

BARBARA GOLEBSKI PELLEGRINI

**Influência da heterogeneidade espacial sobre a  
estrutura e estado nutricional (C, N, P) da  
comunidade perifítica em substrato natural  
(*Nymphaea* spp.)**

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

SÃO PAULO

2012

BARBARA GOLEBSKI PELLEGRINI

**Influência da heterogeneidade espacial sobre a  
estrutura e estado nutricional (C, N, P) da  
comunidade perifítica em substrato natural  
(*Nymphaea* spp.)**

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

ORIENTADORA: DRA. CARLA FERRAGUT

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

Pellegrini, Barbara Golebski  
P386i Influência da heterogeneidade espacial sobre a estrutura e estado nutricional (C,N,P) da comunidade perifítica em substrato natural (*Nymphaea* spp.) / Barbara Golebski Pellegrini -- São Paulo, 2012.  
95 p. il.

Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2012  
Bibliografia.

1. Algas. 2. Perifiton. 3. Reservatório. I. Título

CDU: 582.26

*“Em todas as coisas da natureza existe algo de maravilhoso.”*

Aristóteles

## Agradecimentos

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carla Ferragut pela dedicada orientação, por todos os ensinamentos transmitidos, pela paciência e compreensão, por acreditar em mim e ajudar-me nos momentos de dificuldade. Agradeço também pela amizade e carinho nesses anos de convívio, por orientar não apenas de como ser um profissional, mas também por orientar para a vida, sou imensamente grata!

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo e à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Denise Bicudo pela disposição de seus acervos bibliográficos e também pelo carinho e apoio nos momentos difíceis.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrea Tucci, Prof. Dr. André dos Santos e ao Prof. Dr. Clovis do Carmo pelos questionamentos e sugestões dados na ocasião do meu exame de qualificação.

Ao Thiago dos Santos, por toda ajuda nesses anos de trabalho, principalmente pelas correções minuciosas do presente estudo. Agradeço também à Lucineide Santana, que em pouco tempo se tornou muito querida e me auxiliou quando precisei, sou grata por suas correções e pelo auxílio na elaboração dos mapas do presente estudo.

A toda equipe da Ecologia Aquática: Ana Margarita, Angélica Righetti, Débora Góes, Fernanda Ferrari, Gabriela Lavagnolli, Gabrielle Araújo, Gisele Marquardt, Jeniffer Pereira, Larissa Stevanato, Laís Gonzaga, Lívia Costa, Luciane Fontana, Lucineide Santana, Majoi Nascimento, Mariane Souza, Mayara Casartelli, Murilo Borduqui, Priscilla Denise, Samantha Faustino, Simone Wengrat, Stefania Biolo, Stéfano Zorzal, Thiago dos Santos e Vanessa Camargo por todos os bons momentos e por todo auxílio em diversos momentos.

Ao Yukio Silva, por estar sempre disposto a ajudar e por todas as suas dicas de informática e de coisas diversas.

Às queridas Amariles Souza, Maria Auxiliadora (Dorinha), Marly Bataglia, Marly e Valdenice, pela imensa ajuda dada nos dias de coleta e de análises, sem elas tudo seria mais difícil. Agradeço também pelos bons tempos proporcionados nesses anos de convívio.

A todos os pesquisadores, alunos e funcionários do Núcleo de Pesquisa em Ecologia, por fazerem desse local um ótimo lugar para se trabalhar e estudar.

Ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e ao Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente do Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pela infraestrutura disponibilizada e pelo auxílio para a realização do trabalho.

À CAPES e à FAPESP (2011/05177-0) pela concessão da bolsa de mestrado, o que contribuiu para a realização deste trabalho

À Estação Meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, pelo fornecimento os dados climatológicos.

Aos meus amigos Rafael Donato, Vanessa Vasques e Anna Carolina Leite por todo apoio, ajuda e interesse em meu trabalho.

Em especial à minha família que sempre me apoiou e esteve ao meu lado em todos os momentos, sendo de grande importância na elaboração desse trabalho. E, acima de tudo, agradeço a DEUS!!!

## Índice

Resumo geral.....	1
General Summary.....	2
Introdução geral.....	3
Referências bibliográficas.....	7

### Capítulo 1: Avaliação dos atributos estruturais da comunidade de algas e estado nutricional do perífíton em *Nymphaea* spp. em diferentes graus de heterogeneidade espacial

Resumo.....	12
1. Introdução.....	13
2. Material e métodos.....	15
2.1. Área de estudo.....	15
2.2. Delineamento amostral.....	16
2.3. Variáveis analisadas.....	20
2.4. Tratamento estatístico.....	22
3. Resultados.....	23
3.1. Variáveis climatológicas.....	23
3.2. Variáveis abióticas.....	24
3.3. Complexidade de hábitat.....	29
3.4. Atributos estruturais da comunidade perifítica.....	31
3.5. Estado nutricional da comunidade perifítica (C%, N%, P%).....	35
3.6. Análise de Componentes Principais (ACP).....	37
4. Discussão e conclusões.....	38
Referências bibliográficas.....	42

### Capítulo 2: Avaliação da estrutura da comunidade de algas perifíticas em *Nymphaea* spp. em diferentes graus de heterogeneidade espacial

Resumo.....	49
1. Introdução.....	50
2. Material e métodos.....	51
2.1. Delineamento amostral.....	51
2.2. Variáveis climatológicas.....	51
2.3. Variáveis químicas e físicas da água.....	52
2.4. Atributos estruturais da comunidade perifítica.....	52
2.5. Tratamento estatístico.....	53
3. Resultados.....	54
3.1. Variáveis abióticas da água.....	54
3.2. Comunidade de algas perifíticas.....	54
4. Discussão e conclusões.....	67
Referências bibliográficas.....	72
Conclusão geral.....	78
Anexo.....	80

## 1. Resumo geral

A comunidade perifítica têm grande importância ecológica nos ecossistemas aquáticos, porém a identificação dos fatores que dirigem sua variabilidade espacial e temporal ainda é um desafio. A heterogeneidade espacial é um fator determinante para a distribuição, estrutura e funcionamento das comunidades perifíticas. Este estudo visa avaliar a influência da heterogeneidade espacial sobre a estrutura da comunidade de algas do perifíton e estado nutricional do perifíton em *Nymphaea* spp. em escala sazonal. A heterogeneidade espacial foi avaliada através da complexidade de hábitat e condições limnológicas no interior dos bancos de macrófitas. Os diferentes tipos de bancos foram identificados, numerados e classificados em monoespecíficos (*Nymphaea* spp.), mistos com 2, 3 e 4 espécies, sendo a amostragem randômica estratificada (n=3). As coletas para amostragem das variáveis físicas, químicas e biológicas foram realizadas no outono-maio/2010, inverno-julho/2010, primavera-outubro/2010 e verão-janeiro/2011. A estrutura da comunidade perifítica foi analisada pelos seguintes atributos estruturais: clorofila-a; MSLC; conteúdo de C, N e P; composição de espécies de algas; densidade e biovolume de espécies e classes algais; estratégias adaptativas. O eixo 1 da PCA representou a escala sazonal de variação dos dados abióticos. O outono e inverno foram caracterizados pela maior disponibilidade de nitrogênio na água e, a primavera e verão, pela maior disponibilidade de luz e fósforo dissolvido. O período seco apresentou a menor complexidade de hábitat (menor cobertura de macrófitas) e a menor variação das condições limnológicas, sendo caracterizado como um período de *menor heterogeneidade espacial*. Situação oposta ocorreu no período chuvoso, o qual foi caracterizado como período de *maior heterogeneidade espacial*. Os atributos estruturais e o estado nutricional do perifíton apresentaram pouca ou nenhuma variação entre os tipos de complexidade de hábitat em cada estação do ano. As mudanças estruturais do perifíton foram associadas à heterogeneidade espacial (complexidade de hábitat e condições limnológicas), sendo o período de menor heterogeneidade o mais favorável para o desenvolvimento da comunidade perifítica em *Nymphaea* spp. A diversidade e riqueza apresentou maiores valores nos bancos de macrófitas com maior complexidade de hábitat e no período de maior heterogeneidade espacial. A nível taxonômico de espécies, a estrutura da comunidade de algas em *Nymphaea* spp. foi sensível ao aumento da complexidade de hábitat dos bancos de macrófitas em cada estação do ano, mas a organização das assembleias algais foi primariamente influenciada pela variação sazonal da heterogeneidade espacial. Portanto, concluímos que a heterogeneidade espacial foi um importante fator determinante da estrutura da comunidade perifítica em *Nymphaea* spp..

**Palavras-chave:** complexidade de hábitat, macrófita, perifíton, reservatório raso

## 2. General summary

Periphyton communities have great ecological importance in aquatic ecosystems, but identification of the factors that drive their spatial and temporal variability is still challenging. Spatial heterogeneity is a determinant factor for the distribution, structure and function of periphyton communities. This study aims to evaluate the influence of spatial heterogeneity on algae community structure and nutrient status of periphyton in *Nymphaea* spp. during seasonal scale. Spatial heterogeneity was assessed by the habitat complexity and limnological conditions inside the macrophyte stands. The different types of macrophytes stands were numbered and identified and classified as monospecific (*Nymphaea* spp.), mixed with 2, 3 and 4 species. The sampling was randomized stratified (n = 3). Sampling to determine the physical, chemical and biological variables were conducted in autumn (May/2010), winter (July/2010), spring (October/2010) and summer (January/2011). Periphytic community structure was analyzed by the following structural attributes: chlorophyll *a*; MSLC; C, N and P content; algal species composition, density and biovolume of algal species and classes; adaptive strategies. Axis 1 of the PCA represented the seasonal scale of abiotic data variation. The autumn and winter were characterized by increased nitrogen availability, and the spring and summer by the greater light and dissolved phosphorus availability. The dry season had the lowest habitat complexity (lowest macrophyte cover) and less limnological conditions variation and, therefore, was characterized as a period of lower spatial heterogeneity. Opposite situation occurred in the rainy season, which was characterized as a period of increased spatial heterogeneity. Periphyton structural attributes and nutrient status showed little or no variation between the types of habitat complexity in each season. Periphyton structural changes were associated with spatial heterogeneity (habitat complexity and limnological conditions). The low heterogeneity period was most favorable for the periphyton development in *Nymphaea* spp. At the taxonomic level of species, periphytic algae community structure in *Nymphaea* spp. was sensitive to the increased habitat complexity of macrophyte stands in each season, but algal assemblage organization was primarily influenced by seasonal variation in spatial heterogeneity. Therefore, we conclude that spatial heterogeneity was an important determining factor of periphyton community structure in *Nymphaea* spp..

**Keywords:** complexity of habitat, periphyton, shallow reservoir, macrophyte

## Introdução geral

Os ecossistemas aquáticos têm grande importância para o desenvolvimento e bem estar tanto da humanidade, como das comunidades biológicas que neles vivem. Os ecossistemas aquáticos abrigam diferentes comunidades (ex: fitoplanctônica, zooplanctônica, perifítica, macrófitas aquáticas e peixes) (Esteves 2011). Em termos de biodiversidade, os ecossistemas aquáticos brasileiros apresentam enorme contribuição global (Agostinho *et al.* 2005). No entanto, a crescente degradação desses ambientes tem contribuído para o declínio da biodiversidade. Desta forma, torna-se necessário o levantamento da biodiversidade aquática para um melhor entendimento da diversidade e da distribuição geográfica das espécies de diferentes comunidades nos ecossistemas aquáticos brasileiros (Agostinho *et al.* 2005).

Um importante componente dos ecossistemas aquáticos é a comunidade perifítica que é definida como uma “complexa comunidade de microbiota constituída por algas, bactérias, fungos, animais e detritos orgânicos e inorgânicos, que se encontram associados a substratos submersos orgânicos ou inorgânicos, vivos ou mortos” (Wetzel 1983). Dentre os componentes do perifíton destacam-se as algas perifíticas cujo papel é fundamental na dinâmica microambiental (Frost *et al.* 2005). As algas perifíticas são consideradas os componentes mais abundantes do perifíton (ex. Kahlert 1998, Hillebrand & Sommer 2000, Frost & Elser 2002).

A comunidade perifítica pode ter elevada participação na ciclagem de nutrientes, fluxo de energia e cadeia alimentar, principalmente em ecossistemas aquáticos rasos (Vadeboncoeur & Steinman 2002). Nos ecossistemas rasos, essa comunidade é um dos principais produtores primários, podendo servir como fonte de energia para invertebrados e vertebrados, além de servir como hábitat para muitos organismos (Stevenson 1996). Em relação à disponibilidade de nutrientes, o perifíton pode afetar a taxa de renovação dos nutrientes (Vadeboncoeur & Steinman 2002, Dodds 2003). Na comunidade perifítica pode haver a presença de cianobactérias fixadoras de nitrogênio que são capazes de converter o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) em amônia ( $NH_3$ ), podendo aumentar a produtividade em ambientes com baixa concentração de nitrogênio (Peterson & Grimm 1992).

Além disso, o perifíton é capaz de reter nutrientes da água, absorver nutrientes liberados pelo substrato e, ainda, promover a transferência de nutrientes entre zona pelágica e bentônica (Dodds 2003, Zander & Vadeboncoeur 2002). A comunidade perifítica atua também como competidora por recursos com o fitoplâncton e com as macrófitas aquáticas (Zander & Vadeboncoeur 2002, Wetzel 1993).

Estudos mostram que as propriedades estruturais do perifíton constituem-se em mais uma ferramenta no monitoramento da qualidade ecológica dos ecossistemas (Lowe & Pan 1996, Hill *et al.* 2000). Isto ocorre porque a comunidade perifítica é sensível ao enriquecimento por nutrientes, permitindo a detecção de sinais precoces da eutrofização (McCormick & Stevenson 1998, McCormick *et al.* 2001, Jöbgen *et al.* 2004).

A estrutura e o funcionamento da comunidade perifítica pode ser influenciada por vários fatores ambientais, tais como a qualidade e quantidade de nutrientes dissolvidos (Ferragut & Bicudo 2012), luminosidade (Pillsbury & Lowe 1999), pH (Vinebrook 1996) e natureza do substrato (Burkholder 1996). Com relação à natureza do substrato, estudos mostram que os substratos naturais podem servir como fonte de nutrientes para a comunidade perifítica (Burkholder 1996, Wetzel 1993). Porém, outros estudos mostram que pode haver liberação de substâncias alelopáticas pelas macrófitas, o que pode dificultar ou impedir o crescimento do perifíton (Wium-Andersen *et al.* 1982, Erhard & Gross 2006). A interferência da planta hospedeira sobre a comunidade foi discutida no clássico estudo de Eminson & Moss (1980), no qual concluiu-se que as macrófitas atuam como principais fontes de nutrientes para o perifíton em sistema oligotróficos, enquanto em sistema eutróficos a coluna da água assume maior importância no suprimento de nutrientes. Assim, a literatura relata que a relação entre perifíton e substrato não está totalmente compreendida. Além disso, fatores como crescimento e senescência da planta hospedeira, concentração de nutrientes na água e época do ano podem atuar diretamente sobre esta relação, o que torna mais difícil o entendimento (Burkholder 1996, Eminson & Moss 1980, Santos 2012).

Outros fatores podem influenciar o desenvolvimento da comunidade perifítica, como os fatores em macroescala, por exemplo, a geologia, regime climático, morfologia e a heterogeneidade espacial (Stevenson 1997). Além destes, há os fatores que atuam em microescala, por exemplo, as interações biológicas, como predação e competição (Stevenson 1997). Contudo, a identificação dos fatores que dirigem a variabilidade espacial e temporal é ainda um desafio para a ecologia do perifíton.

Em ecossistema lêntico, sabe-se que a heterogeneidade espacial é um importante fator na distribuição das comunidades, pois exerce influência sobre a dinâmica de populações, estrutura da comunidade e funcionamento dos ecossistemas (Floater 2001). De acordo com Cardinale *et al.* (2002), entender como e quando a heterogeneidade regula a estrutura e função de comunidades bióticas é um dos desafios da ecologia. A heterogeneidade espacial é um fator comum na natureza, podendo ser avaliada em diferentes escalas (Olafsson 1991) e pela estrutura de hábitat, a qual é gerada pela presença de substratos inertes, macrófitas aquáticas e outros objetos (Taniguchi *et al.* 2003). As macrófitas aquáticas são os principais componentes na estrutura do hábitat nos ecossistemas, portanto, são componentes-chave na heterogeneidade espacial (Jeppesen *et al.* 1998, Thomaz *et al.* 2008). As macrófitas aquáticas proporcionam a estrutura física, aumentam a complexidade e a heterogeneidade de hábitat e, ainda, afetam vários grupos de organismos, como invertebrados, peixes e aves aquáticas (Thomaz *et al.* 2008). Conforme Tokeshi & Aragaki (2012) o conceito de complexidade de hábitat implica na existência de diferentes "tipos" de elementos que constituem um hábitat. Estes autores (*op.cit*) propuseram, por razões práticas, que a "complexidade" de hábitat deve ser interpretada como um conjunto de características diferentes da estrutura, em vez de se referir apenas a "abundância de componentes estruturais", como sugerido por McCoy & Bell (1991). No presente estudo, a heterogeneidade espacial foi avaliada com base nas condições limnológicas e na complexidade de hábitat (*sensu* Tokeshi & Aragaki 2012) entre diferentes locais de um mesmo ambiente. Kovalenko *et al.* (2012) ressaltam que ampliar a compreensão do papel da complexidade de hábitat sobre a estrutura das comunidades biológicas é extremamente importante

para a preservação da biodiversidade e do funcionamento dos ecossistemas, principalmente em uma época de perda de hábitat sem precedentes.

Estudos foram feitos visando mostrar a influência da heterogeneidade espacial com base na estruturação do hábitat (complexidade/heterogeneidade de hábitat) em diferentes comunidades, como por exemplo: em peixes (Padial *et al.* 2009), macroinvertebrados (Brown 2007; Kawata & Agawa 1999), invertebrados bentônicos (Taniguchi & Tokeshi 2004, Thomaz *et al.* 2008), zooplâncton (Pinel-Alloul *et al.* 1988, Meerhoff *et al.* 2007) e fitoplâncton (Rychtecky & PetrZnachor 2011).

Poucos estudos abordam a influência da heterogeneidade espacial sobre a comunidade de algas perifíticas (Kahlert *et al.* 2002), sendo que a maior parte dos estudos tem como enfoque a relação invertebrados/algas (Blanchard 1990, Sommer 2000, Taniguchi & Tokeshi 2004), não havendo uma visão mais detalhada da comunidade algal. Assim, atualmente, não existem trabalhos que abordem a influência da heterogeneidade espacial sobre a estrutura da comunidade de algas perifíticas em ecossistema aquático lântico tropical. Portanto, até o presente momento, há apenas uma pequena base empírica de como a heterogeneidade espacial influencia no desenvolvimento da comunidade perifítica.

As comunidades perifíticas têm papel fundamental no funcionamento dos ecossistemas aquáticos rasos (Vadeboncoeur & Steinman 2002), os quais são ecossistemas predominantes em nível mundial (Wetzel 1990) e, principalmente, no Brasil (Esteves 2011). O conhecimento da dinâmica da comunidade perifítica auxiliará no entendimento da dinâmica do ecossistema aquático como um todo. Assim, o estudo sobre a variação temporal e espacial do perifíton é fundamental para a identificação dos fatores que dirigem a dinâmica da comunidade, o que promoverá o maior entendimento do papel do perifíton no ecossistema.

O presente estudo pretende avaliar sazonalmente a influência da heterogeneidade espacial sobre a biomassa e estado nutricional da comunidade perifítica e sobre a estrutura específica da comunidade de algas do perifíton em *Nymphaea* spp em diferentes tipos de complexidade de hábitat

nos bancos de macrófitas. Em específico, pretende-se avaliar: i) se a variação da biomassa e do estado nutricional do perifíton está acoplada à variação da heterogeneidade espacial; ii) se a variação da heterogeneidade espacial influencia a mudança dos grupos funcionais e descritoras da comunidade de algas perifíticas.

A presente dissertação foi dividida em dois capítulos, os quais serão, posteriormente, revertidos em artigos a serem publicados em revistas científicas.

- Capítulo 1: Avaliação dos atributos estruturais da comunidade de algas e estado nutricional do perifíton em *Nymphaea* spp. em diferentes graus de heterogeneidade espacial
- Capítulo 2: Avaliação da estrutura da comunidade de algas perifíticas em *Nymphaea* spp. em diferentes graus de heterogeneidade espacial

O presente estudo insere-se no projeto “*Influência da heterogeneidade espacial sobre a estrutura e estado nutricional (N, P, C) da comunidade perifítica, fitoplanctônica e metafítica no Lago das Ninféias (PEFI, São Paulo)*” (Fapesp: 2009/52253-4).

## **Referências bibliográficas**

- Agostinho, A.A., Thomaz, S.M. & Gomes, L.C.** 2005. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. Megadiversidade 1:1.
- Blanchard, G.F.** 1990. Overlapping microscale dispersion patterns of meio fauna and microphytobenthos. Marine Ecology Progress Series 68: 101-111.
- Brown B.L.** 2007. Habitat heterogeneity and disturbance influence patterns of community temporal variability in a small temperate stream. Hydrobiologia 586: 93-106.

- Burkholder, J.M.** 1996. Interactions of benthic algae with their substrata. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.) *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego. pp. 253-297.
- Cardinale, B.J., Palmer, M.A., Swan, C.M., Brooks, S. & N.L. Poff.** 2002. The influence of substrate heterogeneity on biofilm metabolism in a stream ecosystem. *Ecology* 83(2): 412-422.
- Dodds, W.K.** 2003. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic systems. *Journal of Phycology* 39: 840-849.
- Eminson, D.F. & Moss, B.** 1980. The composition and ecology of periphyton communities in freshwater. *British Phycology Journal* 15: 429-446.
- Erhard, D. & Gross, E.M.** 2006. Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* against epiphytes and phytoplankton. *Aquatic Botany* 85: 203-211.
- Esteves, F.A.** 2011. *Fundamentos de Limnologia*. 3<sup>o</sup>ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro.
- Ferragut, C. & Bicudo, D.C.** 2012. Effect of N and P enrichment on periphytic algal community succession in a tropical oligotrophic reservoir. *Limnology* 13: 131-141.
- Floater, G.J.** 2001. Habitat complexity, spatial interference, and 'minimum risk distribution': a framework for population stability. *Ecology Monograph* 71: 447-468.
- Frost, P.C. & Elser, J.J.** 2002. Effects of light and nutrients on the net accumulation and elemental composition of epilithon in boreal lakes. *Freshwater Biology* 47: 173-184.
- Frost, P.C., Hillebrand, H. & Kahlert, M.** 2005. Low algal carbon content and its effect on the C:P stoichiometry of periphyton. *Freshwater Biology* 50: 1800-1807.
- Hill, B.H., Herlhy, A.T., Kaufmann, P.R, Stevenson, R.J., McCormick, F.H. & Johnson, C.B.** 2000. Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity. *Journal of North American Benthological Society* 19: 50-67.
- Hillebrand, H. & Sommer, V.** 2000. Diversity of benthic in microalgae in response to colonization time an eutrophication. *Aquatic Botany* 67: 221-223.
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Søndergaard, M & Cristoffersen, K.** 1998. The structuring role of submerged macrophytes in lakes. *Hydrobiologia* 442: 231-39.

- Jöbgen, A.M., Palm, A. & Melkonian, M.** 2004: Phosphorus removal from eutrophic lakes using periphyton on submerged artificial substrata. *Hydrobiologia* 528: 123-142.
- Kahlert, M.** 1998. C:N:P ratios of freshwater benthic algae. *Archiv für Hydrobiologie. Supplement band. Advances in Limnology* 51: 105-114.
- Kahlert, M., Hasselrot, A.T., Hillebrand, H. & Pettersson, K.** 2002. Spatial and temporal variation in the biomass and nutrient status of epilithic algae in Lake Erken, Sweden. *Freshwater Biology* 47: 1-24.
- Kawata, K. & Agawa, A.** 1999. Perceptual scales of spatial heterogeneity of periphyton for freshwater snails. *Ecology Letters* 2: 210-214.
- Kovalenko, K.E, Thomaz, S.M. & Warfe, D.M.** 2012. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia* 685: 1-17.
- Lowe, R.L. & Pan, Y.** 1996. Benthic algal communities as biological monitors. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe, (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic Press p. 705-739.
- McCormick, P.V. & Stevenson, R.J.** 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *Journal of Phycology* 34: 726-733.
- McCormick, P.V., O'Dell, M.B., Shuford III, R.B.E., Backus, J.G. & Kennedy, W.C.** 2001. Periphyton responses to experimental phosphorus enrichment in a subtropical wetland. *Aquatic Botany* 71: 119-139.
- McCoy, E. D. & Bell, S. S.** 1991 Habitat structure: the evolution and diversification of a complex topic. In: Bell S S, McCoy E D & Mushinsky, H R (1991) *Habitat Structure The physical arrangement of objects in space*. London: Chapman & Hall. pp. 3-27.
- Meerhoff, M., Iglesias, C., De Mello, F.T., Clemente, J. M., Jensen, E., Lauridsen, T.L. & Jeppesen, E.** 2007. Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behavior of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biology* 52(6): 1009-1021.
- Olafsson, E.** 1991. Small-scale spatial distribution of marine meiobenthos: the effects of decaying macrofauna. *Oecologia* 90: 37-42.

- Padial, A.A., Thomaz, S.M. & Agostinho, A.A.** 2009. Effects of structural heterogeneity provided by the floating macrophyte *Eichhornia azurea* on the predation efficiency and habitat use of the small Neotropical fish *Moenkhausia sanctaefilomenae*. *Hydrobiologia* 624: 161-170.
- Peterson, C.G & Grimm, N.B.** 1992. Temporal variation in enrichment effects during periphyton succession in a nitrogen-limited desert stream ecosystem. *The North American Benthological Society* 11(1): 20-36.
- Pillsbury, R.W. & Lowe, R. L.** 1999. The response of benthic algae to manipulations of light in four acidic lakes in northern Michigan. *Hydrobiologia* 394: 69-81.
- Pinel-Alloul, B., Downing J.A., Pérusse, M. & Codin-Blumer, G.** 1988. Spatial heterogeneity in freshwater zooplankton: variation with body size, depth, and scale. *Ecology* 69(5): 1393-1400.
- Rychtecky, P. & Znachor, P.** 2011. Spatial heterogeneity and seasonal succession of phytoplankton along the longitudinal gradient in a eutrophic reservoir. *Hydrobiologia* 663: 175-186.
- Santos, T.R.** 2012. Variação sazonal da biomassa, do estado nutricional e da estrutura da comunidade de algas perifíticas desenvolvida sobre substrato artificial e *Utricularia foliosa* L. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica, São Paulo.
- Sommer, U.** 2000. Benthic microalgal diversity enhanced by spatial heterogeneity of grazing. *Oecologia* 122: 284-287.
- Stevenson, R.J.** 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habits. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 3-30.
- Stevenson, R. J.** 1997. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of the North American Benthological Society* 16: 248-262.
- Taniguchi H., Nakano, S. & Tokeshi, M.** 2003. Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants. *Freshwater Biology* 48: 718-728
- Taniguchi, H. & Tokeshi, M.** 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology* 49: 1164-1178.

- Thomaz, S.M., Dibble, E.D., Evangelista, L.R., Higuiri, J. & Bini, L.M.** 2008. Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Freshwater Biology* 53: 358-367.
- Tokeshi, M. & Aragaki, S.** 2012. Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond. *Hydrobiologia* 685:27-47.
- Vadeboncoeur, Y. & Steinman, A.D.** 2002. Periphyton Function in Lake Ecosystems. *The Scientific World Journal* 2: 1-20.
- Vinebrooke, R.** 1996. Abiotic and biotic regulation of periphyton in recovering acidified lakes. *Journal of the North American Benthological Society* 15: 318-331.
- Wetzel, R.G.** 1983. Attached algal-substrata interactions: fact or myth, and when and how? In: R.G. Wetzel (ed.). *Periphyton of Freshwater Ecosystems*. Dr. W. Junk Publishers, Hague, pp. 207-215.
- Wetzel, R.** 1990. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. *International Association of Theoretical and Applied Limnology* 24: 6-24.
- Wetzel, R.G.** 1993. *Limnologia*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Wium-Andersen, S., Anthoni, U., Christophersen, C. & Houen, G.** 1982. Allelopathic effects on phytoplankton by substances isolated from aquatic macrophytes (Charales). *Oikos* 39: 187-190.
- Zander, V.M.J. & Vadeboncoeur, Y.** 2002. Fishes as integrators of benthic and pelagic food webs in lakes. *Ecology* 83: 2152-2161.

## CAPITULO 1

### **Avaliação dos atributos estruturais da comunidade de algas e estado nutricional do perifíton em *Nymphaea* spp. em diferentes graus de heterogeneidade espacial**

**Resumo** A heterogeneidade espacial é um fator determinante para a distribuição, estrutura e funcionamento das comunidades perifíticas, mas sua influência ainda não é clara. Este estudo visa avaliar a influência da heterogeneidade de espacial sobre a estrutura e estado nutricional do perifíton em *Nymphaea* spp. ao longo da escala sazonal (Lago das Ninféias, PEFI, SP). A heterogeneidade espacial foi avaliada pela complexidade de habitats e condições limnológicas no interior dos bancos de macrófitas. Bancos com diferentes tipos de complexidade de habitat foram identificados, numerados e classificados em monoespecíficos (*Nymphaea* spp.), mistos com 2, 3 e 4 espécies, sendo a amostragem randômica estratificada (n=3). A amostragem das variáveis físicas, químicas e biológicas foi realizada no outono-maio/2010, inverno-julho/2010, primavera-outubro/2010 e verão-janeiro/2011. Os atributos estruturais analisados foram clorofila-a, MSLC, densidade e biovolume algal, bem como o estado nutricional (conteúdo de C, N e P, razão molar N:P e C:N). O eixo 1 da PCA representou a escala sazonal de variação das condições limnológicas nos bancos de macrófitas. Na primavera e no verão a maioria das variáveis limnológicas apresentou diferença significativa entre os diferentes tipos de complexidade de habitat. O período seco apresentou a menor complexidade de habitat (menor cobertura das espécies de macrófitas) e a menor variação das condições limnológicas, sendo caracterizado como um período de *menor heterogeneidade espacial*. Situação oposta ocorreu no período chuvoso, o qual foi caracterizado pela *maior heterogeneidade espacial*. Os atributos estruturais e o estado nutricional do perifíton apresentaram pouca ou nenhuma variação entre os tipos de complexidade de habitat em cada estação do ano. Contudo, em escala sazonal, as mudanças estruturais do perifíton foram associadas à heterogeneidade espacial (complexidade de habitat e condições limnológicas). Concluiu-se que o período de menor heterogeneidade espacial (período seco) na região litorânea do reservatório foi mais favorável para o desenvolvimento da comunidade perifítica em *Nymphaea* spp.

**Palavras-chave:** biomassa, densidade algal, biovolume algal, complexidade de habitat

## 1. Introdução

A comunidade perifítica está presente ao longo do ano nos ecossistemas aquáticos (Burkholder & Wetzel 1989), mas a quantidade de biomassa variam em função das condições ambientais (ex. Liboriussen & Jeppesen 2009, Oliveira *et al.* 2010), bem como do estado nutricional da comunidade (ex. Kahlert *et al.* 2002, Ferragut *et al.* 2011). Dentre os principais fatores ambientais que podem determinar a estrutura e o funcionamento da comunidade perifítica estão a natureza do substrato, qualidade e quantidade de nutrientes dissolvidos, temperatura, turbulência e luminosidade (Vadeboncoeur & Steinman 2002). Além destes, há os fatores que podem atuar em escala de paisagem e ecossistema, como a morfometria e a heterogeneidade de hábitat (Stevenson 1997). Apesar da importância ecológica da comunidade perifítica na produção primária (Vadeboncoeur & Steinman 2002) e na ciclagem de nutrientes (Dodds 2003), a identificação dos fatores que dirigem a variabilidade espacial e temporal é ainda um desafio para a ecologia do perifíton.

Considerando o substrato natural, a estrutura da comunidade perifítica pode ser influenciada tanto pelos fatores ambientais (Cavati & Fernandes 2008, Pellegrini & Ferragut 2012) como pelo desenvolvimento, arquitetura e forma biológica da macrófita hospedeira (Messyasz & Kippen 2006, Guariento *et al.* 2007, Jones *et al.* 2000). Estudos mostraram que as macrófitas podem liberar substâncias alelopáticas que dificultam o crescimento do perifíton, como por exemplo, *Elodea canadensis* e *Elodea nuttallii* (Erhard & Gross 2006) e *Stratiotes aloides* (Muderij *et al.* 2005). As macrófitas também podem influenciar positivamente o estado nutricional do perifíton através da liberação de nutrientes durante a senescência (ex. amônio e fosfato) (Wetzel 1993, Guariento *et al.* 2007). Em especial, as macrófitas enraizadas podem funcionar como uma bomba, retirando nutrientes do sedimento e, estes nutrientes, particularmente o fósforo, podem beneficiar o perifíton (ex. Burkholder & Wetzel 1990). Por outro lado, a contribuição de nutrientes para o perifíton em algumas macrófitas enraizadas (*Najas flexilis* e *Potamogeton richardsonii*) parece ser insignificante (Moeller *et al.* 1988, Cattaneo & Kallf 1979). Além da morfologia, fisiologia e forma biológica da

macrófita, estudos relataram que a disponibilidade de nutrientes na água pode controlar a influência da macrófita sobre o estado nutricional do perifíton. Tais estudos mostram que as macrófitas podem atuar como as principais fontes de nutrientes para o perifíton em sistema oligotróficos, mas em sistema eutróficos a coluna da água assume maior importância no suprimento de nutrientes (Eminson & Moss 1980, Liboriussen & Jeppesen 2006). Em reservatório tropical, estudos relataram que a influência da macrófita sobre o estado nutricional do perifíton variou em função da disponibilidade de nutrientes na água (Ferragut *et al.* 2010, Santos 2012). Portanto, as macrófitas não são substratos inertes para o perifíton e, obviamente, as características morfológicas, fisiológicas e ecológicas deste substrato devem atuar diretamente sobre a organização da comunidade perifítica, bem como do seu estado nutricional.

Além da influência das macrófitas sobre o perifíton, outro importante aspecto é a estruturação do hábitat (Messyasz & Kippen 2006), a qual pode atuar diretamente sobre a colonização das algas perifíticas (Jones *et al.* 2000). As macrófitas aquáticas são os principais componentes na estruturação do habitat, pois são componentes chaves na heterogeneidade espacial (Jeppesen *et al.* 1998, Thomaz *et al.* 2008). Em nível ecossistêmico, a heterogeneidade espacial inclui aspectos físicos e químicos (Kovalenko *et al.* 2012), tais como a estruturação do hábitat e as condições limnológicas. Tais fatores ambientais são determinantes na organização da comunidade perifítica. A heterogeneidade espacial é um importante fator controlador da variabilidade da comunidade algal (ex. Pelechaty & Owsiany 2003, Kahlert *et al.* 2002). Contudo, o conhecimento é ainda pequeno para generalizações, principalmente em ecossistema lântico tropical. Desta forma, a avaliação do perifíton em diferentes graus de complexidade de hábitat e condições limnológicas poderá contribuir para o maior entendimento da variação espacial do perifíton em reservatório raso tropical, bem como da relação perifíton-macrófita.

A identificação dos fatores ambientais que dirigem a dinâmica da comunidade perifítica é fundamental para a determinação de padrões de variação temporal e espacial, promovendo o maior entendimento do papel da comunidade no ecossistema. Considerando que a estruturação do hábitat

é um fator ambiental determinante da estrutura do perifíton, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar sazonalmente os atributos estruturais e o estado nutricional do perifíton em *Nymphaea* spp. sob diferentes graus de heterogeneidade espacial. Esta característica ambiental será avaliada através da variação das condições limnológicas e complexidade de hábitat (*sensu* Tokeshi & Aragaki 2012). Especificamente, nós pretendemos verificar se: i) os atributos estruturais mudam significativamente em função do aumento da complexidade de hábitat em cada estação do ano; ii) os atributos estruturais e o estado nutricional mudam com a variação sazonal da heterogeneidade espacial (variação das condições limnológicas e complexidade de hábitat); iii) quais as características ambientais são mais favoráveis ao desenvolvimento do perifíton em *Nymphaea* ssp.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

O Parque Estadual Fontes do Ipiranga (PEFI) é uma unidade de conservação que abriga a terceira maior reserva de Mata Atlântica do Município de São Paulo com área total de 526,4 ha e altitude média de 798 m. Situa-se na região sudeste do Município de São Paulo (23°38'18,95"S e 46°37'16,3"W). O PEFI possui uma grande importância ambiental e histórica, pois abriga um total de 24 nascentes (que afloram do lençol freático) que constituem as cabeceiras do Riacho Ipiranga e abastecem em seu trajeto nove reservatórios, entre eles o Lago das Ninféias, no qual foi realizado o presente estudo (Bicudo *et al.* 2002).

O Lago das Ninféias é um reservatório artificial formado pelo barramento do córrego Pirarungaua com finalidade paisagística no Jardim Botânico de São Paulo. É um ecossistema raso ( $Z_{\text{máx}}$  3,6 m,  $Z_{\text{méd}}$  1,32 m, área 5.433 m<sup>2</sup>) mesotrófico e possui tempo de residência médio de 7,2 dias (Bicudo *et al.* 2002) (Figura 1). Este reservatório foi escolhido para realização do presente estudo por apresentar extensa região litorânea e uma flora diversa de macrófitas aquáticas (Bicudo *et al.*

2002), o que possibilitou a comparação dos fatores físicos, químicos e biológicos entre as diferentes tipos de complexidade de hábitat no ecossistema.

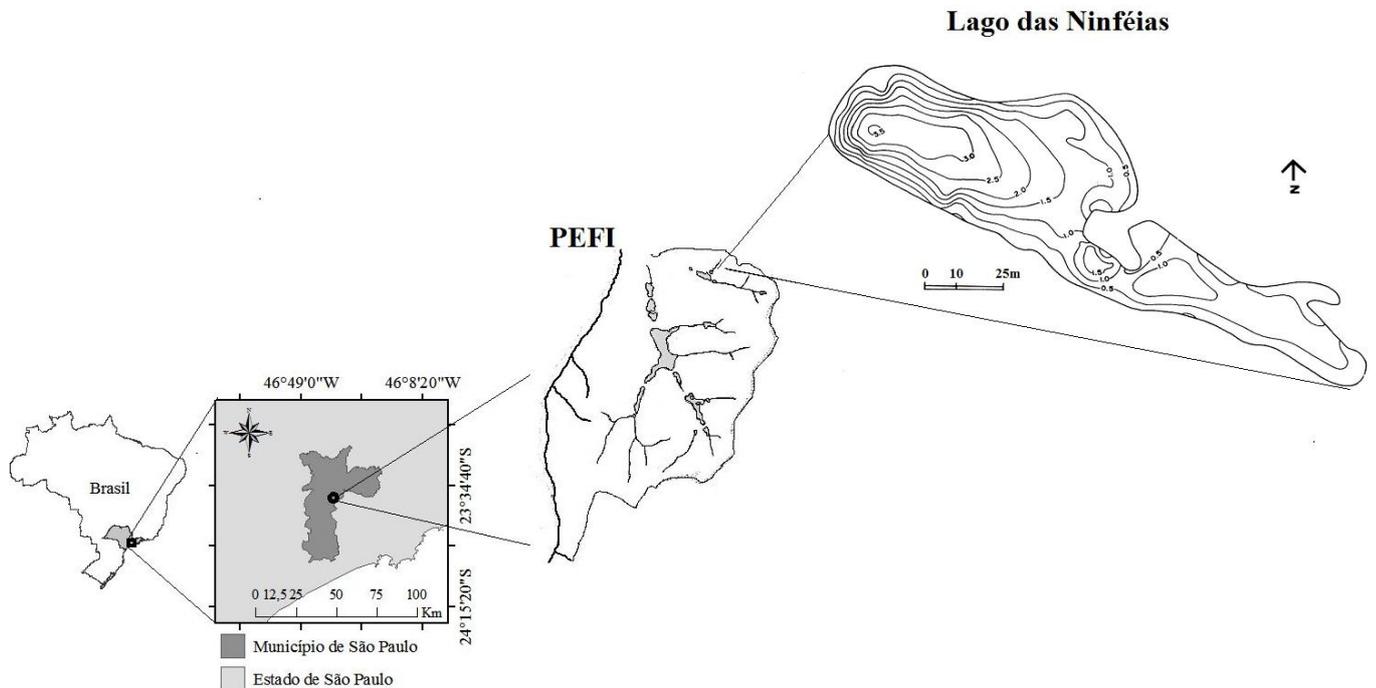


Figura 1: Localização e mapa batimétrico do Lago das Ninféias no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) (modificado, Bicudo *et al.* 2002).

## 2.2. Delineamento amostral

Para contemplar a escala sazonal de amostragem das variáveis físicas, químicas e biológicas em diferentes bancos de macrófitas aquáticas, foram realizadas coletas no outono (maio/2010), inverno (julho/2010), primavera (outubro/2010) e verão (janeiro/2011). Os pontos de amostragem foram selecionados em função dos diferentes tipos de complexidade de hábitat dos bancos de macrófitas aquáticas. Primeiramente, o mapeamento dos bancos de macrófitas foi realizado no reservatório em cada estação do ano. Após a identificação, os bancos foram classificados de acordo com o número de espécies em quatro tipos: monoespecíficos (*Nymphaea* spp. = Ny), mistos com 2

espécies (*Nymphaea* spp. e *Utricularia foliosa* = 2sp), mistos com 3 espécies (*Nymphaea* spp., *Utricularia foliosa* e *Panicum repens* = 3sp) e mistos com 4 espécies (*Nymphaea* spp., *Utricularia foliosa*, *Eleocharis* sp., *Panicum repens* e/ou *Eichhornia crassipes* = 4sp) (Figura 2). Os bancos identificados foram divididos em parcelas de aproximadamente 10 m<sup>2</sup> com base no mapa batimétrico e, posteriormente, as parcelas foram numeradas e sorteadas para amostragem. A amostragem foi randômica estratificada, isto é, em cada grupo de bancos de macrófita do mesmo tipo foram sorteadas três parcelas (n=3) (Figura 3). Este tipo de amostragem garantiu a aleatoriedade e, ainda, permitiu que todos os tipos de bancos fossem contemplados na comparação. A amostragem foi realizada no intervalo entre 2 ou 3 dias após o mapeamento para minimizar o impacto sobre as comunidades algais e possível revolvimento do sedimento.

Para quantificar a complexidade de hábitat em cada parcela amostrada utilizou-se conjuntamente a cobertura de macrófitas e o valor de importância das espécies. A cobertura de macrófitas foi medida através da abundância relativa das macrófitas pelo método do quadrado, o qual consistiu na utilização de um quadrado de PVC de 1m<sup>2</sup> dividido em 100 quadrados menores de 10 cm x 10 cm (Thomaz *et al.* 2004). A determinação do valor de importância de cada espécie de macrófita foi baseada na categorização de Braun-Blanquet (1979) com base na porcentagem de cobertura de cada espécie de macrófita (Tabela 1).

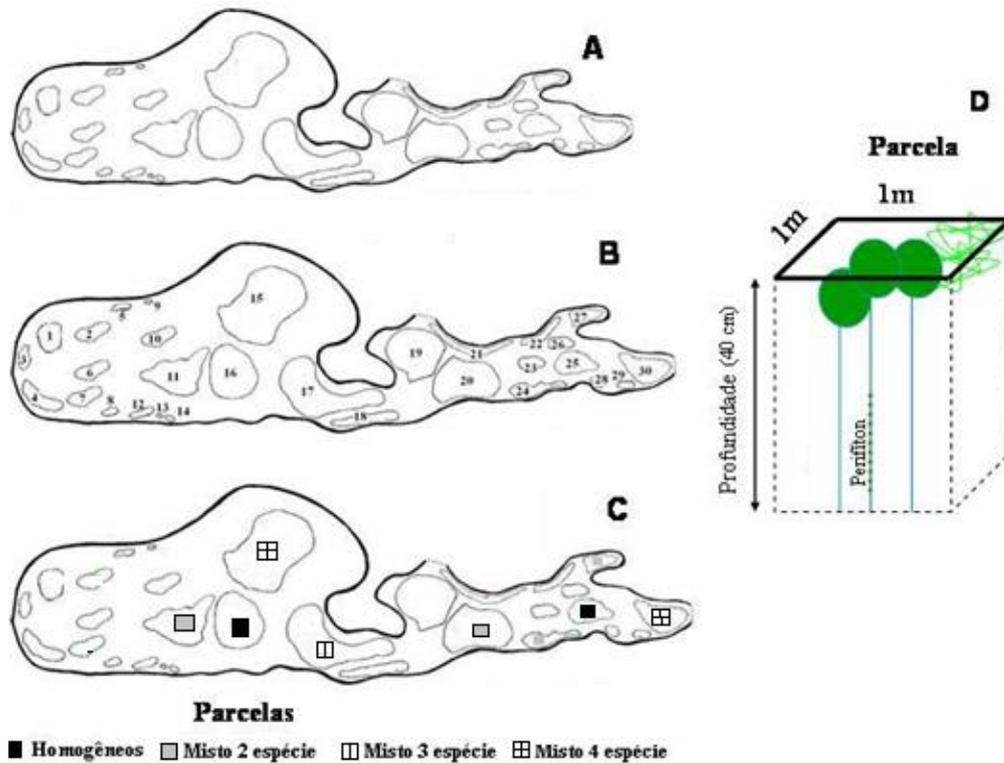


Figura 2: Esquema mostrando o procedimento amostral: A) mapeamento dos bancos de macrófitas, B) identificação e classificação dos bancos, C) bancos sorteados dentro do grupo dos tipos de bancos estabelecidos, D) esquema da parcela que foi amostrada.

Tabela 1: Categorias usadas para determinação do valor de importância das espécies de macrófitas (Braun-Blanquet 1979).

<i>Cobertura relativa de macrófitas</i>	<i>Valor de importância</i>	<i>Categorias</i>
0	1	Ausente
<5	2	Muito escasso
5 a 25	3	Escasso
25 a 50	4	Pouco abundante
50 a 75	5	Abundante
75 a 100	6	Muito abundante

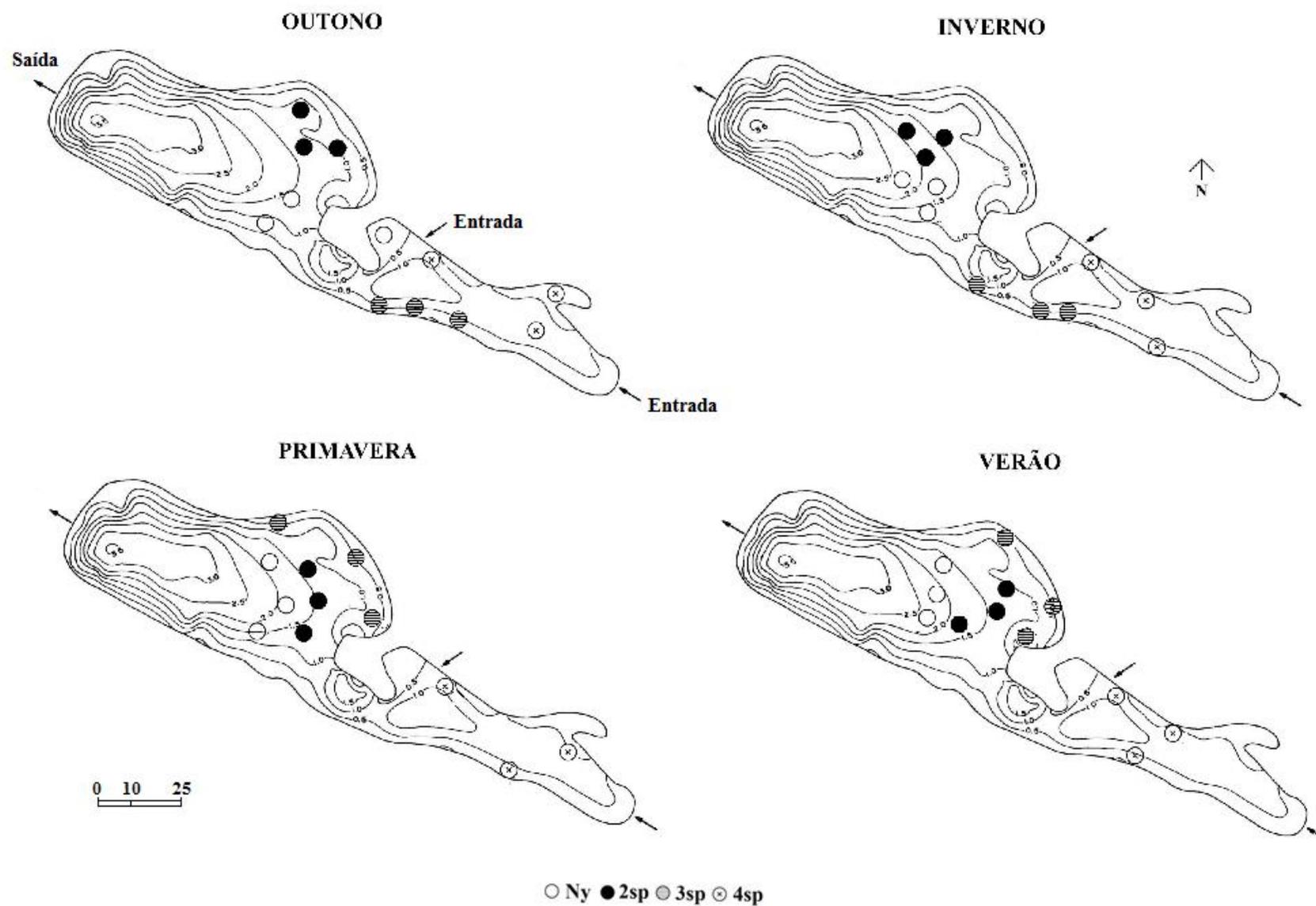


Figura 3: Mapas batimétricos com a localização dos pontos de amostragem nas estações do ano.

### 2.3. Variáveis analisadas

As variáveis abióticas foram amostradas em todas as parcelas em todas as estações do ano. A coleta da água foi feita manualmente na sub-superfície.

A amostragem do perifíton foi realizada dentro de cada parcela. A macrófita enraizada *Nymphaea* spp. foi utilizada como substrato, sendo coletado o perifíton aderido ao pecíolo das folhas da macrófita. O perifíton foi coletado no pecíolo da macrófita enraizada e submersa *Nymphaea* sp.. A amostragem do perifíton no interior de cada parcela seguiu critério aleatório e as macrófitas aparentemente muito jovens ou senescentes não foram coletadas. A amostragem do perifíton foi realizada em intervalos de 10 a 40 centímetros de profundidade. O perifíton foi removido por meio de raspagem (escova dental com cerdas macias) e lavagem com água destilada ou ultrapura (conforme o método de análise). Após a remoção do perifíton, o comprimento e largura dos pecíolos foram medidos para a determinação da área, a qual foi calculada pela fórmula da área do cilindro. Todos os atributos da comunidade foram expressos por área em cm<sup>2</sup>.

As variáveis climatológicas foram fornecidas pela Estação Meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG), campus da Água Funda, que se localiza a cerca de 200 metros do local de estudo (estacao.iag.usp.br). Foram analisadas as seguintes variáveis: temperatura do ar, radiação solar e precipitação pluviométrica.

Foram analisadas as seguintes variáveis abióticas da água: transparência da água (profundidade do disco de Secchi), radiação subaquática (luxímetro Li-Cor LI-250A), porcentagem radiação [ $(\text{radiação da subsuperfície} \times 100) / \text{radiação a 30cm}$ ], temperatura, condutividade elétrica (condutivímetro Digimed), oxigênio dissolvido (Golterman *et al.* 1978), alcalinidade (Golterman & Clymo 1971), pH (potenciômetro Digimed), formas de carbono inorgânico dissolvido, nitrito (N-NO<sub>2</sub>) e nitrato (N-NO<sub>3</sub>) (Mackeret *et al.* 1978), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>) (Solorzano 1969), ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) e fósforo total dissolvido (PDT) (Strickland & Parsons 1960), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) (Valderrama 1981) e sílica solúvel reativa (Golterman *et al.* 1978). As amostras para a fração dissolvida dos nutrientes foram filtradas em filtro GF/F sob baixa pressão

( $\leq 0,3$  atm). Todas as análises foram realizadas no dia da coleta, exceto a análise de nutrientes totais que foram realizados no máximo 30 dias após a coleta.

A biomassa fitoplanctônica foi determinada através do método da clorofila-a (corrigida da feofitina) utilizando etanol (90%) como extrator (Sartory & Grobblelar 1984, Marker *et al.* 1980).

Para a determinação da clorofila-a do perifíton, foi utilizado o mesmo método, porém para a realização da análise, o perifíton foi removido do substrato com auxílio da raspagem e água destilada e, posteriormente, as amostras foram filtradas em filtro de fibra de vidro Whatman GF/F sob a baixa pressão ( $\leq 0,3$ atm). A massa seca (MS), massa de cinzas e massa seca livre de cinzas (MSLC) foram determinadas conforme APHA (1985).

Para análise quantitativa das algas perifíticas, após o material perifítico ser removido do substrato (auxílio da raspagem e água destilada), as amostras foram fixadas com lugol acético e mantidas no escuro até o momento da análise. A contagem foi feita em microscópio invertido Zeiss Axiovert, seguindo o método de Utermöhl (1958) e o tempo de sedimentação seguiu Lund *et al.* (1958). A contagem foi realizada em transectos conforme sugerido por Bicudo (1990) e o limite de contagem foi estabelecido pela curva de rarefação de espécies e pela contagem mínima de 100 indivíduos das espécies mais abundante.

O biovolume ( $\mu\text{m}^3 \cdot \text{cm}^{-2}$ ) foi estimado a partir do produto da densidade populacional e a unidade de volume médio de cada espécie (Hillebrand *et al.* 1999, Sun & Liu 2003). A determinação do tamanho médio do organismo teve como base a medição, sempre que possível, de no mínimo 15 indivíduos. O biovolume da maioria das espécies foi obtido em uma lista de biovolume já calculado para a área de estudo (Fonseca *et al.*, submetido) e para táxons ausentes na lista o biovolume foi calculado a partir da formas geométricas descritas em Hillebrand *et al.* (1999) e Sun & Liu (2003).

Para avaliação dos componentes do perifíton aplicou-se o Índice Autotrófico (IA), o qual é definido como a razão entre a massa seca livre de cinzas e clorofila-a (APHA 1985). O limite teórico da fronteira entre a condição autotrófica e a heterotrófica é 200; sendo assim, valores do

índice acima de 200 consideram a comunidade como sendo predominantemente heterotrófica e abaixo de 200 como sendo predominantemente autotrófica.

Para a determinação do estado nutricional, o perifíton ( $n=3$ ) foi removido do substrato por meio de raspagem com escova dental de cerdas macias e lavagem com volume conhecido de água ultrapura. O conteúdo de fósforo do perifíton foi determinado pelo método descrito por Andersen (1976) e modificado por Pompêo & Moschini-Carlos (2003). O conteúdo de N e C foi determinado através do Analisador Elementar (Perkin-Elmer CHN 2400). O conteúdo de C, N e P foi expresso por porcentagem de unidade de massa seca (MS). Para a avaliação do estado nutricional do perifíton foi considerado o conteúdo de N, P e C e a razão molar N:P e C:N.

## **2.4. Tratamento estatístico**

Análise descritiva dos dados foi realizada através de representação gráfica (gráficos de perfis de medidas e histogramas). Foram utilizadas medidas de tendência central (média aritmética) e de dispersão dos dados, como desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV). A significância das diferenças entre os valores das variáveis ambientais nos diferentes tipos de complexidade de hábitat foi verificada usando ANOVA 1-fator com aplicação do teste *a posteriori* de comparação múltipla de Tukey para diferença mínima significativa ( $\alpha < 0.05$ ). O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) foi usado para medir o grau de relação linear entre a disponibilidade de nutrientes da água e do perifíton ( $r > 0.500$ ,  $P < 0.05$ ). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Sigma Plot 11.0. A avaliação conjunta dos dados abióticos e bióticos foi feita a partir da análise de componentes principais (PCA), utilizando uma matriz de covariância e os dados transformados pela amplitude de variação dos dados (ranging:  $[(x-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})]$ ) e em  $\log(x + 1)$ , respectivamente.

### 3. Resultados

#### 3.1 Variáveis climatológicas

O outono foi caracterizado por altos valores de precipitação (média 5,8 mm), estando próximo aos valores obtidos no verão (média 6,7mm) (Figura 4, Tabela 2). A temperatura média do ar foi maior no verão (23,9°C) e menor média no inverno (17,1°C) (Figura 4). Maiores valores de irradiação solar foram obtidos na primavera e no verão (19,1 MJ m<sup>-2</sup> e 18,8 MJ m<sup>-2</sup> respectivamente) (Figura 4).

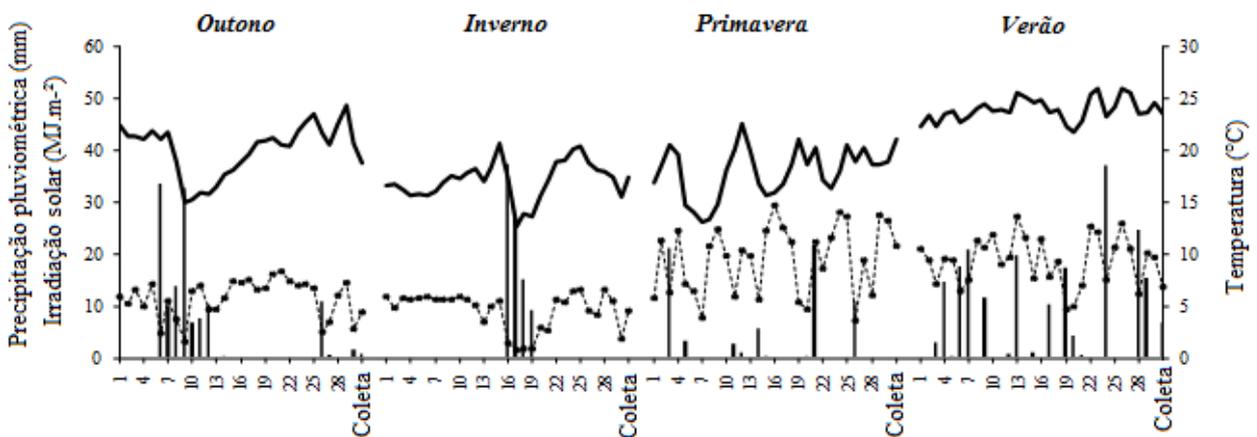


Figura 4: Variação dos valores médios diários de precipitação pluviométrica (barra), irradiação solar (linha pontilhada) e temperatura (linha contínua) nos 30 dias que antecedem cada coleta nas estações do ano.

Tabela 2: Valores mínimos e máximos e, entre parênteses, média e desvio padrão (n = 3) das variáveis climáticas nos 30 dias que antecedem cada coleta nas estações do ano.

Variáveis climáticas	Outono	Inverno	Primavera	Verão
Temperatura (°C)	14,9-24,4 (20,1-2,5)	12,6-20,6 (17,1-1,9)	13,0-22,5 (18,0-2,4)	21,7-25,9 (23,9-1,1)
Irradiação solar (MJ.m <sup>-2</sup> )	3,3-16,8 (11,6-3,6)	1,6-13,3 (9,3-3,6)	7,3-29,6 (19,1-6,7)	9,4-27,4 (18,8-4,7)
Precipitação pluviométrica (mm)	0,0-50,0 (5,8-12,0)	0,0-37,6 (2,9-8,6)	0,0-21,8 (2,2-5,6)	0,0-37,1 (6,7-9,7)

### 3.2. Variáveis abióticas

Comparando-se as condições limnológicas em escala sazonal, verificou-se a elevada variação de todas as variáveis (Tabela 3; Figura 5). Considerando a disponibilidade de recursos (nutrientes e luz) para o perifíton, verificou-se que a disponibilidade de nitrogênio foi maior no outono e inverno (Figura 5A, 5B) e de fósforo dissolvido na primavera e verão em todos os bancos de macrófitas (Figura 5E, 5F). Os maiores valores de amônio foram detectados no inverno e de nitrato no outono. Nestas estações a concentração de NID foi de 2 a 7 vezes maior do que na primavera e verão (Figura 5A, 5B). No entanto a maior concentração de nitrito foi observada na primavera e no verão (Figura 5C). Apesar da concentração de PT ter sido elevada no outono e inverno, principalmente nos bancos de 3 e 4 espécies, a concentração de PDT foi maior na primavera e verão (Figura 5E). Quanto à disponibilidade de luz, verificou-se que os maiores valores de transparência da água e a quantidade relativa de radiação subaquática foram registrados na primavera e no verão, exceto no inverno cuja transparência foi elevada no banco de *Nymphaea* spp. (Tabela 3).

Comparando as condições limnológicas nos diferentes tipos de complexidade de hábitat, verificou-se que a maior ou menor similaridade entre os bancos foi dependente da escala sazonal. Dentre todas as variáveis analisadas, apenas as concentrações de PT e CO<sub>2</sub> livre não apresentaram diferença significativa entre os bancos de macrófitas em nenhuma estação do ano. Apenas a concentração de nitrito e NT foi significativamente diferente entre os tipos de complexidade no outono, enquanto no inverno foram diferentes apenas os valores de amônio, NT e pH ( $P > 0.002 - 0.05$ ). Na primavera e no verão, diferentemente, as condições limnológicas foram mais distintas entre os bancos de macrófitas (complexidade de hábitat) ( $P > 0.001 - 0.04$ ). A maioria das variáveis apresentou diferença significativa entre os bancos, exceto amônio e condutividade na primavera e amônio, pH e sílica no verão.

A análise conjunta de 14 variáveis limnológicas pela PCA resumiu 60.9% da variabilidade total dos dados no eixo 1 e 2 (Figura 6, Tabela 4), os quais foram considerados altamente

significativos pelo teste randomização ( $P= 0.001$ ;  $P=0,03$ , respectivamente). No lado positivo do eixo 1 foram ordenadas as unidades amostrais referentes ao outono e inverno (período seco), as quais foram altamente correlacionadas com a alta disponibilidade de N ( $N-NO_3$ ,  $N-NH_4$ , NT) e condutividade elétrica ( $r > 0.7$ ). Contrapondo, no lado negativo do eixo 1 foram ordenadas as unidades da primavera e do verão, as quais foram altamente correlacionadas com os maiores de PDT, quantidade relativa de radiação subaquática e íons bicarbonato. O eixo 1 representou a variação sazonal das condições limnológicas na região litorânea do Lago das Ninféias.

Tabela 3: Valor mínimo e máximo e, entre parênteses, média e desvio padrão (n = 12) das variáveis limnológicas na região litorânea do Lago das Ninféias durante o período de estudo.

	Outono	Inverno	Primavera	Verão
Alcalinidade (mEq.L <sup>-1</sup> )	0,017-0,024 (0,020-0,002)	0,015-0,045 (0,024-0,008)	0,026-0,030 (0,028-0,001)	0,023-0,030 (0,026-0,002)
CO <sub>2</sub> livre (mg.L <sup>-1</sup> )	0,9-1,7 (1,3-0,2)	1,5-5,9 (2,6-1,3)	0,6-1,5 (0,9-0,2)	1,5-4,5 (2,5-0,9)
Bicarbonato (mg.L <sup>-1</sup> )	1,1-1,4 (1,2-0,1)	0,9-2,8 (1,6-0,3)	1,6-1,9 (1,8-0,1)	1,5-1,9 (1,6-0,1)
Condutividade elétrica (µS.cm <sup>-2</sup> )	55,2-60,5 (57,0-1,3)	47,8-58,4 (54,9-3,2)	54,5-60,4 (57,3-2,0)	45,4-51,0 (47, 3-1,6)
pH	6,1-6,3 (6,2-0,1)	5,8-6,3 (6,0-0,2)	6,3-6,7 (6,5-0,1)	6,1-6,2 (6,1-0,0)
Oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )	2,1-4,6 (3,8-0,7)	3,4-7,7 (5,7-1,1)	3,6-4,9 (4,1-0,3)	1,3-8,1 (3,4 -2,0)
Temperatura (°C)	22,0-23,0 (22,3-0,3)	18,1-20,3 (19,2-0,8)	20,8-23,0 (21,9-0,6)	23,5-25,1 (24,7-0,4)
Radiação subaquática (µmol.s <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> )	40,8-182,6 (97,5-46,4)	400,5-49,2 (148,5-98,3)	500,8-36,3 (356,4-141,9)	105,5-1,4 (30,6-31,3)
Radiação subaquática (%)	7,0-75,8 (47,4-19,9)	6,5-75,8 (40,3-19,9)	37,0-96,9 (64,6-16,1)	67,4-98,8 (86,6-11,1)
Transparência da água (m)	0,2-1,1 (0,6-0,2)	0,1-1,2 (0,4-0,4)	0,2-1,2 (0,6-0,3)	0,1-1,2 (0,7-0,3)
N-NO <sub>2</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	10,9-16,8 (13,0-2,0)	3,4-9,6 (8,4-1,7)	8,2-15,9 (13,4-2,5)	16,3-23,5 (19,7-2,2)
N-NO <sub>3</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	865,3-1602,4 (1236,7-233,0)	269,1-2204,1 (877,8-568,0)	74,2-339,9 (158,2-87,6)	221,6-629,7 (444,7-132,6)
N-NH <sub>4</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	70,1-182,6 (103,2-36,2)	42,3-173, 6 (114,2-48,6)	12,2-35,8 (23,7-8,0)	6,2-46,8 (23,6-14,4)
NT (µg.L <sup>-1</sup> )	1263,4-2720,6 (2155,3-49,5)	673,1-1312,8 (972,4-241,1)	252,1-555,5 (365,7-83,9)	137,2-551,2 (410,9-133,4)
PDT (µg.L <sup>-1</sup> )	<4,0	4,0-4,7 (<4,0-1,7)	4,5-6,5 (5,7-0,7)	4,0-14,8 (7,3-3,2)
P-PO <sub>4</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	4,0-5,5 (<4,0-1,8)	<4,0	<4,0	4,0-6,7 (4,0-2,1)
PT (µg.L <sup>-1</sup> )	12,6-43,1 (20-9,5)	17,2-47,8 (25-9,5)	8,7-19,9 (15-3,5)	10,9-24,3 (10,9-4,3)
Razão molar inorgânica N:P	135-410 (262-91)	36-161 (96-44)	37-89 (16-57)	18-105 (28-60)
Sílica solúvel reativa (mg. L <sup>-1</sup> )	1,7-2,5 (2,1-0,2)	2,9-3,4 (3,0-0,1)	1,8-2,6 (2,3-0,2)	2,9-3,1 (3,0-0,09)
Matéria orgânica particulada	1,7-9,7 (5,6-2,1)	2,2-5,1 (3,6-0,9)	1,3-15,8 (5,8-4,0)	2,3-10,4 (4,7-2,6)
Cobertura de macrófitas (%)	3-91 (44-24)	81-14 (41-22)	47-100 (86-15)	59-110 (86-15)
Clorofila-a do fitoplanctônica (µg.L <sup>-1</sup> )	0-10,6 (4,8-3,6)	0-11,0 (3,3-3,1)	2,6-11,4 (6,3-2,9)	2,2-14,9 (7,4-3,6)

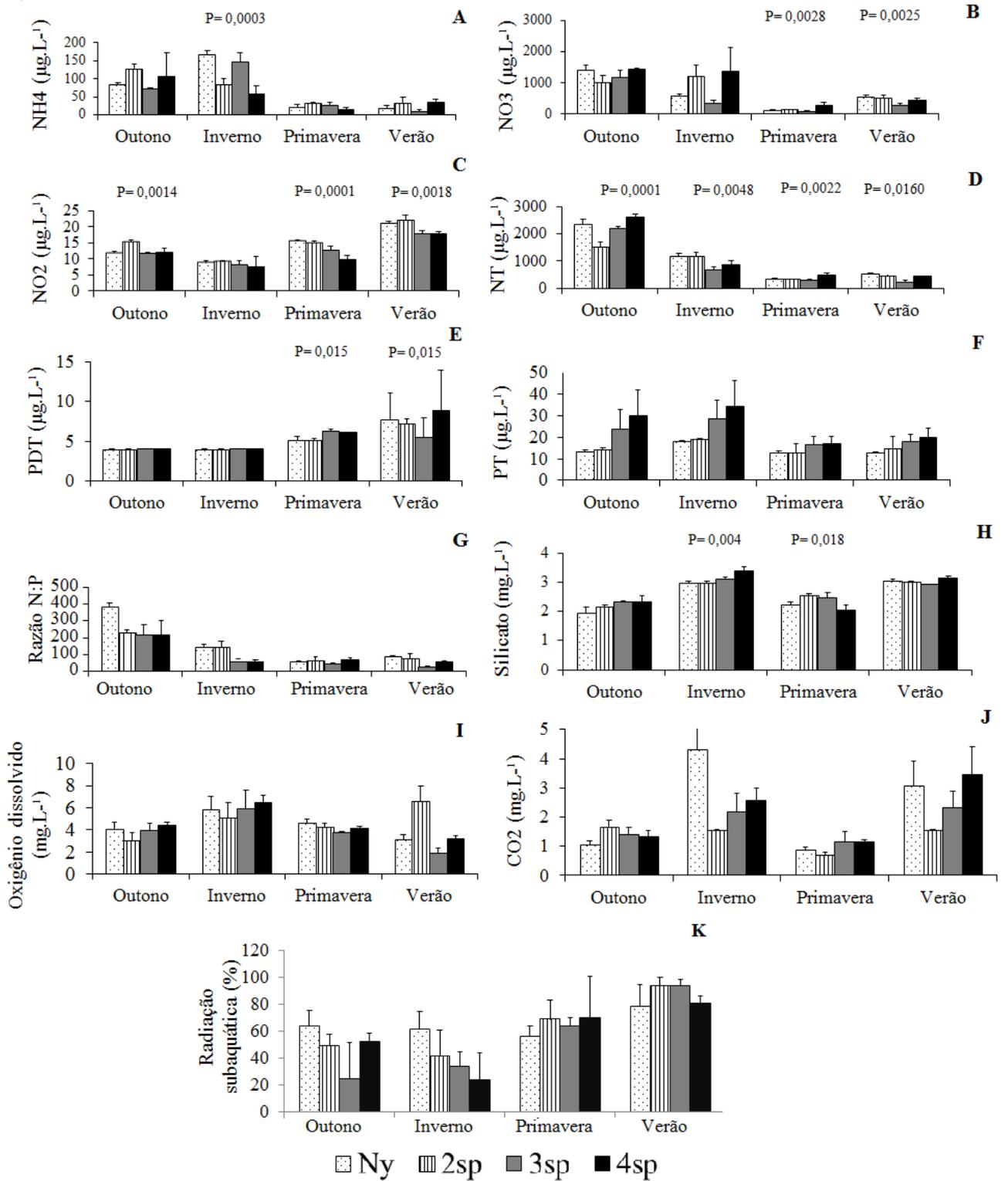


Figura 5: Variação sazonal dos valores médios ( $n=3$ ,  $\pm$  DP) de nutrientes totais e dissolvidos, razão N:P da água, penetração de luz e radiação subaquática,  $\text{CO}_2$  livre e OD nos diferentes bancos de macrófitas aquáticas (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

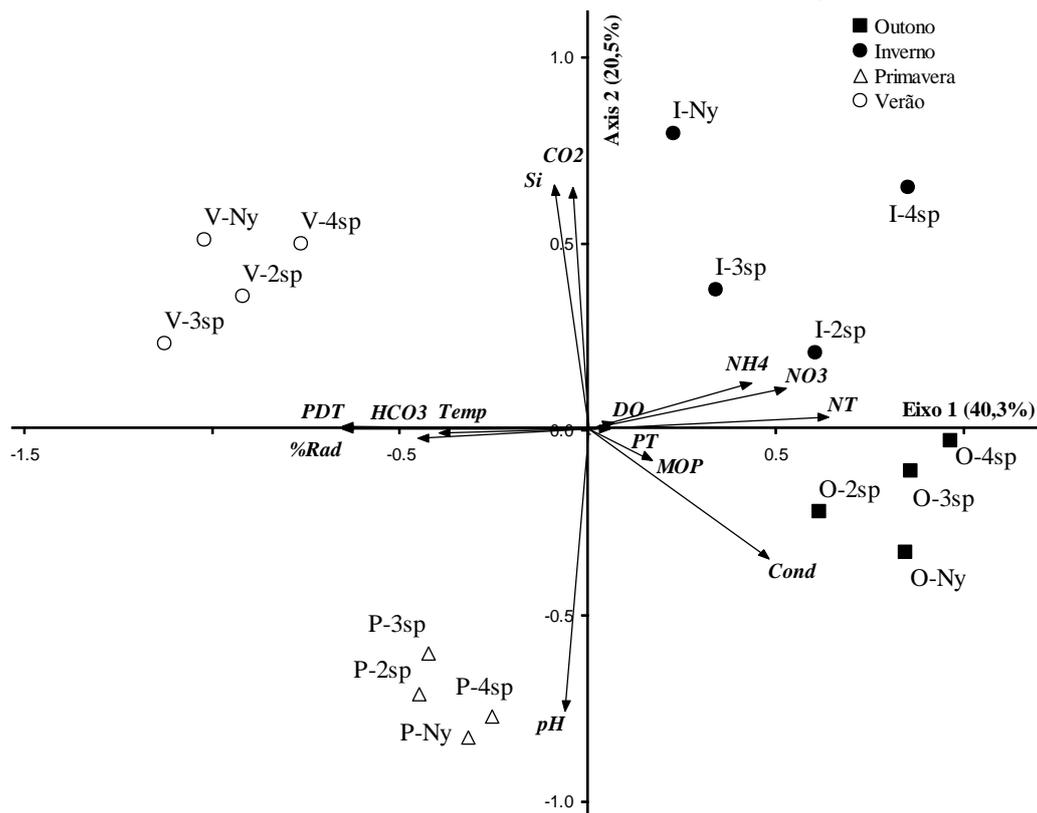


Figura 6: Biplot da PCA das variáveis limnológicas no interior dos bancos de macrófitas aquáticas com diferentes tipos de complexidade de hábitat ( $n = 3$ ) em escala sazonal. Códigos das unidades amostrais: o primeiro caractere refere-se às estações do ano (O-outono, I-inverno, P-primavera, V-verão) e os demais caracteres o tipo de banco de macrófita (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas). Os códigos dos vetores encontram-se na tabela 4.

Tabela 4: Correlação de Pearson ( $r$ ) entre os variáveis limnológicas e os escores do eixo 1 e 2 da Análise de Componentes Principais (PCA).

Variáveis	Códigos	Eixo 1	Eixo 2
CO <sub>2</sub> livre	CO2	-0,212	<b>0,832</b>
Bicarbonato	HCO3	<b>-0,699</b>	-0,166
Condutividade	Cond	<b>0,717</b>	<b>-0,609</b>
Oxigênio dissolvido	OD	0,270	0,141
Amônio	NH4	<b>0,681</b>	0,364
Nitrato	NO3	<b>0,750</b>	0,343
Nitrogênio Total	NT	<b>0,826</b>	0,185
Fósforo Total Dissolvido	PDT	<b>-0,837</b>	0,085
Fósforo Total	PT	0,247	0,011
pH	pH	-0,258	<b>-0,900</b>
Silicato	Si	-0,313	<b>0,838</b>
Temperatura	Temp	<b>-0,652</b>	-0,107
Radiação subaquática (%)	%Rad	<b>-0,837</b>	-0,023
Matéria Orgânica Particulada	MOP	0,426	-0,302

### 3.3. Complexidade de hábitat – Macrófitas aquáticas

A cobertura total de macrófitas apresentou maior variação espacial no outono e no inverno (CV = 43 e 49, respectivamente). A cobertura de macrófitas foi significativamente diferente entre os tipos de complexidade de hábitat apenas no outono ( $P=0,027$ ) (Figura 7A).

Em relação à cobertura das espécies de macrófitas nas parcelas amostradas (Figura 7B), a macrófita enraizada de folha flutuante *Nymphaea* spp. esteve presente em todos os bancos mistos em todas as estações do ano, seguida por *Utricularia foliosa*. As diferentes estruturas de hábitat dos bancos de macrófitas representaram, claramente, os diferentes tipos de complexidade de hábitat.

O valor de importância das espécies em todos os bancos de macrófita foi menor no outono e no inverno do que na primavera e verão, particularmente *Utricularia foliosa* e *Nymphaea* spp. (Figura 8). Considerando os bancos mistos, verificou-se o aumento do valor de importância de todas as espécies na primavera e no verão. No verão houve uma distribuição mais equitativa da participação das espécies em todos os bancos mistos.

Em suma, os valores de porcentagem de cobertura e valor de importância das espécies mostraram que o outono e inverno foram caracterizados pelo menor grau de complexidade de hábitat, já a primavera e o verão foram estações do ano com maior grau de complexidade de hábitat.

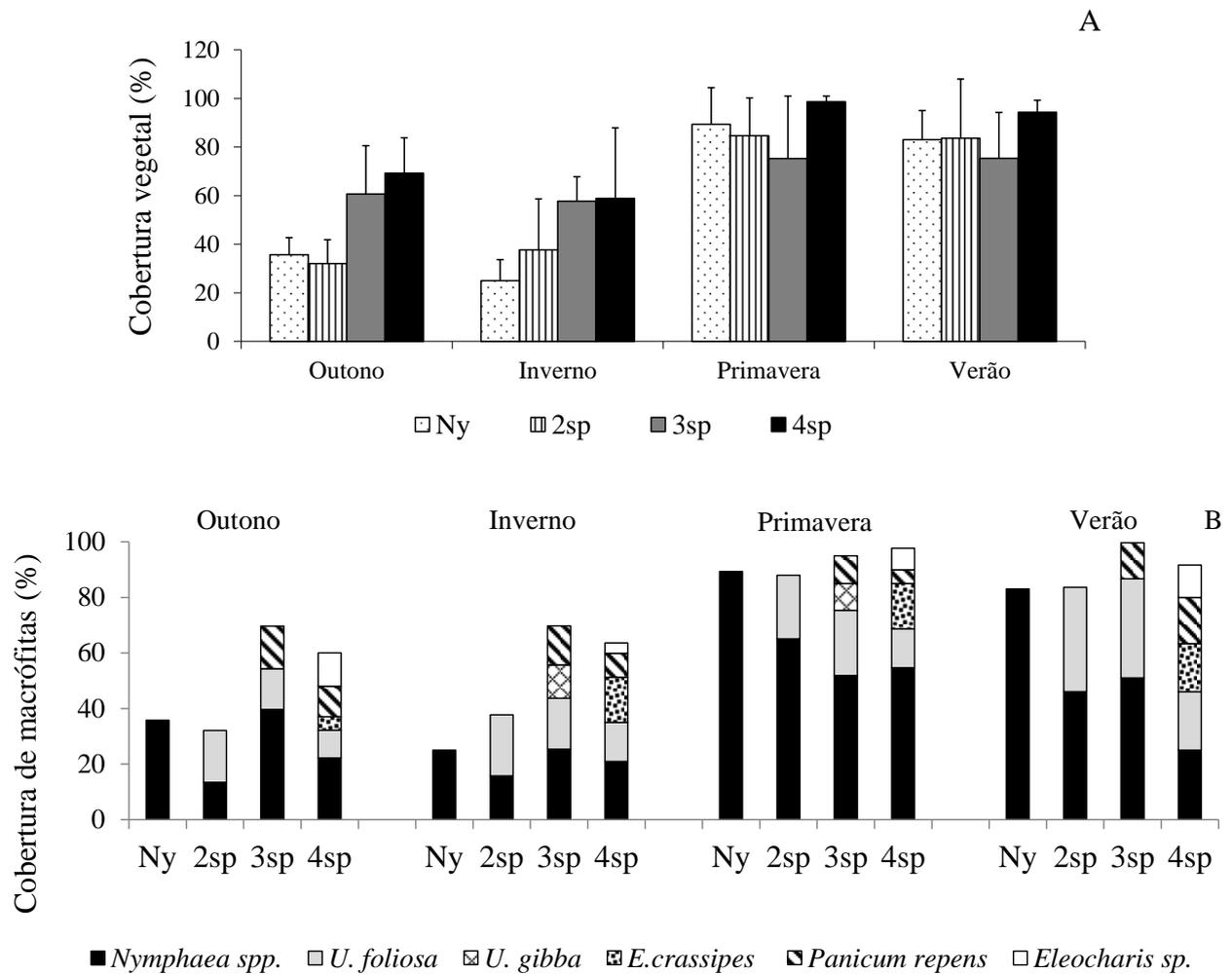


Figura 7: Variação sazonal dos valores médios ( $n=3$ ,  $\pm$  DP) da cobertura total (A) e da cobertura de cada espécie de macrófita (B) nos diferentes bancos de macrófitas aquáticas (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

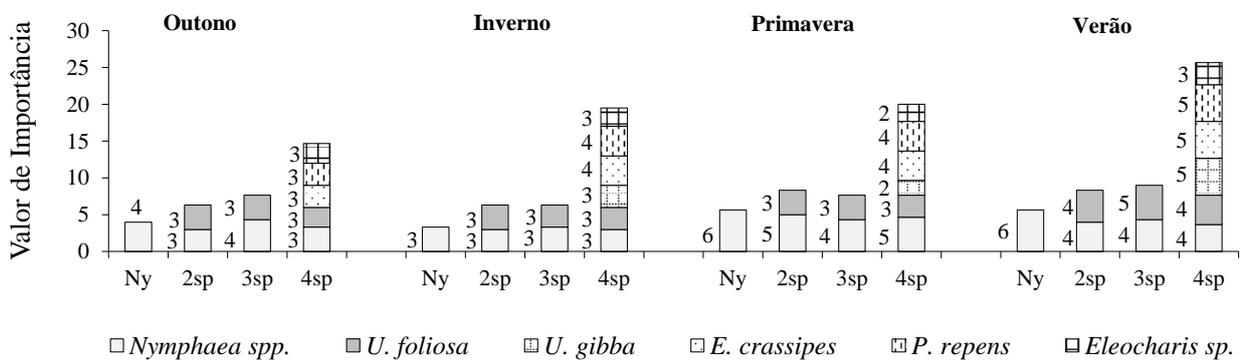


Figura 8: Variação sazonal dos valores médios ( $n=3$ ,  $\pm$  DP) de importância de cada macrófita nos diferentes bancos de macrófitas aquáticas (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

### 3.4. Atributos estruturais da comunidade perifítica

Em escala sazonal, a **biomassa algal** da comunidade perifítica em *Nymphaea* spp. foi em média maior no verão e outono, contudo no verão apenas o banco de 3 espécies de macrófitas (3sp) apresentou elevada biomassa (Figura 9A). No outono a biomassa algal não variou significativamente entre os bancos de macrófitas, mas a biomassa no banco de 4 espécies de macrófitas (4sp) foi de 2,3 a 3,1 vezes menor do que nos demais bancos. No inverno o maior valor da biomassa algal foi observado nos bancos de *Nymphaea* spp. e tendeu a diminuir nos bancos mistos com maior complexidade de hábitat (3sp e 4sp), o banco de 4 espécies de macrófitas foi significativamente diferente dos demais ( $F = 4,7$ ;  $P = 0,036$ ). Na primavera os maiores valores de biomassa algal foram observados nos bancos de menor complexidade de hábitat, sendo 4,5 vezes maiores nesses bancos do que nos demais, apresentando diferença significativa entre os pontos ( $F = 3,57$ ;  $P = 0,067$ ) (Figura 9A). No verão a biomassa no banco de 3sp foi 2,6 vezes maior do que nos demais, tendo diferença significativa entre os diferentes tipos de complexidade de hábitat ( $F = 5,99$ ;  $P = 0,019$ ). Comparativamente, em todas as estações do ano os menores valores de biomassa ocorreram no banco misto de 4 espécies.

Em relação à quantidade de biomassa algal nos diferentes tipos de complexidade de hábitat em escala sazonal, observou-se grande variação espacial dos valores. A biomassa algal apresentou menor variação nos bancos de menor complexidade, tendo o coeficiente de variação (CV) de 31% no banco de *Nymphaea* sp. e de 59% no banco misto com 2 espécies. Enquanto, nos bancos de maior complexidade (3sp,4sp) a variação foi cerca de 1,5 vez maior do que nos demais bancos (85% e 70%, respectivamente).

Em média, a **massa seca livre de cinzas (MSLC)** no perifíton foi maior no período seco, tendo destaque o outono cujo valor foi 1,6-2,6 maior do que nas demais estações (figura 9B). No entanto os valores de massa orgânica do perifíton (MSLC) entre os tipos de bancos foram significativamente diferentes somente no verão ( $F = 8,44$ ;  $P = 0,007$ ).

A **densidade total** de algas perifíticas foi, em média, maior no período seco (outono e inverno) do que no chuvoso (figura 9C). Os valores de DT tenderam a diminuir com aumento da complexidade de hábitat no outono e inverno e a aumentar na primavera e verão. A densidade algal apresentou diferença significativa entre os tipos de complexidade somente no verão ( $F=8,44$ ;  $P = 0,007$ ).

O **biovolume total** das algas perifíticas, em média, foi maior no outono e no inverno (período seco) do que nas demais estações, tendo sido registrado altos valores no banco de *Nymphaea* no inverno (figura 9D). Somente no verão houve diferença significativa entre os tipos de complexidade ( $F=3,869$ ,  $P= 0,05$ ).

Os atributos do perifíton (variável dependente) apresentaram uma relação linear significativa de dependência com a cobertura de macrófitas (variável independente). ( $P >0,003$ ; Figura 10). A correlação de Pearson mostrou que a relação entre os atributos do perifíton e a cobertura de macrófita foi negativa e significativa ( $P >0,003$ ; Figura 10). Portanto, o perifíton apresentou relação inversa com a cobertura de macrófitas, ou seja, a maior biomassa ocorreu nos períodos de menor cobertura de macrófitas.

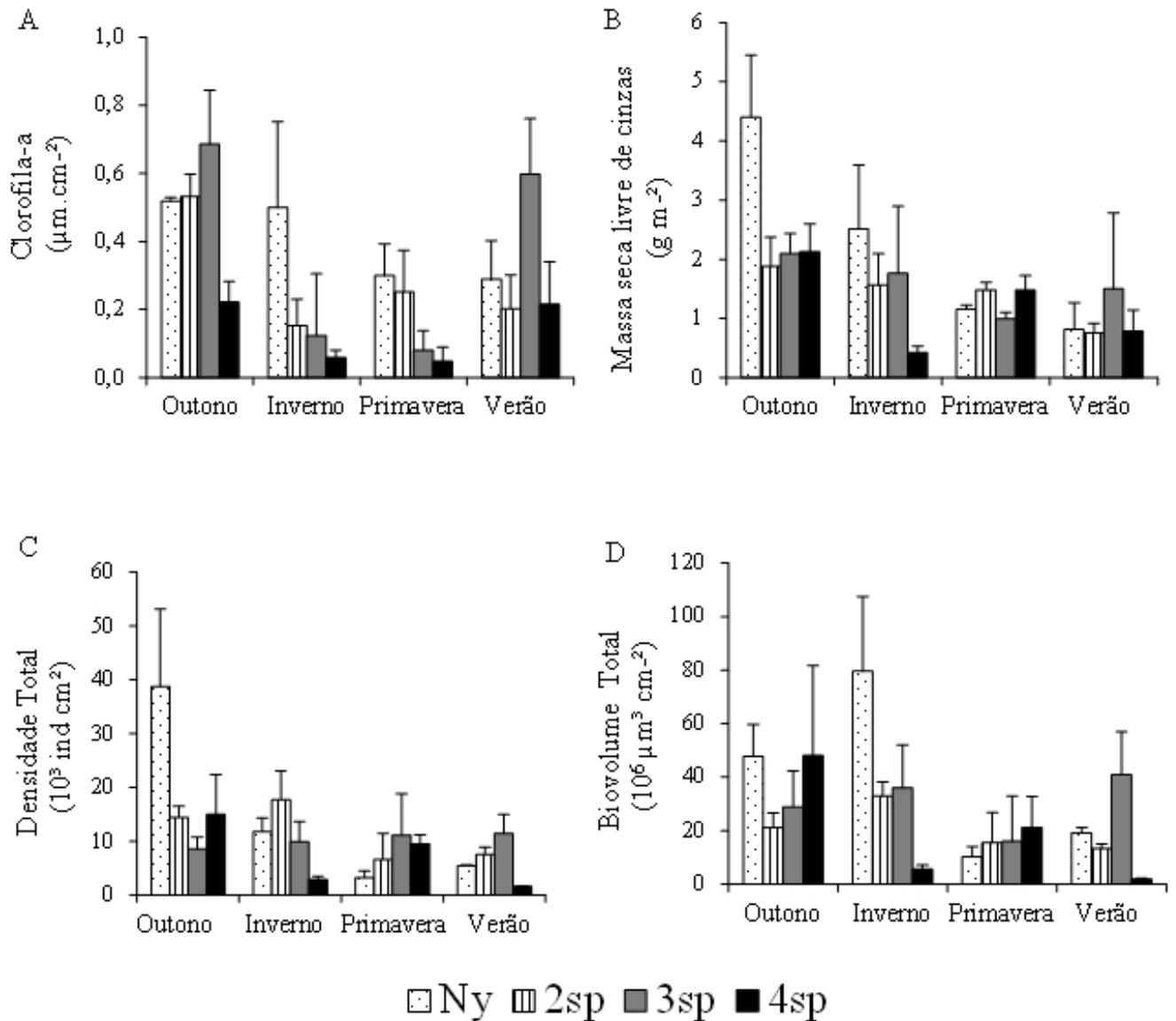


Figura 9: Variação sazonal da biomassa fotossintética, massa seca livre de cinzas, densidade total e biovolume total ( $n=3$ ,  $\pm$  DP) das algas perifíticas em *Nymphaea* spp. nos diferentes bancos de macrófitas aquáticas (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

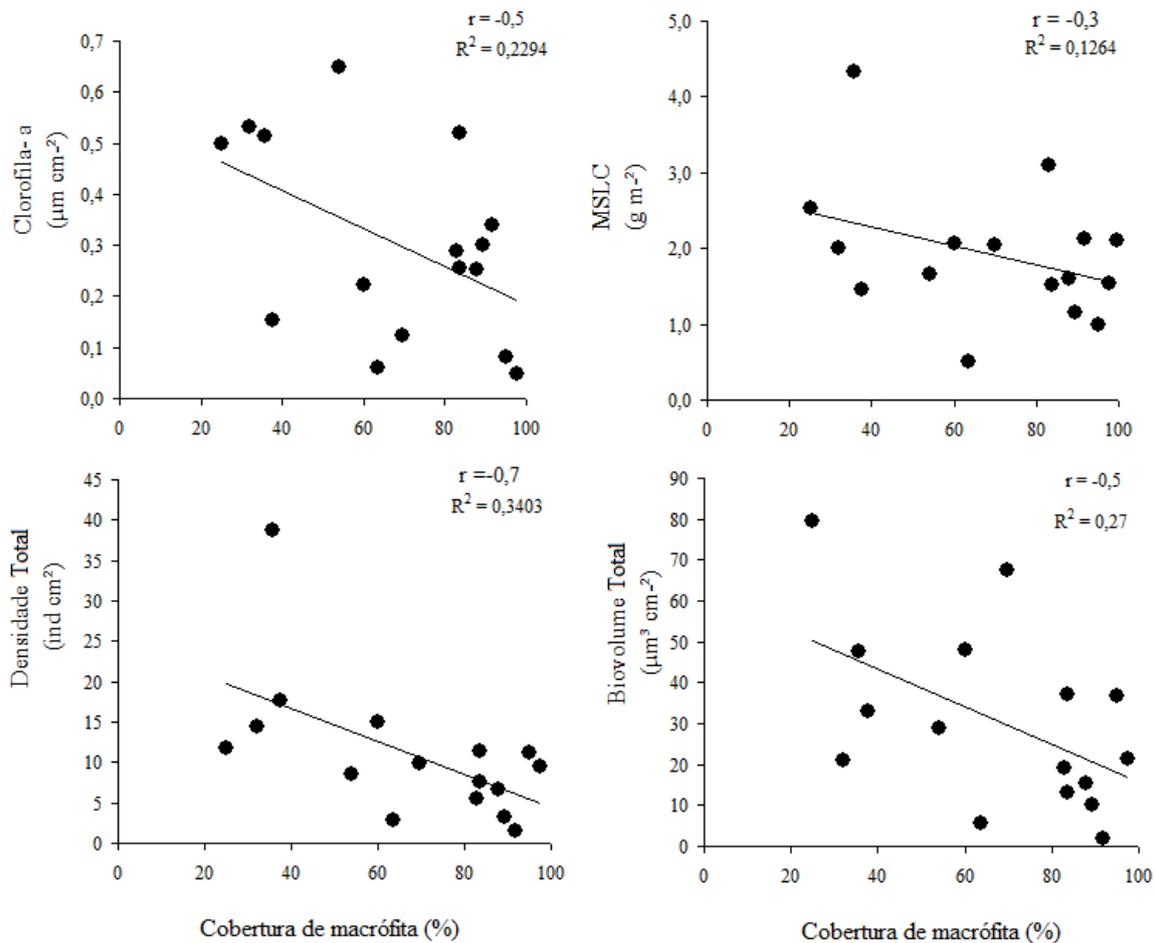


Figura 10: Regressão linear simples dos atributos estruturais do perifiton e da cobertura de macrófitas. O símbolo  $r$  indica o coeficiente da correlação de Pearson e o  $R^2$  indica o coeficiente de determinação da regressão.

### Índice autotrófico da comunidade perifítica

O Índice Autotrófico indicou que a comunidade foi bastante heterotrófica em todos os períodos e bancos de macrófitas, mas os maiores valores foram registrados no inverno (Figura 11). No outono e primavera a comunidade tendeu em ser mais heterotrófica nos bancos com maior complexidade de hábitat, porém estatisticamente não houve diferença entre os pontos de amostragem ( $P=0,319-0,761$ ).

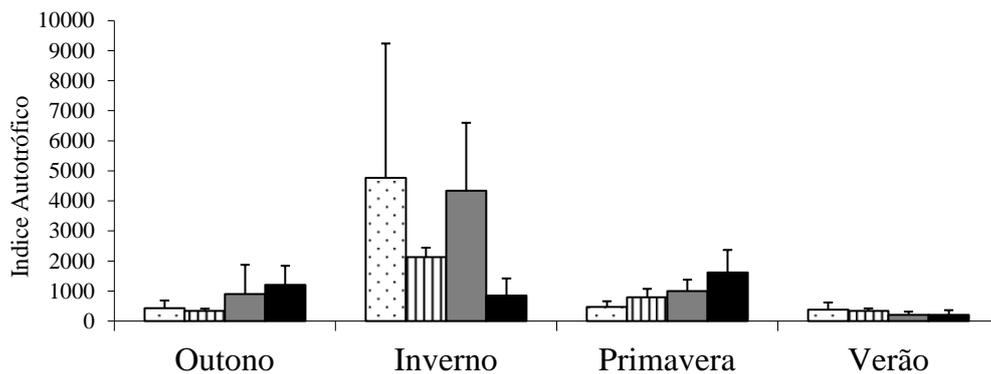


Figura 11: Variação sazonal do índice autotrófico ( $n=3$ ,  $\pm$  DP) do perifíton em *Nymphaea* spp. nos diferentes bancos de macrófitas aquáticas (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

### 3.5. Estado nutricional do perifíton (C%, N %, P% e C:N:P)

O conteúdo de carbono no perifíton pouco variou entre as estações do ano (Figura 12A) e os maiores teores foram observados na primavera e verão. A variação do conteúdo de carbono foi baixa entre os diferentes bancos de macrófitas (CV: outono = 18,8%; inverno = 23,4%; primavera = 14,0%; verão = 17,2%) e, ainda, os teores não apresentaram diferença significativa entre os tipos de complexidade de hábitat em nenhuma estação do ano ( $P= 0,075-0,234$ ).

Em média, o conteúdo de N no perifíton foi bastante similar no outono, primavera e verão (2,6-2,8%), tendo sido observado os menores teores no inverno (Figura 12B). O conteúdo de N apresentou pequena variação entre os tipos de complexidade de hábitat (CV: outono = 18,1%; inverno = 10,7%; primavera = 5,7%; verão = 6,4%). Nenhuma diferença significativa foi detectada pela ANOVA no conteúdo de N entre o tipos de complexidade de hábitat nas estações do ano ( $P= 0,132-0,890$ ).

O conteúdo de P do perifíton foi baixo em todos os tipos de complexidade de hábitat e estações do ano ( $>0,1\%$  da MS) (Figura 12C). O coeficiente de variação dos teores de P entre os tipos de complexidade de hábitat variou de 40 a 56% em todas as estações do ano (CV: outono =

55,6%; inverno = 36,5%; primavera = 44,5%; verão = 39,3%). O conteúdo de P não apresentou nenhuma diferença significativa entre diferentes tipos de complexidade de hábitat em nenhuma estação do ano ( $P = 0,122-0,406$ ).

Comparando o conteúdo de C, N e P do perifíton entre as estações do ano, verificou-se que apenas o conteúdo P não apresentou diferença significativa (%C:  $F = 8,09$ ,  $P = 0,0004$ ; %N:  $F = 5,36$ ,  $P = 0,003$ ).

A razão molar N:P do perifíton apresentou grande variação entre os tipos de complexidade de hábitat e estações do ano (Figura 12D). Considerando a razão molar N:P proposta por Kahlert (1998), constatou-se que no outono a comunidade apresentou uma condição P-limitante, enquanto o melhor balanço estequiométrico foi observado no verão. A razão molar N:P do perifíton foi significativamente maior no outono do que nas demais estações do ano ( $F = 9,66$ ;  $P = 0,002$ ). A razão C:N do perifíton evidenciou ausência de limitação por N na comunidade ( $C:N > 14$ ).

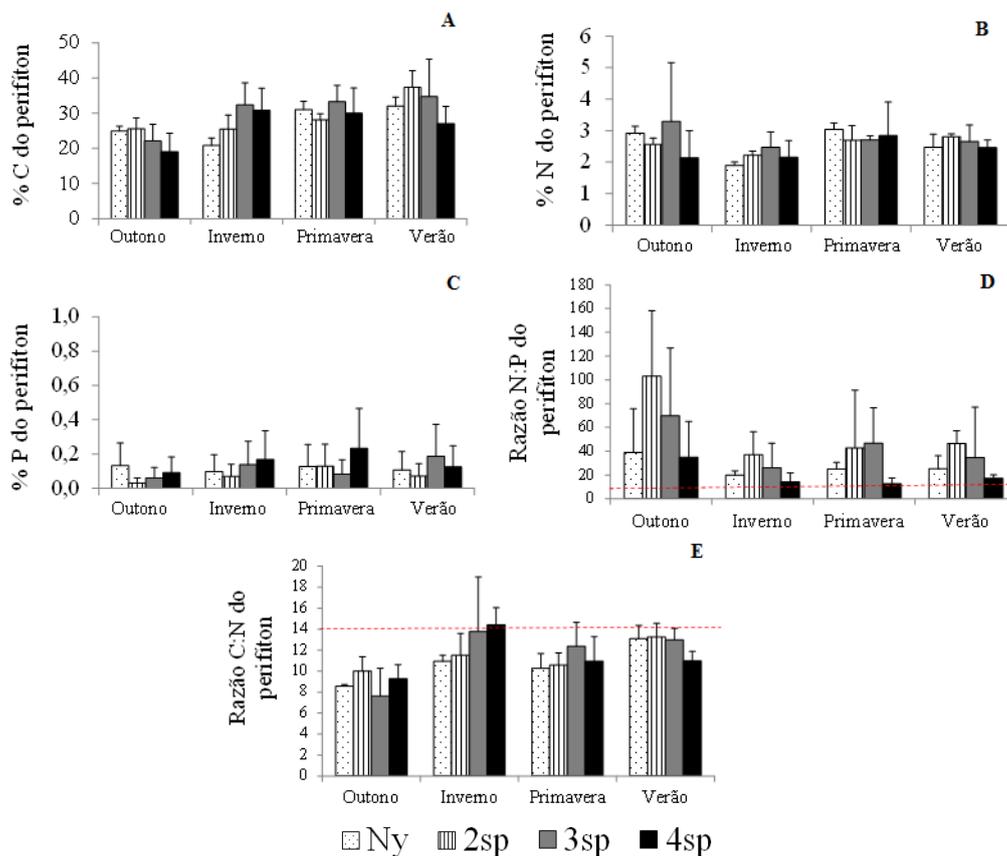


Figura 12: Variação sazonal do conteúdo de C, N e P e razão molar N:P e C:N ( $n=3$ ,  $\pm$  DP) do perifíton em *Nymphaea* spp. nos diferentes bancos de macrófitas aquáticas (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

### 3.6. Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Coordenadas Principais resumiu 71,5% da variabilidade total dos dados bióticos nos dois primeiros eixos (Figura 13), ambos os eixos foram considerados significativos pelo teste de randomização ( $p = <0,001$ ). No lado negativo do eixo 1 foram ordenadas todas as unidades do outono e os bancos de *Nymphaea* e 2sp do inverno, as quais foram altamente correlacionadas aos altos valores de biomassa (clorofila-a e MSLC), densidade algal e alta razão molar N:P ( $r > -0,7$ ). Em oposição, todas as unidades amostrais da primavera e do verão e os bancos 3sp e 4sp do inverno foram ordenadas no lado positivo do eixo 1, sendo correlacionadas aos maiores valores do conteúdo de C e P do perifíton ( $r = 0,6$ ). O eixo 2 mostrou a associação das unidades amostrais do inverno aos baixos teores de N do perifíton. A análise representou a variação dos atributos do perifíton entre os tipos de complexidade de hábitat e entre as estações do ano, sendo evidenciada particularmente pela ordenação das unidades amostrais no eixo 1.

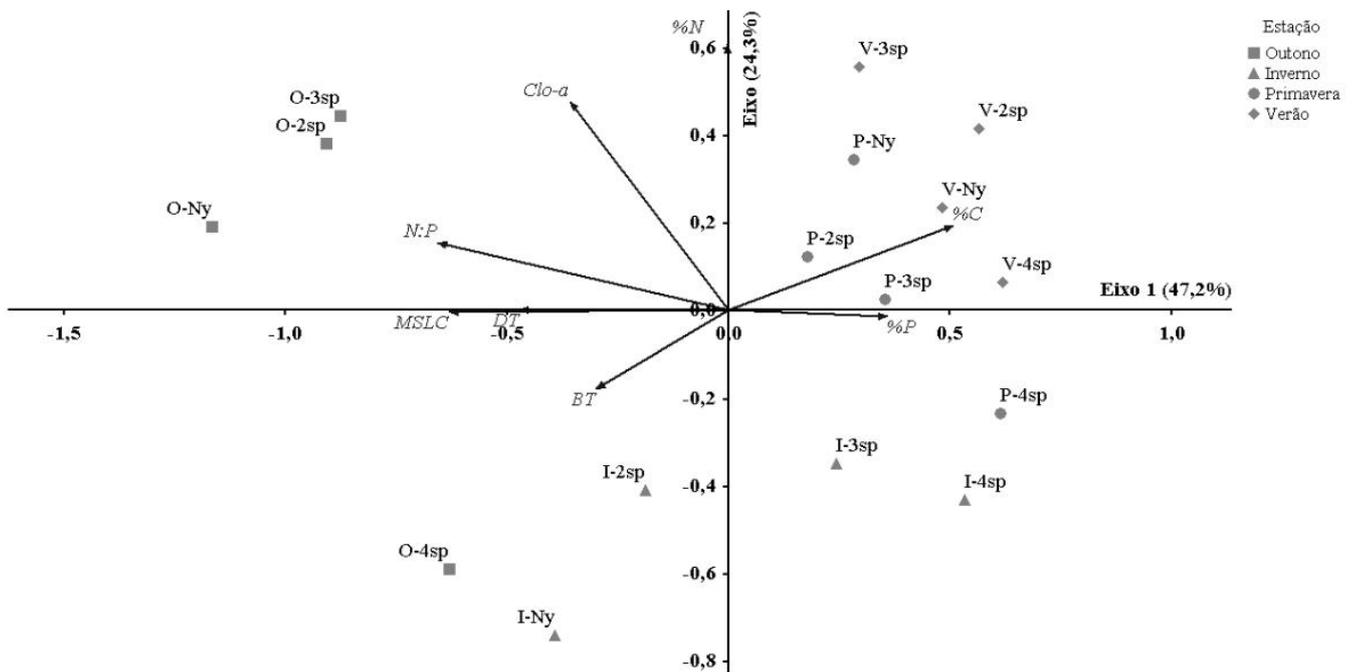


Figura 13. PCA dos atributos estruturais e estado nutricional do perifíton ( $n = 3$ ) em escala sazonal. Códigos das unidades amostrais: primeira letra indica as estações do ano (O-outono, I-inverno, P-primavera, V-verão) e os demais caracteres os tipos de bancos de macrófitas (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas). Abreviações dos vetores: Clo = clorofila-a, MSLC = massa seca livre de cinzas, Dt = densidade total, Bt = biovolume total, %P = conteúdo de fósforo, %N = conteúdo de nitrogênio, N:P = razão molar N:P. IA = índice autotrófico.

#### 4. Discussão

O Lago das Ninféias é um reservatório mesotrófico raso que apresenta uma extensa região litorânea, na qual há uma grande abundância de macrófitas aquáticas que podem servir de substrato para a comunidade perifítica. No presente estudo, as condições limnológicas e a cobertura de macrófitas aquáticas, principalmente de ninféias, variaram em escala espacial e temporal. O outono e inverno caracterizaram-se pela menor cobertura de macrófitas, menor disponibilidade de luz e alta disponibilidade de N na água. Diferentemente, a primavera e verão foram caracterizados pela maior disponibilidade de luz (transparência e radiação), fósforo dissolvido e maior cobertura de macrófitas. As condições limnológicas foram mais diferenciadas entre os tipos de complexidade de hábitat na primavera e verão do que no outono e inverno, pois no período seco apenas a disponibilidade de N teve diferença significativa (amônio, nitrito e nitrogênio total). Baseado nas condições limnológicas e na cobertura das espécies de macrófitas em cada complexidade de hábitat, nós constatamos que o reservatório na primavera e verão (período chuvoso) apresentou *maior heterogeneidade espacial*. Em oposição, ao outono e inverno (período seco), o reservatório caracterizou-se pela *menor heterogeneidade espacial*. O presente partiu da premissa que a heterogeneidade espacial (condições limnológicas e complexidade) teria influência direta sobre a biomassa e o estado nutricional do perifíton.

O maior desenvolvimento do perifíton foi observado no período seco (outono e inverno) em todos os bancos de macrófitas aquáticas, ou seja, os maiores valores de biomassa, densidade e biovolume algal ocorreram no período de menor heterogeneidade espacial. Esta fase caracterizou-se pela baixa cobertura de macrófitas, menor disponibilidade de luz e P e alta de N e, obviamente, um elevado desbalanceamento estequiométrico de N e P. Portanto, os resultados evidenciaram a baixa capacidade competitiva do perifíton em *Nymphaea* spp. no período de maior heterogeneidade espacial, bem como a influência negativa que a alta cobertura de macrófitas exerceu sobre o desenvolvimento deste perifíton.

Dois aspectos morfológicos da *Nymphaea* podem influenciar diretamente o desenvolvimento do perifíton: a presença de raízes subterrâneas e de folhas flutuantes grandes. Inúmeros estudos mostraram que as macrófitas enraizadas podem fornecer nutrientes para comunidade perifítica (Burkholder & Wetzel 1990, Dodds 2003). Esta influência pode ter levado a ausência de diferença significativa no estado nutricional nos diferentes tipos de complexidade de hábitat. Por outro lado, a presença de folhas flutuantes pode reduzir a disponibilidade de luz (sombreamento) para o perifíton e, conseqüentemente, controlar a dinâmica da comunidade. Experimentalmente, Diaz-Oleart *et al.* (2007) mostraram que as macrófitas flutuantes controlavam a dinâmica do fitoplâncton através da variação na disponibilidade de luz. A própria forma biológica da macrófita pode atuar como fator controlador do desenvolvimento do perifíton, como observado em outros estudos (Laugaste & Reunanen, 2005; Cattaneo *et al.*, 1998, Santos 2012). Desta forma, a estrutura da comunidade perifítica deve estar intimamente associada às características morfológicas, fisiológicas e ecológicas de cada espécie de macrófita aquática. Acreditamos que tais características da macrófita podem explicar a variação dos atributos do perifíton entre os tipos de complexidade de hábitat em todas as estações do ano.

Estudos anteriores relataram o elevado incremento de biomassa algal no perifíton durante o período seco em região tropical (França *et al.* 2009), incluindo os reservatórios do PEFI (ex. Borduqui *et al.* 2008, Ferrari 2010). Em reservatório eutrófico, o período seco foi descrito como o mais favorável ao acúmulo de biomassa no perifíton em substrato artificial devido à menor intensidade da floração de cianobactéria (Borduqui *et al.* 2008, Borduqui 2011, Ferrari 2010). No Lago das Ninféias, estudos anteriores reportaram o aumento na disponibilidade de luz como fator determinante para o aumento da biomassa no perifíton em *Nymphaea* spp. no inverno (Ferragut *et al.* 2011; Pellegrini & Ferragut 2012). Contrapondo, Fermino (2006) reportou os maiores valores de biomassa no verão, porém o estudo foi experimental e não houve influência direta do sombreamento das macrófitas sobre o perifíton.

A disponibilidade de luz e a concentração de fósforo são os principais fatores responsáveis pela regulação da biomassa algal em ecossistemas lênticos de região temperada (Hansson 1992). A elevada cobertura de macrófitas no período de alta heterogeneidade espacial (primavera e verão) foi um fator determinante na redução da biomassa e crescimento algal do perifíton devido ao sombreamento da comunidade. Cattaneo *et al.* (1998) observaram que diferentes intensidades de luz em diferentes substratos pode influenciar no desenvolvimento da biomassa perifítica. Considerando a disponibilidade de P, a maior concentração de fósforo dissolvido na água ocorreu no período de alta heterogeneidade espacial. Contudo, esta maior disponibilidade não favoreceu o desenvolvimento do perifíton em *Nymphaea* neste período, no entanto favoreceu a clorofila-a do fitoplâncton que apresentou maiores valores na primavera e verão do presente estudo. O maior desenvolvimento do fitoplâncton pode ter gerado uma competição por recursos (luz e nutrientes) com a comunidade perifítica. Alguns estudos mostraram que pode haver competição por recursos entre a comunidade perifítica e fitoplanctônica (Hansson 1998, Cano *et al.* 2008). Portanto, a alta biomassa fitoplanctônica e a alta cobertura de macrófitas aquáticas no período de maior heterogeneidade espacial (primavera e verão) foram desfavoráveis para o perifíton, tendo situação inversa no período de menor heterogeneidade espacial.

O índice autotrófico mostrou que a comunidade perifítica em *Nymphaea* spp. foi predominantemente heterotrófica, principalmente no inverno. Contudo, a presença de detritos pode influenciar na obtenção do índice autotrófico (APHA 1985), pois o visível de processo de senescência das macrófitas pode ter interferido no valor do índice no inverno. Em relação aos diferentes tipos de complexidade de hábitat, o perifíton tendeu a aumentar seu caráter heterotrófico com o aumento do grau de complexidade de hábitat no outono e na primavera. Contudo, não podemos ignorar que a predação pode ser um fator determinante indireto da estrutura do perifíton (Stevenson 1996). Em região temperada, um estudo com a comunidade perifítica relatou baixos valores de biomassa algal em ambientes mais complexos, principalmente no verão (Taniguchi & Tokeshi 2004). Em outro estudo com micro-invertebrados do perifíton foi observado maior

densidade e riqueza de espécies de rotíferos nos ambientes mais complexos (Vieira *et al* 2007). Assim, a complexidade de hábitat parece favorecer os seres heterótrofos, o que pode aumentar a predação sobre os seres autótrofos. No entanto, as relações entre os recursos alimentares (seres autótrofos) e as assembléias de invertebrados ainda permanecem obscuros (Taniguchi & Tokeshi 2004). No presente estudo, a influência da predação não foi tão evidente em função da interferência de detritos na obtenção do Índice Autotrófico. Apenas um estudo mais aprofundado englobando a comunidade algal e de invertebrados do perifíton em diferentes graus de heterogeneidade poderia, de fato, evidenciar melhor esta relação.

Apesar do reduzido conteúdo de P e do elevado desbalanceamento entre N e P na comunidade perifítica no outono, o perifíton teve a maior densidade algal. Outros estudos no mesmo reservatório também reportam a maior densidade algal no perifíton no período seco tanto em substrato artificial (Moura 1997) como natural (Pellegrini & Ferragut 2012). O conteúdo de C, N e P do perifíton em *Nymphaea* spp. apresentou diferença significativa entre as estações do ano e nenhuma diferença significativa entre os tipos de complexidade de hábitat. Além disso, o conteúdo de P e N do perifíton foi totalmente desacoplado da variação dos nutrientes da água. Muito provavelmente, tal característica pode ser um reflexo da influência da macrófita sobre a composição química do perifíton, a qual foi descrita em vários estudos (Ex. Burkholder & Wetzel 1990, Kahlert & Pettersson 2002). Salienta-se que a macrófita pode influenciar a comunidade perifítica liberando nutrientes (Wetzel 1993, Esteves 2011), sendo este um dos fatores que podem ter contribuído para a não correlação entre os nutrientes do perifíton e os nutrientes da água.

De acordo com a razão nutricional propostas por Kahlert (1998), a razão molar N:P e C:N do perifíton mostrou que a estequiometria destes nutrientes esteve, em geral, na faixa da ausência de limitação por N e alta limitação por P. Outros estudos também reportaram maior limitação por P na comunidade perifítica (Borduqui *et al.* 2008, França *et al.* 2009, Ferragut & Bicudo 2010), inclusive no local do presente estudo (Ferragut *et al.* 2010, Santos 2012). Apesar da elevada limitação de P na água, a razão N:P do perifíton esteve na faixa ótima do balanceamento nutricional no banco misto

de 4 espécies. Este fato pode ser explicado pela maior concentração de P (PDT e PT) na água nos bancos mistos e, muito provavelmente, pela maior proximidade com o sedimento que é um estoque de fósforo (Søndergaard *et al.* 2003).

Em suma, os atributos estruturais e o estado nutricional do perifíton não apresentaram diferença significativa entre os tipos de complexidade de hábitat em nenhuma estação do ano, independentemente do período de maior ou menor heterogeneidade espacial. Schneck & Melo (2012) também não observaram essa característica para a comunidade perifítica. Considerando a escala sazonal, apesar da maior disponibilidade de recursos (luz e P) no período de maior heterogeneidade espacial (primavera e verão), a cobertura de macrófitas e o fitoplâncton atuaram negativamente (sombreamento e competição) sobre o perifíton. Conclui-se, finalmente, que a menor heterogeneidade espacial (outono e inverno), ou seja, a menor complexidade de hábitat e a menor variação das condições limnológicas favoreceram positivamente a comunidade perifítica em *Nymphaea* spp..

## Referencias bibliográficas

- Andersen, J.M.** 1976. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water Research* 10: 329-331.
- APHA - American Public Health Association.** 1985. Standard methods for the examination of water and waste water. 17 ed. American Public Health Association, Washington.
- Bicudo, D.C.** 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia* 3: 459 - 475.
- Bicudo, C.E.M., Carmo, C.F., Bicudo, D.C., Henry, R., Pião, A.C.S., Santos, C.M. & Lopes, M.R.M.** 2002. Morfologia e morfometria de três reservatórios do PEFI. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo. Ed. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo.

- Borduqui, M., Ferragut, C., & Bicudo, C.E.M.** 2008. Chemical composition and taxonomic structure vertical and seasonal variation of periphyton community in a shallow hypereutrophic reservoir (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20: 381-392.
- Borduqui, M.** 2011. Avaliação sucessional da estrutura e estado nutricional da comunidade perifítica e sua inter-relação com o fitoplâncton, em pontos de entrada de água de nascente e efluente doméstico, em reservatório hipereutrófico. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica, São Paulo.
- Braun-Blanquet, J.** 1979. *Fitosociologia. Bases para el estudio de las comunidades vegetales.* Madrid, Ed. Blume.
- Burkholder, J.M. & Wetzel, R.G.** 1989. Epiphytic microalgae on natural substrata in a hardwater lake: seasonal dynamics of community structure, biomass and ATP content. *Archiv für Hydrobiologie - Supplement* 83: 1-56.
- Burkholder, J.M. & Wetzel, R.G.** 1990. Epiphytic alkaline phosphatase on natural and artificial plants in an oligotrophic lake: Re-evaluation of the role of macrophytes as a phosphorus source for epiphytes. *Limnology and Oceanography* 35: 736-747.
- Cano, M.G., Casco, M.A., Solari, L.C., Mac Donagh, M.E., Gabellone, N.A., Claps, M.C.** 2008. Implications of rapid changes in chlorophyll-a of plankton, epipelon, and epiphyton in a Pampean shallow lake: an interpretation in terms of a conceptual model. *Hydrobiologia* 614: 33-45.
- Cattaneo, A. & Kalff, J.** 1979. Primary production of algae growing on natural and artificial aquatic plants: A study of interactions between epiphytes and their substrate. *Limnology and Oceanography* 24: 1031-1037.
- Cattaneo, A., Galanti, G., Gentinetta, S. & Romo, S.** 1998. Epiphytic algae and macroinvertebrates on submerged and floating-leaved macrophytes in an Italian lake. *Freshwater Biology* 39: 725-740.
- Cavati, B. & Fernandes, V.O.** 2008. Algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno – Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil): variação espacial e temporal. *Acta Scientiarum Biological Science Maringá* 30: 439-448.
- Díaz-Olarte, J., Valoyes-Valois, V., Guisande, C., Torres, N.N., González-Bermúdez, A., Sanabria-Aranda, L., Hernández, A.M.M., Duque, S.R., Marciales, L.J. & Nuñez-**

- Avellaneda, M.** 2007. Periphyton and phytoplankton associated with the tropical carnivorous plant *Utricularia foliosa*. *Aquatic Botany* 87: 285-291.
- Dodds, W.K.** 2003. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic systems. *Journal of Phycology* 39: 840-849.
- Eminson, D.F. & Moss, B.** 1980. The composition and ecology of periphyton communities in freshwater. *British Phycology Journal* 15: 429-446.
- Erhard, D. & Gross, E.M.** 2006. Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* against epiphytes and phytoplankton. *Aquatic Botany* 85: 203-211.
- Esteves, F. A.** 2011. *Fundamentos de Limnologia*. 3. ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Fermino, F.S.** 2006. Avaliação sazonal dos efeitos do enriquecimento por N e P sobre o perífiton em represa tropical rasa mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Ferragut, C., Bicudo, D. C.** 2010 Periphytic algal community adaptive strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. *Hydrobiologia* 646, 295-309.
- Ferragut, C. Rodello, A.F. & Bicudo, C.E.M.** 2010. Seasonal variability of periphyton nutrient status and biomass on artificial and natural substrates in a tropical mesotrophic reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia* 22: 397-409.
- Ferragut, C., Gomes, E. P. C., Pellegrini, B. G. & Bicudo, D. C.** (em impressão) A relação entre a complexidade de hábitat e as condições limnológicas e a influência desta relação sobre o estado de equilíbrio de um ecossistema raso tropical.
- Ferrari, F.** 2010. Estrutura e dinâmica da comunidade de algas planctônicas e perifíticas (com ênfase nas diatomáceas) em reservatórios oligotrófico e hipertrófico (Parque Estadual Das Fontes do Ipiranga, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Fonseca, B.M., Ferragut, C., Tucci, A., Crossetti, L.O., Ferrari, F., Bicudo, D.C, Sant'Anna, C.L. & Bicudo, C.E.M.** Biovolume das algas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. (submetido à revista *Hoehnea*).
- França, R.C.S., Lopes, M.R.M. & Ferragut, C.** 2009. Temporal variation of biomass and status nutrient of periphyton in shallow Amazonian Lake (Rio Branco, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 21: 175-183.

- Golterman, H.L. & Clymo, R.S.** 1971. Methods for chemical analysis of freshwaters. Blackwell Scientific Publications, International Biological Program, Oxford.
- Golterman, H.L., Clymo, R.S. & Ohmstad, M.A.M.** 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Guariento, R.D., Caliman, A., Esteves, F.A., Enrich-Prast, A., Bozelli, R.L. & Farjalla, V.F.** 2007. Substrate-mediated direct and indirect effects on periphytic biomass and nutrient content in a tropical coastal lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 19: 331-340.
- Hansson, L.**, 1992. Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnology Oceanography* 37(2): 322-328.
- Hansson, L.**, 1998. Effects of competitive interactions on the biomass development of planktonic and periphytic algae in lakes. *Limnology and Oceanography*. 33(1): 121-128.
- Hillebrand, H., Durselen, C.D., Kirschtel, D., Pollinger, U. & Zohary, T.** 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* 35: 403-424.
- Jeppesen, E., Søndergaard, Ma., Søndergaard, Mo. & Cristoffersen, K.** 1998. The structuring role of submerged macrophytes in lakes. Springer, New York. effects on swimming and feeding. *Hydrobiologia* 442: 231-39.
- Jones, J.I., Moss, B., Eaton, J.W., Young, J.O.** 2000. Do submerged aquatic plants influence periphyton community composition for the benefit of invertebrate mutualists? *Freshwater Biology* 43: 591-604.
- Kahlert, M.** 1998. C:N:P ratios of freshwater benthic algae. *Archiv für Hydrobiologie. Supplementband. Advances in Limnology* 51: 105-114.
- Kahlert, M., Hasselrot, A.T., Hillebrand, H. & Pettersson, K.** 2002. Spatial and temporal variation in the biomass and nutrient status of epilithic algae in Lake Erken, Sweden. *Freshwater Biology* 47: 1-24.
- Kahlert, M. & Pettersson, K.** 2002. The impact of substrate and lake trophic on the biomass and nutrient status of benthic algae. *Hydrobiologia* 489: 161-169.
- Kovalenko, K.E, Thomaz, S.M. & Warfe, D.M.** 2012. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia* 685: 1-17.

- Laugaste, R. & Reunanen, M.** 2005. The composition and density of epiphyton on some macrophyte species in the partly meromictic Lake Verevi. *Hydrobiologia* 547: 137-150.
- Liboriussen, L. & Jeppesen, E.** 2006. Structure, biomass, production and depth distribution of periphyton on artificial substratum in shallow lakes with contrasting nutrient concentrations. *Freshwater Biology* 51: 95-109.
- Liboriussen, L. & Jeppesen, E.** 2009. Periphyton biomass, potential production and respiration in a shallow lake during winter and spring. *Hydrobiologia* 632: 201-210.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le-Cren, E.D.** 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- Mackereth, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F.** 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologists.* Titus Wilson and Son Ltda, Kendall.
- Marker, A.F.H., Nusch, H., Rai, H. & Riemann, B.** 1980. The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: conclusion and recommendations. *Archiv für Hydrobiologie–Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 14: 91-106.
- Messyasz, B. & Kippen, N.** 2006. Periphytic algal communities: a comparison of *Typha angustifolia* L. and *Chara Tomentosa* L. beds in three shallow lakes (West Poland). *Polish Journal of Ecology* 54(1):15-27.
- Moeller, R.E., Burkholder, J.M. & Wetzel, R. G.** 1988. Significance of sedimentary phosphorus to a rooted submersed macrophyte (*Najas flexilis*) and its algal epiphytes. *Aquatic Botany* 32: 261-281.
- Moura, A.N.** 1997. Estrutura e produção primária da comunidade perifítica durante o processo de colonização em substrato artificial no lago das Ninféias, São Paulo, SP: análise comparativa entre períodos chuvoso e seco. Tese de Doutorado – UNESP. Rio Claro.
- Mulderij, G., Mooij, W.M. & Donk, E.V.** 2005. Allelopathic growth inhibition and colony formation of the green alga *Scenedesmus obliquus* by the aquatic macrophyte *Stratiotes aloides*. *Aquatic Ecology* 39: 11-21.
- Oliveira, D.E, Ferragut, C. & Bicudo, D.C.** 2010. Relationships between environmental factors, periphyton biomass and nutrient content in Garças Reservoir, a hypereutrophic tropical reservoir in southeastern Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 15: 129-137.

- Pelechaty, M. & Owsiany, P.M.** 2003. Horizontal distribution of phytoplankton as related to the spatial heterogeneity of a lake – a case study from two lakes of the Wielkopolski National Park (western Poland). *Hydrobiologia* 510: 195-205.
- Pellegrini, B.G. & Ferragut, C.** 2012. Variação sazonal e sucessional da comunidade de algas perifíticas em substrato natural em um reservatório mesotrófico tropical. *Acta Botanica Brasílica* 26: 807-818.
- Pompêo, M.L.M. & Moschini-Carlos, V.** 2003. Macrófitas aquáticas e perifíton: aspectos ecológicos e metodológicos. Rima/Fapesp, São Carlos.
- Santos, T.R.** 2012. Variação sazonal da biomassa, do estado nutricional e da estrutura da comunidade de algas perifíticas desenvolvida sobre substrato artificial e *Utricularia foliosa* L. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica, São Paulo.
- Sartory, D.P. & Grobbelaar, J.U.** 1984. Extraction of chlorophyll-a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114: 177-187.
- Schneck, F. & Melo, A. S.** 2012. Hydrological disturbance overrides the effect of substratum roughness on the resistance and resilience of stream benthic algae. *Freshwater Biology* 57: 1678-1688.
- Solorzano, L.** 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14: 799-801.
- Søndergaard, M., Jensen J. P., & Jeppesen, E.** 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506-509: 135-145.
- Stevenson, R.J.** 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habits. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 3-30.
- Stevenson, R.J.** 1997. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of North American Benthological Society* 16: 248-262.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R.** 1960. A manual of seawater analysis. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada* 125: 1-185.

- Sun, J. & Liu, D.** 2003. Geometrics models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 25: 1331-1346.
- Taniguchi, H. & Tokeshi, M.** 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology* 49: 1164-1178.
- Thomaz, S.M., Bini, L.M. & Pagioro, T.A.** 2004. Métodos em Limnologia: macrófitas Aquáticas. *In: Bicudo, C.E. & Bicudo, D.C. (orgs.). Amostragem em Limnologia*, Rima, Editora, São Carlos, 193-212.
- Thomaz, S.M., Dibble, E.D., Evangelista, L.R., Higuti, J. & Bini, L.M.** 2008. Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Freshwater Biology* 53: 358-367.
- Tokeshi, M. & Aragaki, S.** 2012. Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond. *Hydrobiologia* 685:27-47.
- Utermohl, H.** 1958. Zur Vervollkomnung der quantitative phytoplankton: metodik. *Internationale Vereinigung Theoretische und Angewandte Limnologie* 9: 1-38.
- Vadeboncoeur, Y. & Steinman, A.D.** 2002. Periphyton Function in Lake Ecosystems. *The Scientific World Journal* 2: 1-20.
- Valderrama, G.C.** 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109-112.
- Vieira, L.C.G., Bini, L. M., Velho, L.F.M. & Mazão, G.R.** 2007. Influence of spatial complexity on the density and diversity of periphytic rotifers, microcrustaceans and testate amoebae. *Fundamental and Applied Limnology Archiv für Hydrobiologie* 170(1): 77-85.
- Wetzel, R.G.** 1993. *Limnologia*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.

## CAPITULO 2

### **Avaliação da estrutura da comunidade de algas perifíticas em *Nymphaea* spp. em diferentes graus de heterogeneidade espacial**

#### **Resumo**

O presente estudo visa avaliar a influência da heterogeneidade espacial sobre a estrutura da comunidade de algas perifíticas em *Nymphaea* spp. ao longo da escala sazonal (Lago das Ninféias, PEFI, SP). A heterogeneidade espacial foi avaliada pela complexidade de hábitat e condições limnológicas no interior dos bancos de macrófitas. Bancos com tipos diferentes de complexidade de hábitat foram identificados, numerados e classificados em monoespecíficos, mistos com 2, 3 e 4 espécies, sendo a amostragem randômica estratificada (n=3). A amostragem das variáveis físicas, químicas e biológicas foi realizada no outono-maio/2010, inverno-julho/2010, primavera-outubro/2010 e verão-janeiro/2011. A estrutura da comunidade de algas perifíticas foi analisada através da composição de espécies, densidade e biovolume de espécies e classes taxonômicas, diversidade de espécies, estratégias de vida e espécies descritoras. As estratégias de vida variaram em função dos tipos de complexidade de hábitat e as estações do ano. A riqueza e a diversidade de espécies tenderam a aumentar com o aumento da complexidade de hábitats. Em escala sazonal, a maior diversidade de espécies foi observada no período de maior heterogeneidade espacial. As descritoras da comunidade de algas perifíticas mudaram em função dos diferentes tipos de complexidade de hábitat e variação sazonal da heterogeneidade espacial. Portanto, a estrutura da comunidade de algas em *Nymphaea* spp. foi sensível ao aumento da complexidade de hábitat dos bancos de macrófitas em cada estação do ano, mas a organização das assembleias algais foi primariamente influenciada pela variação sazonal da heterogeneidade espacial.

**Palavras-chave:** perifíton, diversidade, espécies descritoras, complexidade de hábitat, reservatório raso

## 1. Introdução

As algas constituem um grupo extremamente diverso que possuem importante função nos ecossistemas aquáticos e, ainda, são organismos amplamente usados para acessar as condições ambientais (Stevenson & Smol 2003). Especificamente no perifíton, as algas são, geralmente, os componentes mais abundantes (ex. Frost & Elser 2002), sendo importantes produtores primários em rios, lagos rasos e planícies de inundação (Stevenson 1997).

Diversos fatores ambientais podem influenciar o desenvolvimento da comunidade de algas perifíticas, tais como a hidrodinâmica do sistema, disponibilidade de luz e nutrientes, temperatura, distribuição de macrófitas e tipo de substrato (Goldsborough & Robinson 1996). Quanto a este último fator, na relação entre algas perifíticas e macrófitas pode ocorrer especificidade algal (Lane *et al.* 2003, Messyasz & Kuczynska-Kippen 2006) e seletividade da macrófita (Burkholder 1996). Esta relação pode ser ainda mais complexa, pois estudos relatam a existência de interações ecológicas positivas e negativas entre perifíton e macrófita (Burkholder 1996, Jones *et al.* 2000).

Dentre os fatores que atuam sobre a dinâmica e organização da comunidade perifítica em diversas escalas, encontra-se a heterogeneidade espacial (Stevenson 1997). A heterogeneidade espacial é um importante fator na distribuição das comunidades biológicas nos ecossistemas aquáticos, podendo ser avaliada pela estrutura de hábitat (Floater 2001, Taniguchi *et al.* 2003). A estrutura do hábitat tem como componente a complexidade de hábitat, a qual é conjunto de diferentes características da estrutura (Tokeshi & Aragaki 2012). Nos ecossistemas aquáticos, a influência da complexidade de hábitat foi avaliada sobre a diversidade de espécies na comunidade de peixes, macroinvertebrados, invertebrados bentônicos e zooplâncton (Padial *et al.* 2009, Thomaz *et al.* 2008, Meerhoff *et al.* 2007).

Em ecossistemas lóticos, a estrutura do hábitat foi considerada um fator determinante da diversidade e composição de espécies de algas perifíticas (Schneck *et al.* 2011, Schneck & Melo 2012) e macroalgas (Branco *et al.* 2005). Em lagos e reservatórios rasos, a estruturação do hábitat tem como componente chave as macrófitas aquáticas, as quais podem determinar a heterogeneidade

especial (Jeppesen *et al.* 1998, Thomaz *et al.* 2008). Apesar da heterogeneidade espacial ser considerada um fator controlador da variabilidade da comunidade algal (Pelechaty & Owsiany 2003, Kahlert *et al.* 2002), inexistem trabalhos que abordem tal influência sobre a comunidade de algas perifíticas, particularmente em ecossistema lêntico tropical. Presentemente, a heterogeneidade espacial foi avaliada com base na complexidade de hábitat e condições limnológicas em diferentes bancos de macrófitas aquáticas em reservatório mesotrófico raso.

Kovalenko *et al.* (2012) ressaltam que a maior compreensão do papel da complexidade de hábitat sobre a estrutura das comunidades biológicas é extremamente importante para a preservação da biodiversidade e funcionamento do ecossistema. Nesse sentido, o objetivo principal do presente estudo foi avaliar sazonalmente a estrutura da comunidade de algas perifíticas na macrófita submersa de folhas flutuantes *Nymphaea* spp. em diferentes graus de heterogeneidade espacial (condições limnológicas e complexidade de hábitat) em bancos de macrófitas aquáticas. Especificamente, o estudo pretende responder a quatro questionamentos: i) As espécies descritoras e os grupos funcionais da comunidade de algas perifíticas mudam em função da variação da complexidade de hábitat? ii) A diversidade de espécies aumenta com o aumento da complexidade de hábitat? iii) A similaridade na composição de espécies da comunidade de algas perifíticas diminui com o aumento da complexidade de hábitat? iv) a estrutura da comunidade muda com a variação sazonal da heterogeneidade espacial (condições limnológicas e complexidade de hábitat)?

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. Delineamento amostral**

*Descrito no capítulo 1*

### **2.2. Variáveis climatológicas**

*Descrito no capítulo 1*

### 2.3. Variáveis químicas e físicas da água

*Descrito no capítulo 1*

### 2.4. Atributos estruturais da comunidade perifítica

A análise qualitativa do material perifítico foi feita através de amostras fixadas com formalina 4%, as quais foram analisadas sob o microscópio binocular Axioskop2 munido de câmara clara e ocular de medição. A análise das diatomáceas foi feita através de lâminas permanentes cuja oxidação e preparo seguiram Battarbee (1986). A identificação taxonômica foi feita com auxílio de trabalhos publicados na área de estudo e regionais (ex: Xavier 1994, Sormus & Bicudo 1994, Azevedo *et al.* 1996, Bicudo 1996, Bicudo *et al.* 1998, Bicudo *et al.* 1999, Bicudo *et al.* 2003, Bicudo *et al.* 2004, Ferragut *et al.* 2005, Araújo 2006, Tucci *et al.* 2006, Godinho *et al.* 2010).

A descrição detalhada da análise quantitativa encontra-se no item Material & Métodos do Capítulo 1 do presente estudo.

Com base na densidade algal, espécies dominantes e abundantes foram identificadas. A espécie com densidade superior a 50% da densidade total da amostra foi considerada dominante, enquanto as espécies com densidade média superior a densidade média da amostra foi considerada abundante. Foram consideradas descritoras aquelas espécies cuja densidade média foi maior ou igual a 10% da densidade total da amostra.

O biovolume ( $\mu\text{m}^3 \cdot \text{cm}^{-2}$ ) foi estimado a partir do produto da densidade populacional e a unidade de volume médio de cada espécie (Hillebrand *et al.* 1999, Sun & Liu 2003). Foram consideradas descritoras aquelas espécies cujo biovolume média foi maior ou igual a 10% do biovolume total da amostra.

As algas foram classificadas dentro dos seguintes grupos funcionais:

- *Formas de vida* – foi feita a classificação das algas em função do tipo de talo, podendo ser: cocóides, coloniais/ cenobiais, flageladas ou filamentosas (Graham & Wilcox 2000).

- *Classes de tamanho* – as algas foram classificadas conforme Sieburth *et al.* (1978) em picoperifíton (0,2-2  $\mu\text{m}$ ), nanoperifíton (2-20  $\mu\text{m}$ ), micropereifíton (20-200  $\mu\text{m}$ ), mesoperifíton (200  $\mu\text{m}$ -2 mm).
- *Forma de aderência ao substrato* – as algas perifíticas foram classificadas em firme (algas sem estrutura de locomoção e com alguma estrutura ou modo de fixação) ou frouxamente aderidas ao substrato (algas com algum tipo de mecanismo de locomoção ou nenhuma estrutura de fixação) (Sládecková & Sládecek 1964, 1977).

Para avaliar a diversidade alfa na comunidade de algas perifíticas foi utilizado o índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $\text{bits.ind}^{-1}$ ) (Krebs 1999). A uniformidade de distribuição das espécies foi avaliada pela equitatividade de Shannon e pela dominância de Simpson (Krebs 1999). Para medir a mudança na composição de espécies de algas perifíticas na região litorânea de uma estação do ano para outra foi calculada a diversidade beta pelo índice de Whittaker ( $\beta$ ), o qual mede a mudança ou taxa de substituição na composição de espécies de um local para outro (Magurran 1988). A riqueza de espécies foi medida pelo número de espécies por amostra.

## 2.5. Tratamento estatístico

*Análise descritiva univariada* foi realizada utilizando a média aritmética e o desvio padrão para medida de tendência central e dispersão dos dados, respectivamente. ANOVA 1-fator com aplicação do teste *a posteriori* de comparação múltipla de Tukey para diferença mínima significativa ( $\alpha < 0.05$ ) foi aplicada para a determinação de diferenças significativas entre a estrutura da comunidade de algas perifíticas a diferentes tipos de complexidade de hábitat. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Sigma Plot 11.0.

A similaridade da composição de espécies da comunidade de algas perifíticas nos diferentes tipos de complexidade de hábitat e estações do ano foi determinada pela Análise de Agrupamento, a qual foi processada a partir de uma matriz de presença e ausência e aplicação do Índice de Jaccard (Hammer *et al.* 2001 - PAST 2.13). Para avaliar conjuntamente a densidade de algas perifíticas e

variáveis ambientais realizou-se a Análise de Correspondência Canônica (CCA), a qual foi feita a partir de matriz de covariância e dados transformados por logaritmo  $[(\log(x + 1))]$ . Para esta análise foram selecionadas espécies com contribuição maior ou igual a 1% da densidade total em cada complexidade de hábitat. O programa estatístico utilizado foi PC-ORD 6.0 (McCune & Mefford 2011).

### **3. Resultados**

#### **3.1. Variáveis abióticas da água**

*Descritas no Capítulo 1 da presente dissertação.*

#### **3.2. Comunidade de algas perifíticas**

##### ***Composição taxonômica***

No presente estudo foram identificados 301 táxons, sendo identificadas 152 espécies no outono, 154 no inverno, 136 na primavera e 178 no verão. Os táxons foram distribuídos em 10 classes algais, são elas: Bacillariophyceae (30 táxons), Chlorophyceae (115 táxons), Chrysophyceae (22 táxons), Cyanophyceae (26 táxons), Cryptophyceae (9 táxons), Dinophyceae (2 táxons), Euglenophyceae (18 táxons), Oedogoniophyceae (3 táxons), Xanthophyceae (2 táxons) e Zygnemaphyceae (72 táxons).

##### ***Índices biológicos e riqueza de espécies***

A diversidade de espécies (diversidade alfa) do perifíton foi maior nos bancos mistos de macrófitas do que no banco monoespecífico, exceto no inverno e 4sp do verão (Figura 1A). A maior riqueza de espécies foi registrada no perifíton dos bancos mistos, exceto no inverno (Figura 1B). Na primavera foi observada a menor riqueza de espécie no perifíton. A dominância de espécies na comunidade tendeu a ser maior nos bancos mistos do que no monoespecífico, exceto no inverno

(Figura 1C). A uniformidade de distribuição das espécies na comunidade foi elevada e muito similar entre as estações (0.7-0.8) (Figura 1D).

A diversidade beta da comunidade de algas perifíticas em *Nymphaea* spp. para o litoral do reservatório apresentou maiores valores na primavera e no verão (Figura 2).

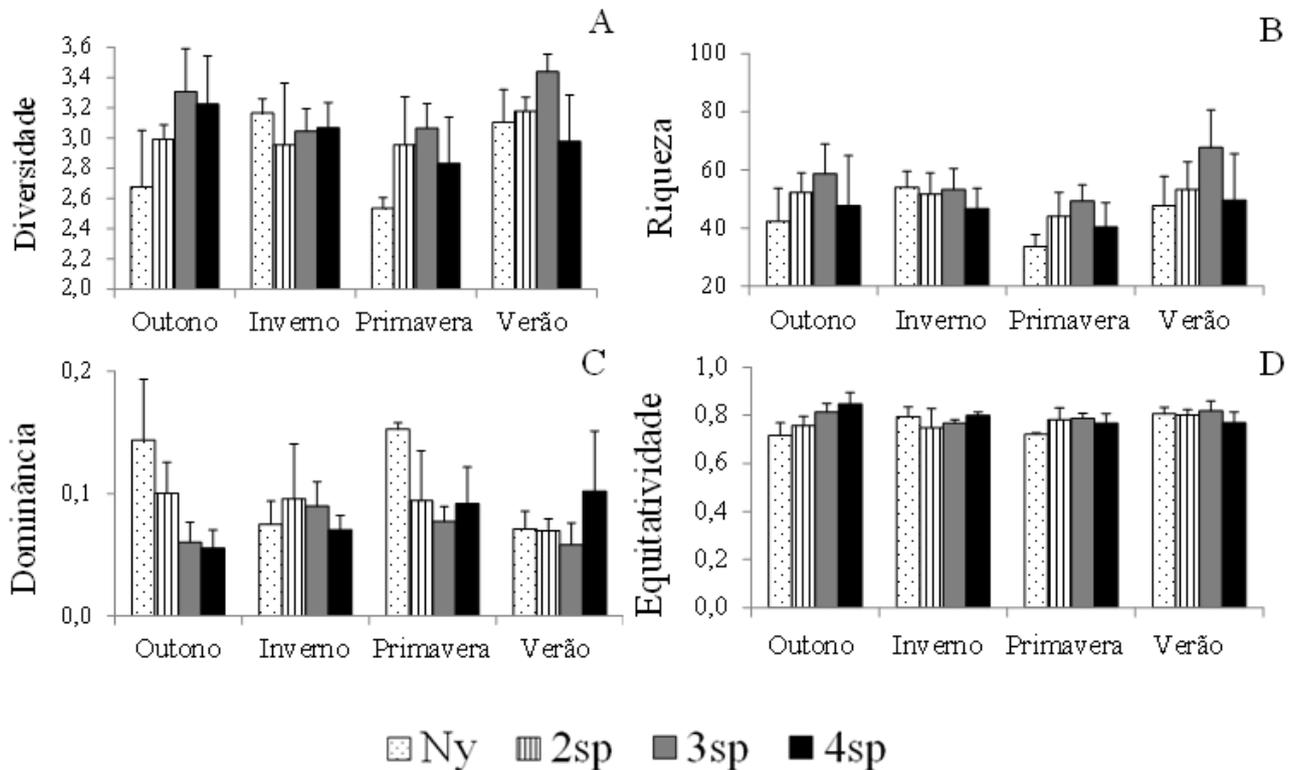


Figura 1: Variação sazonal da diversidade, riqueza, equitatividade e dominância da comunidade de algas perifíticas nos bancos com diferentes tipos de complexidade de hábitat (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

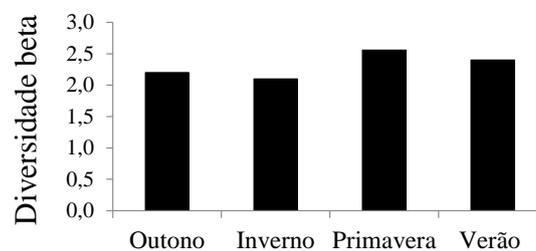


Figura 2: Diversidade beta da comunidade de algas perifíticas para os diferentes tipos de complexidade de hábitat na região litorânea do Lago das Ninfeias em cada estação do ano.

### **Grupos funcionais**

As **formas de vida** flageladas e cocóides foram as mais abundantes na estrutura da comunidade de algas perifíticas durante o período de estudo (30-70% e 40%-70%, respectivamente) (Figura 3A). A maior contribuição de algas flageladas foi observada nos bancos de macrófitas de maior complexidade de hábitat (3sp e 4sp) em todas as estações do ano, exceto o banco de 3 espécies no verão. A forma cocóide teve maior contribuição nos bancos com menor complexidade de hábitat (Ny e 2sp) em todas as estações do ano, exceto o banco de 3 espécies no verão. As filamentosas e coloniais estiveram sempre em menor densidade e não variaram significativamente entre cada tipo de complexidade de hábitat.

Em relação às **formas de aderência** das algas perifíticas, observou-se a dominância de algas frouxamente aderidas em todas as estações do ano (60-90%) (Figura 3B). As algas frouxamente aderidas apresentaram leve tendência de aumento nos bancos mistos de 3 e 4 espécies, porém a diferença na densidade não foi significativa entre os tipos de complexidade de hábitat.

Considerando as **classes de tamanho** das algas perifíticas (Figura 3C), no inverno houve dominância de algas nanoperifíticas em todos os tipos de complexidade de hábitat (>50%). Nas demais estações, de modo geral, as espécies microperifíticas foram mais representativas nos bancos de *Nymphaea* e mistos de 2 espécies (em média 54%), enquanto as nanoperifíticas foram mais representativas nos bancos mistos de 3 e 4 espécies (em média 64%). Apesar da variação da densidade destas classes de tamanho entre os diferentes tipos de complexidade de hábitat nas estações do ano, nenhuma apresentou diferença significativa em termos de densidade.

Considerando a variação sazonal dos grupos funcionais no perifíton, verificou-se que a variação das formas de vida entre os tipos de complexidade de hábitat foi menor no inverno (CV: Outono = 42-109%; Inverno= 59-65%; Primavera = 25-93%; Verão = 67-154%). As classes de tamanho também apresentaram menor variação espacial no inverno (CV: Outono = 58-124%; Inverno= 60-66%; Primavera = 24-70%; Verão = 81-179%).

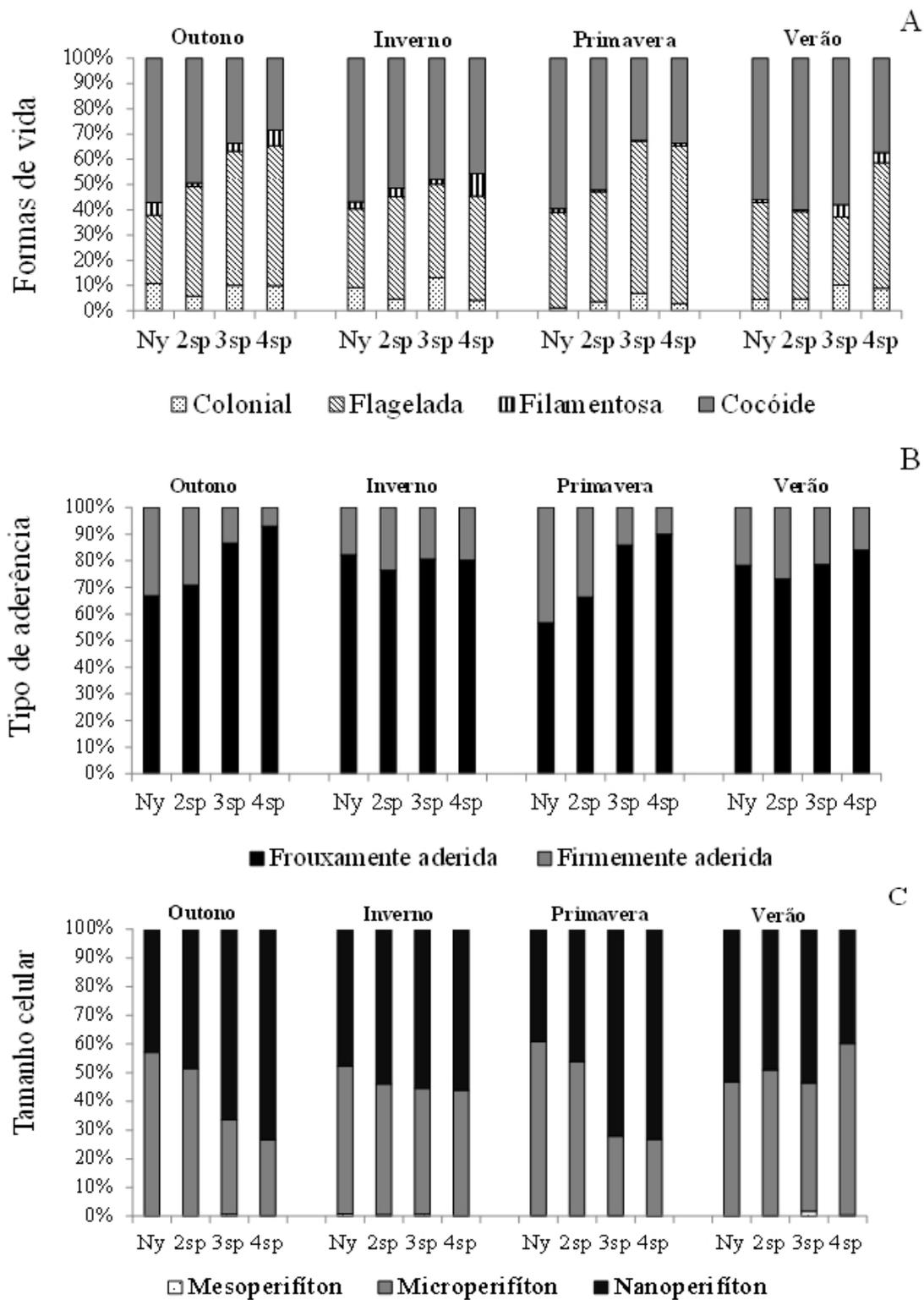


Figura 3: Variação sazonal da densidade relativa média dos grupos funcionais (n=3): formas de vida, forma de aderência e classes de tamanho da comunidade de algas perifíticas nos bancos de diferentes tipos de complexidade de hábitat (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

### Classes Algas

Em termos de densidade relativa, as maiores contribuições foram de Bacillariophyceae, Chlorophyceae e Chrysophyceae durante todo o período de estudo (Figura 4). Chlorophyceae apresentou os maiores valores de densidade relativa nos bancos de maior complexidade de hábitat, exceto no verão quando a participação na estrutura foi mais equitativa. Enquanto, as diatomáceas apresentaram maior contribuição na estrutura da comunidade do perifíton nos bancos de menor complexidade.

Bacillariophyceae apresentou maior densidade nos bancos com menor complexidade de hábitat (Ny, 2sp), exceto no verão, quando a densidade foi elevada apenas no banco misto de 3 espécies de macrófitas (3sp) (Figura 5A). Chlorophyceae teve maior densidade no outono em todos os tipos de bancos (Figura 5B). A distribuição da Chrysophyceae não apresentou distribuição clara em função do aumento da complexidade de hábitat, porém a maior densidade foi observada no outono e inverno (Figura 5C).

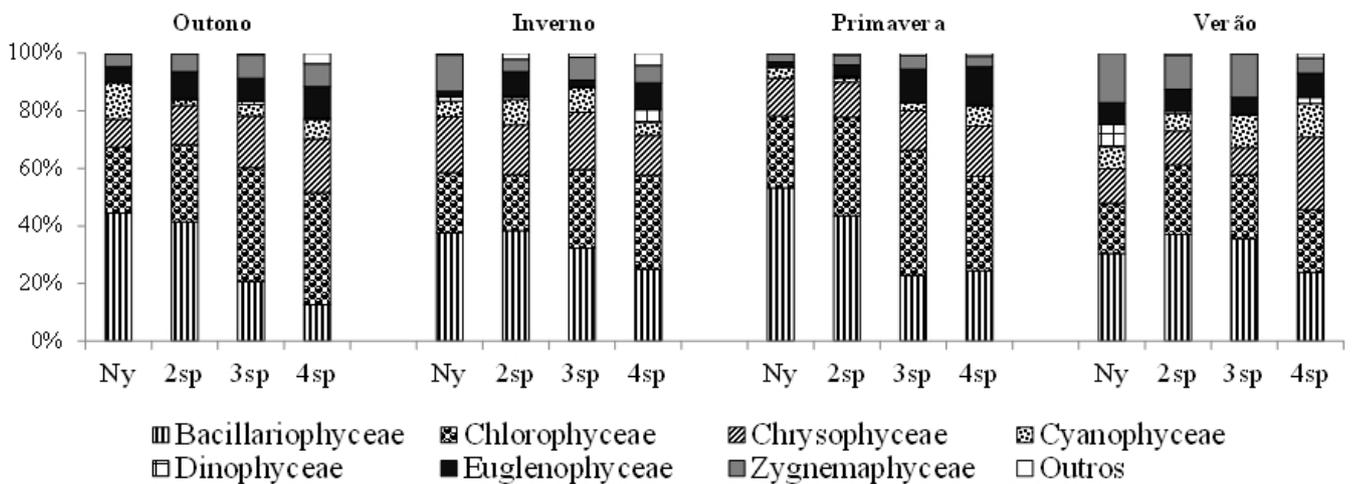


Figura 4: Variação sazonal da densidade relativa das classes algais (n=3) nos bancos com diferentes tipos de complexidade de hábitat (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

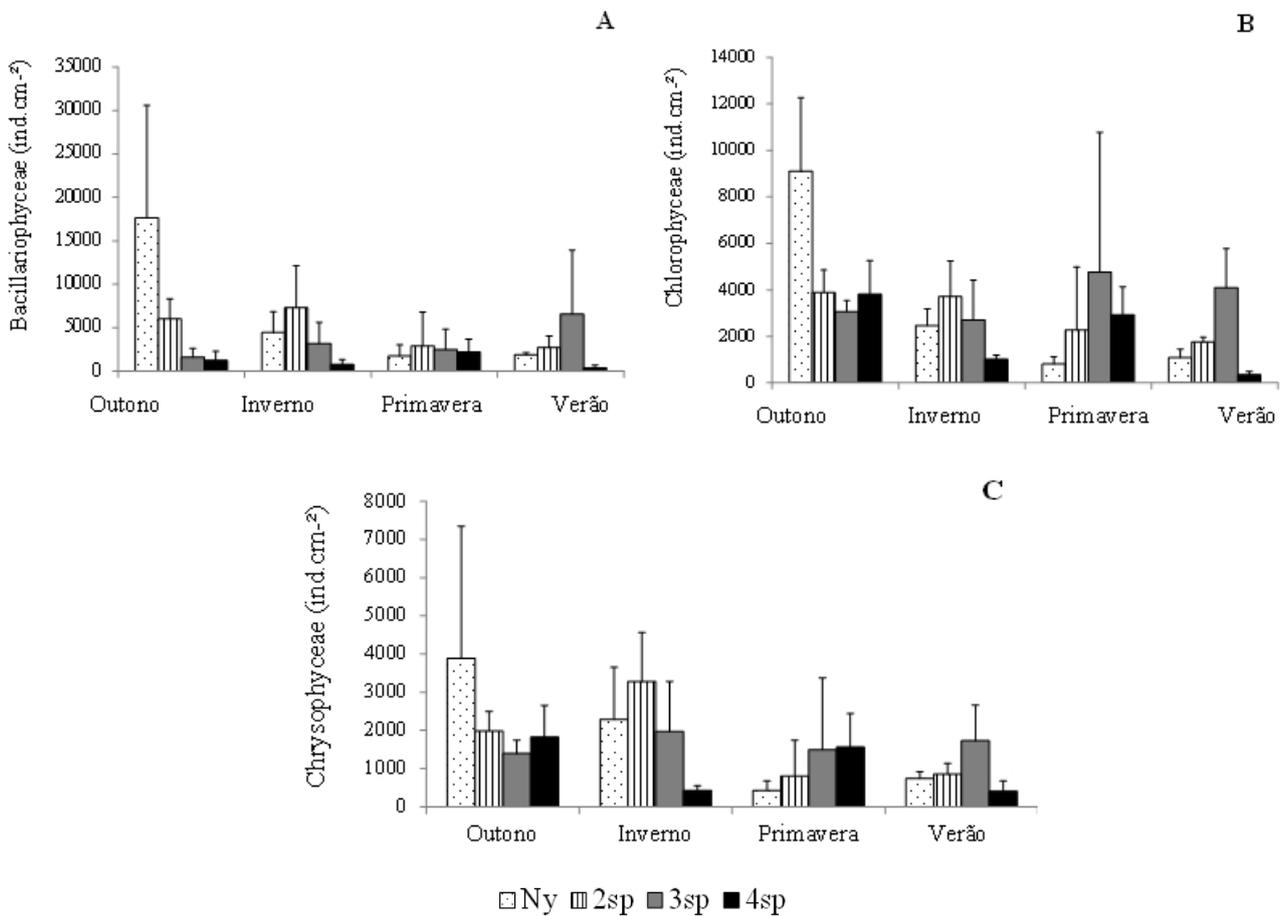


Figura 5: Variação sazonal da densidade de classes algais ( $n=3$ ,  $\pm$  DP) mais representativas na comunidade de algas perifíticas nos bancos com diferentes tipos de complexidade de hábitat (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

### ***Espécies Descritoras da comunidade***

As espécies descritoras da comunidade perifítica com base na densidade e no biovolume algal variaram entre os bancos com diferentes tipos de complexidade de hábitat durante o período de estudo (Figura 6; Tabela 1A-B).

Com base na densidade de algas perifíticas, no outono, *Frustulia crassinervia* (33%) foi mais abundante no banco de *Nymphaea* spp. (Ny). Já, *F. crassinervia* (13-26%) e *Chlamydomonas sordida* (10%) foram co-abundantes no banco de 2 e 3 espécies (2sp). *C. sordida* (9%) e *Chlamydomonas sagitulla* (9%) foram abundantes, mas a contribuição destas espécies esteve abaixo de 10% no banco de 4 espécies (4sp). Com base no biovolume algal, *F. crassinervia* (32-48%) e *Cosmarium margaritatum* (14-17%) foram co-abundantes nos bancos com menor complexidade de

hábitat (Ny e 2sp), enquanto *Netrium digitus* (40-45%) e *C. margaritatum* (17-21%) tiveram maior participação nos bancos de maior complexidade (3sp e 4 sp).

No inverno as espécies mais abundantes no perifíton foram *Chromulina elegans* (16%) e *Navicula cryptotenella* (12%) no banco de *Nymphaea*, *F. crassinervia* (19%) e *C. elegans* (14%) no banco de 2 espécies, *C. elegans* (18%) e *F. crassinervia* (11%) no banco de 3 espécies e *C. elegans* (12%) e *C. sordida* (10%) no banco de 4 espécies (Tabela 1A). Em termos de biovolume, *Pleurotaenium simplicissimum* (29%) e *Spirogyra* sp. (21%) foram as espécies mais abundantes no banco de *Nymphaea*, *P. simplicissimum* (48%) e *F. crassinervia* (20%) no banco de 2 espécies, *Spirogyra* sp. (25%) e *Coelastrum cruciatum* (11%) foram descritoras no banco de 3 espécies, e *E. sudetica* (18%) e *Stauroneis phoenicenteron* (16%) no banco de 4 espécies de macrófitas (Tabela 1B).

Na primavera *Eunotia sudetica* foi a espécie de maior densidade na comunidade no banco de *Nymphaea* e de 2 espécies (35% e 29%, respectivamente), *C. sordida* (16%) e *E. sudetica* (10%) no banco de 3 espécies e *C. sordida* (17%) e *Trachelomonas curta* (10%) no banco de 4 espécies (Tabela 1A). Em termos de biovolume, *E. sudetica* (17-75%) teve a maior contribuição na estrutura, sendo dominante nos bancos de *Nymphaea* e de 2 e 3 espécies, enquanto *P. simplicissimum* (16-56%) apresentou elevada contribuição no banco de 4 espécies (Tabela 1B).

No verão a estrutura do perifíton teve a maior abundância de *F. crassinervia* (16%) e de *C. elegans* (10%) no banco de *Nymphaea*, *F. crassinervia* (15%) no banco de 2 espécies, *F. crassinervia* (18%) e *N. cryptotenella* (10%) no banco de 3 espécies e *C. elegans* (21%) no banco de 4 espécies (Tabela 1A). Em biovolume, *F. crassinervia* (17-25%) teve a maior contribuição no perifíton do banco de *Nymphaea*, 2 e 4 espécies e *Netrium digitus* (68%) foi dominante no banco de 3 espécies.

Em termos de densidade foi observado menor abundância de diatomáceas nos bancos com maior complexidade de hábitat (3sp e 4sp) e maior contribuição de flageladas (*C. sortida* e *C.*

*elegans*). Em termos de biovolume, de modo geral, houve maior contribuição de desmídias nos bancos de maior complexidade de hábitat.

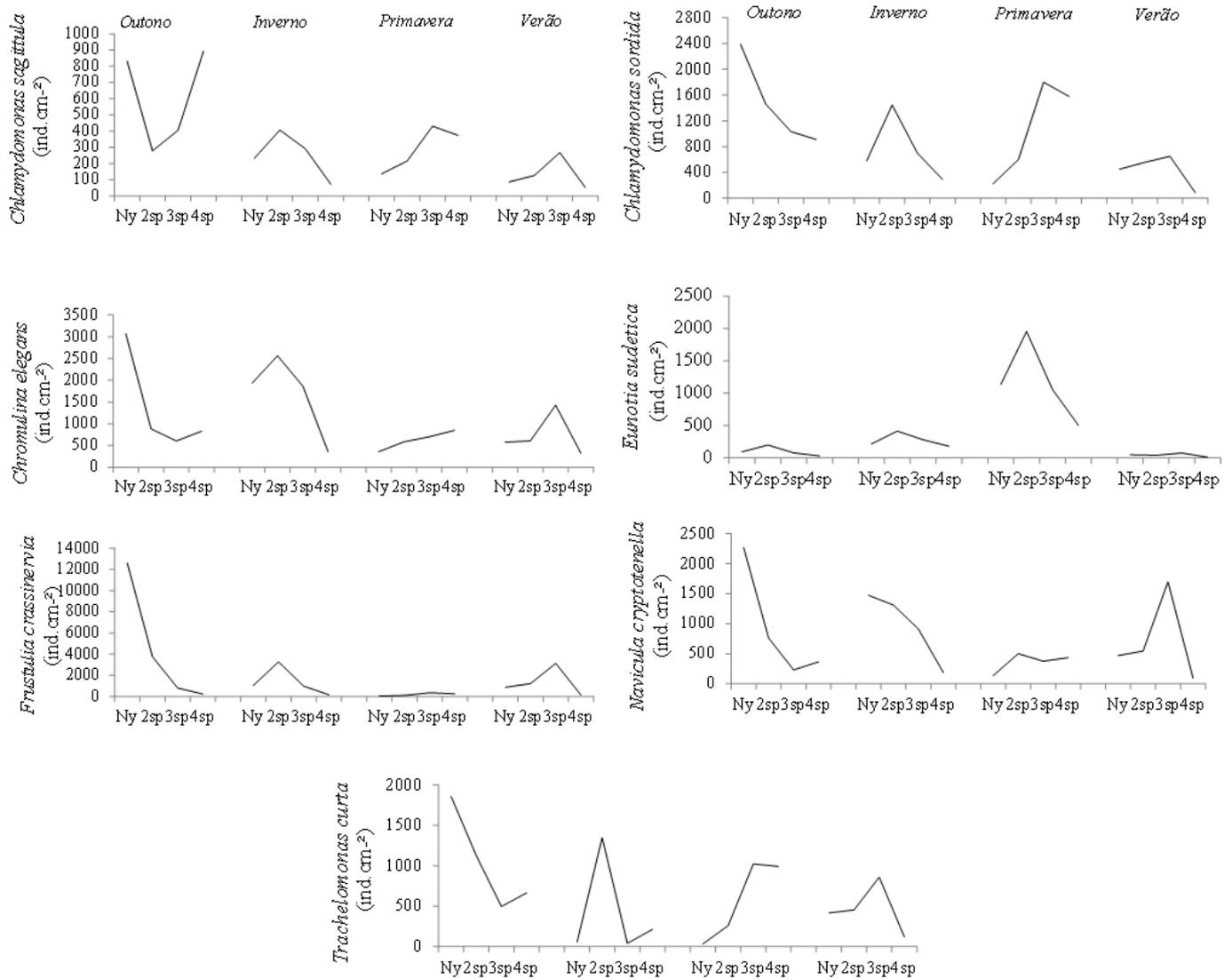


Figura 6: Variação sazonal da densidade das espécies descritoras (n=3) da comunidade de algas perifíticas em *Nymphaea* nos bancos com diferentes tipos de complexidade de hábitat (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

Tabela 1: Contribuição relativa das espécies descritoras ( $\geq 10\%$  densidade e biovolume total) da comunidade de algas perifíticas desenvolvidas no pecíolo de *Nymphaea* spp. em diferentes tipos de complexidade de hábitat.

<b>A</b>								
Densidade total	Ny	% contrib.	2sp	% contrib.	3sp	% contrib.	4sp	% contrib.
<b>Outono</b>	<i>Frustulia crassinervia</i>	33	<i>Frustulia crassinervia</i>	26	<i>Chlamydomonas sordida</i>	13	<i>Chlamydomonas sordida</i>	9
			<i>Chlamydomonas sordida</i>	10	<i>Frustulia crassinervia</i>	10	<i>Chlamydomonas sagitulla</i>	9
<b>Inverno</b>	<i>Chromulina elegans</i>	16	<i>Frustulia crassinervia</i>	19	<i>Chromulina elegans</i>	18	<i>Chromulina elegans</i>	12
	<i>Navicula cryptotenella</i>	12	<i>Chromulina elegans</i>	14	<i>Frustulia crassinervia</i>	11	<i>Chlamydomonas sordida</i>	10
<b>Primavera</b>	<i>Eunotia sudetica</i>	35	<i>Eunotia sudetica</i>	29	<i>Chlamydomonas sordida</i>	16	<i>Chlamydomonas sordida</i>	17
	<i>Chromulina elegans</i>	11			<i>Eunotia sudetica</i>	10	<i>Trachelomonas curta</i>	10
<b>Verão</b>	<i>Frustulia crassinervia</i>	16	<i>Frustulia crassinervia</i>	16	<i>Frustulia crassinervia</i>	20	<i>Chromulina elegans</i>	21
	<i>Chromulina elegans</i>	10			<i>Navicula cryptotenella</i>	10		
<b>B</b>								
Biovolume total	Ny	% contrib.	2sp	% contrib.	3sp	% contrib.	4sp	% contrib.
<b>Outono</b>	<i>Frustulia crassinervia</i>	48	<i>Frustulia crassinervia</i>	32	<i>Netrium digitus</i>	40	<i>Netrium digitus</i>	45
	<i>Cosmarium margaritatum</i>	14	<i>Cosmarium margaritatum</i>	17	<i>Cosmarium margaritatum</i>	21	<i>Cosmarium margaritatum</i>	17
<b>Inverno</b>	<i>Pleurotaenium simplicissimum</i>	29	<i>Pleurotaenium simplicissimum</i>	48	<i>Spirogyra</i> sp.	25	<i>Eunotia sudetica</i>	18
	<i>Spirogyra</i> sp.	21	<i>Frustulia crassinervia</i>	12	<i>Coelastrum cruciatum</i>	11	<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	16
<b>Primavera</b>	<i>Eunotia sudetica</i>	66	<i>Eunotia sudetica</i>	75	<i>Pleurotaenium simplicissimum</i>	56	<i>Pleurotaenium simplicissimum</i>	35
	<i>Spirogyra</i> sp.	15			<i>Eunotia sudetica</i>	17	<i>Netrium digitus</i>	34
<b>Verão</b>							<i>Eunotia sudetica</i>	17
	<i>Frustulia crassinervia</i>	25	<i>Frustulia crassinervia</i>	19	<i>Netrium digitus</i>	68	<i>Frustulia crassinervia</i>	17
	<i>Closterium parvulum</i>	11	<i>Eunotia bilunaris</i>	10			<i>Eunotia bilunaris</i>	13
							<i>Euglena agilis</i>	11

### *Similaridade na composição de espécies*

A análise de agrupamento realizada com a matriz de presença e ausência das algas perifíticas em *Nymphaea* agrupou as unidades amostrais em função da escala sazonal (Figura 7). O alto coeficiente cofenético mostrou a consistência da análise (0,877). A análise mostrou que a composição de espécies do perifíton teve similaridade de 28% durante o período de estudo. Dois grandes grupos foram formados ao nível de corte de 28%: primavera e outono/inverno/verão. Desta forma, a composição de espécies na primavera foi a mais diferenciada dentre as estações do ano. A similaridade da composição de espécies do perifíton entre os bancos com diferentes tipos de complexidade de hábitat foi de 44% no inverno, 38% no outono, 38% no verão e 32% na primavera.

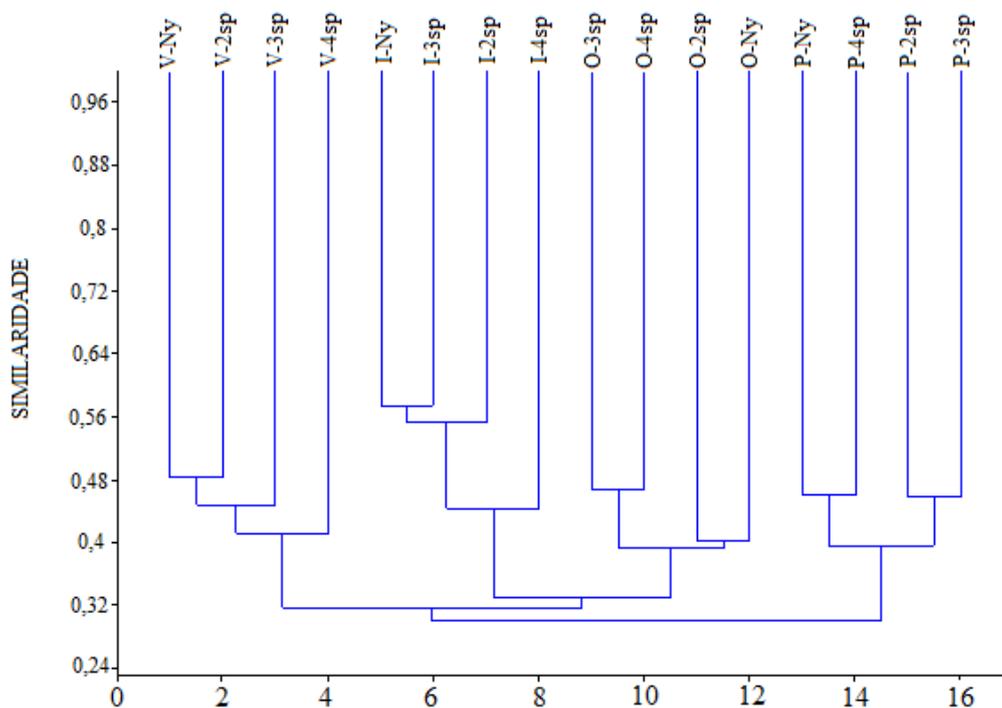


Figura 7: Dendrograma de similaridade (Índice de Jaccard) entre a comunidade de algas perifíticas nos diferentes tipos de complexidade de hábitat e estações do ano. Abreviações: primeiro caractere refere-se à estação do ano (O-outono, I-inverno, P-primavera, V-verão) e os demais aos tipos de complexidade de hábitat (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas).

### ***Análise conjunta das variáveis abióticas e das algas perifíticas (CCA)***

A análise de correspondência canônica foi realizada com sete variáveis ambientais e a densidade de 56 espécies de algas perifíticas cuja representatividade foi maior do que 1% da densidade total (Figura 8). Os autovalores para o eixo 1 ( $\lambda = 0,069$ ) e 2 ( $\lambda = 0,060$ ) explicaram 28,1% da variabilidade dos dados. A elevada correlação espécie-ambiente de Pearson para o eixo 1 ( $r = 0,960$ ) e 2 ( $r = 0,902$ ) indicou forte relação entre a distribuição das espécies e as variáveis ambientais. O teste Monte Carlo de randomização mostrou que a relação entre as algas perifíticas e as condições ambientais foram estatisticamente significativas ( $p < 0,03$ ) nos eixos 1 e 2.

O coeficiente canônico mostrou que a concentração de PDT, amônio e a cobertura de macrófitas foram as variáveis ambientais mais importante na ordenação do eixo 1 e  $\text{CO}_2$  livre para o eixo 2 (Tabela 2). A concentração de PDT, amônio e a cobertura de macrófitas foram altamente correlacionadas com o eixo 1 ( $r > 0,7$ ). No lado positivo do eixo 1 situaram-se as unidades amostrais da primavera e do verão, as quais foram correlacionadas aos maiores valores de PDT, cobertura de macrófitas aquáticas e maior disponibilidade de luz ( $r > 0,6$ ). Do lado negativo, situaram-se todas as unidades do outono e do inverno, associadas à maior disponibilidade de nitrogênio (nitrato e amônio) ( $r > 0,6$ ).

De acordo com as características centroides da CCA, as espécies mais associadas ( $r > 0,5$ ) com as unidades do outono foram *Desmodesmus spinosus* e *Scenedesmus acus*, no inverno foram *Coelastrum cruciatum* e *Chlamydomonas* sp.2, enquanto que na primavera as espécies mais associadas com esse período foram *Chloromonas* sp. e *Chlamydomonas planctogloea*, já no verão foram, *Chroococcus minor* e *Ulnaria ulna* (Tabela 3).

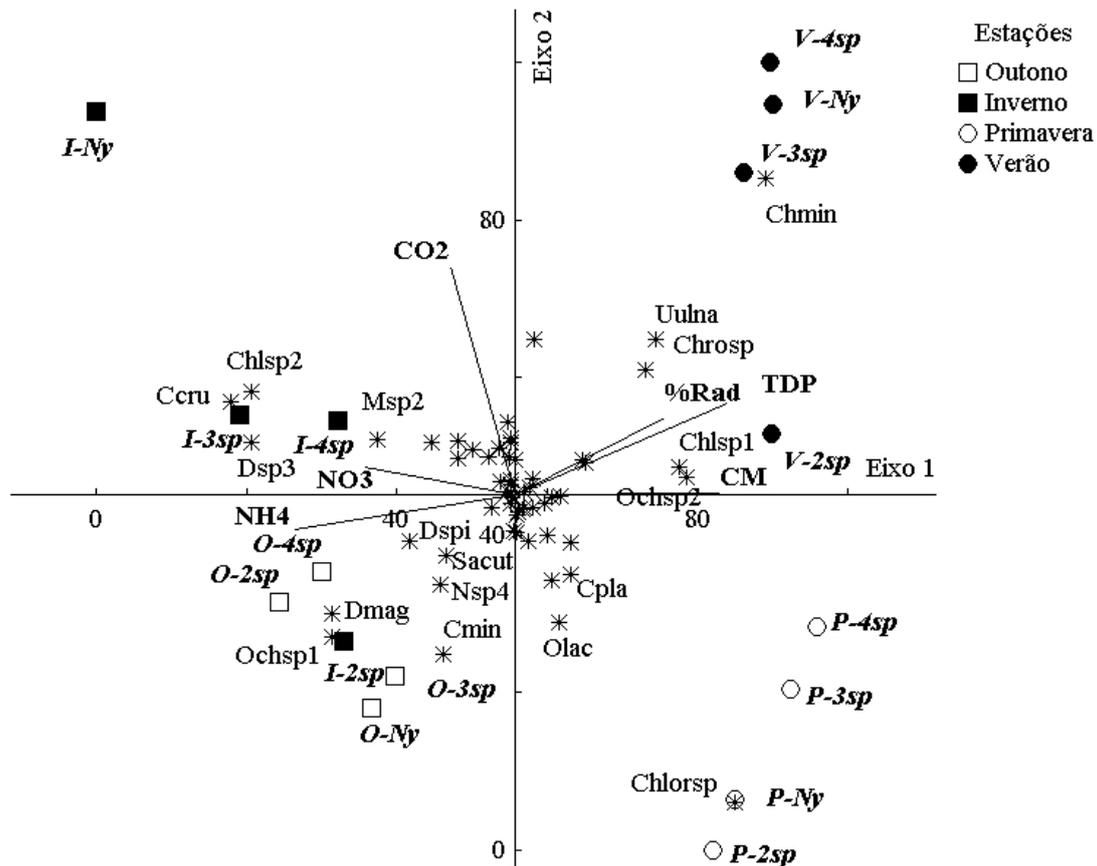


Figura 8: Biplot da CCA da densidade média das espécies descritoras da comunidade de algas perifíticas em escala sazonal. Abreviações das unidades amostrais: primeiro caractere refere-se à estação do ano (O-outono, I-inverno, P-primavera, V-verão) e os demais aos diferentes tipos de complexidade de hábitat (Ny = bancos de *Nymphaea*; 2-4sp = bancos mistos de 2 a 4 espécies de macrófitas). Os códigos dos vetores encontram-se na Tabela 2 e das espécies na Tabela 3.

Tabela 2: Coeficientes canônicos e correlação de Pearson das variáveis ambientais com os dois primeiros eixos da CCA.

Variável ambiental	Códigos	Correlação de Pearson		Coeficiente Canônico	
		Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
Fósforo dissolvido total	PTD	<b>0,857</b>	0,411	0,623	-0,150
Radiação subaquática (%)	%Rad	0,635	0,295	-0,054	0,287
Amônio	NH4	<b>-0,908</b>	-0,096	-0,427	-0,046
Nitrato	NO3	-0,604	0,227	-0,069	0,220
CO2 livre	CO2	-0,259	<b>0,948</b>	-0,289	0,989
Cobertura de macrófitas (%)	CM	<b>0,838</b>	-0,009	-0,021	0,369

Tabela 3: Correlação de Pearson ( $r$ ) da densidade média das descritoras da comunidade de algas perifíticas com os eixos 1 e 2 da CCA, bem como os valores mínimo e máximo da densidade relativa de cada espécie (%).

Táxon	Código	E1 ( $r$ )	E2 ( $r$ )	Contribuição da espécie (%) (min-máx)			
				Out	Inv	Pri	Ver
<i>Actinotaenium perminutum</i>	Aper	0,011	0,631	0-0,1	0-1,1	0-0,4	0,6-0,9
<i>Brachysira cf. microcephala</i>	Bmes	-0,465	-0,221	2,7-5,6	2,9-6,6	1,2-7,9	1,9-3,3
<i>Carteria multifilis</i>	Cmul	-0,28	0,23	0-1,0	0,1-0,4	0-0,4	0,1-1,1
<i>Chlamydomonas epibiotica</i>	Cepi	-0,468	-0,099	0,9-1,2	1,7-2,6	0,4-2,7	1,0-1,2
<i>Chlamydomonas gloeopara</i>	Cglo	0,037	-0,297	0,9-3,2	0,3-0,6	0,6-2,3	1,1-2,8
<i>Chlamydomonas planctogloea</i>	Cpla	0,359	<b>-0,711</b>	0,7-3,9	0-1	3,3-6,6	0,2-1,8
<i>Chlamydomonas sagittula</i>	Csag	-0,356	<b>-0,528</b>	1,6-9,2	2,3-2,7	3,2-4,1	1,2-1,9
<i>Chlamydomonas sordida</i>	Csor	-0,259	-0,506	6,2-12,9	5,0-9,7	6,8-16,6	3,1-8,1
<i>Chlamydomonas sp.1</i>	Chlsp1	0,402	0,067	0-0,3	0-0,1	0-3,6	0-1,5
<i>Chlamydomonas sp.2</i>	Chlsp2	<b>-0,665</b>	0,233	0	0,3-2,3	0	0
<i>Chlorella vulgaris</i>	Cvul	-0,178	-0,371	0,3-1,6	0,1-1,1	0,2-1,5	0,4-0,9
<i>Chloromonas sp.</i>	Chlorosp	0,375	<b>-0,556</b>	0	0	0-5,2	0
<i>Chorocystis minor</i>	Cminor	-0,15	0,433	0-1,7	0,07-0,4	0	0
<i>Chromulina elegans</i>	Cele	0,345	-0,427	5,7-8,2	11,7-19,4	6,3-10,9	7,0-10,7
<i>Chromulina minima</i>	Cmin	-0,215	-0,381	0-2,1	0-0,8	0-0,1	0
<i>Chromulina pygmaea</i>	Cpyg	-0,01	-0,196	0,05-2,8	0	0-0,4	0,05-0,4
<i>Chromulina sp.1</i>	Chrosp	0,307	0,321	0	0-1,0	0-0,1	0-0,3
<i>Chromulina sphaerica</i>	Csph	-0,189	-0,406	1,0-6,8	1-2,6	2,0-3,5	0,9-2,9
<i>Chroococcus minor</i>	Chmin	0,546	<b>0,711</b>	0	0	0	0,1-1,6
<i>Coelastrum cruciatum</i>	Ccru	<b>-0,591</b>	0,174	0-0,05	0-2,3	0	0
<i>Cosmarium blyttii</i>	Cbly	-0,19	0,08	0,7-1,4	0-1,6	0,07-0,9	2,7-3,6
<i>Cosmarium margaritatum</i>	Cmar	-0,461	0,334	0,5-2,3	0,4-1	0-0,1	1,7-3,0
<i>Cosmarium minutum</i>	Cosmin	-0,142	0,341	0-0,7	0,3-0,8	0-1,3	0,1-0,4
<i>Cosmarium pachydermum</i>	Cpac	-0,337	0,217	0,5-1,6	0,4-1,4	0,1-0,7	1,3-1,8
<i>Cosmarium trilobulatum</i>	Ctril	-0,183	0,354	0-0,4	0,1-1,1	0,1-0,2	0,2-0,7
<i>Cymbella sp.</i>	Cymsp	-0,484	0,235	0-0,3	0,07-1,1	0-0,2	0,09-0,1
<i>Desmodesmus magnus</i>	Dmag	-0,388	-0,229	0-1,7	0-0,3	0-0,2	0
<i>Desmodesmus sp3</i>	Dsp3	-0,83	0,146	0-0,3	0,1-1,1	0	0
<i>Desmodesmus spinosus</i>	Dspi	<b>-0,545</b>	-0,21	0-1,1	0,05-0,3	0-0,2	0-0,01
<i>Encyonema cf. mesianum</i>	Emes	0,103	-0,075	0-0,4	0-0,1	0,07-0,4	0,2-1,1
<i>Eunotia bilunaris</i>	Ebil	0,018	0,169	0-1,1	0,4-2,9	0,2-3,5	0,9-3,3
<i>Eunotia flexuosa</i>	Efle	-0,171	0,453	0-0,2	0,3-1,5	0-0,7	0,5-3,4
<i>Eunotia sudetica</i>	Esud	-0,166	-0,255	0,3-1,6	2,0-6,9	5,3-34,8	0,3-0,9
<i>Frustulia crassinervia</i>	Fcras	-0,118	-0,3	2,3-33,3	8,6-19,4	1,2-3,2	15,3-18,3
<i>Gomphonema gracile</i>	Ggra	-0,19	0,301	0-0,5	0,1-1,7	0,04-1,5	0,2-0,5
<i>Monoraphidium griffithii</i>	Mgrif	0,245	-0,026	0-0,2	0-0,3	0,1-2,0	0,1-0,6
<i>Mougeotia sp.2</i>	Msp2	-0,277	0,092	0-0,2	0-1,8	0	0,1-0,2
<i>Navicula cryptotenella</i>	Ncryp	0,156	-0,401	3,0-5,9	5,7-12,2	3,3-7,4	6,5-9,5
<i>Navicula sp</i>	Nsp4	-0,468	-0,46	0,2-1,6	0-1,6	0-1,9	0
<i>Ochromonas sp.1</i>	Ochsp1	-0,31	-0,216	0-1,5	0	0	0
<i>Ochromonas sp.2</i>	Ochsp2	0,358	0,035	0-0,4	0	0-0,3	0-1,3
<i>Oedogonium sp.2</i>	Oedsp2	-0,297	-0,11	0-3,0	0,1-0,7	0,1-0,7	0-0,3
<i>Oocystis lacustris</i>	Olac	0,07	-0,312	0-0,8	0	0-1,2	0-0,4
<i>Peridinium umbonatum var. umbonatum</i>	Pumb	-0,385	0,52	0,10-1,1	0,3-1,3	0,04-0,4	0,3-6,3
<i>Phormidium sp.</i>	Phosp	0,278	0,169	0-1,7	0-0,06	0,03-0,6	0-1,1
<i>Pseudanabaena galeata</i>	Pgal	<b>-0,648</b>	0,297	0,5-3,8	1,0-2,9	0-0,2	0,4-1,4
<i>Pseudodidymocystis fina</i>	Pfina	-0,422	0,142	0,1-0,5	0,6-2,2	0-0,5	0,4-1,0
<i>Scenedesmus acutus</i>	Sacut	<b>-0,552</b>	-0,397	0,3-1,7	0,04-0,5	0-0,7	0-0,09
<i>Scenedesmus ecornis</i>	Seco	-0,181	0,008	0,2-1,3	0,07-0,4	0-0,9	0,1-0,3
<i>Spirogyra sp.</i>	Spirsp	-0,003	0,016	0-0,2	0-0,3	0-0,3	0-1,0
<i>Synechocystis aquatilis</i>	Saqua	-0,14	0,014	0,7-7,8	1,1-6,6	0,8-6,1	3,6-5,6
<i>Trachelomonas curta</i>	Tcurt	0,276	-0,057	4,6-7,8	0,4-7,4	1,0-10,4	4,7-6,6
<i>Trachelomonas volvocina</i>	Tvol	0,103	-0,419	0,2-1,6	0-0,2	0-2,3	0-0,9
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	Tvolvo	-0,507	0,349	0-0,2	0,3-2,2	0-0,4	0,07-0,4
<i>Ulnaria ulna</i>	Uulna	0,322	0,384	0	0	0	0,1-2,6

#### 4. Discussão

Conforme descrito no Capítulo 1 do presente estudo, a região litorânea do Lago das Ninféias na primavera e no verão foi caracterizada pela *maior heterogeneidade espacial* (maior complexidade de hábitat e distintas condições limnológicas), enquanto no outono e inverno a região foi caracterizada pela *menor heterogeneidade espacial* (menor complexidade de hábitat e condições limnológicas mais similares). No período de *menor heterogeneidade espacial* (outono e inverno) houve redução da cobertura de macrófitas e as condições limnológicas foram mais similares entre os diferentes tipos de complexidade, situação oposta ocorreu no período de *maior heterogeneidade*. Dentro deste cenário, nós avaliamos a estrutura da comunidade de algas perifíticas na macrófita enraizada de folhas flutuantes, *Nymphaea* spp..

A ideia de que o aumento da complexidade de hábitat favorece o aumento da riqueza de espécies é frequentemente relatada em outras comunidades biológicas (ex. Kovalenko *et al.* 2012). No presente estudo o perifíton em *Nymphaea* apresentou a maior diversidade e riqueza de espécies nos bancos de macrófitas de maior complexidade de hábitat (bancos mistos), exceto no inverno. A pouca ou nenhuma variação da diversidade e riqueza de espécies entre os diferentes bancos no inverno foi associada à elevada homogeneidade nas condições ambientais, a qual foi maior do que no outono (Capítulo 1). Considerando que a diversidade beta indica mudança de espécies ao longo do gradiente (Krebs 1999), os maiores valores encontrados no período de maior heterogeneidade espacial (primavera e verão) indica que a distribuição das espécies no litoral foi mais heterogênea do que no outro período. Portanto, os resultados mostram que o aumento da complexidade de hábitat dos bancos de macrófitas e a variação sazonal da heterogeneidade espacial (complexidade de hábitat e condições limnológicas) atuaram positivamente sobre a diversidade e riqueza de algas perifíticas em *Nymphaea*.

Em termos de grupos de funcionais, a comunidade de algas perifíticas não alterou drasticamente o conjunto de estratégias adaptativas em função da variação de complexidade de hábitat nos bancos de macrófitas. Contudo, as formas flageladas tiveram maior sucesso na grande

maioria dos bancos de maior complexidade de hábitat (3-4sp) e as cocóides nos bancos de menor complexidade (Ny-2sp) em todas as estações do ano. As algas flageladas levam vantagens sobre as outras algas por conseguirem se locomover de dentro da matriz perifítica em busca de recursos (Haphey-Wood 1988, Ferragut & Bicudo 2011). Além das formas flageladas, o perifíton apresentou alta densidade de nanoperifíticas na maioria dos bancos de maior complexidade de hábitat em todas as estações do ano. As algas de pequeno tamanho levam vantagem sobre as outras pela maior eficiência na assimilação de nutrientes e na reprodução mais rápida (Haphey-Wood 1988, Ferragut & Bicudo 2011). A recorrente abundância de algas flageladas e nanoperifíticas nos bancos de maior complexidade de hábitat evidenciaram a influência da complexidade de hábitat sobre a fisionomia da comunidade.

A estrutura de classes algais no perifíton mostrou o maior sucesso das diatomáceas no período de menor heterogeneidade espacial (outono e inverno), sendo dominante apenas nos bancos de menor complexidade de hábitat (Ny e 2sp). O período seco é descrito como um período de mistura da coluna de água nos reservatórios do PEFI (Bicudo *et al.* 2002, Fonseca & Bicudo 2011). Este fato pode ter favorecido o sucesso das diatomáceas, as quais são altamente competitivas em baixas temperaturas e alta turbulência da água e, normalmente, podem substituir outros grupos algais em condições de maior instabilidade no sistema (Willén 1991). Em outros estudos no PEFI, a dominância de diatomáceas em substrato artificial foi correlacionada com aumento da turbulência no período de mistura e redução da intensidade de floração de cianobactéria (Borduqui *et al.* 2008, Ferrari 2010, Borduqui & Ferragut 2012). Em substrato natural, a dominância de diatomáceas foi relacionada à maior disponibilidade de luz devido à redução da cobertura de macrófitas no inverno (Pellegrini & Ferragut, 2012).

As diatomáceas permaneceram com alta representatividade na estrutura do perifíton na primavera nos bancos de baixa complexidade de hábitat (Ny-2sp), enquanto clorofíceas e euglenofíceas aumentaram a participação na estrutura nos bancos de maior complexidade de hábitat (3sp e 4sp). Ferragut & Bicudo (2011) em estudo experimental relataram o aumento de clorofíceas e

euglenofíceas em condição de alta disponibilidade de fósforo. No presente estudo, na primavera foi observada a maior concentração de fósforo total dissolvido nos bancos de maior complexidade de hábitat, o que pode provavelmente ter favorecido o aumento na participação dessas classes. Destaca-se, ainda, o aumento da densidade relativa e da contribuição das zignemafíceas na estrutura da comunidade no verão. No verão, além da elevada heterogeneidade espacial, houve a maior disponibilidade de luz e P e maior participação de *Utricularia foliosa* na cobertura vegetal, o que pode ter favorecido o aumento na contribuição desse grupo algal (Capítulo 1).

Conforme os resultados mostrados no Capítulo 1, a sazonalidade determinou a variação da heterogeneidade espacial (cobertura de macrófitas e condições limnológicas) na região litorânea. De acordo com a análise de correspondência canônica (descritoras) e de análise de agrupamento (composição florística), a estrutura de espécies descritoras da comunidade perifítica foi claramente influenciada pela variação sazonal da heterogeneidade espacial. Baseados apenas nas condições limnológicas, vários estudos observacionais encontraram a sazonalidade como um fator determinante na organização das assembleias algais no perifíton em substrato artificial (Vercellino & Bicudo 2006, Borduqui & Ferragut 2012) e natural (Fonseca & Rodrigues 2005, Cavati & Fernandes 2008, Santos 2012). Conforme Pellegrini & Ferragut (2012), a estrutura da comunidade de algas perifíticas em *Nymphaea* foi sensível às alterações autogênicas (sucessão), mas a escala sazonal foi a principal fonte de variabilidade. A sazonalidade foi um importante fator determinante da composição e organização das algas no perifíton, pois atuou diretamente sobre a variação da heterogeneidade espacial.

As descritoras da comunidade de algas perifíticas mudaram em função dos diferentes tipos de complexidade de hábitat e, principalmente, da variação sazonal da heterogeneidade espacial. Exceto nos bancos mistos de 4 espécies, *Frustulia crassinervia* foi uma espécie importante na estrutura da comunidade em todos os tipos de complexidade de hábitat nas estações do ano, principalmente no outono. Esta espécie é *r*-estrategista (*sensu* Biggs *et al.* 1998) e, geralmente, encontra-se associada à condição oligotrófica (Van Dam *et al.* 1984). Em reservatório eutrófico, *F.*

*crassinervia* foi relacionada com o período chuvoso, sendo associada às maiores temperaturas e concentrações de nitrogênio total (Ferrari 2010). Ferrari (2010) ressalta que a *F. crassinervia* tem possivelmente uma amplitude ecológica maior do que a registrada até o momento, pois a espécie possui ampla distribuição geográfica e ocorrência no perifíton e fitoplâncton. Nos bancos mistos de 4 espécies (alta complexidade de hábitat), onde *F. crassinervia* teve pouca representatividade, *Chlamydomonas sordida* e *Chlamydomonas sagittula* foram as espécies mais abundantes. Estas espécies são flageladas e nanoperifíticas, tais estratégias conferem vantagens competitivas em relação à assimilação de nutrientes e exploração do meio, como relatado por Ferragut & Bicudo (2011).

As condições ambientais do período de menor heterogeneidade espacial também favoreceram o aumento da densidade e da representatividade de Chrysophyceae no perifíton. A maioria das espécies das crisofíceas são nutricionalmente oportunistas, podendo alterar entre os processos de autotrofia, heterotrofia e fagotrofia e, ainda, possuem estratégias eficientes de sobrevivência e manutenção do crescimento em condições de alta limitação por P (Pearl, 1988; Sandgren, 1988). No inverno, a densidade de *Chromulina elegans* assumiu um importante papel na estrutura do perifíton em todos os tipos de complexidade de hábitat. *Chromulina elegans* é uma espécie comumente encontrada no perifíton na área de estudo, sendo descritora da comunidade em reservatório oligotrófico (Ferragut 2004), mesotrófico (Pellegrini & Ferragut, 2012) e eutrófico (Ferrari 2010). Em estudo experimental, a espécie foi correlacionada à alta disponibilidade de nitrogênio (Ferragut & Bicudo 2011), como observado no período seco neste estudo (Capítulo 1).

Em condições de elevada heterogeneidade espacial na primavera, *Eunotia sudetica* foi espécie mais abundante em termos de densidade e biovolume no perifíton, principalmente nos bancos de menor complexidade de hábitat. A trofia e a acidez do reservatório podem ter favorecido a ocorrência da *E. sudetica*, pois a espécie ocorre em ambientes oligo-mesotrófico com pH abaixo de 7 (acidófilas) (Van Dam *et al.* 1984). Experimentalmente, *E. sudetica* foi associada a condições de boa disponibilidade de nutrientes (Ferragut & Bicudo 2011). Para Potapova & Charles (2007), *E.*

*sudetica* é altamente associada a ambientes com baixa concentração de NT e PT. Destaca-se que na primavera houve a menor concentração de NT e PT em todos os tipos de bancos de macrófitas. Nos bancos mistos de 3 e 4 espécies, a *E. sudetica* apenas reduziu a participação na estrutura, sendo substituída por *Chlamydomonas sordida* em densidade e por *Pleurotaenium simplicissimum* em biovolume. Conforme a análise de agrupamento, na primavera a organização das assembleias algais foi diferenciada das demais estações do ano. Apesar do verão também apresentar elevada heterogeneidade espacial, *E. sudetica* não teve a mesma representatividade. No verão houve aumento da cobertura de *Utricularia foliosa* no litoral, o que aumentou significativamente a disponibilidade de luz para as algas em todos os bancos. Nestas condições ambientais, a diatomácea *r*-estrategista *F. crassinervia* aumentou novamente a sua participação na estrutura do perifíton, exceto nos bancos mistos de 4 espécies de macrófitas, onde a crisofícea também *r*-estrategista *Chromulina elegans* aumentou em densidade.

De modo geral, em condições de baixa heterogeneidade espacial (outono e inverno), a estrutura caracterizou-se pela maior abundância de diatomáceas e crisofíceas, principalmente de *F. crassinervia* e *Chromulina elegans*. Diferentemente, em condições de maior heterogeneidade espacial, na primavera a estrutura da comunidade foi caracterizada pela maior representatividade de *Eunotia sudetica* (Ny-2sp) e de *Chlamydomonas sordida* (3-4sp). Por outro lado, no verão ocorreu aumento da contribuição em biovolume de Zygnemaphyceae, principalmente, *Pleurotaenium simplicissimum* (Ny-2sp) e *Netrium digitus* (4sp), bem como o retorno da abundância em densidade de *F. crassinervia* (Ny-3sp) e de *C. elegans* (4sp). Além da diferenciada participação das descritoras, o aumento da complexidade de hábitat tendeu a aumentar a diversidade e a riqueza de espécies. Em conclusão, a estrutura da comunidade de algas em *Nymphaea* spp. foi sensível ao aumento da complexidade de hábitat dos bancos de macrófitas em cada estação do ano, contudo a organização das assembleias algais foi primariamente influenciada pela variação sazonal da heterogeneidade espacial (complexidade de hábitat e condições limnológicas).

## Referências bibliográficas

- Araújo, A.** 2006. Diversidade específica e de habitat dos Cosmarium de parede lisa (Zygnemaphyceae) do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Azevedo, M.T.P., Nogueira, N.M.C. & Sant'Anna, C.L.** 1996. Criptógamas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas, 8: Cyanophyceae. Hoehnea 23: 1-38.
- Battarbee, R.W.** 1986. Diatoms analysis. *In*: B.E Berglund (ed.). Handbook of Holocene Palaeohydrology. John Wiley & Sons, New York. pp. 527-570.
- Bicudo, D.C.** 1996. Algas epífitas do Lago das Ninféias, São Paulo, Brasil, 4: Chlorophyceae, Oedogoniophyceae e Zygnemaphyceae. Revista Brasileira de Biologia 56: 345-374.
- Bicudo, C.E.M., Sormus, L. & Schetty, S.P.** 1998. Criptógamas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas,11: Zygnemaphyceae (Desmidiaceae, 1: Haplotaenium, Pleurotaenium, Tetmemorus e Triploceras). Hoehnea 25: 33-43.
- Bicudo, C.E.M., Sormus, L. & Schetty, S.P.** 1999. Criptógamas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas,12: Zygnemaphyceae (Desmidiaceae, 2: Desmidium, Groenbladia, Hyalotheca, Spondylosium e Teilingia). Hoehnea 26: 75-85.
- Bicudo, C.E.M., Carmo, C.F., Bicudo, D.C., Henry, R., Pião, A.C.S., Santos, C.M. & Lopes, M.R.M.** 2002. Morfologia e morfometria de três reservatórios do PEFI. *In*: Bicudo, D.C., Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo. Ed. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, pp.141-158.
- Bicudo, C.E.M., Bicudo, D.C., Ferragut, C., Lopes, M.R.M. & Pires, P.R.** 2003. Criptógamas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas,17: Chrysophyceae. Hoehnea 30: 127-153.
- Bicudo, D.C., Oliveira, A.M., Ferragut, C. & Bicudo, C.E.M.** 2004. Criptógamas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas, 19: Eustigmatophyceae. Hoehnea 31: 97-101.

- Biggs, B.J., Stevenson, R.J. & Lowe R.L. et al.** 1998. A habitat matrix conceptual model for stream periphyto. *Archiv für Hydrobiologie* 143(1): 21-56.
- Borduqui, M., Ferragut, C., & Bicudo, C.E.M.** 2008. Chemical composition and taxonomic structure vertical and seasonal variation of periphyton community in a shallow hypereutrophic reservoir (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 20: 381-392.
- Borduqui, M. & Ferragut, C.** 2012. Factors determining periphytic algae succession in a tropical hypereutrophic reservoir. *Hydrobiologia* 683: 109-122.
- Branco, C.C.Z., Branco, L. H. Z., Moura, M. O. & Bertusso, F. R.** 2005. The succession dynamics of a macroalgal community after a flood disturbance in a tropical stream from São Paulo State, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 28(2): 267-275.
- Burkholder, J. M.** 1996. Interactions of benthic algae with their substrata. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.) *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 253-297.
- Cavati, B. & Fernandes, V.O.** 2008. Algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno – Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil): variação espacial e temporal. *Acta Scientiarum Biological Science* 30: 439-448.
- Ferragut, C.** 2004. Respostas das algas perifíticas e planctônicas à manipulação de nutrientes (N e P) em reservatório urbano (Lago do IAG, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Ferragut, C., Lopes, M.R.M., Bicudo, D.C., Bicudo, C.E.M. & Vercellino, I.S.** 2005. Ficoflórula perifítica e planctônica (exceto Bacillariophyceae) de um reservatório oligotrófico raso (Lago do IAG, São Paulo). *Hoehnea* 32: 137-184.
- Ferragut, C. & Bicudo, D.C.** 2011. Effect of N and P enrichment on periphytic algal community succession in a tropical oligotrophic reservoir. *Limnology* 13: 131-141.
- Ferrari, F.** 2010. Estrutura e dinâmica da comunidade de algas planctônicas e perifíticas (com ênfase nas diatomáceas) em reservatórios oligotrófico e hipertrófico (Parque Estadual Das Fontes do Ipiranga, São Paulo). Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

- Fonseca, B.M., Bicudo, C.E.M. 2011.** Phytoplankton seasonal and vertical variations in a tropical shallow reservoir with abundant macrophytes (Ninféias Pond, Brazil). *Hydrobiologia* 665(17): 229-245.
- Fonseca, I.A. & Rodrigues, L. 2005.** Comunidade de algas perifíticas em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Scientiarum Biological Sciences*: 27(1): 21-28.
- Floater, G.J. 2001.** Habitat complexity, spatial interference, and 'minimum risk distribution': a framework for population stability. *Ecology Monograph* 71: 447-468.
- Frost, P.C. & Elser, J.J. 2002.** Effects of light and nutrients on the net accumulation and elemental composition of epilithon in boreal lakes. *Freshwater Biology* 47: 173-184.
- Godinho, L.R., González, A.A.C & Bicudo, C.E.M. 2010.** Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. *Algas*, 30: Chlorophyceae (família Scenedesmaceae). *Hoehnea* 37: 513-553.
- Goldsborough, L.G. & Robinson, G.G.C. 1996.** Pattern in wetlands. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 77-117.
- Graham, L.E. & Wilcox, L.W. 2000.** *Algae*. Prentice Hall, New Jersey.
- Hammer, O., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001.** PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1-9.
- Happay-Wood, C.M. 1988.** Ecology of freshwater planktonic green algae. *In*: C.D. Sandgren (ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hillebrand, H., Durselen, C.D., Kirschtel, D., Pollinger, U. & Zohary, T. 1999.** Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* 35: 403-424.
- Jeppesen, E.; Søndergaard, M.; Søndergaard, M & Cristoffersen, K. 1998.** The structuring role of submerged macrophytes in lakes. New York. Springer-Verlag.

- Jones, J.I., Moss, B., Eaton, J.W., Young, J.O.** 2000. Do submerged aquatic plants influence periphyton community composition for the benefit of invertebrate mutualists? *Freshwater Biology* 43: 591-604.
- Kahlert, M., Hasselrot, A.T., Hillebrand, H. & Pettersson, K.** 2002. Spatial and temporal variation in the biomass and nutrient status of epilithic algae in Lake Erken, Sweden. *Freshwater Biology*, 47: 1-24.
- Kovalenko, K.E, Thomaz, S.M. & Warfe, D.M.** 2012. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia* 685: 1-17.
- Krebs, C.J.** 1999. *Ecological Methodology*. 2<sup>nd</sup> ed. Benjamin Cummings, Menlo Park, California.
- Lane, C.M., Taffs K.H. & Corfield, J.** 2003. A comparison of diatom community structure on natural and artificial substrata. *Hydrobiologia* 493: 65-79.
- Magurran, A.E.** 1988. *Ecological diversity and its measurements*. Chapman & Hall, London.
- McCune, B. & Mefford, M.J.** 2011. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data*.
- Meerhoff, M., Iglesias, C., De Mello, F.T., Clemente, J. M., Jensen, E., Lauridsen, T.L. & Jeppesen, E.** 2007. Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biology* 52(6): 1009-1021.
- Messyasz, B. & Kippen, N.** 2006. Periphytic algal communities: a comparison of *Typha angustifolia* L. and *Chara tomentosa* L. beds in three shallow lakes (West Poland). *Polish Journal of Ecology* 54(1): 15-27.
- Padial, A.A. Thomaz, S.M. & Agostinho, A.A.** 2009. Effects of structural heterogeneity provided by the floating macrophyte *Eichhornia azurea* on the predation efficiency and habitat use of the small Neotropical fish *Moenkhausia sanctaefilomenae*. *Hydrobiologia* 624: 161-170.
- Pearl, H.W.** 1988. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria). In: C.D. Sandgreen (ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge. pp.261-317.

- Pelechaty, M. & Owsiany, P.M.** 2003. Horizontal distribution of phytoplankton as related to the spatial heterogeneity of a lake – a case study from two lakes of the Wielkopolski National Park (western Poland). *Hydrobiologia* 510: 195-205.
- Pellegrini, B.G. & Ferragut, C.** 2012. Variação sazonal e sucessional da comunidade de algas perifíticas em substrato natural em um reservatório mesotrófico tropical. *Acta Botanica Brasílica* 26: 807-818.
- Potapova, M. & Charles, D.F.** 2007. Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States. *Ecological Indicators* 7: 48-70.
- Sandgren, C.D.** 1988. The ecology of chrysophyte flagellates: their growth and perennation strategies as freshwater phytoplankton. In: Sandgren, C.D. Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge, Cambridge University Press, pp.9-104.
- Santos, T.R.** 2012. Variação sazonal da biomassa, do estado nutricional e da estrutura da comunidade de algas perifíticas desenvolvida sobre substrato artificial e *Utricularia foliosa* L. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica, São Paulo.
- Schneck, F. Schwarzbald, A. & Melo, A.S.** 2011. Substrate roughness affects stream benthic algal diversity assemblage composition, and nestedness. *The North American Benthological Society* 30(4):1042-1056.
- Schneck, F. & Melo, A. S.** 2012. Hydrological disturbance overrides the effect of substratum roughness on the resistance and resilience of stream benthic algae. *Freshwater Biology* 57: 1678–1688.
- Sieburth, J.M., Smetacek, V. & Lenx, J.** 1978. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography* 23: 1256-1263.
- Sládecková, A. & Sládeček, V.** 1964. Periphyton as indicator of the reservoir water quality. I – True-periphyton. *Technology of water* 7: 507-561.
- Sládecková, A. & Sládeček, V.** 1977. Periphyton as indicator of the reservoir water quality. II – Pseudo-periphyton. *Archiv fur Hydrobiologie* 9: 176-191.

- Sormus, L. & Bicudo, C.E.M.** 1994. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas, 6: Zygnemaphyceae (Closteriaceae). *Hoehnea* 21: 75-92.
- Stevenson, R.J.** 1997. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of North American Benthological Society* 16: 248-262.
- Stevenson, R.J. & Smol, J.P.** 2003. Use of algae in environmental assessments. *In: J.D. Wehr, & R.G. Sheath (eds.). Freshwater algae of North America, ecology and classification.* Academic Press, San Diego, pp.725-804.
- Sun, J. & Liu, D.** 2003. Geometrics models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 25: 1331-1346.
- Taniguchi H., Nakano, S. & Tokeshi, M.** 2003. Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants. *Freshwater Biology* 48: 718-728
- Thomaz, S.M., Dibble, E.D., Evangelista, L.R., Higuti, J. & Bini, L.M.** 2008. Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Freshwater Biology* 53: 358-367.
- Tokeshi, M. & Aragaki, S.** 2012. Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond. *Hydrobiologia* 685:27-47.
- Tucci, A., Sant'Anna, C.L., Gentil, R.C. & Azevedo, M.T.P.** 2006. Fitoplâncton do Lago das Garças, São Paulo, Brasil: um reservatório urbano eutrófico. *Hoehnea* 33: 1-29.
- Van Dam, H., Mertens, A. & Sinkeldam, J.** 1984. A coded and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28(1): 117-133.
- Vercellino, I.S. & Bicudo, D.C.** 2006. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em reservatório oligotrófico tropical (São Paulo, Brasil): Comparação entre período seco e chuvoso. *Revista Brasileira de Botânica* 29: 363-377.
- Willén, E.** 1991. Planktonic diatoms – an ecological review. *Algological studies* 62: 69-106.
- Xavier, M.B.** 1994. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas, 5: Euglenophyceae (Euglenaceae pigmentadas). *Hoehnea* 21: 47-73.

## Conclusão geral

O presente estudo contribuiu para o conhecimento da influencia da heterogeneidade espacial e da complexidade de hábitat sobre a comunidade perifítica e, mais especificamente, da ecologia das algas perifíticas em *Nymphaea* spp. Foi observado um período de *menor heterogeneidade espacial* (menor complexidade de hábitat e menor variação das condições limnológicas) no outono e no inverno e de *maior heterogeneidade espacial* (maior complexidade de hábitat e variação nas condições limnológicas) na primavera e verão (Figura 1).

Os diferentes tipos de complexidade de hábitat nos bancos de macrófitas, de modo geral, não influenciaram os atributos estruturais (biomassa, MSLC, densidade e biovolume) e o estado nutricional do perifíton, independente do período de maior ou menor heterogeneidade espacial (Figura 1). Porém, em escala sazonal, a heterogeneidade de hábitat foi um importante regulador dos atributos estruturais e o estado nutricional do perifíton, que foram favorecidos no período de menor heterogeneidade espacial. O período de maior heterogeneidade espacial, apesar de apresentar maior disponibilidade de recursos (luz e P), apresentou maior cobertura de macrófitas e de biomassa de fitoplâncton, sendo que esses fatores atuaram negativamente (sombreamento e competição) sobre o perifíton (Figura 1).

Em nível específico, a estrutura da comunidade de algas (diversidade, riqueza e estrutura de espécies) em *Nymphaea* spp. foi sensível ao aumento da complexidade de hábitat dos bancos de macrófitas em cada estação do ano. Porém, a organização das assembleias algais foi primariamente influenciada pela variação sazonal da heterogeneidade espacial (variação da complexidade de hábitat e condições limnológicas).

Presentemente, pode-se concluir que os atributos da comunidade perifítica foram pouco sensíveis aos diferentes tipos de complexidade de hábitat, já em nível específico a comunidade de algas apresentou maior sensibilidade frente aos diferentes tipos de complexidade de hábitat. Em escala sazonal, maior contribuição da comunidade perifítica nos pecíolos de *Nymphaea* spp. foi

observada no período em que a heterogeneidade espacial foi menor. Isto foi atribuído a menor porcentagem de cobertura e menor clorofila-a do fitoplâncton neste período, que são competidores potenciais por recursos. A organização das assembleias algais também foi influenciada primariamente pela variação sazonal da heterogeneidade espacial. Desta forma, destaca-se a importância da realização de estudos visando o melhor entendimento de como as alterações (antrópicas ou naturais) da heterogeneidade espacial dos ecossistemas tropicais afetam a relação perifíton-macrófitas e, conseqüentemente, podem afetar o funcionamento do ecossistema.

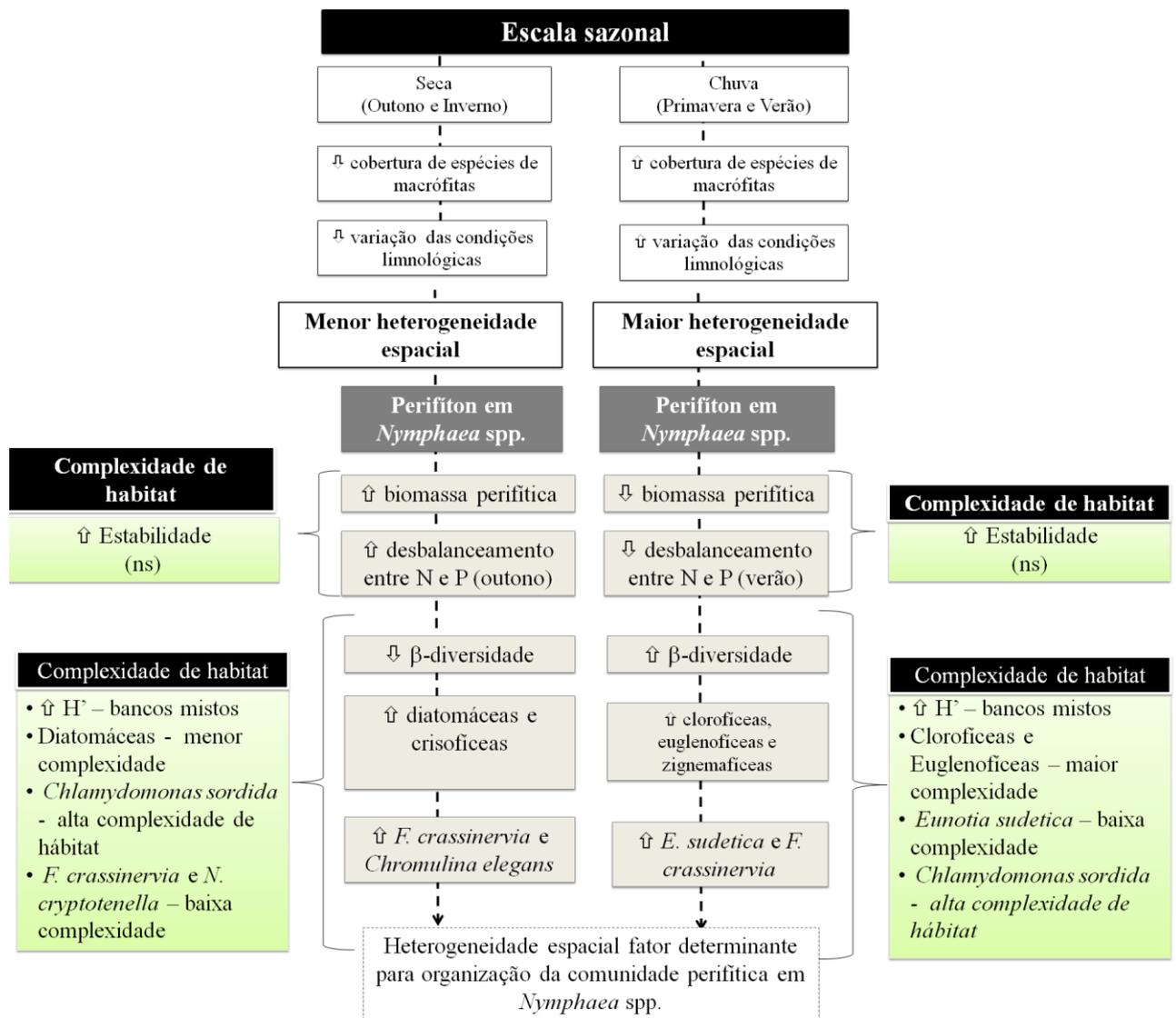


Figura 1: Esquema representando influência dos diferentes graus de heterogeneidade espacial nos atributos estruturais e estado nutricional da comunidade perifítica em *Nymphaea* spp..

## ANEXO

Anexo 1 - Listagem de táxons registrados no Lago das Ninféias indicando presença (X) e ausência (-) nos períodos e pontos de amostragem.

<b>Bacillariophyceae</b>	Outono				Inverno				Primavera				Verão			
	Ny	2sp	3sp	4sp	Ny	2sp	3sp	4sp	Ny	2sp	3sp	4sp	Ny	2sp	3sp	4sp
<i>Achnanthydium catenatum</i> (Bily & Marvan) Lange-Bertalot	X	X	X	X	-	-	X	X	-	X	X	-	X	-	-	-
<i>Achnanthydium</i> sp1	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacillariophyceae sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-
<i>Brachysira cf microcephala</i> (Grunow) Compère	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Brachysira cf vitera</i> (Grunow) Ross	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cocconeis cf placentula</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella</i> sp1	X	X	-	-	X	X	X	X	-	-	X	-	X	X	X	X
<i>Cymbopleura naviculiformis</i> (Auerswald ex Heiberg) K.Krammer	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Denticula</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	X	X
<i>Encyonema cf mesianum</i> (Cholnoky) D.G.Mann	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Eunotia flexuosa</i> (Brébisson ex Kützing) Kützing	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
<i>Eunotia sudetica</i> Müller	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Frustulia crassinervia</i> (Brébisson) Lange-Bertalot & Krammer	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X	X	X
<i>Gomphonema subtile</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Navicula</i> sp1	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	-	-	-	-
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) Smith	X	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X	X
<i>Nitzschia</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-
<i>Pinnularia brauniana</i> (Grunow) Mills	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X
<i>Pinnularia divergens</i> Smith	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	-	X	X	X	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	X	X
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-	-	-	-	X	-
<i>Stenopterobia</i> sp1	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulnaria</i> sp1	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
<b>Chlorophyceae</b>																
<i>Ankistrodesmus bernardii</i> Komárek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	X	-
<i>Ankistrodesmus densus</i> Korshikov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda ex Korshikov	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	-
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (Turner) Lemmermann	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	-	-	-	-	X	X	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-
<i>Carteria multifilis</i> (Fresenius) Dill	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X
<i>Carteria</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Chlamydomonas debaryana</i> Ghoroschankin	X	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Chlamydomonas epibiotica</i> Ettl	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas gloeopara</i> Rodhe & Skuja in Skuja	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas planctogloea</i> Skuja	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas sagittula</i> Skuja	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas sordida</i> Ettl	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas</i> sp1	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	X	X	X
<i>Chlamydomonas</i> sp2	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Chlorococcales sp1	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Chorocystis minor</i> (Skuja) Fott	X	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-
Chlorococcales sp 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
Chlorococcales sp3	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorococcales sp4	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Chlorococcales sp5	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X
Chlorococcales sp6	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorococcales sp7	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
Chlorococcales sp8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Chlorococcales sp9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-
Chlorococcales sp10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Chlorococcales sp11	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Chlorococcales sp12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-

<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Meneghini	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Chloromonas</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-
Chloropheceae sp4	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorophyceae sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Chlorophyceae sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Chlorophyceae sp3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Coccomonas</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	X	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-
<i>Coelastrum cruciatum</i> Schmid	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coelastrum</i> sp1	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coleochaete</i> sp1	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchner) Kuntze	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Desmodesmus armatus</i> (Chodat) Hegewald	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Desmodesmus bicaudatus</i> (Guglielmetti) Hegewald	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Desmodesmus brasiliensis</i> (Bohlin) E.Hegewald	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-
<i>Desmodesmus magnus</i> Meyen	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Desmodesmus maximus</i> (West & West) Hegewald	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Desmodesmus pseudodenticulatu</i> (Hegewald) Hegewald	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
<i>Desmodesmus quadricaudata</i> (Turpin) Hegewald	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X	-
<i>Desmodesmus</i> sp1	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-
<i>Desmodesmus</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Desmodesmus</i> sp3	-	X	-	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Desmodesmus</i> sp4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Desmodesmus spinosus</i> (Chodat) Hegewald	X	X	-	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	-	-	-	X
<i>Dictyosphaerium chlorelloides</i> (Nauman) Komárek & Perman	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Didymocystis bicellularis</i> (Chodat) Komárek	-	-	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Elakatothrix</i> sp1	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Eutetramorus globosus</i> Walton	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
<i>Eutetramorus</i> sp1	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eutetramorus</i> sp2	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X

<i>Gloeocystis</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Gloeocystis</i> sp2	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Gloeocystis</i> sp3	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Granulocystis cf helenae</i> Hindák	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Kirchneriella cf obesa</i> (West) West & West	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) K.Möbius	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák C	X	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Monoraphidium dybowskii</i> (Woloszynska) Hindák & Komárková-Legnerová	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	-	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X
<i>Monoraphidium irregulare</i> (G.M.Smith) Komárková-Legnerová	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-
<i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová	-	X	-	-	-	X	X	-	X	X	X	X	-	-	-	-
<i>Monoraphidium pseudobraunii</i> (Belcher & Swale) Heynig	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nephrocytium</i> sp1	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	-	-
<i>Oocystis</i> sp1	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X
<i>Oocystis</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-
<i>Oocystis</i> sp3	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Pedinomonas minutissima</i> Skuja	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudodidymocystis fina</i> (Komárek) Hegewald & Deason	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Pseudodidymocystis</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Rombocystis</i> sp1	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scenedesmaceae sp1	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus acutus f. alternans</i> Hortobágyi	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-	X
<i>Scenedesmus arcuatus</i> Lemmermann	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Scenedesmus arcuatus var. platydiscus</i> Smith	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus bicaudatus</i> (Hansgirg) Chodat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	X
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Lagerheim	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-

<i>Scenedesmus bijugus</i> var. <i>disciformis</i> (Chodat) Leite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus dimorphus</i> (Turpin) Kützing	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	X	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X
<i>Scenedesmus linearis</i> Komárek	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X
<i>Scenedesmus magnus</i> Meyen	-	-	-	-	X	X	X	-	-	X	-	X	-	-	-	X
<i>Scenedesmus obtusus</i> Meyen	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-	-	X	X	-
<i>Scenedesmus semipulcher</i> Hortobágyi	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus</i> sp1	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Scenedesmus</i> sp2	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus</i> sp3	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus</i> sp4	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Scenedesmus</i> sp5	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus</i> sp6	-	-	X	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus</i> sp7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Scenedesmus verrucosus</i> Roll	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Scenedesmus westii</i> (G.M.Smith) Chodat	-	-	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	X
<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansgirg	-	X	-	-	X	-	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-
<i>Tetraedron minutum</i> (A.Braun) Hansgirg	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Tetraedron triangulare</i> Korshikov	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	X	-	-	-	-
<i>Tetrastrum triangulare</i> (Chodat) Komárek	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-
<i>Ulothrix</i> cf. <i>tenerrima</i> Kützing	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Willea irregularis</i> (Wille) Schmidle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<b>Chrysophyceae</b>																
<i>Chromulina</i> cf. <i>minima</i> Doflein	X	-	X	X	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-
<i>Chromulina elegans</i> Doflein	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chromulina pygmaea</i> Nygaard	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-
<i>Chromulina</i> sp1	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X
<i>Chromulina</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	0
<i>Chromulina</i> sp3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Chromulina sphaerica</i> Bachmann	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chrysochromulina</i> sp1	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Chrysococcus</i> sp2	X	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-

<i>Chrysococcus</i> sp4	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Chrysococcus</i> sp5	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Chrysophyceae sp1	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chrysopyxis colligera</i> Scherffel	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chrysopyxis</i> sp1	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Crysophyceae sp2	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dinobryon sertularia</i> Eherenberg	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Lagynion ampullaceum</i> (Stokes) Pascher	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-	X	-	-	-	-	X
<i>Lagynion macrotrachelum</i> (Stokes) Pascher	X	-	-	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ochromonas</i> sp1	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ochromonas</i> sp2	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X
<i>Ochromonas</i> sp3	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cryptophyceae</b>																
<i>Cryptomonas brasiliensis</i> Castro, Bicudo & Bicudo	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	-	X	X	-	X	X	X	-	-	X	-	-	-	X	-	X
<i>Cryptomonas obovata</i> Czosnowski	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cryptomonas platyuris</i> Skuja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Cryptomonas</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
<i>Cryptomonas</i> sp2	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Cryptomonas tenuis</i> Pascher	X	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dinobryon divergens</i> (Lemmermann) Brunthaler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Dinobryon</i> sp1	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Protocryptomonas ellipsoidea</i> Skv. ex Castro, Bicudo & Bicudo	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-
<b>Cyanophyceae</b>																
<i>Aphanocapsa</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & West	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Aphanocapsa elachista</i> West & West	X	-	-	-	X	X	X	-	-	X	-	X	-	-	X	-
<i>Aphanocapsa kordesii</i> Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Aphanotece</i> sp1	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chroococcales sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-
Chroococcales sp2	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-

<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
<i>Coelomoron</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Coelosphaerium punctiferum</i> Komárek & Komárková-Legnerová	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-
Cyanophyceae sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-
Cyanophyceae sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Cyanophyceae sp3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Geitlerinema</i> sp1	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Geitlerinema unigranulatum</i> (Singh) Komárek & Azevedo	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-
<i>Leptolyngbia elongata</i> (Thomas & Gonzalves) Anagnostidis	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Leptolyngbya perelegans</i> (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Limnothrix</i> sp1	-	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Oscillatoria</i> sp1	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Phormidium</i> sp1	-	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X	-	X	X
<i>Pseudanabaena galeata</i> Böcher	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X
<i>Pseudanabaena</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Pseudanabaena</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Pseudanabaenaceae sp1	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Synechococcus nidulans</i> (Pringsheim) Komárek	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Dinophyceae</b>																
<i>Peridinium</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peridinium umbonatum</i> var. <i>umbonatum</i> Stein	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Euglenophyceae</b>																
<i>Euglena agilis</i> Carter	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-	X	X	X	-	X
<i>Euglena</i> sp1	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Euglenophyceae sp1	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Euglenophyceae sp2	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lepocinclis</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phacus pleuronectes</i> (Müller) Nitzsch ex Dujardin	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Phacus</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Phacus</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-

<i>Trachelomonas curta</i> Cunha	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Trachelomonas lacustris</i> Drezepolski	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Trachelomonas oblonga</i> Lemmermann	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Trachelomonas raciborskii</i> Woloszynska	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas</i> sp1	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Trachelomonas</i> sp3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
<i>Trachelomonas</i> sp4	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg	X	X	X	X	-	X	-	-	X	-	X	X	-	X	X	-
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Svirenko	X	X	-	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X
<b>Oedogoniophyceae</b>																
<i>Bulbochaete</i> sp1	-	-	X	-	-	X	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-
<i>Oedogonium</i> sp1	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oedogonium</i> sp2	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X
Oedogonophyceae sp1	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Xanthophyceae</b>																
<i>Ellipsoideum pachydermum</i> Scott & Prescott	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Characiopsis minima</i> (Braun) Borzi	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<b>Zygnemaphyceae</b>																
<i>Actinotaenium perminutum</i> (West) Teiling	-	-	X	X	X	-	X	-	-	X	X	-	X	X	X	X
<i>Actinotaenium wollei</i> (West & West) Teiling	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Closterium acutum</i> Brébisson in Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Closterium cynthia</i> De Notaris	-	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Closterium diana</i> e Ehrenberg ex Ralfs	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	X	-	X	X	X	X
<i>Closterium digitus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-
<i>Closterium jenneri</i> Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Closterium kuetzingii</i> Brébisson	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Closterium navicula</i> (Brébisson) Lütkemüller	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Closterium parvulum</i> Nägeli	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-
<i>Closterium setaceum</i> Ehrenberg ex Ralfs	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<i>Closterium</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Closterium toxon</i> West	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Closterium venus</i> Kützing ex Ralfs	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium bioculatum</i> Brébisson ex Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Cosmarium blyttii</i> Wille	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium botrytis</i> Meneghini ex Ralfs	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Cosmarium contractum</i> Kirchner	X	X	-	X	X	X	X	-	-	-	X	-	X	X	X	X
<i>Cosmarium majae</i> Strøm	-	-	-	X	X	-	X	-	-	X	X	-	X	X	X	X
<i>Cosmarium margaritatum</i> (Lundell) J.Roy & Bisset	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium minutum</i> Delponte	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium ocellatum</i> Eichler & Gutwinski	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Cosmarium pachydermum</i> Lundell	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium perminutum</i> West	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i> Nordstedt	X	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-	X	-
<i>Cosmarium pseudoexiguum</i> Raciborski	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X
<i>Cosmarium regnelli</i> Wille	-	X	X	-	X	-	-	-	X	X	X	-	-	-	X	X
<i>Cosmarium regnesii</i> Reinsch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-
<i>Cosmarium</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Cosmarium</i> sp3	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Cosmarium</i> sp5	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp6	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp8	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	-
<i>Cosmarium</i> sp9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp11	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	X
<i>Cosmarium sphagnicola</i> West & West	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X	X	X
<i>Cosmarium trilobulatum</i> Reinsch	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium undulatum</i> Corda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Desmidium aptogonum</i> Brébisson ex Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-

<i>Euastrum abruptum</i> Nordstedt	-	X	-	-	X	X	X	-	-	-	X	-	X	X	-	-
<i>Euastrum ansatum</i> Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Euastrum obesum</i> Joshua	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euastrum</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Euastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-
<i>Euastrum validum</i> var. <i>glabrum</i> Krieger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-
<i>Gonatozygon pilosum</i> Wolle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Haplotaenium minutum</i> (Ralfs) Bando	-	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Micrasterias pinnatifida</i> Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Mougeotia</i> sp 1	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X
<i>Mougeotia</i> sp 2	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Netrium digitus</i> (Brébisson ex Ralfs) Itzigsohn & Rothe	-	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	X	-
<i>Netrium</i> sp1	X	-	X	X	X	X	-	-	-	X	-	-	X	X	X	X
<i>Netrium</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Pleurotaenium simplicissimum</i> Grönblad	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-
<i>Spirogyra</i> sp1	-	-	X	-	X	X	X	-	X	X	-	-	-	X	X	-
<i>Staurastrum margaritaceum</i> (Ehrenberg) Ralfs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-
<i>Staurastrum quadrangulare</i> (Brébisson) Ralfs	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Staurastrum quadrangulare</i> var. <i>longispinum</i> Børgesen	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp1	X	-	-	-	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X
<i>Staurodesmus dejectus</i> (Brébisson) Croasdale	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Staurodesmus mamillatus</i> (Nordstedt) Teiling	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
<i>Staurodesmus triangularis</i> (Lagerheim) Teiling	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	X	X	-
<i>Staurodesmus</i> sp1	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-
Zygnemaphyceae sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Zygnemaphyceae sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Zygnemaphyceae sp3	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-