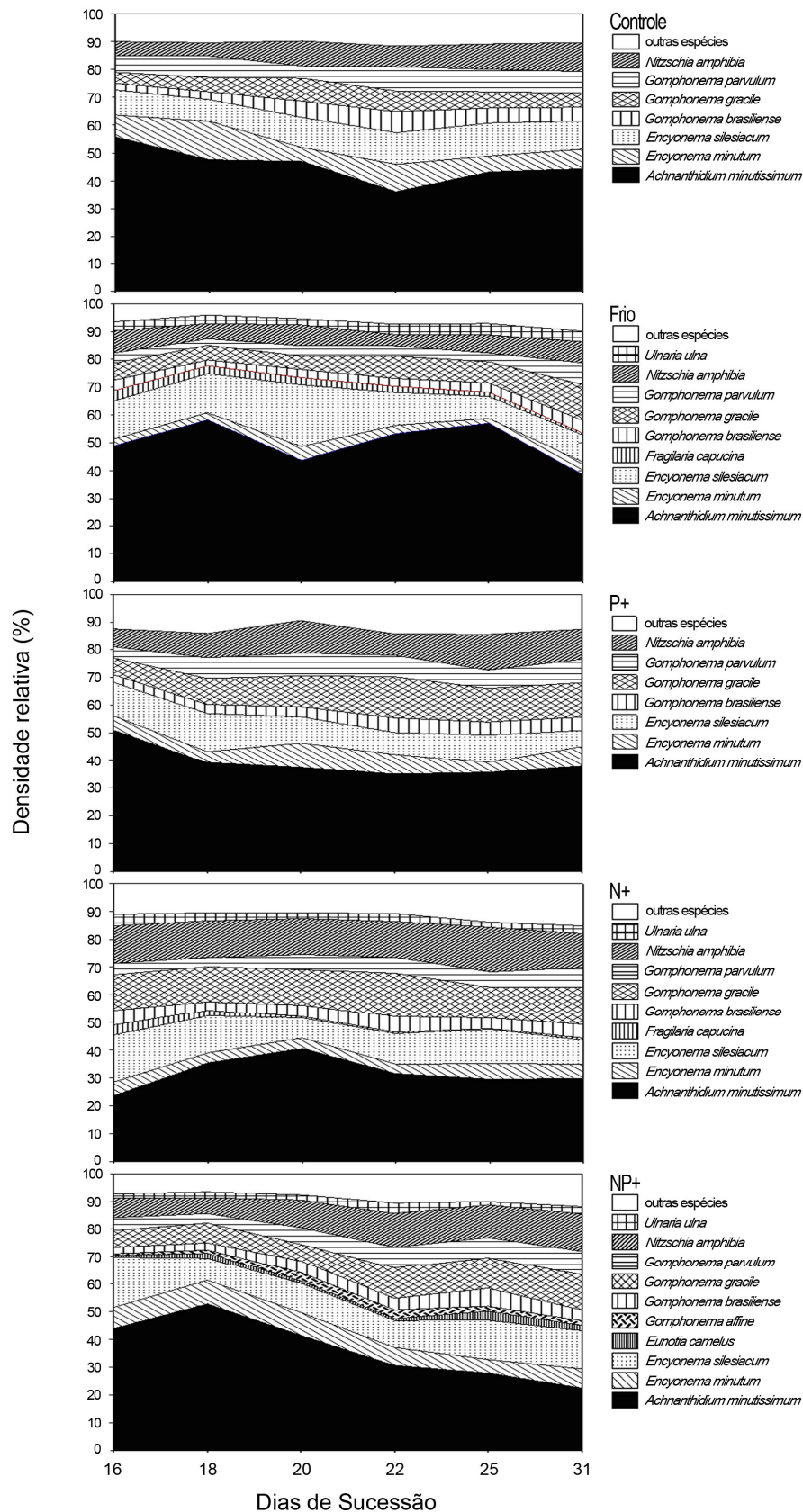


Figura 5. Densidade relativa (%) das espécies dominante e abundante de Bacillariophyceae ao longo da sucessão nos tratamentos controle, frio e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+).

As espécies *Gomphonema brasiliense*, *G. gracile* e *G. parvulum* foram abundantes em todos os tratamentos. As densidades relativas de *G. gracile* foram maiores nos tratamentos com adição de nutrientes, principalmente de N, chegando a atingir no 22º dia de sucessão (tratamento N+), o dobro da registrada no controle. *G. affine* ocorreu em todos os tratamentos, contudo foi considerada abundante apenas no tratamento NP+. As densidades relativas de *G. brasiliense* e *G. parvulum* não variaram muito entre os tratamentos (Figura 5).

As densidades relativas de *Encyonema* e *Ulnaria* foram maiores nos tratamentos frio e com adição de nitrogênio em relação ao controle (Figura 3). Esses gêneros apresentaram menores densidades com a adição isolada de fósforo. *Ulnaria* apresentou correlação positiva com as concentrações de de nitrato ( $r = 0,59$ ) (Figura 4). Apenas uma espécie representou este gênero, *Ulnaria ulna*. Já no gênero *Encyonema* ocorreram duas espécies, *E. minutum* e *E. silesiacum*, que foram abundantes em todos os tratamentos. As densidades relativas de *E. minutum* foram, em geral, maiores no controle e de *E. silesiacum* no tratamento frio (Figura 5).

As densidades de relativas de *Eunotia* e *Nitzschia* foram maiores nos tratamentos com adição de nutrientes do que no controle e frio (Figura 3). As densidades relativas de *Eunotia* foram maiores nos tratamentos, nessa ordem, NP+, N+ e P+. Esse gênero apresentou correlação positiva com as concentrações de ortofosfato ( $r = 0,49$ ) e *Eunotia camelus* foi abundante no tratamento com adição de ambos os nutrientes (NP+) (Figuras 4 e 5).

As densidades relativas de *Nitzschia* foram maiores no tratamento N+, seguido por NP+ e P+, e foram correlacionadas positivamente com as concentrações de nitrato ( $r = 0,42$ ) (Figura 4). Uma espécie desse gênero, *N. amphibia*, foi abundante em todos os tratamentos e apresentou maiores densidades relativas nos tratamentos com adição de nutrientes, principalmente em N+, do que no controle (Figura 5).

As densidades relativas de *Fragilaria* foram maiores, em ordem, nos tratamentos N+, frio e NP+ (Figura 3). No tratamento P+ foram registradas as menores densidades desse gênero que esteve correlacionado negativamente com as concentrações de ortofosfato ( $r = -0,39$ ) (Figura 4). *Fragilaria capucina* foi abundante nos tratamentos frio e N+ (Figura 5).

As densidades relativas de *Navicula* e *Pinnularia* foram semelhantes no controle e frio e maiores nos tratamentos com adição de nutrientes. As densidades relativas de

*Naviula* foram maiores, nessa ordem, nos tratamentos P+, N+ e NP+. As densidades relativas de *Pinnularia* foram maiores no tratamento NP+, seguido por P+ e N+. Esse gênero esteve correlacionado positivamente com as concentrações de nitrato ( $r = 0,37$ ) e ortofosfato ( $r = 0,62$ ) (Figuras 4).

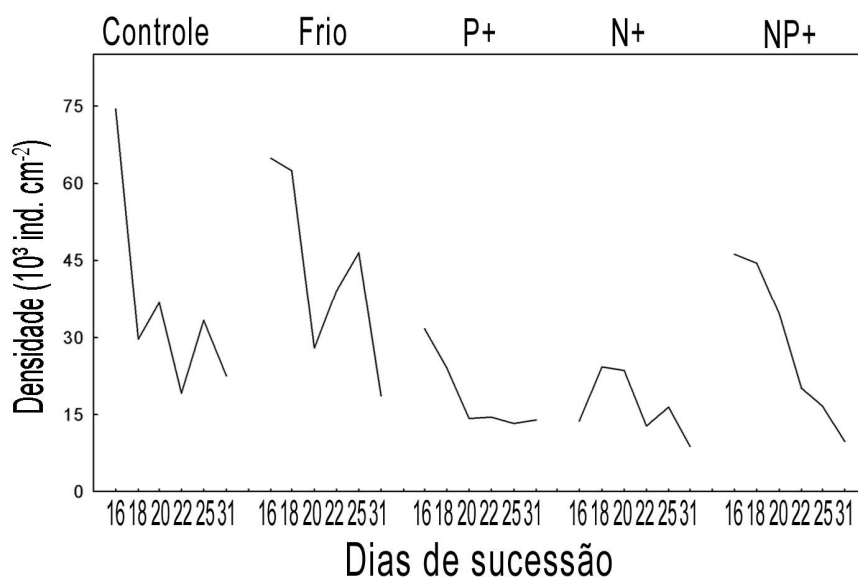


Figura 6. Densidade ( $10^3 \text{ ind. cm}^{-2}$ ) de *Achanthidium minutissimum* ao longo da sucessão nos tratamentos controle, frio e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+).

## DISCUSSÃO

As diatomáceas são abundantes na maioria dos sistemas aquáticos. No presente estudo, esse grupo representou mais de 84 % da densidade total de algas perifíticas. A predominância das diatomáceas no perifíton pode ser devido às características que permitem maior fixação ao substrato como: pedúnculos mucilaginosos (*Gomphonema*), matrizes gelatinosas (*Encyonema* e *Navicula*) e colônias em formas de estrelas ou ramos, fixas pela base (*Eunotia* e *Fragilaria*) (Hoagland *et al.*, 1982; observação pessoal).



Segundo Borchardt (1986), os nutrientes principais considerados limitantes para o crescimento das algas são o nitrogênio e fósforo. Portanto, espera-se que ocorra um aumento na densidade com o enriquecimento desses nutrientes. De fato, em Stevenson *et al.* (1991), a abundância da comunidade de diatomáceas foi maior nas condições de enriquecimento com nutrientes do que no controle. Porém, no experimento de Niederhauser e Schanz (1993), a estrutura da comunidade de diatomáceas no controle foi semelhante àquelas dos tratamentos com adição de P, N e NP, ocorrendo diferença apenas com a adição de carbonato.

No presente experimento, ao longo da sucessão, as densidades das diatomáceas perifíticas foram, em geral, menores nos tratamentos com adição de nutrientes, em ordem crescente P+, N+ e NP+. Contudo, a maioria dos gêneros de diatomáceas apresentou as maiores densidades relativas nos tratamentos com adição de nutrientes, com correlação positiva com as concentrações de fósforo e/ou nitrogênio.

Pela ACC, verifica-se uma clara separação entre os tratamentos, indicando que a estrutura das diatomáceas perifíticas está fortemente relacionada aos fatores abióticos, onde tem grande destaque os nutrientes em maior disponibilidade. Além disso, observa-se a importância do processo sucessional das algas na ordenação das unidades amostrais.

A densidade total das diatomáceas foi devida, principalmente, ao complexo *Achnantheidium minutissimum*, que ocorreu em todos os tratamentos e dias de sucessão, sendo a única espécie dominante. *A. minutissimum* foi dominante nos tratamentos controle, frio e com adição de fósforo e abundante nos demais tratamentos. Essa espécie foi abundante também nos estudos de Ács e Kiss (1993), Niederhauser e Schanz (1993), Winter e Duthie (2000) e dominante nos estudos de Leandrini (2006) em ambientes na planície de inundação do alto rio Paraná, entre outros (Brown e Austin, 1973).

Segundo Biggs *et al.* (1998), *A. minutissimum* pode ser considerado como R-estrategista, associado a ambientes oligotrófico a eutrófico e presença de forte distúrbio. Espécies R-estrategistas apresentam alta resistência ao distúrbio, tamanho pequeno, baixa biomassa, alta força de tensão, forte aderência ao substrato, altas taxas de imigração e altas taxas de crescimento. Em Lobo *et al.* (2004) essa espécie foi considerada com alta tolerância à eutrofização, e no estudo de Ács e Kiss (1993), *A. minutissimum* foi classificada como espécie intermediária, colonizadora indiferente, com abundância relativa mais estável do que outros grupos. Van Dam *et al.* (1994) considera essa espécie como sendo de ambiente oligotrófico a eutrófico.

*A. minutissimum* pode ser encontrada em ambientes com diferentes concentrações de nitrogênio e fósforo (Winter e Duthie, 2000; Fore e Grafe, 2002), podendo estar correlacionada com concentrações de N e/ou NP (Ferragut, 2004; Leandrini, 2006) ou como sendo característica de ambientes oligotróficos (Niederhauser e Schanz, 1993; Ten Cate *et al.*, 1993).

No presente experimento, a densidade de *A. minutissimum* foi menor nos tratamentos com adição de nutrientes e semelhante ao tratamento frio. Segundo Biggs *et al.* (1998), sendo essa espécie R-estrategista, apresentaria crescimento rápido com a adição de nutrientes, o que não ocorreu no experimento. *A. minutissimum* apresentou correlação negativa com os nutrientes. Em Lowe *et al.* (1986), a densidade relativa de *A. minutissimum* também foi menor nos tratamentos com adição P e N, sendo maior apenas quando houve adição conjunta de carbonato ao nitrogênio.

Segundo Tilman *et al.* (1986), as diatomáceas devem dominar em alta disponibilidade de N. De fato, no presente experimento, oito gêneros (*Encyonema*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Ulnaria*) dos dez mais abundantes apresentaram maiores densidades relativas nos tratamentos com adição de nitrogênio (N+ e NP+).

No estudo de Wu e Kow (2002), os gêneros *Achnanthes*, *Cocconeis* e *Cymbella* apresentaram altas abundâncias a altos valores de índice de qualidade da água. Em contraste, *Cyclotella*, *Melosira* e *Nitzschia* foram mais abundantes quando os valores de índice de qualidade da água foram baixos, sendo que a abundância relativa de *Nitzschia* esteve correlacionada negativamente com o índice. Esse estudo corrobora com os dados obtidos no experimento, em que as densidades relativas dos gêneros *Achnantheidium* e *Cymbella* no controle foram mais elevadas do que nos tratamentos com adição de nutrientes, e que as densidades relativas de *Nitzschia* foram maiores nos tratamentos com adição de nutrientes (P+, N+ e NP+) e esteve correlacionada positivamente com nitrogênio total e nitrato.

No trabalho de Van Dam *et al.* (1994), *Nitzschia* foi um dos gêneros mais numerosos, com muitas espécies tolerantes à poluição. No presente experimento, as densidades de *Nitzschia amphibia* foram maiores nos tratamentos com adição de nutrientes do que no controle. Essa espécie foi considerada de baixa tolerância a eutrofização por Lobo *et al.* (2004). Contudo, em Fore e Grafe (2002), essa espécie apresentou preferência a condições de trofia e segundo Van Dam *et al.* (1994), ocorre em ambiente eutrófico.

As densidades relativas dos gêneros *Gomphonema* e *Navicula* foram maiores nos tratamentos com adição de nutrientes e *Gomphonema* esteve correlacionada positivamente com as concentrações de fósforo total e ortofosfato. Esses gêneros foram considerados tolerantes ao enriquecimento de fósforo no estudo de Bellinger *et al.* (2006). Segundo Van Dam *et al.* (1994), *Gomphonema gracile* e *G. affine* ocorrem em ambiente mesotrófico. No presente experimento, *G. gracile* apresentou maiores densidades nos tratamentos com adição de nutrientes e *G. affine* foi considerada abundante no tratamento NP+.

Contudo, *Eunotia* foi considerado sensível às altas concentrações de fósforo nesse mesmo estudo (Bellinger *et al.*, 2006) e no presente experimento esse gênero esteve correlacionado positivamente com fósforo.

No presente experimento, *Ulnaria ulna* foi abundante nos tratamentos frio, N+ e NP+, com correlação positiva com nitrogênio total e nitrato. Contudo, no estudo de Lobo *et al.* (2004), essa espécie foi considerada como pouco tolerante a eutrofização.

*Encyonema silesiacum* pode ser encontrada em ambiente oligotrófico a eutrófico (Van Dam *et al.*, 1994). No presente estudo essa espécie apresentou maiores densidades no frio, tratamento sem adição de nutrientes. No estudo de Lobo *et al.* (2004), *E. silesiacum* foi considerada de baixa tolerância a eutrofização.

Apesar de Lobo *et al.* (2004) considerar *Fragilaria capucina* como de alta tolerância a eutrofização, segundo Ten Cate *et al.* (1993), essa espécie foi característica de águas menos poluídas. E, no presente experimento, essa espécie foi abundante nos tratamentos frio e com adição de nitrogênio. Van Dam *et al.* (1994) classifica *F. capucina* como sendo de ambiente mesotrófico.

A temperatura influencia o metabolismo das algas (Phinney e McIntire, 1965; DeNicola, 1996). Segundo Seaburg e Park (1983), baseado nas respostas de crescimento das algas a diferentes temperaturas, a temperatura sozinha é provavelmente uma importante variável na regulação das mudanças sazonais na estrutura da comunidade algal. No presente experimento, a diminuição de temperatura influenciou as diatomáceas perifíticas.

No tratamento frio, das espécies mais abundantes, as densidades de *Encyonema minutum*, *Gomphonema parvulum*, *G. brasiliense*, *G. affine* e *Eunotia camelus* foram, em geral, menores do que no controle. Contudo, algumas espécies foram favorecidas com a diminuição da temperatura, apresentando maiores densidades, como *Ulnaria*

*ulna*. Mais estudos seriam necessários para avaliar o efeito da alteração da temperatura no desenvolvimento das algas.

Conclui-se com esse trabalho que as diatomáceas responderam às alterações de temperatura, ocorrendo diminuição da densidade relativa de alguns gêneros na temperatura mais baixa. Contudo, a densidade geral foi próxima ao do controle. A densidade total das diatomáceas foi menor nos tratamentos com adição de nutrientes do que no controle, podendo ser devido principalmente à resposta do complexo *A. minutissimum* que foi dominante e apresentou maiores densidades no controle e frio. Em geral, as densidades relativas dos gêneros foram maiores nos tratamentos com adição de nitrogênio, tratamentos N+ e NP+. Importante ressaltar que a resposta das diatomáceas dependeu das espécies presentes no ambiente e, conseqüentemente em cada tratamento. Como foi possível observar na ACC, ocorreu uma separação clara, onde as diatomáceas responderam diferentemente às adições de P, N e NP. Cada tratamento apresentou uma estrutura específica de composição e densidade de diatomáceas.

## REFERÊNCIAS

- ÁCS, E.; KISS, K.T. Colonization processes of diatoms on artificial substrates in the River Danube near Budapest (Hungary). *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 269/270, p. 307-315, 1993.
- BARCELOS, E.M. *Avaliação do perifíton como sensor da oligotrofização experimental em reservatório eutrófico (Lago das Garças, São Paulo)*. 2003. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2003.
- BELLINGER, B.J. *et al.* Benthic diatoms as indicators of eutrophication in tropical streams. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 573, p. 75-87, 2006.
- BICUDO, D.C. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. *Acta Limnol. Bras.*, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 459-475, 1990.
- BIGGS, B.J.F. *et al.* A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Arch.Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 143, n. 1, p. 21-56, 1998.
- BORCHARDT, M.A. Nutrients. In: STEVENSON, R.J. *et al.* (eds). *Algal ecology; freshwater benthic ecosystems*. EUA: Academic Press, 1996, cap. 7, p. 184-227.

- BROWN, S.-D.; AUSTIN, A.P. Diatom succession and interaction in littoral periphyton and plankton. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 43, n. 3-4, p. 333-356, 1973.
- CERRAO, G.C. *et al.* Efeito do enriquecimento artificial sobre a biomassa de perifíton em tanques artificiais na Represa do Lobo (Broa). *Rev.Brasil.Biol.*, Rio de Janeiro, v. 51, n. 1, p. 71-78, 1991.
- DeNICOLA, D.M.. Periphyton responses to temperature. *In*: STEVENSON, R.J. *et al.* (eds). *Algal ecology; freshwater benthic ecosystems*. EUA: Academic Press, 1996, cap. 6, p. 149-181.
- ENGLE, D.L.; MELACK, J.M. Consequences of riverine flooding for seston and the perifiphyton of floating meadows in a Amazon floodplain lake. *Limnol.Oceanogr.*, Waco, v.38, p. 1500-1520, 1993.
- FERMINO, F.S. *Avaliação sazonal dos efeitos de enriquecimento por N e P sobre o perifíton em represa tropical rasa mesotrófica (lago das Ninféias, São Paulo)*. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2006.
- FERRAGUT, C. *Efeito do enriquecimento por nitrogênio e fósforo sobre a colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas: biomanipulação em reservatório raso oligotrófico em São Paulo*. 1999. (Mestrado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 1999.
- FERRAGUT, C. *Respostas das algas perifíticas e planctônicas à manipulação de nutrientes (N e P) em reservatório urbano (Lago do IAG, São Paulo)*. 2004. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2004.
- FORE, L.S.; GRAFE, C. Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (USA). *Freshw. Biol.*, Oxford, v. 47, p. 2015-2037, 2002.
- HOAGLAND, K.D. *et al.* Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). *Am. J. Bot.*, St. Louis, v. 69, p. 188-213, 1982.
- HOECK, C. van den *et al.* 1995. *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995, 627p.
- KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Naviculaceae. *In*: Ettl, H.; *et al.* (eds.). *Süßwasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (1). Stuttgart: Gustav Fischer, 1986. 876 p.

- KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H. *et al.* (eds.). *Süsswasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (2/2). Stuttgart: Gustav Fischer, 1988. 596 p.
- KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H. *et al.* (eds.). *Süsswasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (3). Stuttgart: Gustav Fischer, 1991. 576 p.
- KUTKA, F.J.; RICHARDS, C. Relating diatom assemblage structure to stream habitat quality. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, Wolfvielle, v. 15, n. 4, p. 469-480, 1996.
- LEANDRINI, J.A. Perifíton – Diatomáceas e biomassa- em sistemas semilóticos da planície de inundação do alto rio Paraná. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Maringá, PR, 2006.
- LEANDRINI, J.A. *Diatomáceas perifíticas da região de captação de água da SANEPAR, Maringá, PR*. 1999. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- LOBO, A.E.; LEIGHTON, G. Estruturas de lãs fitocenosis planctônicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marina*, Valparaíso, v. 22, p. 143-170, 1986.
- LOBO, E.A. *et al.* *Utilização de algas diatomáceas epilíticas como indicadoras da qualidade da água em rios e arroios da região hidrográfica do Guairá, RS, Brasil*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002, 127p.
- LOBO, E.A. *et al.* Use of epilithic diatoms as bioindicators from lotic systems in southern Brazil, with special emphasis on eutrophication. *Acta Limnol. Bras.*, São Paulo, vol. 16, n. 1, p. 25-40, 2004.
- LOWE, R.L. *et al.* Periphyton response to nutrient manipulation in streams draining clearcut and forested watersheds. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, Wolfvielle, v. 5, n. 3, p. 221-229, 1986.
- LUDWIG, T.A.V. *Levantamento florístico das diatomáceas (Bacillariophyceae) dos gêneros Cymbella e Gomphonema do Estado de São Paulo*. 1996. Teses (Doutorado em Ciências Biológicas – Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 1996.
- MACKERETH, F.Y.H. *et al.* *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Freshwater Biological Association, 1978.
- McCUNE, B.; MEFFORD, M.J. *Multivariate analysis of ecological data*. Version 4.0. Oregon: MjM Software, 1999.

- MENDES, R.S., BARBOSA, F.A.R. Efeito do enriquecimento in situ sobre a biomassa da comunidade perifítica de um córrego de altitude na Serra do Cipó (M.G.). *Acta Limnol. Bras.*, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 77-86, 2002.
- MONTAGNES, D.J.; FRANKLIN, D.J. Effect of temperature on diatom volume, grown rate, and carbon and nitrogen content. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 46, n. 8, p. 2028-2038, 2001.
- NIEDERHAUSER, P.; SCHANZ, F. Effect of nutrient (N, P, C) enrichment upon the littoral diatom community of an oligotrophic high-mountain lake. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v.269/270, p. 453-462, 1993.
- PATRICK, R.; REIMER, C.W. *The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii*. Monography n.13, v. 1, pt.1. Philadelphia: Livingstgon Company, 1966. 688 p.
- PATRICK, R. E REIMER, C.W. *The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii*. Monography n.13, v. 2, pt.1. Philadelphia: Livingstgon Company, 1975. 213 p.
- PATRICK, R. The effects of increasing light and temperature on the structure of diatom communities. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 16, n. 2, p. 405-452, 1971.
- PHINNEY, H.; McINTIRE, C.D. Effect of temperature on metabolism of periphyton communities developed in laboratory streams. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 10, n. 3, p. 341-344, 1965.
- RODRIGUES, L. *Diatomoflora da região de captação de água do rio Tubarão, município de Tubarão, Estado de Santa Catarina*. 1988. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- RODRIGUES, L.; BICUDO, D.C. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Rev. Brasil. Bot.*, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 235-248, 2001.
- RODRIGUES, L. *et al.* *Perifíton*. Relatório técnico, Programa PELD/CNPq, 2001. Disponível em: <<http://www.peld.uem.br/>>. Acesso em: 01 fev.2008.
- RODRIGUES, L. *et al.* *Estrutura das algas perifíticas na planície de inundação do alto rio Paraná*. Relatório técnico, Programa PELD/CNPq, 2002. Disponível em: <<http://www.peld.uem.br/>>. Acesso em: 01 fev.2008.
- RODRIGUES, L. *et al.* *Algas perifíticas*. Relatório técnico, Programa PELD/CNPq, 2003. Disponível em: <<http://www.peld.uem.br/>>. Acesso em: 01 fev.2008.
- ROS, J. *Prácticas de Ecología*. Barcelona: Ed. Omega, 1979, 181p.

- ROUND, F.E. *et al.* *The diatoms - Biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 747p.
- SEABURG, K.G.; PARKER, B.C. Seasonal differences in the temperature ranges of growth of Virginia algae. *J. Phycol.*, California, v. 19, p. 380-386, 1983.
- STATSOFT, InC. *Statistica (data analysis software system)*. Version 7.1. www.statsoft.com. 2005.
- SIMONSEN, R. *Atlas and Catalogue of Diatom Types of Friedrich Hustedt*. Volume 1. Catalogue. Stuttgart: J. Cramer, 1987a, 525p.
- SIMONSEN, R. *Atlas and Catalogue of Diatom Types of Friedrich Hustedt*. Volume 2. Atlas, Plates 1-395. Stuttgart: J. Cramer, 1987b, 597p.
- SIMONSEN, R. *Atlas and Catalogue of Diatom Types of Friedrich Hustedt*. Volume 3. Atlas, Plates 396-772. Stuttgart: J. Cramer, 1987c, 619p.
- STEVENSON, R.J. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: STEVENSON, R.J. *et al.* (eds). *Algal ecology; freshwater benthic ecosystems*. EUA: Academic Press, 1996, cap. 1, p. 3-30.
- STEVENSON, R.J. *et al.* Density-dependent growth, ecological strategies, and effects of nutrients and shading on benthic diatom succession in streams. *J. Phycol.*, California, v. 27, p. 59-69, 1991.
- SUZUKI, M.S. *Mudanças na estrutura e sucessão das comunidades fitoplanctônicas e perifíticas da lagoa do Infernã (SP), causadas pelo processo de enriquecimento artificial*. 1991. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1991.
- TEN CATE, J.H. *et al.* Perspectives for the use of diatom assemblages in the water management policy of Overijssel (The Netherlands). *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 269/270, 351-359, 1993.
- TILMAN, D. *et al.* Green, bluegreen and diatom algae: Taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 106, n.4, p. 473-485, 1986.
- TRAIN, S. *Diatomoflórula do Córrego Moscados, município de Maringá, Estado do Paraná, Brasil*. 1990. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.
- UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.*, Stuttgart, v. 9, p. 1-38, 1958.



- VAN DAM, H. *et al.* A coded ckecklist and ecological indicador values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Neth. J. Aquat. Ecol.*, Bilthoven, v. 28, n. 1, p. 117-133, 1994.
- VERCELLINO, I. S. *Respostas do perifíton aos pulsos de enriquecimento em níveis crescentes de fósforo e nitrogênio em represa tropical mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo)*. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2007.
- WINTER, J.G.; DUTHIE, H.C. Epilithic diatoms as indicators of stream total N and total P concentration. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, Wolfvielle, v. 19, n. 1, p. 32-49, 2000.
- WU, J.T.; KOW, L.T. Apilicability of a generic index for diatom assemblages to monitor pollution in the tropical River Tsanwun, Taiwan. *Journal of Applied Phycology*, Dordrecht, v. 14, p. 63-69, 2002.
- ZAGATTO, E.A.G. *et al.* *Manual de análises de plantas empregando sistemas de injeção de fluxo*. Piracicaba: Universidade de São Paulo-ESALQ, 1981.

## Capítulo 03

### RESPOSTA DAS ALGAS PERIFÍTICAS ÀS ALTERAÇÕES DE TEMPERATURA E AO ENRIQUECIMENTO ARTIFICIAL DE NUTRIENTES.

**RESUMO.** O estudo visou avaliar, em um experimento em mesocosmos, a influência da temperatura e concentrações de nutrientes na abundância das algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) da planície de inundação do alto rio Paraná. O delineamento experimental constituiu de cinco tratamentos: controle (C) e adição de nutrientes (P+, N+ e NP+) a 25°C, e frio (F) com diminuição da temperatura a 15°C e sem adição de nutrientes. Lâminas de vidro foram utilizadas para colonização das algas perifíticas e as amostragens foram feitas entre o 15º ao 31º dia de sucessão. Através da Análise de Correspondência Canônica pode-se observar uma clara separação entre os tratamentos devido à temperatura e adição de nutrientes. A diminuição de temperatura afetou a abundância das classes de algas perifíticas, principalmente pela redução da densidade relativa de Cyanophyceae e aumento de Zygnemaphyceae. O enriquecimento artificial de nutrientes, principalmente P, alterou a estrutura da comunidade de algas perifíticas. As densidades relativas das classes, em geral, aumentaram com a adição de nutrientes. O fósforo pode ser considerado direcionador na densidade das algas perifíticas, como pode ser observado pela rápida resposta após os enriquecimentos artificiais.

**Palavras chaves:** Algas perifíticas, enriquecimento artificial, temperatura, abundância, planície de inundação.

**Abstract. Periphytic Algae Response to Temperature Changes and Artificial Nutrient Enrichment.** This study set out to evaluate, via a mesocosm experiment, the influence of temperature and concentration of nutrients (N and P) in the abundance of periphytic algae (except Bacillariophyceae) of the Paraná River floodplain. The experiment was designed using 5 treatments: a control (C), added nutrients (P+, N+, NP+) at 25°C, and at 15°C without added nutrients. Glass slides were used for the periphytic algae colonization, and the samples were taken on the 15th and 31st days following colonization. Canonical Correspondence Analysis revealed a clear separation between the treatment groups due to temperature and added nutrients. A decrease in temperature affected the abundance of periphytic algae classes, principally in a reduction of the relative density of Cyanophyceae and increase in the Zygnemaphyceae. The artificial addition of nutrients - principally P - altered the periphytic algae community structure. The relative densities of the classes, in general, increased with the addition of nutrients. Phosphorus may be considered a driver of periphytic algae, as can be seen by the rapid response after artificial enrichment.

**Keywords:** periphytic algae, artificial enrichment, temperature, abundance, floodplain

## INTRODUÇÃO

As algas perifíticas recebem influência de inúmeros fatores para o seu desenvolvimento, incluindo macro e micronutrientes, luz, temperatura, substrato, herbivoria, velocidade da água e partículas transportadas pela corrente (Sand-Jensen, 1983; Stevenson *et al.*, 1996; Rodrigues *et al.*, 2003). Em estudos realizados na planície de inundação do alto rio Paraná, a temperatura e a concentração de nutrientes foram fatores considerados importantes na estrutura da comunidade de algas perifíticas (Rodrigues e Bicudo, 2001; Fonseca, 2004; Rodrigues e Bicudo, 2004; Algarte *et al.*, 2006; Leandrini, 2006).

O efeito da temperatura nas reações bioquímicas difere entre as espécies, sendo importante no desenvolvimento e abundância das algas. Experimentos foram realizados, visando determinar a temperatura ótima de crescimento para espécies de Cyanophyceae (Mosser e Brock, 1971; Tsujimura *et al.*, 2001; Chu *et al.*, 2007), Zygnemaphyceae (Graham *et al.*, 1996; Berry e Lembi, 2000) e Chlorophyceae (Rhee e Gotham, 1981). Uma maior eficiência em uma dada temperatura pode favorecer a abundância de determinada espécie no ambiente. Apesar das muitas variáveis que afetam as comunidades de algas, o estudo de Chu *et al.* (2007) sugere que a temperatura da água é um importante fator na troca de dominância.

Os nutrientes, devido ao papel principal que eles desempenham na eutrofização de lagos, tem sido considerados também na seleção de espécies (Reynolds, 1998). Estudos procuram relacionar a dominância ou abundância das algas às diferentes concentração de nutrientes, principalmente fósforo (P) e nitrogênio (N), e a razão entre eles (NT:PT) (Shapiro, 1973; Tilman *et al.*, 1986; Pick e Lean, 1987; Huszar *et al.*, 2000; Salmaso, 2000). Segundo Olsen (1989), a habilidade no uso e estocagem de P é, juntamente com as suas características de absorção, crítica na competição por esse nutriente. E experimentos demonstram que as espécies apresentaram diferentes mecanismos de resposta à adição de um nutriente (Spijkerman e Coesel, 1998; Hyenstrand *et al.*, 2000).

No estudo de McCormick e O'Dell (1986), pequenas adições de P já foram suficientes para alterar a estrutura da comunidade perifítica, com substituição da comunidade característica de condições oligotróficas. Outros estudos também indicam a substituição na dominância e/ou alteração nas densidades das classes de algas com o enriquecimento artificial em comunidades perifíticas (Hillebrand e Kahlert, 2001) e

planctônicas (Shapiro, 1973; Tilman *et al.*, 1986; Levine e Schindler, 1999; Sagrario *et al.*, 2005).

No Brasil, já foram realizados os seguintes trabalhos experimentais com nutrientes envolvendo a comunidade perifítica: em uma lagoa (Suzuki, 1991) e uma represa em São Paulo (Cerrao *et al.*, 1991), em uma lagoa na planície de inundação amazônica (Engle e Melack, 1993), em córrego em Minas Gerais (Mendes e Barbosa, 2002) e no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga em São Paulo (Ferragut, 1999, 2004; Barcelos, 2003; Fermino, 2006; Vercellino, 2007).

As hipóteses do presente estudo são que: a) a temperatura afeta a densidade de algas perifíticas, b) a adição de nutrientes favorece um aumento na densidade de algas perifíticas, c) as classes de algas, em termos de abundância, respondem diferentemente a adição de fósforo (P) e nitrogênio (N).

O estudo visou avaliar, em um experimento em mesocosmos, a influência da temperatura e concentrações de nutrientes na abundância das algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae). Os objetivos foram: a) comparar a densidade das algas a diferentes temperaturas; b) avaliar a resposta das classes de algas, em termos de abundância, ao enriquecimento artificial; c) caracterizar as classes que são favorecidas com a adição de nutrientes.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A influência da temperatura e do enriquecimento artificial de nitrogênio (N) e fósforo (P) sobre a abundância das algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) foi testada em mesocosmos. A colonização e o estabelecimento das algas perifíticas foram em substratos artificiais e em condições naturais em um ambiente lântico da planície de inundação do alto rio Paraná – lagoa das Garças. Após o estabelecimento da comunidade, os substratos foram transferidos para aquários em laboratório. O experimento foi realizado entre os dias 16 de março a 16 de abril de 2005.

Lâminas de vidro, em suportes de madeira, foram utilizadas como substratos artificiais para a colonização e estabelecimento das algas perifíticas. Os suportes de madeira foram colocados próximos aos bancos de macrófita, na região litorânea da lagoa, ao lado da macrófita *Eichhornia azurea* Kunth.

## **Montagem do experimento no laboratório**

O experimento no laboratório foi realizado na Base Avançada de Pesquisa do Nupélia/UEM, localizada na margem do rio Paraná (Porto Rico – PR). O delineamento experimental constituiu de cinco tratamentos, em triplicata: controle, adição de fósforo (P+), adição de nitrogênio (N+), adição de nitrogênio e fósforo (NP+) e frio. Cada tratamento foi realizado em uma bateria de aquários.

Os aquários, com capacidade de 300 L cada, estavam dispostos em fileiras, constituindo cada fileira uma bateria com controle independente de temperatura. Para o experimento foram utilizados três aquários em cada bateria.

Os aquários foram enchidos com água do ambiente natural, no dia 26 de março de 2005. A água foi coletada na lagoa das Garças, com auxílio de mangueiras e bomba, e transportada em caixas d'água para transferência para os aquários.

No tratamento frio a temperatura da água foi reduzida e mantida a 15°C. Nos demais tratamentos a temperatura foi mantida a 25°C.

Nos tratamentos P+, N+ e NP+ foram adicionados nutrientes. O enriquecimento com N e P foi feito adicionando-se 12,5 mL de soluções de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (1600mgP/L) e de  $\text{NaNO}_3$  (10000mgN/L) em cada aquário no início do experimento no laboratório (30/03/2005) e após uma semana (06/04/2005).

A transferência dos substratos artificiais da lagoa, ambiente natural, para os aquários, no laboratório, realizou-se no dia 31 de março de 2005, 15º dia de sucessão das algas perifíticas, quando a comunidade já estava estabelecida, segundo Rodrigues e Bicudo (2001).

Os suportes de madeira com as lâminas de vidro foram trazidos da lagoa para o laboratório, em caixa térmica com gelo, e em seguida, as lâminas foram transferidas para suportes de isopor. Optou-se pelo uso de suportes de isopor devido ao seu peso e tamanho, mais compatíveis com a estrutura do aquário e facilidade de manipulação.

## **Amostragem e análise dos dados**

As amostragens foram realizadas coletando-se as lâminas de vidro referentes ao 15º dia de sucessão, ainda na lagoa das Garças, e no 16º, 18º, 20º, 22º, 25º e 31º dia de sucessão, nos aquários (31/03/2005 a 16/04/2005). A amostragem do perifíton foi feita

segundo critério aleatório de sorteio das lâminas de vidro a serem coletadas. As coletas foram realizadas em réplica.

O perifíton foi removido das lâminas de vidro com o auxílio de lâminas de aço e jatos de água destilada. O material foi acondicionado em frascos de vidro de 150 mL e fixado e preservado com solução de Transeau, para análise qualitativa, e com solução de lugol acético 0,5%, para análise quantitativa.

Os dados abióticos foram coletados simultaneamente aos dados bióticos e os resultados encontram-se no capítulo 01 (pág. 10). Os parâmetros físicos e químicos utilizados foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade, pH, nitrogênio total (NT), nitrato (N-NO<sub>3</sub>), nitrito (N-NO<sub>2</sub>), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), fósforo total (PT), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>).

A temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade e pH foram medidos com auxílio de aparelhos de campo (marca Digimed). Amostras da água foram coletadas para filtração utilizando-se membranas GF/C para análises das concentrações de nutrientes. As concentrações PT e P-PO<sub>4</sub> foram quantificadas por espectrofotometria pela reação de molibdato de sódio (Mackereth *et al.*, 1978). As concentrações de N-NH<sub>4</sub> foram quantificadas segundo Mackereth *et al.* (1978). As concentrações de NT, N-NO<sub>3</sub> e N-NO<sub>2</sub> foram determinadas através do método de análise de injeção de fluxo (FIA) (Zagatto *et al.*, 1981).

A análise taxonômica das algas perifíticas foi realizada em microscópio óptico. A identificação das espécies foi feita com base na literatura clássica (Anagnostidis e Komárek, 1988; Croasdale e Flint, 1986, 1988; Dillard, 1990, 1991; Föster, 1982; Komárek e Anagnostidis, 1986, 1989; Krammer e Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991; Patrick e Reimer, 1966, 1975; Prescott, 1982; Prescott *et al.*, 1981, 1982) e outras regionais. O sistema de classificação em nível de classes utilizado foi Round (1965, 1971) complementado por Bicudo e Menezes (2006).

A quantificação das algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) foi realizada em microscópio invertido, utilizando-se o método de Utermöhl (1958). A contagem foi em campos aleatórios até atingir uma estabilização da curva (de rarefação de espécies) e um total de 100 indivíduos da espécie mais comum (Bicudo, 1990).

A densidade das algas perifíticas foi calculada segundo a equação de Ros (1979).

Para verificar a existência de relações entre a densidade relativa das classes de algas e as variáveis abióticas, os dados foram analisados pela matriz de correlação de Spearman ( $p < 0,05$ ).

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi utilizada para ordenação das variáveis bióticas em função das abióticas.

Para a análise de ACC utilizou-se o programa PC-ORD, versão 4.01 (McCune e Mefford, 1999). E para a construção dos gráficos o programa STATISTICA, versão 7.1 (StatSoft, 2005).

## RESULTADOS

Na lagoa das Garças e nos tratamentos foram registrados 230 táxons de algas perifíticas, distribuídos em 83 gêneros e 9 classes (Cyanophyceae, Chlamydomphyceae, Chlorophyceae, Zygnemaphyceae, Oedogoniophyceae, Euglenophyceae, Cryptophyceae, Xanthophyceae e Chrysophyceae).

As classes de algas perifíticas analisadas, exceto Bacillariophyceae, representaram no máximo 16% da densidade total da comunidade de algas perifíticas (Figura 1), variando de 3.736 ind.cm<sup>-2</sup> a 17.506 ind.cm<sup>-2</sup> (Figura 2). Na lagoa das Garças, 15º dia de sucessão, a densidade foi de 7.833 ind.cm<sup>-2</sup>. A densidade no controle, no dia seguinte de sucessão, praticamente dobrou, chegando a 14.840 ind.cm<sup>-2</sup>. Depois, observa-se uma variação na densidade ao longo da sucessão nesse tratamento.

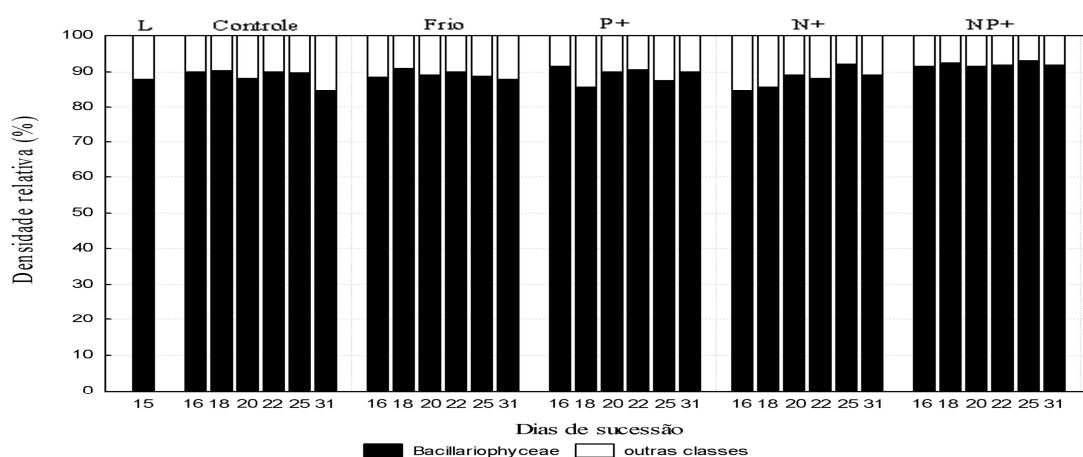


Figura 1. Densidade relativa de Bacillariophyceae e outras classes de algas perifíticas ao longo da sucessão (15º a 31º dia de sucessão) na lagoa das Garças e nos tratamentos controle, frio e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+).

Comparando-se o tratamento controle e frio, observaram-se valores maiores de densidade com a diminuição da temperatura. Em geral, a densidade das algas perifíticas no controle foi maior do que nos tratamentos com adição de nutrientes (Figura 2). Apenas no 18º dia de sucessão, as densidades dos tratamentos P+, N+ e NP+ foram maiores do que no controle.

Na lagoa das Garças, 15º dia de sucessão, a maior densidade relativa foi de Cyanophyceae (37%), seguida de Zygnemaphyceae (26%), Chlorophyceae (19%) e Oedogoniophyceae (18%). Não foram registradas espécies das demais classes.

As densidades relativas das classes entre os tratamentos foram distintas (Figura 3). No experimento, as classes de algas com maior densidade relativa foram: Cyanophyceae, Chlorophyceae, Oedogoniophyceae e Zygnemaphyceae (Figura 3). No controle, a densidade relativa das demais classes juntas não ultrapassa 11%. Nos tratamentos frio e com adição de nutrientes (P+, N+ e NP+) ocorreu maior proporção das demais classes.

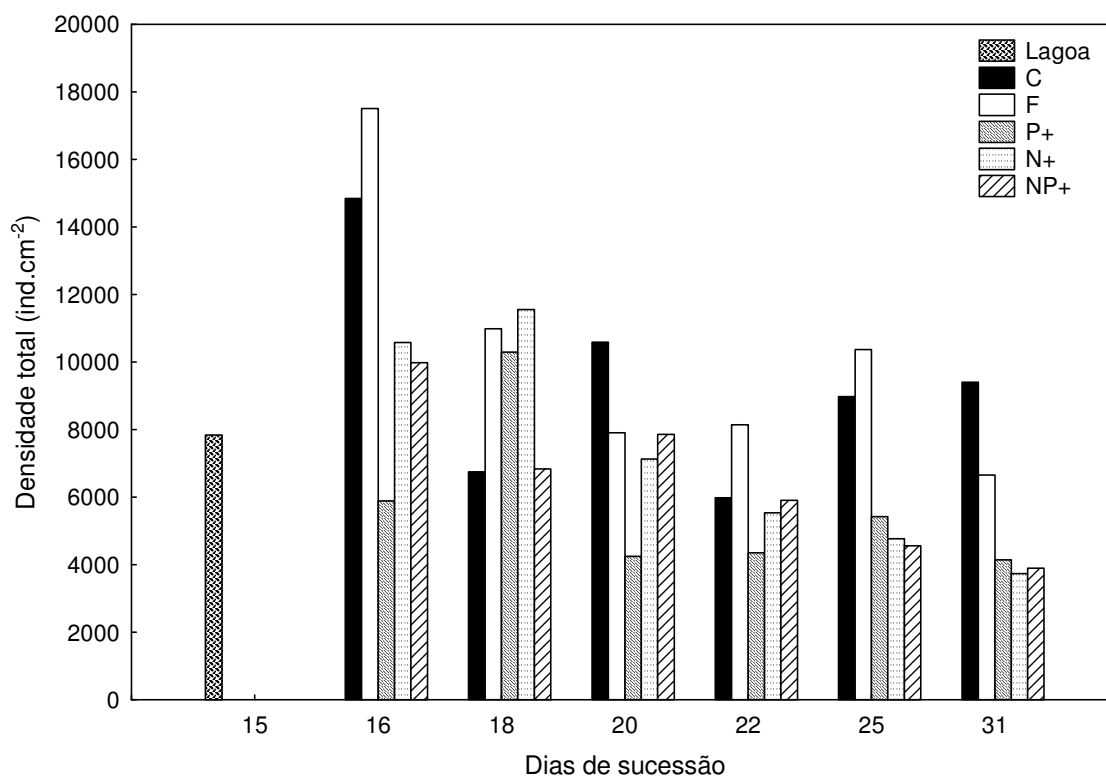


Figura 2. Densidade (ind.cm<sup>-2</sup>) de algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) na lagoa das Garças e nos tratamentos e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) ao longo da sucessão (15º ao 31º dia).



No tratamento controle, nos dias iniciais (16° e 18°) as maiores densidades relativas foram de Chlorophyceae. A partir do 20° dia de sucessão ocorre abundância de Cyanophyceae. No 31° dia, Cyanophyceae chegou a representar 46% da densidade de algas. A densidade relativa de Cyanophyceae foi maior apenas no controle. Nos demais tratamentos, a densidade dessa classe não ultrapassou 10% (Figura 3).

No tratamento frio, a maior densidade relativa foi de Chlorophyceae, exceto no 20° dia de sucessão, onde ocorreu abundância de Zygnemaphyceae (Figura 3). As densidades das classes foram maiores no frio do que no controle, principalmente de Zygnemaphyceae. No frio, a densidade de Zygnemaphyceae variou de 23% a 38% e no controle não ultrapassou 18%. Contudo, essa classe não apresentou correlação significativa com a temperatura (Tabela 1). As demais classes representaram no máximo 18% (no 25° dia de sucessão) no tratamento frio (Figura 3).

As densidades relativas das classes Chlamydomophyceae, Euglenophyceae, Cryptophyceae, Xanthophyceae e Chrysophyceae estiveram correlacionadas positivamente com a temperatura (Tabela 1).

Considerando-se os tratamentos com adição de nutrientes e o controle, em geral, as densidades relativas das classes foram maiores com o enriquecimento de nutrientes, principalmente P, exceto para Cyanophyceae. As densidades relativas de Chlamydomophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae e Xanthophyceae foram maiores, em ordem, nos tratamentos P+, NP+ e N+. Essas classes estiveram correlacionadas positivamente com as concentrações de fósforo total e ortofosfato (Tabela 1).

Chlorophyceae e Zygnemaphyceae foram as únicas classes que apresentaram correlação significativa com as razões NT:PT (Tabela 1). As densidades relativas de Chlorophyceae foram semelhantes no controle (19% a 42%) e no tratamento N+ (23% a 40%), e maiores do que nos tratamentos P+ e NP+ (Figura 3). Essa classe esteve correlacionada positivamente com as concentrações de nitrato e negativamente com de fósforo total e ortofosfato (Tabela 1). As maiores densidades relativas de Zygnemaphyceae foram encontradas nos tratamentos com adição de nutrientes, principalmente no tratamento NP+, onde atinge 26% no 16° dia de sucessão. Essa classe esteve correlacionada negativamente com as concentrações de fósforo total e ortofosfato (Tabela 1).

As densidades relativas de Oedogoniophyceae foram maiores no tratamento com adição isolada de N, chegando a atingir 34% da densidade (22° dia), do que no controle

com máximo de 24% (20° dia). Essa classe apresentou correlação positiva com o nitrogênio total e nitrato (Tabela 1).

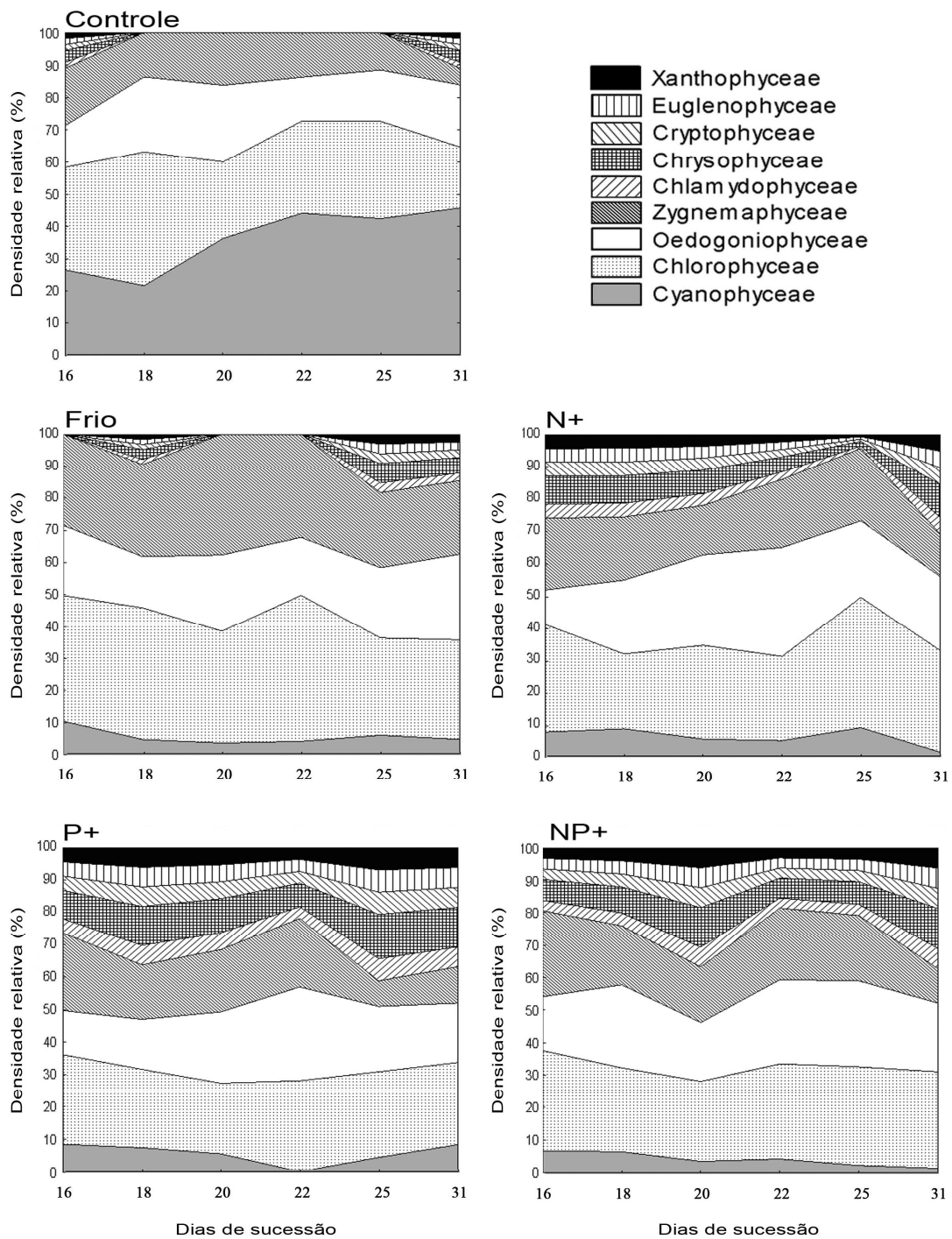


Figura 3. Densidade relativa (%) das classes de algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) ao longo da sucessão nos tratamentos controle, frio e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+).

O fósforo pode ser considerado direcionador na densidade das algas perifíticas. Nos tratamentos com adição de fósforo (P+ e NP+), ocorreu uma resposta rápida das algas perifíticas, como pôde-se observar pela alteração nas densidades relativas das classes (22º dia) (Figura 3). Vale ressaltar que o 2º enriquecimento ocorreu entre o 21º e 22º dia de sucessão.

No tratamento N+ também ocorreu uma resposta das algas perifíticas, contudo mais tardia, no 25º dia de sucessão, com aumento de Cyanophyceae, Zygnemaphyceae e principalmente de Chlorophyceae e diminuição das densidades das demais classes (Figura 3).

Tabela 1. Coeficiente de correlação de Spearman (r) entre a densidade relativa das classes de algas perifíticas e as variáveis abióticas. Apenas as correlações significativas ( $p < 0,05$ ) são mostradas.

Classes	Temperatura (°C)	N total (µg/L)	N-NO <sub>3</sub> (µg/L)	P total (µg/L)	P-PO <sub>4</sub> (µg/L)	NT:PT (razão atômica)
Cyanophyceae	-	-0,54	-0,54	-	-	-
Chlamydomphyceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-
Chlorophyceae	-	-	0,38	-0,47	-0,53	0,46
Zygnemaphyceae	-	-	-	-0,46	-0,46	0,50
Oedogoniophyceae	-	0,41	0,45	-	-	-
Euglenophyceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-
Cryptophyceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-
Xanthophyceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-
Chrysophyceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) resumiu 66,7% da variabilidade total dos dados em seus dois primeiros eixos. As correlações de Pearson espécie-ambiente foram elevadas para os eixos 1 e 2 ( $r = 0,93$  e  $r = 0,87$ ; respectivamente), indicando forte relação entre as densidades das classes de algas perifíticas e as variáveis abióticas. Essas correlações foram significativas para ambos os eixos (teste de Monte Carlo,  $p < 0,003$ ).

Através da ACC, pode-se observar uma clara separação entre os tratamentos, principalmente entre o controle, frio e adição de nutrientes (Figura 4). O tratamento controle esteve próximo da lagoa das Garças. Os tratamentos com adição de nutrientes, principalmente P+ e NP+, estiveram separados nos primeiros estágios de sucessão e ao final da sucessão esses tratamentos estiveram mais próximos. O estágio sucessional, em

geral, influenciou a distribuição das unidades amostrais em cada tratamento, com os primeiros estágios posicionados no lado negativo do eixo 2 e os finais no lado positivo.

Observa-se uma alteração no processo sucessional entre o 20º e 22º dia no controle e mais pronunciado nos tratamentos com adição de nutrientes (P+, N+ e NP+). No tratamento frio, ocorreu um retrocesso entre o 18º e 20º dia sucessional (Figura 4).

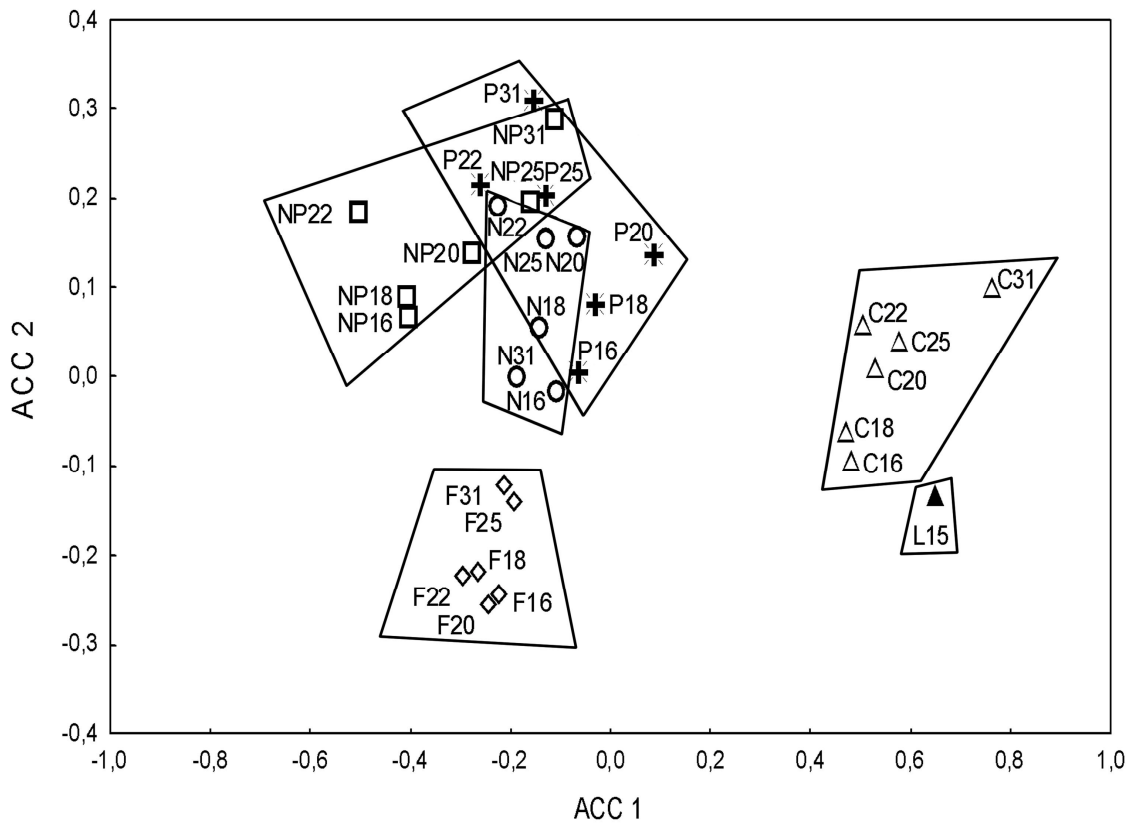


Figura 4. Ordenação pela Análise de Correspondência Canônica (ACC) da lagoa das Garças (L) e dos tratamentos controle (C), frio (F) e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N) e nitrogênio e fósforo (NP+), ao longo da sucessão (15º ao 31º dia).

O eixo 1 (56,5%) esteve associado negativamente com os valores de nitrogênio total e nitrato e positivamente com a temperatura (correlação de Pearson e Kendall) (Tabela 2). Essas variáveis também foram importantes, como é possível observar nas correlações “intra-set”. A lagoa das Garças e o controle estiveram posicionados no lado positivo desse eixo e os demais tratamentos no lado negativo.

As classes que apresentaram correlação positiva com o eixo 1 foram principalmente Cyanophyceae, e com menor correlação Euglenophyceae. As demais classes estiveram correlacionadas negativamente com esse eixo (Tabela 3).

O eixo 2 (10%) esteve associado positivamente com os valores de condutividade, ortofosfato, fósforo total e temperatura da água e negativamente com oxigênio dissolvido. Essas variáveis foram também as mais importantes indicadas nas correlações “intra-set” (Tabela 2).

O tratamento frio esteve posicionado no lado negativo do eixo 2, assim como a lagoa das Garças. Em relação aos demais tratamentos, observa-se que os dias de sucessão iniciais estiveram posicionados mais ao lado negativo e os dias finais, no lado positivo desse eixo. As classes Xanthophyceae, Zygnemaphyceae e Chlorophyceae estiveram correlacionadas negativamente com o eixo 2. A classe Chlamydomphyceae esteve correlacionada positivamente com esse eixo (Tabela 3).

Tabela 2. Correlações de Pearson e Kendall, coeficientes canônicos e correlações “intra-set” das variáveis abióticas com os eixos 1 e 2 da Análise de Correspondência Canônica (ACC).

Variáveis abióticas	Correlações de Pearson e Kendall		Coeficientes canônicos		Correlações “intra-set”	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
Temperatura da água	0,242	<b>0,726</b>	-0,054	0,259	0,300	<b>0,668</b>
Oxigênio dissolvido	-0,314	<b>-0,607</b>	-0,111	0,225	-0,355	<b>-0,600</b>
Condutividade	-0,028	<b>0,821</b>	0,219	0,011	0,092	<b>0,765</b>
pH	-0,121	0,438	0,014	-0,011	-0,067	0,391
N total	<b>-0,680</b>	0,237	-0,515	0,059	<b>-0,693</b>	0,197
N-NO <sub>3</sub>	<b>-0,597</b>	0,017	0,231	-0,075	<b>-0,622</b>	-0,067
N-NO <sub>2</sub>	0,121	0,473	0,130	0,063	0,204	0,378
N-NH <sub>4</sub>	-0,103	0,211	0,058	0,060	-0,108	0,321
P total	-0,330	<b>0,758</b>	-0,087	-0,040	-0,255	<b>0,641</b>
P-PO <sub>4</sub>	-0,323	<b>0,775</b>	-0,150	0,087	-0,248	<b>0,658</b>

Tabela 3. Correlações de Pearson e Kendall das classes de algas com os eixos 1 e 2 da ACC.

Classe	Eixo 1	Eixo 2
Chlamydomphyceae	-0,333	0,372
Chlorophyceae	-0,082	<b>-0,594</b>
Chrysophyceae	-0,294	-0,376
Cryptophyceae	-0,023	0,141
Cyanophyceae	<b>0,866</b>	-0,212
Euglenophyceae	0,329	-0,203
Oedogoniophyceae	-0,128	-0,259
Xanthophyceae	-0,099	<b>-0,678</b>
Zygnemaphyceae	-0,255	<b>-0,677</b>

## DISCUSSÃO

A diminuição da temperatura e o enriquecimento artificial de nutrientes influenciaram a abundância das algas perifíticas. A separação entre os tratamentos foi clara, como foi possível observar pela ACC, indicando que a densidade das classes de algas perifíticas está fortemente relacionada aos fatores abióticos. O controle esteve separado do tratamento frio e com adição de nutrientes.

Estudos indicam uma relação direta entre temperatura e taxas de fotossíntese e/ou crescimento (Mosser e Brock, 1971; Robarts e Zohary, 1987, Graham *et al.*, 1996; Bouterfas *et al.*, 2002; Yamamoto e Nakahara, 2005). No presente experimento, observa-se no tratamento frio, uma diminuição da densidade de algas perifíticas ao longo da sucessão, entre o 16º dia e 22º dia. Contudo, apesar da temperatura mais baixa, as densidades das algas no frio, em geral, foram maiores do que no controle. Em McCabe e Cyr (2006), a abundância total das algas foi similar em todos os locais de coleta, ocorrendo alteração da composição das comunidades bênticas com a variabilidade da temperatura.

Determinadas classes de algas podem ser favorecidas com a alteração de temperatura, pois as espécies possuem temperatura ótima de crescimento específica (Mosser e Brock, 1971; Rhee e Gotham, 1981; Graham *et al.*, 1996; Berry e Lembi, 2000; Tsujimura *et al.*, 2001; Chu *et al.*, 2007). No presente experimento, foi possível observar a mudança nas densidades relativas das classes que compõem a comunidade de algas perifíticas nos tratamentos controle e frio.

Na lagoa das Garças e no tratamento controle registrou-se abundância de Cyanophyceae, que variou de 22% (18º dia) a 46% (31º dia). Fonseca e Rodrigues (2005), em um estudo nessa mesma lagoa, relacionaram o aumento na densidade de Cyanophyceae no perifíton com a estabilidade térmica do ambiente, usualmente maior nos períodos quentes e chuvosos.

Nesse estudo, com a diminuição da temperatura, a 15°C, a densidade relativa de Cyanophyceae reduziu, variando de 4% (20º dia) a 10% (16º dia) apenas. Segundo Robarts e Zohary (1987), dados de literatura e campo demonstraram que a capacidade fotossintética, a taxa de respiração específica e a taxa de crescimento de Cyanophyceae são dependentes da temperatura, com ótimo de, geralmente, 25°C ou maior. Espécies dessa classe apresentam preferência a temperaturas maiores (Yamamoto e Nakahara, 2005; Chu *et al.*, 2007), sendo inclusive resistente às temperaturas de ambientes termais

(Mosser e Brock, 1971; Sompong *et al.*, 2005). Em Huszar *et al.* (2000), a abundância relativa de Cyanophyceae foi correlacionada positivamente com a temperatura, e em Tilman *et al.* (1986) e Bressan (2001) ocorre dominância de espécies dessa classe em altas temperaturas.

As demais classes apresentaram, em geral, densidades relativas maiores com a redução da temperatura, principalmente Zygnemaphyceae. Coesel e Wandenaar (1990), em um estudo com espécies de desmídias planctônicas, consideraram a temperatura ótima de crescimento entre 25°C a 30°C. Apesar disso, no presente experimento, as densidades relativas de Zygnemaphyceae foram maiores no tratamento frio, chegando a atingir 38%. A diminuição acentuada da densidade relativa de Cyanophyceae no frio pode ter permitido o desenvolvimento das demais classes. Dessa forma, o aumento na densidade das demais classes poderia estar relacionado com o favorecimento que essas classes tiveram com a ausência de Cyanophyceae, que era a classe de maior abundância no controle. De fato, a maioria das classes (Chlamydomphyceae, Crysophyceae, Euglenophyceae e Xanthophyceae) apresentou correlação positiva com a temperatura, sendo que as demais não apresentaram correlação significativa.

No presente experimento, a adição de nutrientes para as algas, como o fósforo (P) e nitrogênio (N) não favoreceu um aumento na densidade total comparado com o controle. No estudo de Havens *et al.* (1996), não foram observadas alterações na estrutura da comunidade perifítica, em termos de densidade, em resposta à adição de nutrientes limitantes. Já em Fermino (2006), Vercellino (2007) e Ferragut (2004), a densidade total de algas aumentou com o enriquecimento artificial de nutrientes.

Pela ACC, observou-se separação entre o controle e os tratamentos com adição de nutrientes (P+, N+, NP+) indicando que o enriquecimento artificial afetou a densidade das classes de algas perifíticas. Em geral, as densidades relativas das classes foram maiores com a adição de nutrientes, principalmente P, exceto de Cyanophyceae. Os dados da literatura mundial indicam uma maior limitação por N e P em regiões temperadas e por P em regiões tropicais e subtropicais para o perifíton e os estudos realizados no Brasil reforçam tal tendência (Huszar *et al.*, 2005).

A classe Cyanophyceae constitui um grupo extremamente oportunista e sensível às alterações do ambiente (Paerl, 1988). Em Shapiro (1973), com aumento na concentração de nutrientes ocorreu uma alta população de Cyanophyceae, e em Barcelos (2003), essa classe foi dominante no tratamento eutrófico. Contudo, no presente experimento, Cyanophyceae apresentaram alta correlação positiva com o eixo

1 da ACC, onde estiveram posicionadas as unidades amostrais do controle. Com a adição de nutrientes, ocorreu redução nas densidades relativas para menos de 10%. Em McCormick e O'Dell (1996), o enriquecimento de P também ocasionou declínio em Cyanophyceae, como no presente estudo.

A dominância de Cyanophyceae têm sido relacionada a uma baixa razão N:P (Smith, 1983; Tilman *et al.*, 1986). Segundo Pick e Lean (1987), Cyanophyceae tendem a torna-se raras em ambiente com razão NT:PT acima de 30 e abaixo desse valor podem ou não tornarem dominante, pois resultados de estudos de laboratórios não fornecem evidências conclusivas de que as razões N:P desempenham papel principal na dominância, havendo considerável variabilidade nas razões N:P para espécies bem estudadas dessa classe.

No presente estudo, não ocorreu dominância de Cyanophyceae em nenhuma das razões N:P, nem com adição de P sozinho. Em Bressan (2001) a dominância de uma espécie de Cyanophyceae (*Cylindrospermopsis raciborskii*) em um reservatório (PE) foi favorecida por altas temperaturas, elevado pH, baixas intensidades luminosas e teores de fósforo relativamente baixos. No estudo de Huszar *et al.* (2000) em lagos tropicais brasileiros, a abundância relativa de Cyanophyceae foi correlacionada positivamente com a temperatura, mas não ao pH ou fósforo total.

As densidades relativas de Chlorophyceae foram semelhantes no controle e no tratamento N+ e menores com adição de P e NP. Em Fermino (2006), a densidade dessa classe também foi maior no controle e não ocorreu aumento com o enriquecimento artificial.

Como ocorrido no tratamento frio, a redução acentuada de Cyanophyceae pode ter favorecido o desenvolvimento e conseqüente aumento na densidade relativa das demais classes, como Zygnemaphyceae com a adição de nutrientes. A densidade relativa de Zygnemaphyceae foi maior nos tratamentos com adição de nutrientes, principalmente em NP+, seguido por P+ e N+, do que no controle. Essa classe apresentou correlação negativa com as concentrações de fósforo total e ortofosfato. No estudo de Vercellino (2007), no tratamento mais enriquecido com P (hipereutrófico), houve nítido aumento de Chlorophyceae e diminuição de Zygnemaphyceae. Segundo Coesel (1996), a maioria dos táxons dessa classe é de hábitat oligotrófico a mesotrófico.

As densidades relativas de Chlamydoephyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, Xanthophyceae e Chrysophyceae foram maiores nos tratamentos com adição de P, principalmente, e estiveram correlacionadas positivamente com as concentrações de



fósforo total e ortofosfato. Segundo Vercellino (2007), espécies de *Chlamydomonas* têm mostrado ampla tolerância às condições tróficas e estiveram associadas à elevada disponibilidade de NP. Em Fermino (2006), Cryptophyceae foi expressiva no tratamento com adição combinada de NP, com densidades variando de 30% a 57%. No presente experimento, no controle, as classes Chlamydomonadales e Cryptophyceae só estiveram presentes no estágio inicial (16º dia) e final (31º). Já nos tratamentos com adição de nutrientes, essas classes ocorreram em todos os dias de sucessão e em densidades maiores do que no controle, atingindo 7% no tratamento P+.

Conclui-se com este estudo que a diminuição de temperatura afetou a abundância das classes de algas perifíticas, como pode ser observado, principalmente pela redução de Cyanophyceae e aumento de Zygnematales. O enriquecimento artificial de nutrientes, principalmente P, alterou a estrutura da comunidade de algas perifíticas. As densidades relativas das classes, em geral, aumentaram com a adição de nutrientes.

Considerando a importância da comunidade perifítica na produtividade do ecossistema e a retenção dos nutrientes pelos reservatórios, principalmente o fósforo, alertar-se para as possíveis alterações futuras na cadeia trófica do sistema.

## REFERÊNCIAS

- ALGARTE, V.M. *et al.* Algas do perifíton de distintos ambientes na planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Sci.Biol.Sci.*, Maringá, v. 28, p. 243-251, 2006.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Morden approach to the classification system of Cyanophytes 3 – Oscillatoriales. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 80, p. 327-472, 1988.
- BARCELOS, E.M. *Avaliação do perifíton como sensor da oligotrofização experimental em reservatório eutrófico (Lago das Garças, São Paulo)*. 2003. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2003.
- BERRY, H.A.; LEMBI, C.A. Effects of temperature and irradiance on the seasonal variation of a *Spirogyra* (Chlorophyta) population in a Midwestern Lake (U.S.A.). *J. Phycol.*, California, v. 36, p. 841-851, 2000.
- BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil*. (Chave de identificação e descrições). São Carlos: RIMA, 2006, 489p.
- BICUDO, D.C. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. *Acta Limnol. Bras.*, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 459-475, 1990.
- BOUTERFAS, R. *et al.* Light and temperature effects on the growth rate of three freshwater algae isolated from a eutrophic lake. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 489, p. 207-217, 2002.
- BRESSAN, F.A. *Fatores reguladores da dominância de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba-Raju no reservatório Tabocas, Caruaru, PE*. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Botânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- CERRAO, G.C. *et al.* Efeito do enriquecimento artificial sobre a biomassa de perifíton em tanques artificiais na Represa do Lobo (Broa). *Rev.Brasil.Biol.*, Rio de Janeiro, v. 51, n. 1, p. 71-78, 1991.
- CHU, Z. *et al.* The effect of temperature on growth characteristics and competitions of *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria mougeotii* in a shallow, eutrophic lake simulator system. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 581, p. 217-223, 2007.
- COESEL, P.F.M. Biogeography of desmids. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 336, p. 41-53, 1996.
- COESEL, P.F.M.; WARDENAAR, K. Growth responses of planktonic desmid species in a temperature – light gradient. *Freshw. Biol.*, Oxford, v. 23, p. 551-560, 1990.

- CROASDALE, H.; FLINT, E.A. *Flora of New Zealand: Freshwater Algae, Chlorophyta, Desmids*. Wellington: Government Printer, 1986. 132p.
- CROASDALE, H.; FLINT, E.A. *Flora of New Zealand: Freshwater algae, Chlorophyta, Desmids*. Wellington: Government Printer, 1988. 147p.
- DILLARD, G.E. *Freshwater Algae of the Southeastern United States*. Part 3. Chrolophyceae: Zygnematales: Mesotaeniaceae and Desmidiaceae (Section 1). *Bibliotheca phycologica*, v. 85. Berlin: Cramer, 1990. 172p.
- DILLARD, G.E. *Freshwater Algae of the Southeastern United States*. Part 4. Chrolophyceae: Zygnematales: Desmidiaceae (Section 2). *Bibliotheca phycologica*, v. 89. Berlin: Cramer, 1991. 205p.
- ENGLE, D.L.; MELACK, J.M. Consequences of riverine flooding for seston and the perifhyton of floating meadows in a Amazon floodplain lake. *Limnol.Oceanogr.*, Waco, v.38, p. 1500-1520, 1993.
- FERMINO, F.S. *Avaliação sazonal dos efeitos de enriquecimento por N e P sobre o perifíton em represa tropical rasa mesotrófica (lago das Ninfêias, São Paulo)*. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2006.
- FERRAGUT, C. *Efeito do enriquecimento por nitrogênio e fósforo sobre a colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas: biomanipulação em reservatório raso oligotrófico em São Paulo*. 1999. (Mestrado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 1999.
- FERRAGUT, C. *Respostas das algas perifíticas e planctônicas à manipulação de nutrientes (N e P) em reservatório urbano (Lago do IAG, São Paulo)*. 2004. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2004.
- FONSECA, I. *Comunidade perifítica, com ênfase para cianobactérias, em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná*. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Maringá, PR, 2004.
- FONSECA, I.A.; RODRIGUES, L. 2005. Comunidade de algas perifíticas em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Sci. Biol. Sci.*, Maringá, v. 27, n. 1, p. 21-28, 2005.
- FÖRSTER, K. Conjugatophyceae: Zygnematales und Desmidiales (excl. Zygnemataceae). In: HUBER-PESTALOZZI, G. (ed). *Das Phytoplankton des*

*Süsswassers: Systematik und Biologie.* Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1982. 543p.

GRAHAM, J.M. *et al.* Physiological ecology of a species of the filamentous green alga *Mougeotia* under acidic conditions: Light and temperature effects on photosynthesis and respiration. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 41, n. 2, p. 253-262, 1996.

HAVENS, K.E. *et al.* Phytoplankton and periphyton responses to *in situ* experimental nutrient enrichment in a shallow subtropical lake. *J. Plankton Res.*, New York, v. 18, n. 4, p. 551-566, 1996.

HILLEBRAND, H.; KAHLERT, M.. Effect of grazing and nutrient supply on periphyton biomass and nutrient stoichiometry in habitats of different productivity. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 46, n. 8, p. 1881-1898, 2001.

HUSZAR, V.L.M. *et al.* Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian water. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 424, p. 67-77, 2000.

HUSZAR, V.L.M. *et al.* Subsídios para compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e do perifíton em ecossistemas continentais lênticos do Brasil. In: ROLAND; F.D. *et al.* (eds). *Lições de Limnologia*. São Carlos: RiMa, 2005, p. 243-260.

HYENSTRAND, P. *et al.* Competition between the green alga *Scenedesmus* and the cyanobacterium *Synechococcus* under different modes of inorganic nitrogen supply. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 435, p. 91-98, 2000.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 2 – Chroococcales. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 73, p. 157-226, 1986.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 4 – Nostocales. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 82, p. 247-345, 1989.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H. *et al.* (eds.). *Süsswasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (2/2). Stuttgart: Gustav Fischer, 1988. 596 p.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H. *et al.* (eds.). *Süsswasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (3). Stuttgart: Gustav Fischer, 1991. 576 p.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Naviculaceae. In: Ettl, H.; *et al.* (eds.). *Süsswasser flora von Mitteleuropa*. 2ºvol. (1). Stuttgart: Gustav Fischer, 1986. 876 p.

- LEANDRINI, J.A. Perifíton – Diatomáceas e biomassa- em sistemas semilóticos da planície de inundação do alto rio Paraná. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Maringá, PR, 2006.
- LEVINE, S.N.; SCHINDLER, D.W. Influence of nitrogen to phosphorus supply ratios and physicochemical conditions on cyanobacteria and phytoplankton species composition in the Experimental Lakes Area, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Ottawa, v. 56, p. 451-466, 1999.
- MACKERETH, F.Y.H. *et al.* *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Freshwater Biological Association, 1978.
- McCABE, S.K.; CYR, H. Environmental variability influences the structure of benthic algae communities in an oligotrophic lake. *Oikos*, Copenhagen, v. 115, p. 197-206, 2006.
- McCORMICK, P.V.; O'DELL, M.B. Quantifying periphyton responses to phosphorus in the Florida Everglades: a synoptic-experimental approach. *J.N.Am.Benthol.Soc*, Wolfville, v. 15, n. 4, 450-468, 1996.
- McCUNE, B.; MEFFORD, M.J. *Multivariate analysis of ecological data*. Version 4.0. Oregon: MjM Software, 1999.
- MENDES, R.S., BARBOSA, F.A.R. Efeito do enriquecimento in situ sobre a biomassa da comunidade perifítica de um córrego de altitude na Serra do Cipó (M.G.). *Acta Limnol.Bras.*, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 77-86, 2002.
- MOSSER, J.L.; BROCK, T.D. Effect of wide temperature fluctuation on the blue-green algae of Bead Geyser, Yellowstone National Park, *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 16, n. 4, p.640-645, 1971.
- OLSEN, Y. *et al.* Competition between *Staurastrum luetkemullerii* (Chlorophyceae) and *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) under varying modes of phosphate supply. *J. Phycol.*, California, v. 25, p. 499-508, 1989.
- PAERL, H.W. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria). In: SANDGREEN, C.D. (ed). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988, cap.7, p. 261-315.
- PATRICK, R.; REIMER, C.W. *The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii*. Monography n.13, v. 1, pt.1. Philadelphia: Livingstgon Company, 1966. 688 p.

- PATRICK, R.; REIMER, C.W. *The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii*. Monography n.13, v. 2, pt.1. Philadelphia: Livingstgon Company, 1975. 213 p.
- PICK, F.R.; LEAN, D.R.S. The role of macronutrients (C, N, P) in controlling cyanobacterial dominance in temperate lakes. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.*, Wellington, v. 21, p. 425-434, 1987.
- PRESCOTT, G.W. *Algae of the western great lakes area*. Koenigstein/W-Germany: Otto Koeltz Science Publishers, 1982. 977p.
- PRESCOTT, G.W. *et al.* A Synophysis of North American Desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 3. *In: PRESCOTT, G.W. (ed.). Desmidiiales*. Lincoln: University Nebraska Press, 1981. 720p.
- PRESCOTT, G.W. *et al.* A Synophysis of North American Desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 4. *In: PRESCOTT, G.W. (ed.). Desmidiiales*. Lincoln: University Nebraska Press, 1982. 698p.
- RHEE, G.Y.; GOTHAM, I.J. The effect of environmental factors on phytoplankton growth: Temperature and the interactions of temperature with nutrient limitation. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 26, n. 4, p. 635-648, 1981.
- ROBARTS, R.D.; ZOHARY, T. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of boom-forming cyanobacteria. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.*, Wellington, v. 21, p. 391-399, 1987.
- RODRIGUES, L.; BICUDO, D.C. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Rev.Brasil.Bot.*, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 235-248, 2001.
- RODRIGUES, L.; BICUDO, D.C. Periphytic algae. *In: THOMAZ, S.M. et al. (eds) The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*. The Netherlands: Backhuys Publishers, 2004, cap. 6, p.125-143.
- RODRIGUES, L. *et al.*. O papel do perifíton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais *In: THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: EDUEM, 2003, cap. 10, p. 211-230.
- ROS, J. *Prácticas de Ecología*. Barcelona: Ed. Omega, 1979, 181p.
- ROUND, F.E. *The biology of algae*. London: Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1965. 269p.
- ROUND, F.E. The taxonomy of the Chlorophyta, 2. *Br. Phycol. J.*, Oxford , v. 6, n. 2, p. 235-264, 1971.

- SAGRARIO, M.A.G. *et al.* Does high nitrogen loading prevent clear-water conditions in shallow lakes at moderately high phosphorus concentrations? *Freshw. Biol.*, Oxford, v. 50, p. 27-41, 2005.
- SALMASO, N. Factors affecting the seasonality and distribution of cyanobacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 438, p. 43-63, 2000.
- SAND-JENSEN, K. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. In: Wetzel, R.G. (ed). *Periphyton of freshwater ecosystem*. The Netherlands: Dr. W. Junk Publishers, 1983, 63-71p.
- SHAPIRO, J. Blue-green algae: Why they became dominant. *Science*, Washington, v. 179, p. 382-384, 1973.
- SMITH, V.H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in Lake Phytoplankton. *Science*, Washington, v. 221, p. 669-670, 1983.
- SOMPONG, U. *et al.* The distribution of cyanobacteria across physical and chemical gradients in hot springs in northern Thailand. *FEMS Microbiol. Ecol.*, Amsterdam, v. 52, p. 365-376, 2005.
- SPIJKERMAN, E.; COESEL, P.F.M. Different response mechanisms of two planktonic desmid species (Chlorophyceae) to a single saturating additions of phosphate. *J. Phycol.*, California, v. 34, p. 438-445, 1998.
- STATSOFT, InC. *Statistica (data analysis software system)*. Version 7.1. www.statsoft.com. 2005.
- STEVENSON, R.J. *et al.* (eds). *Algal ecology; freshwater benthic ecosystems*. EUA: Academic Press, 1996. 753p.
- SUZUKI, M.S. *Mudanças na estrutura e sucessão das comunidades fitoplanctônicas e perifíticas da lagoa do Infernã (SP), causadas pelo processo de enriquecimento artificial*. 1991. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1991.
- TILMAN, D. *et al.* Green, bluegreen and diatom algae: Taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 106, n.4, p. 473-485, 1986.
- TILMAN, D. *et al.* Green, bluegreen and diatom algae: Taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 106, n.4, p. 473-485, 1986.

TSUJIMURA, S. *et al.* Effect of temperature on growth of the cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* in Lake Biwa and Lake Yogo. *Phycological Research, cidade*, v. 49, p. 275-280, 2001.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.*, Stuttgart, v. 9, p. 1-38, 1958.

VERCELLINO, I. S. *Respostas do perifíton aos pulsos de enriquecimento em níveis crescentes de fósforo e nitrogênio em represa tropical mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo)*. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2007.

YAMAMOTO, Y.; NAKAHARA, H. The formation and degradation of cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* blooms: the importance of pH, water temperature, and day length. *Limnology*, Tokyo, v. 6, p. 1-6, 2005.

ZAGATTO, E.A.G. *et al.* *Manual de análises de plantas empregando sistemas de injeção de fluxo*. Piracicaba: Universidade de São Paulo-ESALQ, 1981.



## ANEXO

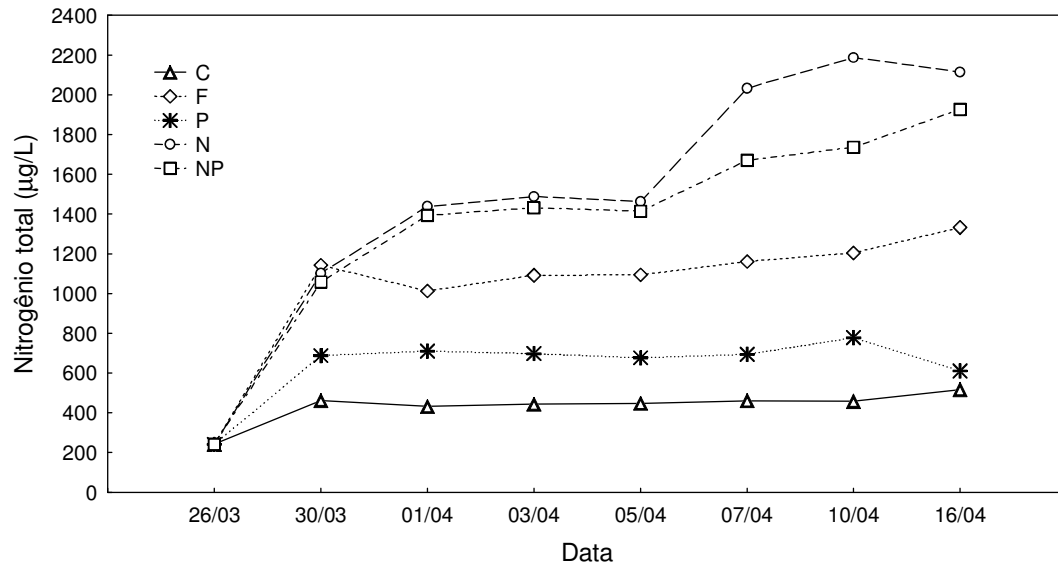


Figura 1. Concentração de nitrogênio total ( $\mu\text{g/L}$ ) na lagoa das Garças (26/03/2005) e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adição de adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) antes do enriquecimento artificial (30/03/2005) e após (01/04/2005 a 16/04/2005).

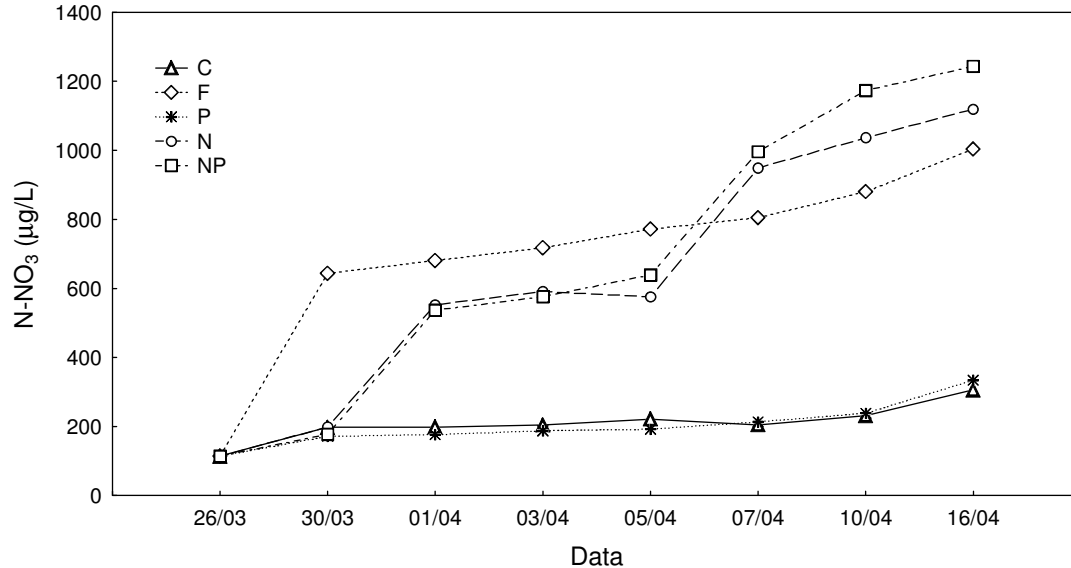


Figura 2. Concentração de nitrato ( $\mu\text{g/L}$ ) na lagoa das Garças (26/03/2005) e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adição de adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) antes do enriquecimento artificial (30/03/2005) e após (01/04/2005 a 16/04/2005).

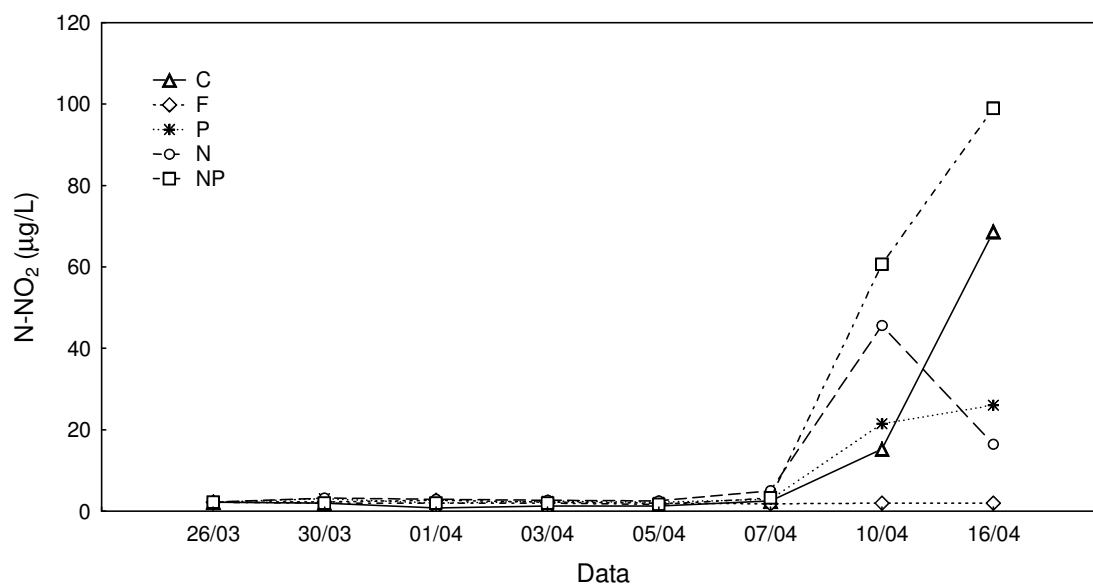


Figura 3. Concentração de nitrito ( $\mu\text{g/L}$ ) na lagoa das Garças (26/03/2005) e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adição de adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) antes do enriquecimento artificial (30/03/2005) e após (01/04/2005 a 16/04/2005).

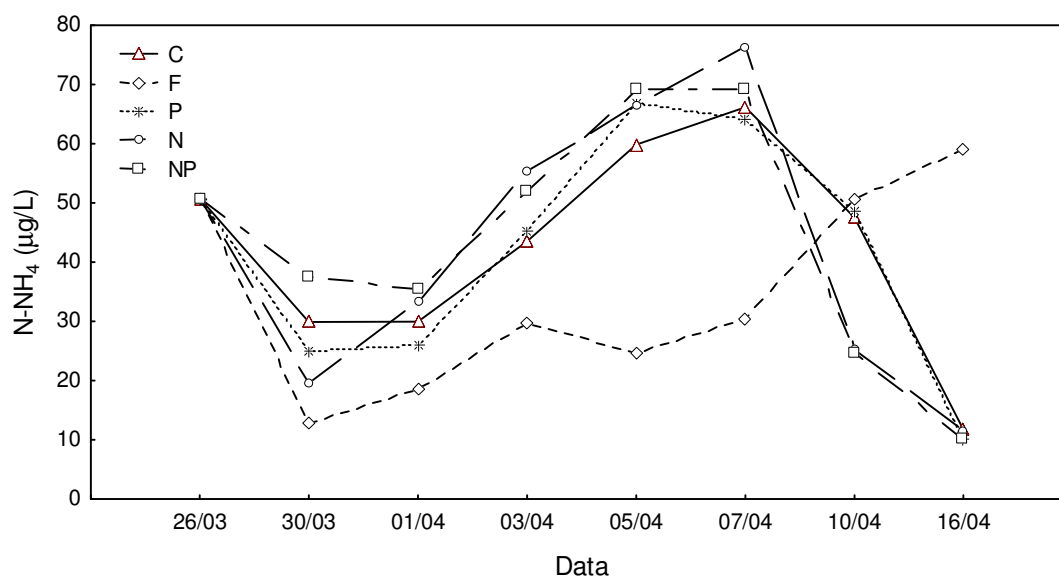


Figura 4. Concentração de nitrogênio amoniacal ( $\mu\text{g/L}$ ) na lagoa das Garças (26/03/2005) e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adição de adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) antes do enriquecimento artificial (30/03/2005) e após (01/04/2005 a 16/04/2005).

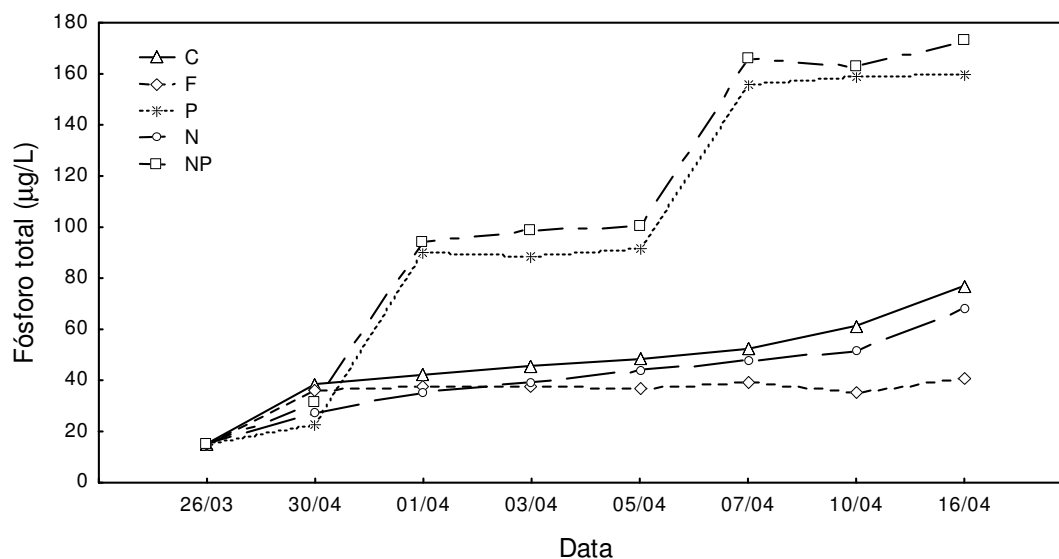


Figura 5. Concentração de fósforo total ( $\mu\text{g/L}$ ) na lagoa das Garças (26/03/2005) e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adição de adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) antes do enriquecimento artificial (30/03/2005) e após (01/04/2005 a 16/04/2005).

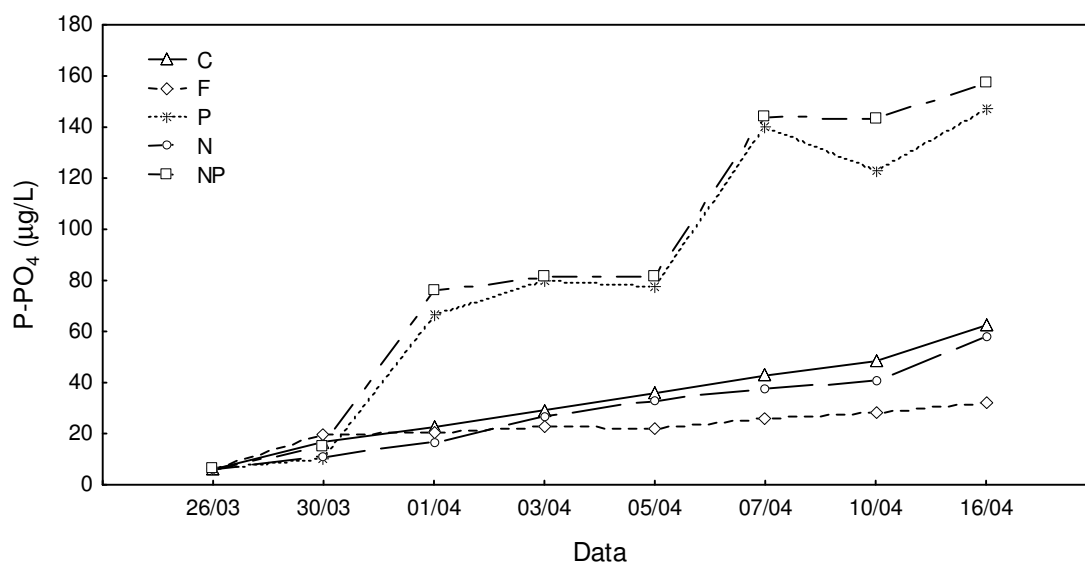


Figura 6. Concentração de ortofosfato ( $\mu\text{g/L}$ ) na lagoa das Garças (26/03/2005) e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adição de adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+) antes do enriquecimento artificial (30/03/2005) e após (01/04/2005 a 16/04/2005).