

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

KISAY LORENA ADAME MONTOYA

**Variação espaço-temporal de algas perifíticas em lagos da planície de
inundação do alto rio Paraná**

Maringá
2017

KISAY LORENA ADAME MONTOYA

**Variação espaço-temporal de algas perifíticas em lagos da planície de
inundação do alto rio Paraná**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Liliana Rodrigues

Maringá

2017

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

A197v

Adame Montoya, Kisay Lorena, 1990-

Varição espaço-temporal de algas perifíticas em lagos da planície de inundação do alto rio Paraná / Kisay Lorena Adame Montoya. -- Maringá, 2017.
64 f. : il. (algumas color.).

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--
Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2017.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Líliliana Rodrigues.

1. Algas perifíticas - Metacomunidades, Ecologia de - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 2. Algas perifíticas - Lagos conectados - Varição espaço-temporal - Planície de inundação - Alto rio Paraná. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -579.8178209816
NBR/CIP - 12899 AACR/2

KISAY LORENA ADAME MONTOYA

**Variação espaço-temporal de algas perifíticas em lagos da planície de
inundação do alto rio Paraná**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof.^a Dr.^a Liliana Rodrigues
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Pitágoras Augusto Piana
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Dr.^a Luzia Cleide Rodrigues
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 11 de julho de 2017.

Local de defesa: Anfiteatro Prof. “Keshiyu Nakatani”, Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

♥ *Dedico a minha família,
especialmente a minha
querida mãe “Marleny” pelo
carinho e apoio constante* ♥

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente,

- ✦ *A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Liliana Rodrigues por ter-me aceito e ensinado o maravilhoso mundo das algas perifíticas... Sou muito grata!*
- ✦ *A Bárbara Dunck pela amizade, orientação, apoio e ajuda constante. Ao pessoal do Laboratório de Perifíton, Andressa, Aparecida, Bárbara, Daiane, Érica, Helivania, Luciana, Maria Gabriela, Nicolli, Paulo e Ubirajara, obrigada pela ajuda, parceria e momentos de descontração!*
- ✦ *Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA); aos docentes que contribuíram com a minha formação acadêmica, especialmente a Luzia C. Rodrigues, Susicley Jati e Evalnilde Benedito pelo apoio, carinho e as palavras de ânimo...*
- ✦ *A Aldenir C. Oliveira, Jocemara C. dos Santos e Elizabete C. da Silva pela sua constante colaboração e carinho, e aos bibliotecários João F. Hildebrandt e Maria Saete Ribelatto Arita da Biblioteca Setorial do Nupélia pela boa disposição, afeto e sempre ter um sorriso para mim.*
- ✦ *Aos funcionários do Nupélia, especialmente a Valdir Aparecido da Silva (Tato) pela amizade, apoio e carinho “Tato você é um personagem, você é demais”.*
- ✦ *A Bia Trevizan (Biazona) pela sua colaboração e ajuda prestada neste trabalho. Aos colegas da turma de mestrado 2015, especialmente a Eliezer, Joyce e Patricia por estar sempre na torcida, pelo carinho e motivação.*
- ✦ *A Oscar E. Pelaéz pela amizade, apoio e colaboração na realização desta pesquisa, especialmente por ensinar-me e explicar-me as análises estatísticas! A Angela Gutierrez, Alejandra Vélez, Mirtha Angulo e Alfonso Pineda pela parceria colombiana...*
- ✦ *A minha querida amiga Alix Olaya pelo carinho, apoio e motivação desde a distância. A Leonardo Bastillas pela bonita amizade e cumplicidade! Vocês me ensinaram o verdadeiro significado da palavra amigo, e mais que amigos nós somos família...*

- ✦ *A minha amada família, meus pais Marleny e Orlando, meus irmãos Argenis e David, e minha querida sobrinha Valeria por serem meu motor e incentivo para seguir em frente, não desistir e acreditar que nossos sonhos podem se tornar realidade... Amo muito vocês!*
- ✦ *A CAPES pela concessão da bolsa e aos órgãos financiadores do Projeto científico “Alto Rio Paraná: Gradiente longitudinal de variáveis ambientais e comunidades aquáticas no último trecho livre de barramentos entre UHE de porto Primavera e Reservatório de Itaipu” (CNPq), pelo apoio técnico e logístico para a realização deste trabalho.*
- ✦ *Ala Organización de los Estados Americanos (OEA) e ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB), pela oportunidade que me deram de realizar meus estudos no Brasil.*

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

“Haz de tu vida un sueño, y de tu sueño una realidad”
Antoine de Saint-Exupéry

*“Sabemos lo que somos,
Pero aún no sabemos lo que podemos llegar a ser”*
William Shakespeare

Variação espaço-temporal de algas perifíticas em lagos da planície de inundação do alto rio Paraná

RESUMO

Este estudo avaliou a variação espaço-temporal das comunidades de algas perifíticas em ambientes lênticos da planície de inundação do alto rio Paraná. As algas são microorganismos sensíveis às mudanças ambientais, e a sua rápida resposta fornece uma ampla informação sobre o estado ecológico dos *habitats* em que se estabelecem. Demonstrou-se que a variação da estrutura destas comunidades foi influenciada principalmente pelas características ambientais e a dinâmica hidrológica do rio Paraná ao longo do tempo. Numa perspectiva de metacomunidades, as algas foram estruturadas principalmente pelo fator ambiental (*Species sorting*), e a sua variação na composição de espécies (diversidade beta) foi maior em períodos com aumento do nível hidrométrico do alto rio Paraná, associando-se com o aumento da dispersão de espécies entre os lagos. Entre as classes de algas perifíticas, Bacillariophyceae e Oedogoniophyceae foram predominantes, sendo *Achnantheidium minutissimum* (Kützinger) Czarnecki, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Gomphonema gracile* Ehrenberg, *Gomphonema lagenula* Kützinger, *Oedogonium* sp.1 e *Oedogonium* sp.3 as espécies mais abundantes. Avaliou-se a influência da variação sazonal do regime hídrico sobre a riqueza das comunidades de algas e demonstrou-se que a mudança do nível interferiu diretamente nas espécies de algas. Assim, a riqueza de espécies modificou-se com o aumento do nível de água e, conjuntamente, as variáveis limnológicas tiveram uma estreita relação com essa variação hídrica. As formas assimiláveis dos nutrientes (Nitrato e Fosfato), e a turbidez foram os fatores abióticos que tiveram maior significância na estruturação, organização e presença de espécies como *Gomphonema augur* var *sphaerophorum* (Ehrenberg) Grunow, e *Cymbella tropica* Krammer, *Gomphonema turris* (Bacillariophyceae), *Uronema gigas* Vischer (Chlorophyceae) e *Phormidium* sp1 (Cyanophyceae) nas comunidades algais. Assim, demonstrou-se que a dinâmica hídrica constitui papel importante, sendo um fator chave na estruturação e composição das comunidades perifíticas em planícies de inundação.

Palavras-chave: Metacomunidade. Diversidade beta. Regime hidrológico. Algas perifíticas. Variáveis limnológicas. Planície de inundação.

The spatial-temporal variation of periphytic algal communities in lentic environments of the upper paraná river floodplain

ABSTRACT

We aimed to evaluate the spatial-temporal variation of periphytic algal communities in lentic environments of the Upper Paraná River floodplain. Algae are microorganisms which are sensitive to environmental changes, and their rapid response provides a wide array of information on the ecological status of habitats in which they establish. We found that the variation in the structure of these communities was influenced mainly by the environmental characteristics and hydrological dynamics of the Paraná River over time. In a metacommunity perspective, algae were mainly influenced by the environmental factor (species sorting), and the variation in species composition (beta diversity) was higher during periods of higher water levels of the Upper Paraná River, associated with the increase in species dispersal among lakes. Among periphytic algal classes, Bacillariophyceae and Oedogoniophyceae dominated, with *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Gomphonema gracile* Ehrenberg, *Gomphonema lagenula* Kützing, *Oedogonium* sp1 and *Oedogonium* sp3 being the most abundant species. Therefore, we confirmed that the environmental factor was predominant in structuring the periphytic algal metacommunity. When evaluating the influence of the seasonal variation in the hydrological regime on the algal community, we found that the change in the water level directly influenced the algal species. Thus, species richness changed with the increase in the water level and concomitantly, the limnological variables were strongly related to this hydrological variation. The dissolved forms of nutrients (nitrate and orthophosphate) and turbidity were the abiotic factors which influenced mainly the structure, organization, and presence of species such as *Gomphonema augur* var *sphaerophorum* (Ehrenberg) Grunow, *Cymbella tropica* Krammer, *Gomphonema turris* (Bacillariophyceae), *Uronema gigas* Vischer (Chlorophyceae), and *Phormidium* sp.1 (Cyanophyceae) in algal communities. Therefore, we demonstrated that the hydrological dynamics constitute an important role and a key factor in structuring periphytic communities in floodplains.

Keywords: Metacommunity. Beta diversity. Hydrological regime. Periphytic algae. Limnological variables. Floodplain.

Dissertação elaborada e formatada conforme as
normas das publicações científicas

Hydrobiologia.

Disponível em: em:

<http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750?detailsPage=pltdci_911058> e

Acta Limnologica Brasiliensia.

Disponível em:

<<http://www.scielo.br/revistas/alb/pinstruc.htm>>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
	REFERÊNCIAS	14
2	METACOMUNIDADES DE ALGAS PERIFÍTICAS EM LAGOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO: DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL	17
	RESUMO	17
	ABSTRACT	18
	2.1 INTRODUÇÃO	18
	2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	21
	2.2.1 Área de estudo	21
	2.2.2 Variáveis limnológicas	22
	2.2.3 Comunidades de algas perifíticas	22
	2.2.4 Análise de dados	23
	2.3 RESULTADOS	25
	2.3.1 Regime hidrológico	25
	2.3.2 Variáveis limnológicas	25
	2.3.3 Comunidades de algas perifíticas	26
	2.4 DISCUSSÃO	31
	REFERÊNCIAS	36
3	COMUNIDADES DE ALGAS PERIFÍTICAS EM AMBIENTES LÊNTICOS DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ: VARIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL	43
	RESUMO	43
	ABSTRACT	44
	3.1 INTRODUÇÃO	44
	3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	46
	3.2.1 Área de estudo	46
	3.2.2 Variáveis limnológicas	48
	3.2.3 Amostragem das comunidades de algas perifíticas	48
	3.3 RESULTADOS	49
	3.3.1 Regime hidrológico	49
	3.3.2 Variáveis limnológicas	50
	3.3.3 Comunidades de algas perifíticas	52
	3.4 DISCUSSÃO	55
	REFERÊNCIAS	58
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64

1 INTRODUÇÃO GERAL

Uma grande parcela dos produtores primários aquáticos é constituída pelas algas perifíticas, as quais participam da mineralização e ciclagem de nutrientes e assumem uma posição-chave no fluxo de energia e na cadeia alimentar dos ecossistemas aquáticos (Rodrigues & Bicudo, 2001; Fonseca et al., 2005; Felisberto & Murakami, 2013; Rodrigues et al., 2013). Esta comunidade apresenta uma ampla distribuição e fácil propagação nos corpos de água, gerando um fluxo constante de indivíduos entre *habitats*, o que permite a recolonização de diversos substratos e ambientes, favorecendo a manutenção, distribuição e dinâmica dessas algas em diferentes escalas espaço-temporais (Alarte et al., 2014).

A estrutura da comunidade de algas perifíticas difere de acordo com os tipos de ambientes aquáticos. Em planícies de inundação, o regime hidrológico (pulso de inundação) é a principal força estruturadora das comunidades aquáticas (Junk et al., 1998; Thomaz et al., 2007; Wantzen et al., 2008), e os estudos com algas perifíticas nesses sistemas mostraram a importância preponderante dos pulsos de inundação como força controladora da estrutura e dinâmica desta comunidade (Rodrigues & Bicudo, 2001; Alarte et al., 2009; Rodrigues et al., 2013; Biolo et al., 2015). A planície de inundação do alto rio Paraná apresenta uma marcante variação temporal de fatores abióticos, que associados principalmente as mudanças do nível hidrométrico, influenciam o desenvolvimento das comunidades aquáticas (e.g. algas) e o funcionamento deste ecossistema (Junk et al., 1989; Thomaz et al., 2007).

A heterogeneidade e complexidade de *habitats* aquáticos, terrestres e transicionais nesta planície de inundação, como os ambientes lênticos, que são predominantes e com alta diversidade de comunidades aquáticas, torna estes ecossistemas favoráveis para o desenvolvimento de pesquisas ecológicas que abordem metacomunidades de algas perifíticas (Heino et al., 2015). Uma metacomunidade é definida como “um conjunto de comunidades locais que estão conectadas através da dispersão de múltiplas espécies que potencialmente interagem entre si” (Leibold et al., 2004). Assim, em planície de inundação é possível avaliar a relação das metacomunidades de algas perifíticas com as mudanças sazonais do regime hídrico do rio Paraná em diferentes escalas espaciais e temporais.

A teoria de metacomunidade integra a análise de padrões de distribuição, abundância e interação de espécies em diversas escalas espaço-temporais (Leibold et al., 2004; Holyoak et al., 2005; Heino et al., 2015), investigando que mecanismos subjacentes (e. g. dispersão, interações

bióticas e respostas as mudanças ambientais), determinam a estruturação, composição e dinâmica das comunidades, e da biodiversidade (Leibold et al., 2004; Logue et al., 2011). A sua dinâmica pode ser explicada por quatro paradigmas teóricos ou perspectivas, *Neutral model* (NM), *Species sorting* (SS), *Mass effects* (ME) e *Patch-dynamic* (PD), que sintetizam os diferentes mecanismos de estruturação das comunidades locais.

Na perspectiva *Neutral* a montagem da comunidade é estocástica e regulamentada por eventos aleatórios de dispersão, colonização, especiação e extinção, que operam entre espécies funcionalmente equivalentes (Hubbell, 2001). Na perspectiva SS, os diferentes habitats formam um gradiente de heterogeneidade ambiental, onde em taxas intermediárias de dispersão ocorre um controle ambiental baseado nas diferenças de nicho entre as espécies. Em ME, os possíveis efeitos das condições ambientais são superados pelas elevadas taxas de dispersão, de modo que espécies pouco adaptadas podem persistir em ambientes desfavoráveis devido a frequente pressão de propágulos.

A perspectiva de PD, assume que a limitação de dispersão explica os padrões estruturais da comunidade, sendo este um resultado da dinâmica de extinção e colonização entre habitats homogêneos. No entanto, autores como Winegardner et al. (2012), propõem que *Patch-dynamic* e *Mass effects* são casos especiais de *Species sorting*, com efeitos limitantes (PD), eficientes (SS) e altos (ME) de dispersão. Com esta visão, as perspectivas de metacomunidades tornam-se simplificadas, buscando avaliar a organização destas somente pelos efeitos ambientais e de dispersão, que são processos fundamentais que estruturam as metacomunidades (Heino et al., 2015).

Nessa perspectiva de metacomunidade, as algas perifíticas tem sido relacionada principalmente com os fatores ambientais (AlgarTE et al., 2014; Padial et al., 2014). Os estudos clássicos de algas perifíticas (Wetzel, 1983; Round et al., 1990; Biggs, 1996; Stevenson et al., 1999) indicaram que estas comunidades são influenciadas direta ou indiretamente pelas características ambientais, como temperatura, disponibilidade de nutrientes, intensidade de luz, velocidade de corrente, que interferem nos atributos estruturais da comunidade algal, respondendo de forma rápida as mudanças em função das condições do ambiente (Lobo et al., 2004; Schneck et al., 2008; Ferragut & Bicudo, 2010; Rodrigues et al., 2013; Dunck et al., 2015). O conhecimento da estrutura e dinâmica dessas comunidades é importante porque respondem de forma rápida às variações e mudanças da dinâmica hidrológica do rio Paraná, e também às intervenções antrópicas

(e. g. contaminação, construção de reservatórios e hidrelétricas). As ações antrópicas têm provocado mudanças longitudinais à montante e à jusante na planície e nos processos bióticos e abióticos deste sistema (Agostinho et al., 2004; Barreto et al., 2013), e as algas podem ser um sistema rico informativo sobre o estado ecológico desses *habitats* (Rodrigues & Bicudo, 2001; Algarte et al., 2009; Ferragut & Bicudo, 2009).

Portanto, de acordo com os pressupostos acima, e que os estudos e monitoramentos dos ambientes lênticos e das algas perifíticas na planície de inundação do alto rio Paraná podem auxiliar o entendimento e compreensão das possíveis alterações antrópicas e do nível fluviométrico promovidas pela construção de barragens em seu curso, esta dissertação foi estruturada em dois tópicos nos quais buscou-se:

- i) Analisar a variação espaço-temporal da estrutura e composição de metacomunidades de algas perifíticas (diversidade beta), e avaliar a importância relativa dos fatores ambientais, espaciais e temporais nestas metacomunidades;
- ii) Avaliar a influência da variação sazonal do regime hidrológico e, das variáveis limnológicas sobre a riqueza de espécies de algas perifíticas em ambientes lênticos na planície de inundação do alto rio Paraná.

REFERÊNCIAS

- Agostinho, A. A., S. M. Thomaz & L. C. Gomes, 2004. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *Ecohydrology and Hydrobiology* 4: 255-256.
- Algarte, V. M., L. Rodrigues, V. L. Landeiro, T. Siqueira & L. M. Bini, 2014. Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter? *Hydrobiologia* 722: 279–290.
- Algarte, V. M., N. S. Siqueira, E. A. Murakami & L. Rodrigues, 2009. Effects of hydrological regime and connectivity on the interannual variation in taxonomic similarity of periphytic algae. *Brazilian Journal of Biology* 69: 609-616.
- Barreto, L. V., F. M. Barros, P. Bonomo, F. A. Rocha & J. Amorim, 2013. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopédia Biosfera* 9(16): 2165-2179.

- Biggs, B. J. F., 1996. Patterns in benthic algal of streams. In *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. In Stevenson, R. J., M. L. Bothwell & R. L. Lowe (eds), Academic Press, San Diego: 31-56.
- Biolo, S., V. M. Algarte & L. Rodrigues, 2015. Composition and taxonomic similarity of the periphytic algal community in different natural substrates in a neotropical floodplain, Brazil. *African Journal of Plant Science* 9: 17-22.
- Dunck, B., E. Lima-Fernandes, F. Cássio, A. Cunha, L. Rodrigues & C. Pascoal, 2015. Responses of primary production, leaf litter decomposition and associated communities to stream eutrophication. *Environmental Pollution* 202: 32–40.
- Felisberto, S. A. & E. A. Murakami, 2013. Papel do Perifíton na Ciclagem de Nutrientes e na Teia Trófica. In Schwarzbald, A., A. L. Burliga & L. C. Torgan (Orgs), *Ecologia do Perifíton*. Sao Carlos, RiMA: 147-156.
- Ferragut, C. & D. C. Bicudo, 2010. Periphytic algal community adaptive strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. *Hydrobiologia* 646: 295-309.
- Ferragut, C. & D. C. Bicudo, 2009. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade Perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). *Revista Brasileira de Botânica* 32(3): 571-585.
- Fonseca, I. A. & L. Rodrigues, 2005. Comunidade de algas perifíticas em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Scientiarum* 27(1): 21-28.
- Heino, J., A. S. Melo, S. Tadeu, J. Soininen, S. Valanko & L. M. Bini, 2015. Metacommunity organisation, spatial extent and dispersal in aquatic systems: patterns, processes and prospects. *Freshwater Biology* 60: 845-869.
- Holyoak, M., M. A. Leibold, N. M. Mouquet, R. D. Holt & M. F. Hoopes, 2005. Metacommunities: A Framework for Large-Scale Community Ecology. In Holyoak, M., M. A. Leibold & R. D. Holt (Eds.), *Metacommunities: Spatial Dynamics and Ecological Communities*. The University of Chicago Press: 1-32.
- Hubbell, S. P., 2001. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Junk, W., P. Bayley & R. Sparks, 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 106: 110-127.
- Leibold, M. A., M. Holyoak, N. Mouquet, P. Amarasekare, J. M. Chase, M. F. Hoopes, R. D. Holt, J. B. Shurin, R. Law, D. Tilman, M. Loreau & A. Gonzalez, 2004. The metacommunity concept: A framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7: 601-613.

- Lobo, E. A., V. L. M. Callegaro, G. Hermany, D. Bes, C. A. Wetzel & M. A. Oliveira, 2004. Use of epilithic diatoms as bioindicators, with special emphasis to the eutrophication problem of lotic systems in Southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 16(1):25-40.
- Logue, J. B., N. Mouquet, H. Peter & H. Hillebrand, 2011. Empirical approaches to metacommunities: a review and comparison with theory. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 482–491.
- Padial, A. A., F. Ceschin, S. A. J. Declerck, L. De Meester, C. C. Bonecker, F. A. Lansac-Tôha, L. Rodrigues, L. C. Rodrigues, S. Train, L. F. M. Velho & L. M. Bini, 2014. Dispersal Ability Determines the Role of Environmental, Spatial and Temporal Drivers of Metacommunity Structure. *PLoS ONE* 9(10): e111227.
- Rodrigues, L., V. M. Algarte, N. S. Siqueira & E. M. N. Machado, 2013. Fatores envolvidos na distribuição e abundância do perifíton e principais padrões encontrados em ambientes da planície de inundação. In Schwarzbald, A., A. L. Burliga & L. C. Torgan (Orgs), *Ecologia do Perifíton*. Sao Carlos, RiMA: 131-145.
- Rodrigues, L. & D. C. Bicudo, 2001. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 24(3): 235-248.
- Round, F. E., R. M. Crawford & D. G. Mann, 1990. *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Schneck, F., L. C. Torgan & A. Schwarzbald, 2008. Diatomáceas epiléticas em riacho de altitude no sul do Brasil. *Rodriguésia* 59: 325-338.
- Stevenson, R. J., C. G. Peterson, D. B. Kirschel, C. C. King & N. C. Tuchman, 1999. Density-dependent growth, ecological strategies, effects of nutrients and shading on benthic diatom succession in streams. *Journal of Phycology* 27: 59-69.
- Thomaz, S. M., L. M. Bini & R. L. Bozelli, 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579: 1-13.
- Wantzen, K. M., W. J. Junk & K. O. Rothhaupt, 2008. An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. *Hydrobiologia* 613: 151–170.
- Wetzel, R. G., 1983. *Periphyton of freshwater ecosystem*. Dr. W. Junk Publisher. The Hague: 346.
- Winegardner A. K., B. K. Jones, I. S. Ng, T. Siqueira & K. Cottenie, 2012. The terminology of metacommunity ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 27: 253–254.

2 METACOMUNIDADES DE ALGAS PERIFÍTICAS EM LAGOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO: DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL

RESUMO

A importância relativa dos fatores estruturadores das comunidades ecológicas são *proxies* para o entendimento, manejo e conservação dos ecossistemas. Padrões de diversidade beta e seus componentes *turnover* e aninhamento, contribuem conjuntamente ao entendimento dos processos que influenciam a estruturação e composição das metacomunidades. Nós objetivamos analisar a variação espaço-temporal da estrutura e composição de metacomunidades de algas perifíticas (diversidade beta) e avaliar a importância relativa dos fatores ambientais, espaciais e temporais nestas metacomunidades. Foram amostrados trimestralmente quatro lagos da planície de inundação do alto rio Paraná durante um ano. A variação na estrutura e composição da metacomunidades de algas foi atribuída principalmente ao controle ambiental (*species sorting*). A diversidade beta apresentou uma alta variação ao longo do tempo e essa dissimilaridade da composição de espécies foi maior em períodos com maior nível de água. *Turnover* foi o componente mais importante na diversidade beta, indicando um aumento das taxas de substituição e dispersão das algas perifíticas entre os lagos ambientalmente heterogêneos. Estes resultados corroboraram que o fator ambiental é preponderante na estruturação das metacomunidades de algas perifíticas em planícies de inundação.

Palavras-chave: Diversidade beta; heterogeneidade ambiental; Perifiton; *turnover*; regime hidrológico.

ABSTRACT

The relative importance of factors structuring ecological communities are proxies for the understanding, management and conservation of ecosystems. Patterns of beta diversity and *turnover* and nestedness components, contribute together to understand the processes influencing the structuring and composition of metacommunities. We aimed to analyze the spatial-temporal variation of the structure and composition of periphytic algal metacommunities (beta diversity) and to evaluate the relative importance of environmental, spatial and temporal factors in these metacommunities. Four lakes were sampled quarterly in the Upper Paraná River floodplain for one year. The variation in the structure and composition of the algal metacommunities was attributed mainly to the environmental control (*species sorting*). Beta diversity showed a high variation over time, this dissimilarity of species composition was higher during periods of higher water level. *Turnover* was the most important component in beta diversity, indicating an increase in the substitution and dispersal of the periphytic algae among environmentally heterogeneous lakes. These results confirm that the environmental factor is preponderant in the structuring of the periphytic algal metacommunities in floodplains.

Keywords: Beta diversity; environmental heterogeneity; Periphyton; *turnover*; hydrological regime.

2.1 INTRODUÇÃO

As comunidades ecológicas são determinadas por processos que atuam em múltiplas escalas espaço-temporais. Compreender os mecanismos que estruturam a diversidade biológica através do tempo e espaço é um dos principais objetivos da ecologia (Baharam et al., 2013; Heino et al., 2015; Lansac-Tôha et al., 2016). Assim, os processos espaciais e temporais junto com fatores abióticos, interações bióticas e processos de dispersão influenciam a estruturação e composição das comunidades ecológicas (Leibold et al., 2004; Logue et al., 2011; Heino et al., 2015). A importância relativa destes fatores e processos subjacentes tem sido um grande desafio para o entendimento do funcionamento, manejo e conservação dos ecossistemas e da biodiversidade (Legendre et al., 2005; Logue et al., 2011; Dray et al., 2012; Heino et al., 2015).

A teoria de Metacomunidades é amplamente abordada no estudo de padrões de biodiversidade em diferentes escalas espaço-temporais (Chase et al., 2005; Logue et al., 2011; Grönroos et al., 2013; Heino et al., 2015, 2017), sendo entendida como “um conjunto de

comunidades locais que estão conectadas através da dispersão de múltiplas espécies que potencialmente interagem entre si” (Leibold et al., 2004). Esta teoria apresenta principalmente dois modelos simplificados que descrevem os processos que determinam a estrutura das metacomunidades. Esses modelos são o *Neutral model* (NM) e *Species sorting* (SS). *Neutral model* assume que as espécies não diferem no seu fitness e nos seus nichos. Portanto, as comunidades são influenciadas por processos estocásticos de especiação e extinção (Hubbell, 2001). Dentro do modelo de *Species sorting* podem ser consideradas três perspectivas, baseadas principalmente no grau de dispersão entre locais: dispersão limitada (*Path Dynamics*), dispersão eficiente (SS) ou dispersão alta (*Mass Effects*) (Winegardner et al., 2012).

Dentro de uma metacomunidade, a composição de espécies pode variar principalmente pelas diferenças das condições ambientais entre *habitats* (heterogeneidade ambiental), pelo aumento da distância espacial entre locais ou por uma interação de ambos fatores (Nekola & White, 1999; Soininen et al., 2007; Astorga et al., 2012; Heino & Tolonen, 2017). Assim, a diversidade pode ser decomposta em componentes de diversidade local (alfa) e de variação entre locais (diversidade beta) (Whittaker, 1960). A diversidade β é definida como a dissimilaridade na composição de espécies (Gianuca et al., 2017) e descreve a variação das comunidades entre locais ou períodos de tempo (Whittaker, 1960; Melo et al., 2011; Rolls et al., 2016; Heino & Tolonen, 2017).

A variabilidade ou dissimilaridade na composição de espécies entre comunidades pode ser o resultado de dois padrões diferentes que são a substituição espacial de espécies (*turnover*) e o aninhamento das comunidades (*nestedness*). A substituição de espécies é um padrão apresentado por comunidades em que o processo de perda ou ganho de espécies é consequência da seleção ambiental ou pelas restrições históricas e espaciais (Qian et al., 2005), e o aninhamento se apresenta quando as comunidades que apresentam baixos valores de riqueza de espécies são um subconjunto das áreas mais ricas em espécies com respeito à composição específica (Baselga, 2010; Legendre, 2014).

A heterogeneidade e complexidade de condições que apresentam os ecossistemas aquáticos como as planícies de inundação os tornam favoráveis para o desenvolvimento de pesquisas ecológicas que abordam estudos de metacomunidades (Heino et al., 2015; Vilmi et al., 2017). Em ambientes lênticos, como os da planície de inundação do alto rio Paraná, desenvolvem-se diferentes

comunidades aquáticas, como o perifiton, que participa de etapas fundamentais como produção, consumo e decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (Rodrigues & Bicudo, 2001; Algarte et al., 2009; Ferragut & Bicudo, 2010; Biolo & Rodrigues, 2013; Felisberto & Murakami, 2013).

As algas perifíticas se propagam facilmente e colonizam diversos substratos submersos através de movimentos na coluna de água ou aqueles gerados pelas alterações sazonais do regime hidrológico do rio Paraná (Algarte et al., 2009; Ferragut & Bicudo, 2009; Rodrigues et al., 2013). Assim, as algas, numa perspectiva de metacomunidade, podem apresentar diferentes tipos de dinâmicas espaciais e temporais, que refletem mudanças na organização das comunidades (Chase et al., 2005). A compreensão destes mecanismos que atuam em diferentes escalas espaço-temporais pode apontar resultados sobre como estes organismos respondem às mudanças ecossistêmicas, que influenciam e alteram a ocorrência dos processos locais e regionais (e.g. dispersão) importantes para a estruturação e composição das comunidades (De Boer et al., 2014).

Portanto, com o intuito de investigar a metacomunidade de algas perifíticas em ambiente lânticos da planície de inundação do alto rio Paraná, este trabalho objetivou: I) analisar a variação espaço-temporal da estrutura e composição das comunidades de algas perifíticas em lagos da planície de inundação do alto rio Paraná, II) avaliar a variação da composição de espécies (diversidade β) na metacomunidade das algas perifíticas em escala temporal e, III) estimar a importância relativa dos fatores ambientais, espaciais e temporais na estruturação da metacomunidade de algas perifíticas nos ambientes lânticos da planície de inundação.

Testou-se as seguintes hipóteses: i) a diversidade beta será maior nos períodos com baixo nível de água, sendo influenciada principalmente pelas condições ambientais (sazonalidade). Espera-se que isso ocorra porque neste período as condições limnológicas locais são mais heterogêneas com relação aos períodos com aumento do nível de água. Assim, a composição de espécies locais responderá aos fatores ambientais locais (filtro ambiental); ii) a metacomunidade de algas perifíticas nos lagos estudados será principalmente estruturada pelo fator ambiental relacionado com as variáveis limnológicas locais.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na planície de inundação do alto rio Paraná, no trecho localizado entre os Estados do Mato Grosso do Sul e Paraná. Este trecho constitui o último livre de barragens no território brasileiro (Agostinho et al., 2004). Neste, encontram-se inseridas várias unidades naturais como o Parque Nacional de Ilha Grande que é uma importante área de preservação e conservação da grande diversidade de espécies aquáticas presentes neste ecossistema.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram selecionados quatro ambientes lânticos que se encontram conectados ao rio Paraná (Figura 1), apresentando diversos estandes de macrófitas aquáticas com espécies como a *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth, a qual foi usada como substrato para a obtenção das comunidades de algas perifíticas. As coletas foram realizadas trimestralmente (entre maio de 2014 e maio de 2015) na região litorânea destes ambientes.

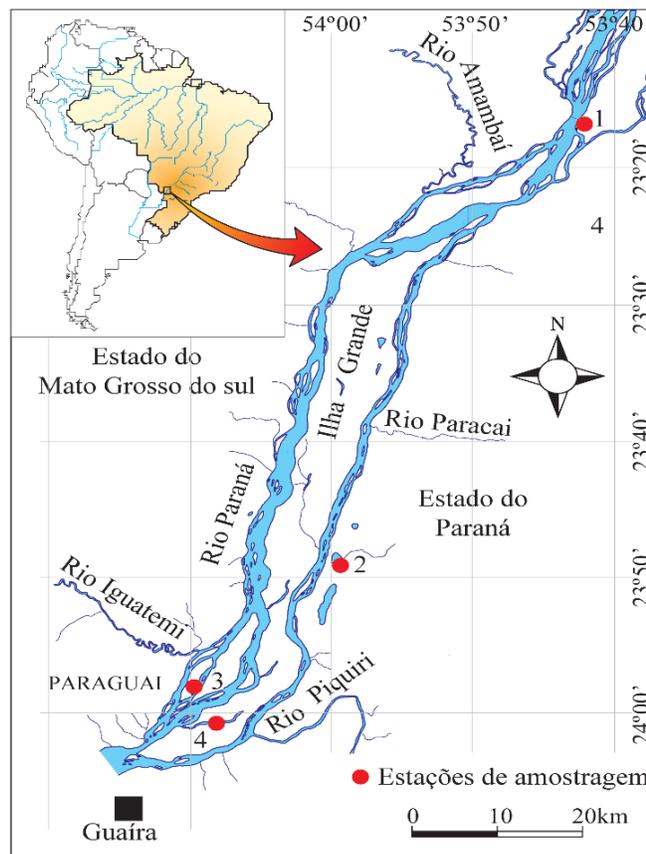


Figura 1. Localização dos pontos de amostragens. Lagos da planície de inundação do alto rio Paraná: 1. Lago Ivaí, 2. Lago São João, 3. Lago Pavão e 4. Lago Saraiva.

2.2.2 Variáveis limnológicas

Foram amostradas em campo a temperatura da água (°C) (termistor digital), oxigênio dissolvido (% de saturação e mg.l-1) (oxímetro digital), pH (pH-metro), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (condutivímetro), transparência (m) (disco de Secchi), turbidez (NTU) (turbidímetro), alcalinidade ($\mu\text{Eq.l-1}$) (Wetzel & Likens, 1991). E no laboratório foram determinadas variáveis como nitrogênio amoniacal, ortofosfato, nitrogênio e fósforo total ($\mu\text{g.l-1}$) (Mackareth et al., 1978). Para análise da fração dissolvida dos nutrientes e determinação de material em suspensão, as amostras foram filtradas em filtros Whatman GF/F, sob-baixa pressão (<0,5 atm) e mantidas resfriadas a baixa temperatura para posterior determinação em laboratório.

Os dados do nível hidrométrico do rio Paraná foram obtidos pela estação fluviométrica Base Porto Rico e os valores correspondentes as variáveis limnológicas foram cedidos pelo Laboratório de Limnologia Básica do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura- Nupélia, da Universidade Estadual de Maringá.

2.2.3 Comunidades de algas perifíticas

O material perifítico foi obtido através de raspagem de pecíolos em estágio de maturidade da macrófita aquática *E. azurea* (Sw.) Kunth (Schwarzbald, 1990). Os pecíolos (n=2), foram condicionados em frascos de Wheaton de 150 ml e mantidos no gelo até a remoção do material perifítico com ajuda de lâmina de aço inoxidável envoltas em papel alumínio e jatos de água destilada. O material removido foi fixado e preservado com solução de Lugol acético a 5% (Bicudo & Menezes, 2006).

As análises qualitativas das algas perifíticas foram realizadas por meio da preparação de lâminas temporárias, observadas em microscópio óptico binocular com oculares milimétricos e câmara clara acoplada, usando os aumentos de 400x e 1000x. (Bicudo & Menezes, 2006). As identificações foram feitas até o menor nível de identificação possível, utilizando chaves taxonômicas e literatura especializada. O sistema de classificação utilizado foi Komárek & Anagnostidis (1989), Anagnostidis & Komárek (1988) para as Cyanophyceae, e Round (1990) para as demais classes (Bicudo & Menezes, 2006).

A estimativa da densidade dos táxons foi realizada em microscópio invertido e câmara de sedimentação, segundo o método de Utermöhl (1958). As amostras observadas se delimitaram mediante transectos horizontais e verticais até atingir no mínimo de 100 indivíduos do táxon

predominante e a estabilização da curva de espécies (Bicudo, 1990). A densidade das comunidades de algas perifíticas foi calculada mediante a equação proposta por Ros (1979), adaptada para a área do substrato. Os resultados foram expressos por unidade de área (Ind/cm^2), sendo usados para a criação de uma matriz de densidade total (quatro lagos * cinco períodos amostrados).

2.2.4 Análise de dados

Foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA, Legendre & Legendre, 1998), para sumarizar a influência das características limnológicas entre os ambientes lênticos. Os dados foram previamente transformados com $\log(x+1)$, com exceção do pH. Nesta análise foram incluídos também os valores dos níveis hidrométricos, sendo utilizados os valores médios de dez dias antecedentes à amostragem. A seleção dos eixos para a interpretação dos resultados seguiu o critério de Broken Stick (Jackson, 1993).

Para avaliar a dissimilaridade das comunidades (diversidade beta) foi utilizada uma matriz de presença-ausência, derivada da matriz de densidade. O índice de Sørensen (Baselga, 2010), foi usado para calcular a dissimilaridade par a par na composição de espécies entre todos os pontos de amostragem ao longo do tempo. A partição da diversidade β (dissimilaridade total) nos dois componentes resultantes *turnover* (β_{sim}) e aninhamento (β_{nes}) foram calculados segundo o método proposto por Baselga (2010). Neste método, o *turnover* é obtido pelo índice de dissimilaridade de Simpson, enquanto o aninhamento é o resultado da diferença entre β_{sor} e β_{sim} . Foi usado o teste *t* pareado para testar a diferença entre o *turnover* e aninhamento em cada mês de amostragem. As diferenças na diversidade beta total (β_{sor}) entre os meses de amostragem foram testadas por análise de variância (ANOVA unifatorial) com teste LSD post hoc. Para esta análise os pressupostos foram testados.

Para analisar o padrão de variação espaço-temporal da abundância das comunidades de algas perifíticas foi feita uma análise de coordenadas principais (PCoA), usando a matriz de densidade previamente submetida a transformação de Hellinger e o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis. Para inspeção gráfica da variação espaço-temporal das comunidades junto com as variáveis ambientais foram utilizados os escores dos dois primeiros eixos da PCA (variabilidade ambiental) e somente o eixo 1 da PCoA.

A análise de redundância parcial (pRDA, Legendre & Legendre, 1998) foi utilizada para estimar a influência relativa dos fatores ambientais, espaciais e temporais sobre a metacomunidade

de algas perifíticas. Para esta análise a densidade foi utilizada como variável de resposta, previamente submetida a transformação de Hellinger (Legendre & Gallagher, 2001). A matriz ambiental foi criada a partir das variáveis limnológicas previamente transformadas com $\log(x+1)$ com exceção do pH. Esta matriz foi composta pelas variáveis (Alcalinidade, Turbidez, pH e Nitrato-NO₃) que foram selecionadas através do método “forwardselection” proposto por Blanchet et al. (2008).

A matriz espacial foi gerada através do método de modelagem de mapas de vetores assimétricos (Asymmetric Eigenvector Maps-AEM, Blanchet et al., 2008), utilizando-se as coordenadas geográficas dos lagos, a direção do curso da água do Rio Paraná, e o diagrama de ligação. Foram selecionados somente os autovetores (filtros espaciais) com coeficiente de autocorrelação I de Moran positivos e significativos ($p < 0,05$), assumindo-se que estes indicam (proxies), para processos de dispersão ou variáveis ambientais não mensuradas e estruturadas espacialmente. As variáveis AEMs foram selecionadas usando o método “forward selection” proposto por Blanchet et al. (2008), com a função “ordistep” do pacote “vegan” no programa R (Blanchet et al., 2008). Para a criação da matriz temporal também foi usado o método AEM (Legendre & Gauthier, 2014). A matriz temporal inicial foi composta pela diferença entre meses de amostragem.

Assim, com as matrizes explanatórias (ambiental, espacial e temporal), a pRDA permitiu a decomposição da variação total em oito frações que indicam a importância relativa dos fatores ambiental (E), espacial (S) e temporal (T), e as interseções destas: componente formado pela associação entre variáveis espaciais e ambientais (SE), componente formado pela associação entre variáveis temporais e ambientais (TE), componente formado pela combinação de variáveis espaço-temporais (ST), componente de combinação espaço-temporais e ambientais (STE) e pelo componente inexplicável (U) (Anderson & Gribble, 1998). Os resultados da partição de variância foram baseados nas frações ajustadas (Peres-Neto et al., 2006). A significância das frações E, S e T foram testadas usando 999 permutações aleatórias.

Todas as análises foram feitas por meio do programa R (R Development Core Team, 2014), fazendo uso dos pacotes “ade4” (Dray et al., 2007), “betapart” (Baselga & Orme, 2012), “packfor” (Dray et al., 2011) e “vegan” (Oksanen et al., 2013). Os gráficos foram realizados com auxílio do programa Statistica 7.1 (Statsoft Inc., 2005).

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Regime hidrológico

A variação do regime hidrológico do rio Paraná esteve caracterizada pela ocorrência de pequenos pulsos com aumentos do nível com valores abaixo do nível de transborde (4,5m) (Figura 2). Foram registrados aumentos dos níveis de água do rio Paraná desde novembro até abril de 2015, com valores entre 2,5 m e 3,0 m, e foram considerados como períodos de águas altas. Nos períodos de amostragem, maio (1,78 m) e agosto (1,7 m) de 2014 tiveram os menores valores do nível, seguido por maio de 2015, com aproximadamente 1,85 m. Agosto foi considerado como o período de águas baixas, e tanto maio de 2014 quanto maio de 2015 como períodos de transição (Figura 2).

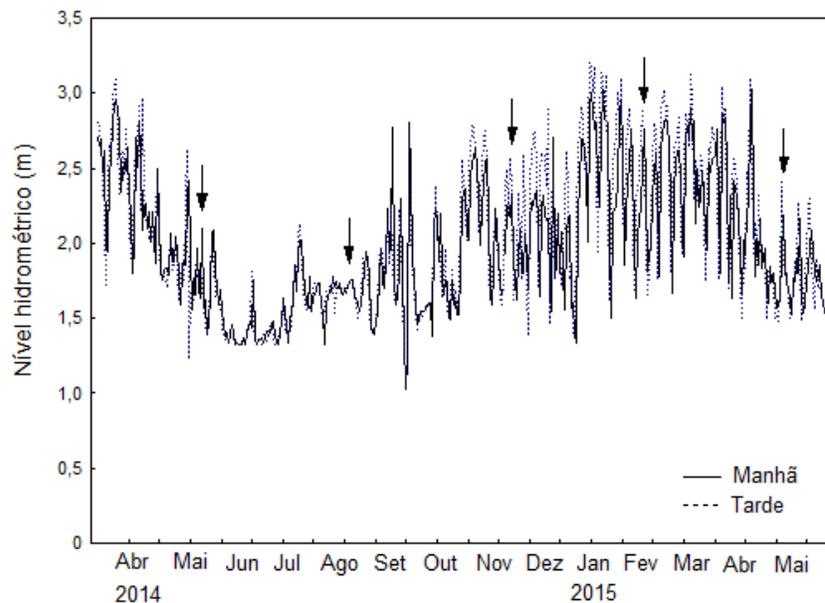


Figura 2. Variação diária dos níveis hidrométricos diários do rio Paraná no período de estudo (maio/2014 a maio/2015). As setas indicam os dias da amostragem da comunidade de algas perifíticas (08-09-11/05/2014, 06-07-08/08/2014, 04-05-08/11/2014, 03-04-08/02/2015 e 06-07-10/05/2015).

2.3.2 Variáveis limnológicas

A principal variabilidade nas variáveis limnológicas ocorreram em escala espacial, diferenciando principalmente o Lago Pavao (L.P), que apresentou elevados valores de condutividade eléctrica ($r=-0,82$) e alcalinidade ($r=-0,72$) dos lagos Saraiva (L.S) e São Joao

(L.SJ), caracterizados por apresentar elevadas concentrações de oxigênio dissolvido ($r=0,84$) e turbidez ($r=0,53$), o componente principal 1 (CP1) explicou o 29% da variabilidade dos dados (figura 3). O componente principal 2 (PC2, 22,8 %), mostrou a variabilidade das variáveis limnológicas na escala temporal, diferenciando principalmente o período de fevereiro de 2015, que apresentou altos valores do nível hidrométrico ($r=-0,74$), temperatura da água ($r=-0,50$) e pH ($r=-0,49$) dos outros períodos, especialmente agosto, caracterizado por apresentar altas concentrações de nitrato ($r=0,68$) e fosfato ($r=0,65$).

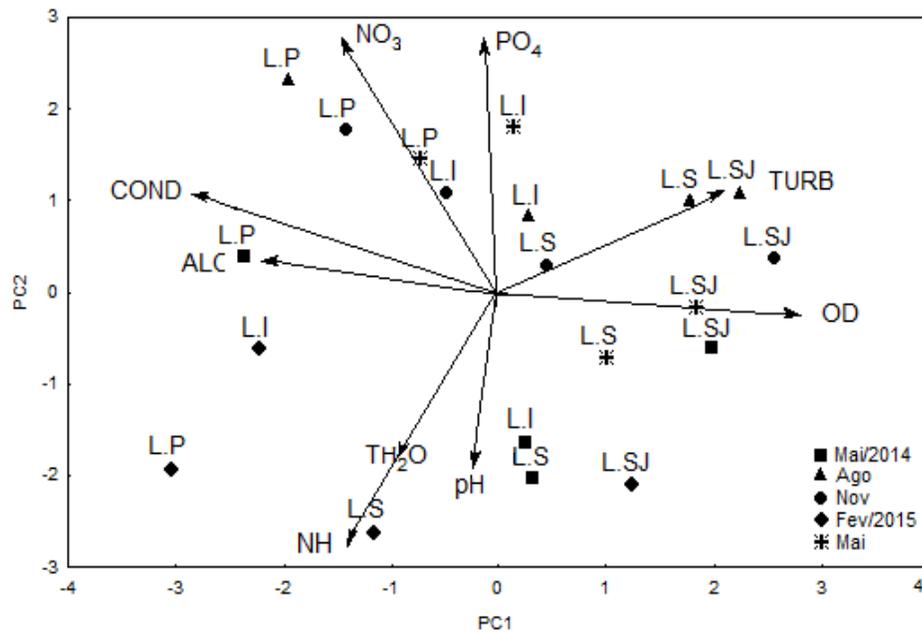


Figura 3. Representação da análise de componentes principais (PCA). Lago Ivaí (L.I), Lago São João (L.SJ), Lago Pavão (L.P) e Lago Saraiva (L.S). Temperatura da água (TH₂O), Oxigênio dissolvido (OD), pH, Condutividade (COND), Alcalinidade (ALC), Turbidez (TURB), Nitrato (NO₃) e Fosfato (PO₄).

2.3.3 Comunidades de algas perifíticas

A composição das algas perifíticas nos ambientes esteve representada por um total de 181 táxons, pertencentes a nove classes (51 Bacillariophyceae, 42 Chlorophyceae, 36 Zygnemaphyceae, 17 Cyanophyceae, 16 Euglenophyceae, 10 Xanthophyceae, 7 Oedogoniophyceae, 1 Chlamydoephyceae e 1 Chrysophyceae). A riqueza de espécies mostrou que a classe Bacillariophyceae foi a mais representativa, seguida por Chlorophyceae e

Zygnemaphyceae (Figura 4). Temporalmente, os períodos que apresentaram maior riqueza de espécies foram maio (144) e fevereiro (131) de 2015.

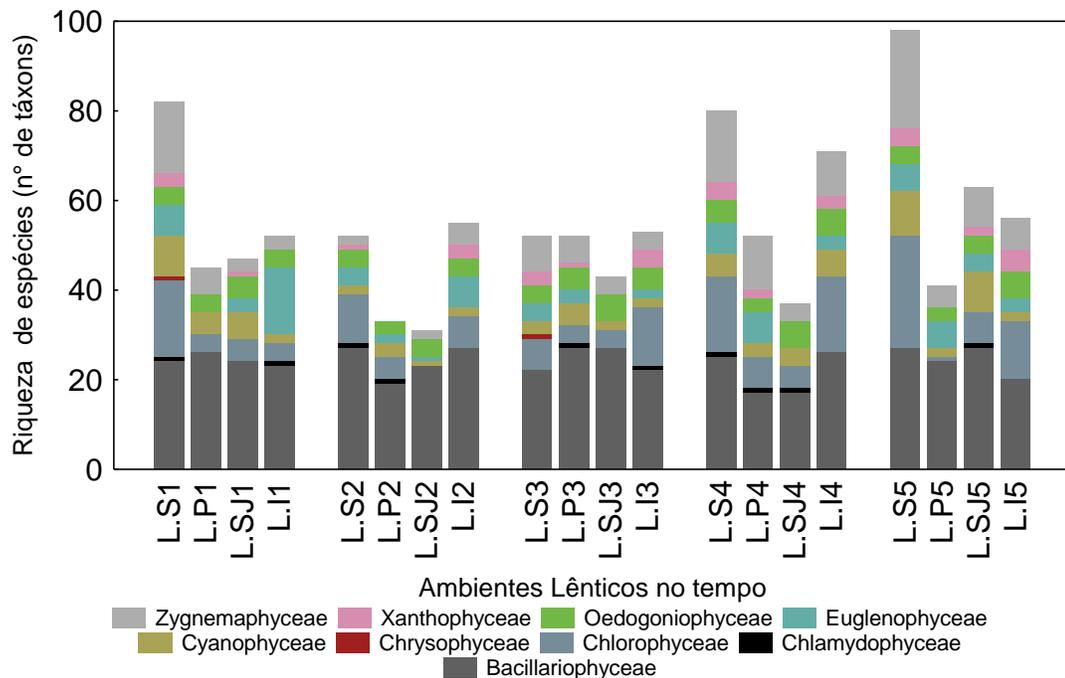


Figura 4. Variação espaço-temporal da riqueza de espécies de algas perifíticas por classes nos pontos de amostragens na planície de inundação do alto rio Paraná. Lago Saraiva (L.S), Lago Pavão (L.P), Lago São João (L.SJ) e Lago Ivaí (L.I). Os números representam os períodos amostrais entre os anos 2014 e 2015. 1) Maio/2014, 2) Agosto, 3) Novembro, 4) Fevereiro/2015 e 5) Maio/2015.

A densidade das algas perifíticas nos ambientes lânticos estudados ao longo do tempo esteve representada por um total de $1209 \cdot 10^3 \text{ind.cm}^{-2}$, sendo 83,1% pertencente a classe Bacillariophyceae, 6,3% Oedogoniophyceae, 4,5% Cyanophyceae, 2,3% Chlorophyceae, 1,7% Zygnemaphyceae, 1,4% Euglenophyceae, 0,5% Xanthophyceae, 0,08% Chlamydomphyceae e Chrysophyceae com 0,002% (Figura 5a). Bacillariophyceae foi a classe mais representativa na maioria dos ambientes lânticos, com exceção do Lago Pavão em fevereiro, que apresentou somente 22,5% do total de indivíduos. Zygnemaphyceae foi a classe que predominou neste ambiente (Figura 5a).

Temporalmente, a densidade foi maior no período de águas baixas, principalmente em agosto ($84 \cdot 10^3 \text{ind.cm}^{-2}$) e maio ($72 \cdot 10^3 \text{ind.cm}^{-2}$) de 2014. Fevereiro de 2015 foi o mês que apresentou a menor densidade (Figura 5b). O Lago Pavão mostrou os maiores valores de densidade de algas perifíticas ao longo do tempo, destacando-se no período de águas baixas.

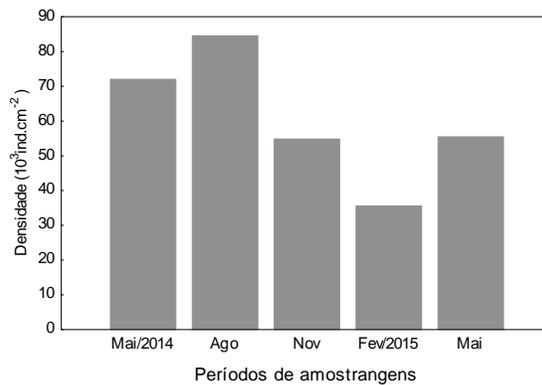
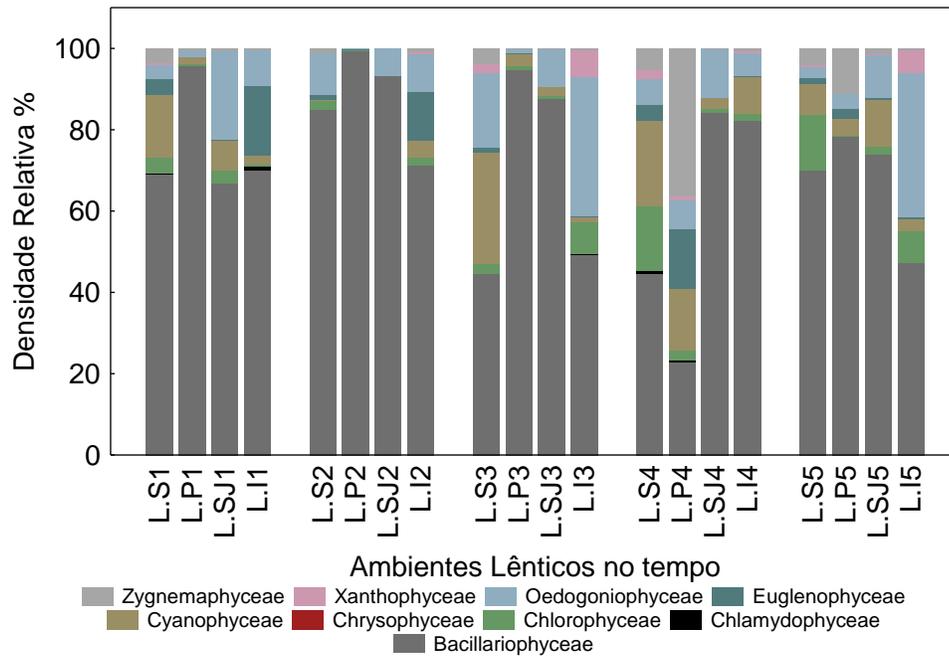


Figura 5. Variação espaço-temporal da densidade relativa (%) de algas perifíticas por: a) classes e b) períodos de amostragens, na planície de inundação do alto rio Paraná. Lago Saraiva (L.S), Lago Pavão (L.P), Lago São João (L.SJ) e Lago Ivaí (L.I). Os números representam os períodos amostrais entre os anos 2014 e 2015. 1) Maio/2014, 2) Agosto, 3) Novembro, 4) Fevereiro/2015 e 5) Maio/2015.

A diversidade beta (β_{sor}) variou entre 0,44 a 0,55 (maio = $0,50 \pm 0,04$; agosto = $0,44 \pm 0,07$ e novembro = $0,45 \pm 0,08$ de 2014; fevereiro = $0,55 \pm 0,06$ e maio = $0,53 \pm 0,06$ de 2015), sendo maior no período de fevereiro de 2015 (ANOVA $F_{[4,25]}=3,20$, $P < 0,03$). Quanto a seus componentes, o *turnover* foi significativamente superior ao aninhamento (maio $t = 4,65$, $p = 0,005$;

agosto $t = 3,05$, $p = 0,02$; e novembro $t = 7,70$, $p = 0,0005$ de 2014; fevereiro $t = 4,93$, $p = 0,004$ e maio $t = 5,88$, $p = 0,002$ de 2015).

A ordenação da PCoA explicou 41,4% da variação dos dados (eixo 1 = 23,2%; eixo 2 = 18,2%). A distribuição espaço-temporal dos escores dos eixos 1 e 2 da PCA junto com a análise de coordenadas principais (PCoA), resultou na separação dos ambientes lênticos amostrados em função das variáveis ambientais e da composição de espécies das algas perifíticas (Figura 6).

A distribuição espacial dos escores do primeiro eixo da PCA na PCoA (Figura 6a), apresentou um gradiente longitudinal que separou os lagos entre si, independentemente do período temporal amostrado. Foram correlacionadas positivamente as variáveis turbidez e oxigênio dissolvido principalmente com o Lago São Joao, e correlacionadas negativamente as variáveis condutividade e alcalinidade com o Lago Pavão no tempo. Quanto a composição de espécies, foi separado principalmente o Lago Pavão dos outros lagos, sendo *Achnantidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki a espécie mais representativa para este lago nos diferentes períodos. Os outros ambientes apresentaram uma ampla variação na composição de espécies, destacando-se espécies em comum entre eles, como *Fragilaria capucina* Desmazières, *Gomphonema gracile* Ehrenberg, *Gomphonema lagenula* Kützing, *Oedogonium* sp1 e *Oedogonium* sp3.

A ordenação dos escores do eixo PC2 na PCoA (Figura 6b), apresentou um gradiente de separação temporal dos ambientes lênticos em relação a composição de espécies. As variáveis ambientais correlacionadas positivamente foram o nitrato e fosfato principalmente com os períodos de agosto e novembro, e negativamente correlacionadas especialmente com o mês de fevereiro, o nível hidrométrico, a temperatura da água e o pH. A composição de espécies seguiu o mesmo padrão do eixo PC1, sendo o *Achnantidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, a espécie mais representativa para o Lago Pavão em todos os períodos de amostragens, destacando-se nos meses de maio, agosto e novembro de 2014.

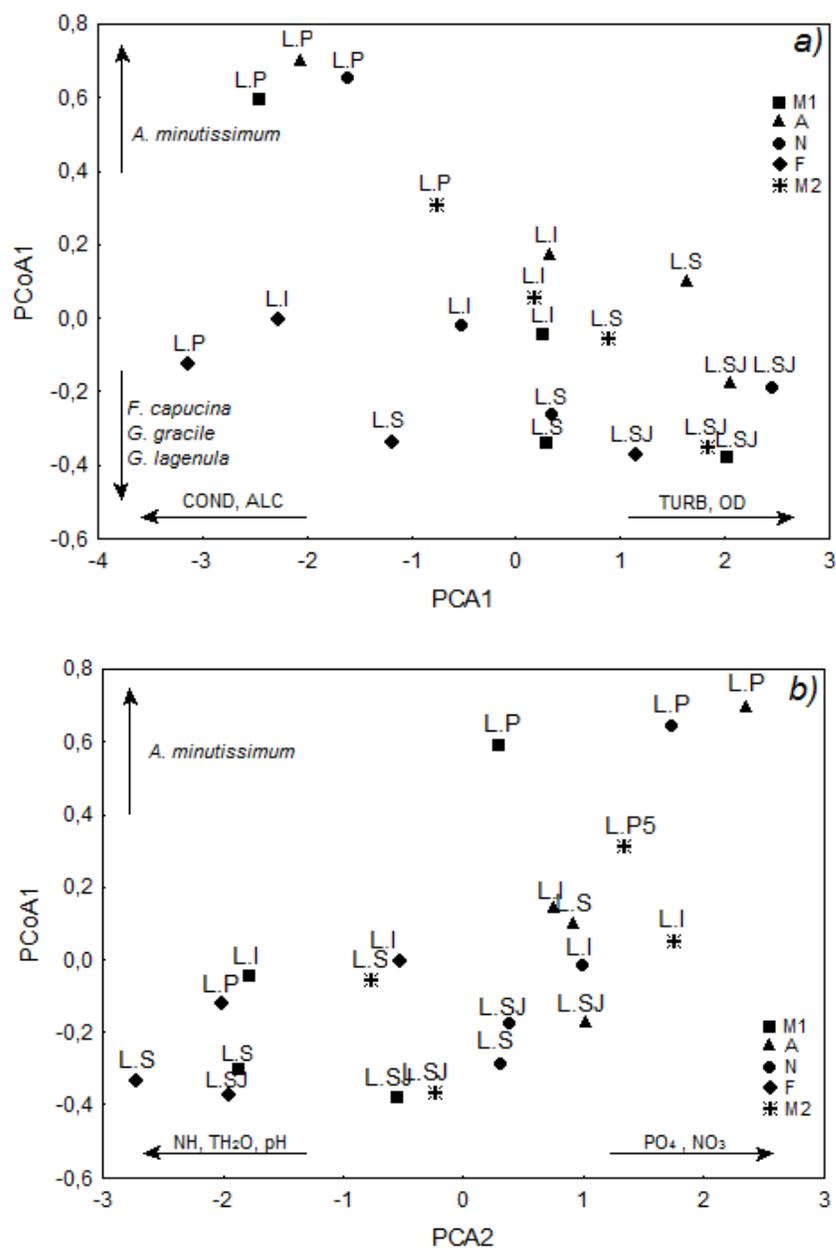


Figura 6. Representação da ordenação da análise de coordenadas principais (PCoA) com os principais eixos da análise de componentes principais, eixo 1 (PCA1, a) e eixo 2 (PCA2, b) em relação com a densidade das comunidades de algas perifíticas no espaço e no tempo. Lago Ivaí (L.I), Lago São João (L.SJ), Lago Pavão (L.P) e Lago Saraiva(L.S). Temperatura da água (TH₂O), Oxigênio dissolvido (OD), pH, Condutividade (COND), Alcalinidade (ALC), Turbidez (TURB), Nitrato (NO₃) e Fosfato (PO₄). Períodos amostrais, maio (M1), agosto (A) e novembro (N) de 2014; fevereiro (F) e maio (M2) de 2015.

As matrizes explanatórias explicaram 37% da variabilidade dos dados biológicos através da pRDA (Figura 7). A fração pura ambiental (componente E) derivado da análise de RDA explicou significativamente a maior parte da variação da estrutura das comunidades de algas perifíticas ($R^2_{adj} = 10\%$, $P = 0.001$). A fração pura espacial (componente S) foi significativa ($R^2_{adj} = 4\%$, $P = 0.035$), explicando em menor proporção a variação da comunidade. A fração pura temporal (componente T) para as algas perifíticas não foi significativa ($R^2_{adj} = 5\%$, $P = 0.074$), e a variação que não foi explicada por nenhum das frações foi de 66%.

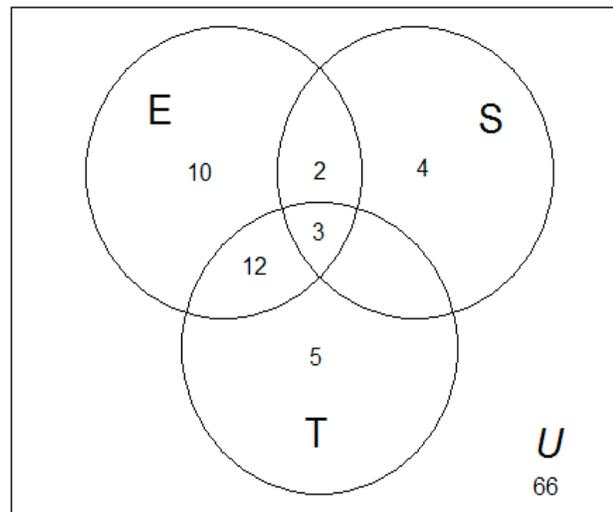


Figura 7. Análise de Redundância Parcial (pRDA), através de Diagrama de Venn., mostrando a contribuição relativa (% de explicação) dos fatores ambiental (E), espacial (S) e temporal (T), assim como as frações compartilhadas e o resíduo (U), que explica a variação da estruturação da metacomunidade de algas perifíticas nos ambientes lênticos de planície de inundação.

2.4 DISCUSSÃO

De modo geral, os resultados obtidos neste estudo apontaram que a estruturação da metacomunidade de algas perifíticas diferiu espaço-temporalmente, e foi associada principalmente as mudanças do regime hidrológico da planície de inundação do alto rio Paraná, associado as variáveis ambientais. Assim, as variações na riqueza e densidade de espécies foram evidentes entre os períodos com mudanças do nível hidrológico, assim como nas variáveis ambientais, demonstrando a forte influência da dinâmica hídrica sobre o ambiente e as comunidades aquáticas

em sistemas rio-planície de inundação (Junk et al., 1989; Agostinho et al., 2000; Junk & Wantzen, 2004).

Os maiores valores de riqueza encontrados no mês de maio de 2015, podem ser devido principalmente a ocorrência e periodicidade do aumento do nível da água nos meses anteriores e, as condições ambientais propícias que favoreceram a interação, dispersão e estabelecimento de espécies e propágulos entre os ambientes da planície (Rodrigues & Bicudo, 2001; Algarte et al., 2009; Rodrigues et al., 2013). Ao contrário da riqueza, a densidade foi maior em períodos com nível hidrológico mais baixo, especialmente em agosto de 2014.

Em níveis baixos de água, a variabilidade das condições físicas e químicas dos lagos, principalmente pela maior tendência de disponibilidade de nutrientes, processos de ressuspensão, decomposição de matéria orgânica e menor regime de perturbações propicia o desenvolvimento e reprodução de vários grupos de algas perifíticas nestes ambientes (Rodrigues et al., 2004). Alguns estudos realizados nesta mesma planície também demonstraram padrões semelhantes para a riqueza e densidade de algas perifíticas (Fonseca & Rodrigues, 2005; Algarte et al., 2006, 2009, 2017; Montoya et al., 2006; Neif et al., 2013; Carapunarla et al., 2014 e Biolo et al., 2015), e estes autores associaram também esses atributos algais a dinâmica hidrológica do rio Paraná.

Padrões similares também foram encontrados em outras planícies de inundação no Brasil, como na planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu, na qual estudos indicaram o importante papel do regime hidrológico como fator determinante na estruturação das comunidades planctônicas e perifíticas (Taniguchi et al., 2000, 2005). Na planície de inundação Amazônica, Putz (1997), Melack et al. (2009) e França et al. (2011), encontraram principalmente que a variação sazonal do regime hidrológico influenciou a distribuição, dinâmica e produção das algas planctônicas, perifíticas e de outras comunidades aquáticas.

Quanto a variação espacial da metacomunidade, o Lago Saraiva apresentou o maior número de espécies ao longo do tempo em relação aos outros lagos estudados, possivelmente seja pelas altas concentrações de nutrientes proveniente das áreas próximas, localizado a jusante da planície, o que permite a entrada tanto de material alóctone quanto a chegada de novos propágulos carregados ao longo do eixo longitudinal do rio Paraná. Além disso, a presença de grandes estandes de macrófitas neste lago aumenta a heterogeneidade da zona litorânea, levando ao aumento da

disponibilidade de novos nichos e conseqüentemente ao aumento na riqueza de algas perifíticas (Algarte et al., 2009; MacArthur & MacArthur, 2010; Biolo et al., 2015).

O Lago Pavão foi o ambiente que apresentou maior densidade de algas perifíticas. Este resultado esteve relacionado principalmente com as características físicas e químicas locais desse ambiente, que apresentou maiores valores de nitrato e fosfato, altas concentrações de sais iônicos e valores intermediários de turbidez, além de caracterizar-se por ser um lago raso e de menor tamanho em relação aos outros ambientes lênticos. Assim, todas estas condições provavelmente favoreceram o maior desenvolvimento das algas, especialmente das diatomáceas. Segundo Tolonen et al. (2003), a variedade de recursos disponíveis para qualquer grupo de organismos (e.g. as algas), é um reflexo das condições e complexidade do habitat no qual se desenvolveram. Este lago diferiu dos demais por apresentar um alto número de indivíduos da espécie *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki.

Em relação ao padrão temporal da diversidade beta, os maiores valores também foram relacionados ao aumento do nível de água do alto rio Paraná (Fevereiro de 2015). Assim, a diversidade beta mostrou uma alta variação temporal na composição de espécies entre os ambientes da planície de inundação, onde o aumento do nível da água favoreceu a alta riqueza das comunidades de algas, principalmente pela dispersão, interação e estabelecimento de novas espécies provocando uma menor homogeneização entre os ambientes lênticos da planície.

Na diversidade beta, houve maior contribuição do componente *turnover* em relação ao aninhamento ao longo do tempo. Os altos valores de diversidade beta e de substituição de espécies foram associados ao aumento das taxas de dispersão das algas perifíticas entre os lagos, gerando diferenças na composição de espécies na metacomunidade. Portanto, a dissimilaridade da composição de espécies neste estudo foi relacionada principalmente com maior nível d'água. Esse padrão de diversidade beta também foi encontrado por Gianuca et al. (2017), Heino & Tolonen, (2017) para comunidades de macroinvertebrados e de zooplâncton, onde as variações dos componentes da diversidade beta foram atribuídas a heterogeneidade ambiental entre os ambientes.

Além dos resultados da diversidade beta, nós também demonstramos a variação na composição de espécies entre os ambientes, principalmente em função da variação das condições ambientais tanto no espaço como no tempo. Essa variação na estrutura da comunidade demonstrou maiores densidades das classes Bacillariophyceae e Oedogoniophyceae, principalmente nos

períodos com baixos níveis de água na planície. A classe Bacillariophyceae foi dominante tanto em densidade quanto em riqueza. Possui espécies que apresentam maior tolerância ecológica à dinâmica sazonal hidrológica e uma fácil adaptação as diferentes condições ambientais (Round, 1991; Rodrigues & Bicudo, 2001; Lobo et al., 2004; Algarte et al., 2009, 2017). Dentre as diatomáceas, as espécies mais abundantes foram *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Gomphonema gracile* Ehrenberg, e *Gomphonema lagenula* Kützing.

A. minutissimum (Kützing) Czarnecki foi um táxon predominante que separou tanto espacial como temporalmente o Lago Pavão dos outros ambientes lênticos, principalmente nos períodos com baixo nível de água. Esta espécie apresenta uma ampla adaptabilidade ecológica, é tolerante as variações ambientais, perturbações, a poluição e eutrofização, sendo dominante em ambientes com constantes trocas de matéria orgânica (Round et al., 1990; Stevenson et al., 1999; Lobo et al., 2004; Bichoff et al., 2016). Outros estudos (Zheng e Stevenson, 2006; Biolo & Rodrigues, 2013; Biolo et al., 2015; Bichoff et al., 2016) também reportaram esta espécie como dominante e abundante, e que junto com outras diatomáceas, como *F. capucina* Desmazières e *G. gracile* Ehrenberg, foram densamente representativas nas comunidades perifíticas.

Oedogoniophyceae foi à segunda classe mais representativa em densidade neste estudo, sendo as espécies do gênero *Oedogonium* Link & Hirn, as mais comuns, esse gênero é caracterizado por possuir habito fixo e não apresentar ramificações, podendo encontrar-se aderido a diversos tipos de substratos, além de ser dominante em ambientes lênticos com disponibilidade de nutrientes (Biggs, 1996; Dunck et al., 2013). *Oedogonium* sp.1 e *Oedogonium* sp.3 foram as espécies que contribuíram com a maior quantidade de indivíduos para esta classe de algas.

Para a riqueza de espécies, as classes que predominaram depois de Bacillariophyceae foram Chlorophyceae e Zygnemaphyceae. As clorofíceas e desmídias se desenvolvem melhor em altas temperaturas e caracterizam-se por serem facilmente carreadas e distribuídas pelas correntes de água e por se estabelecerem em ambientes com abundantes bancos de macrófitas, o que contribui com o aumento de seu número de espécies (Murakami et al., 2009; Algarte et al., 2009, 2017; Biolo et al., 2015).

Quanto aos fatores estruturadores da metacomunidade, os resultados demonstraram principalmente que o controle ambiental (*Species sorting*) foi o fator mais importante na

estruturação das comunidades locais de algas perifíticas, mas parte da variação da metacomunidade foi atribuída ao efeito espacial. As algas perifíticas, por serem microrganismos que apresentam ampla distribuição nos sistemas aquáticos (Ferragut & Bicudo, 2009, De Bie et al., 2012, Algarte et al., 2014), podem apresentar diferentes padrões espaciais, relacionados com a suscetibilidade de dispersão (Wetzel et al., 2012).

Embora, o fator temporal não tenha sido significativo para as algas, neste estudo encontrou-se uma alta contribuição da fração compartilhada entre os fatores ambientais e temporais (12%), o qual pode estar relacionado com a dinâmica sazonal do regime hidrológico do alto rio Paraná. O fator ambiental tem sido atribuído como principal controlador de várias metacomunidades de microorganismos aquáticos (De Bie et al., 2012; Algarte et al., 2014; Padial et al. 2014; Heino et al., 2015; Lansac-Toha et al., 2016).

Para diversas comunidade aquáticas, Padial et al. (2014), analisaram a importância relativa dos fatores ambiental, espacial e temporal e indicaram principalmente que as variáveis ambientais foram especialmente importantes para a estruturação das metacomunidade de algas perifíticas e fitoplantônicas na planície de inundação do alto rio Paraná. Algarte et al. (2014), indicaram principalmente o fator ambiental como estruturador das metacomunidades algais mesmo sobre o efeito do pulso de inundação, em que os níveis hidrológicos atingem 4,5 m. Dessa forma, é possível indicar que o fator ambiental é preponderante na estruturação das comunidades de algas perifíticas em planícies de inundação.

Em conclusão, podemos indicar que o fator ambiental foi predominante na estruturação da metacomunidade de algas perifíticas, em que houve variação nos níveis de água do rio Paraná, porém sem período caracterizado como águas altas, onde ocorre homogeneização de toda a planície (Thomaz et al., 2007). A variação do nível hidrológico foi determinante na variabilidade limnológica entre os ambientes e entre os períodos amostrais, e isso determinou a riqueza e densidade das algas. Este estudo também indicou mais uma vez que as diatomáceas são dominantes nas comunidades ficoperifíticas dos ambientes desta planície, mesmo sob diferentes condições limnológicas e níveis hidrológicos.

REFERÊNCIAS

- Agostinho, A. A., S. M. Thomaz & L. C. Gomes, 2004. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *Ecohydrology and Hydrobiology* 4: 255-256.
- Agostinho, A. A., S. M. Thomaz, C. V. Minte-Vera & K. O. Winemiller, 2000. Biodiversity in the high Paraná river floodplain. In Gopal, B., W. J. Junk & J. A. Davis (eds), *Biodiversity in wetlands: Assessment, function and conservation*. Brackhuys publishers: 89-118.
- Algarte, V. M., N. S. Siqueira, D. T. Ruwer, N. C. Osório & L. Rodrigues, 2017. Richness of periphytic algae and its relationship with hydrological attributes. *Brazilian Journal of Botany* 40: 1-6
- Algarte, V. M., L. Rodrigues, V. L. Landeiro, T. Siqueira & L. M. Bini, 2014. Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter? *Hydrobiologia* 722: 279–290.
- Algarte, V. M., N. S. Siqueira, E. A. Murakami & L. Rodrigues, 2009. Effects of hydrological regime and connectivity on the interannual variation in taxonomic similarity of periphytic algae. *Brazilian Journal of Biology* 69: 609-616.
- Algarte V. M., C. Moresco & L. Rodrigues, 2006. Algas do perifíton de distintos ambientes na planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Scientiarum, Biological Sciences* 28: 243-251.
- Anderson, M. J. & N. A. Gribble, 1998. Partitioning the variation among spatial, temporal and environmental components in a multivariate data set. *Australian Journal of Ecology* 23: 157-167.
- Anagnostidis, K. & J. Komárek, 1988. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 3: Oscillatoriales. *Algological studies* 80: 327-472.
- Astorga, A., J. Oksanen, M. Luoto, J. Soininen, R. Virtanen & T. Muotka, 2012. Distance decay of similarity in freshwater communities: do macro- and microorganisms follow the same rules? *Global Ecology and Biogeography* 21: 365-375.
- Baselga, A. & C. D. L. Orme, 2012. betapart: An R package for the study of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution* 3: 808-812.
- Baselga, A., 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19: 134-143.
- Bichoff, A., N. C. Osório, B. Dunck & L. Rodrigues, 2016. Periphytic algae in a floodplain lake and river under low water conditions. *Biota Neotropica* 16(3): e20160159.

- Bicudo, C. E. M. & M. Menezes, 2006. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chaves para identificação e descrições. RiMa, São Carlos.
- Bicudo, D. C., 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia* 3: 459-475.
- Biggs, B. J. F., 1996. Patterns in benthic algal of streams. In *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. In Stevenson, R. J., M. L. Bothwell & R. L. Lowe (eds), Academic Press, San Diego: 31-56.
- Biolo, S., V. M. Algarte & L. Rodrigues, 2015. Composition and taxonomic similarity of the periphytic algal community in different natural substrates in a neotropical floodplain, Brazil. *African Journal of Plant Science* 9: 17-22.
- Biolo, S. & L. Rodrigues, 2013. Comparison of the structure of the periphytic community in distinct substrates from a neotropical floodplain. *International Research Journal of Plant Science* 4(3): 64-75.
- Blanchet, F. G., P. Legendre & D. Borcard, 2008. Forward selection of explanatory variables. *Ecology* 89: 2623–2632.
- Carapunarla, L., D. Baumgartner & L. Rodrigues, 2014. Community structure of periphytic algae in a floodplain lake: a long-term study. *Acta Scientiarum, Biological Sciences* 36: 147-154.
- Chase, J. M., P. Amarasekare, K. Cottenie, A. Gonzalez, R. D. Holt, M. Holyoak, M. F. Hoopes, M. A. Leibold, M. Loreau, N. Mouquet, J. B. Shurin & D. Tilman, 2005. Competing theories for competitive metacommunities. In Holyoak, M., M. A. Leibold & R. D. Holt (eds.), *Metacommunities: Spatial Dynamics and Ecological Communities*. The University of Chicago Press 335-354.
- De Bie, T., L. De Meester, L. Brendonck, K. Martens, B. Goddeeris, D. Ercken, H. Hampel, L. Denys, L. Vanhecke, K. Van der Gucht, J. Van Wichelen, W. Vyverman & S. A. J. Declerck, 2012. Body size and dispersal mode as key traits determining metacommunity structure of aquatic organisms. *Ecology Letters* 15: 740–747.
- De Boer, M. K., H. Moor, B. Matthiessen, H. Hillebrand & B. K. Eriksson, 2014. Dispersal restricts local biomass but promotes the recovery of metacommunities after temperature stress. *Oikos* 123: 762-768.
- Dray, S., R. Péliissier, P. Coueron, M. J. Fortin, P. Legendre, P. R. Peres-Neto, E. Bellier, R. Bivand, F. G. Blanchet, M. De Cáceres, A. B. Dufour, E. Heegaard, T. Jombart, F. Munoz, J. Oksanen, J. Thioulouse & H. H. Wagner, 2012. Community ecology in the age of multivariate multiscale spatial analysis. *Ecological Monographs* 82(3): 257-275.

- Dunck, B., I. S. Nogueira & S. A. Felisberto, 2013. Distribution of periphytic algae in wetlands (Palm swamps, Cerrado), Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 73(2): 331-346.
- Felisberto, S. A. & E. A. Murakami, 2013. Papel do Perifíton na Ciclagem de Nutrientes e na Teia Trófica. In Schwarzbald, A., A. L. Burliga & L. C. Torgan (Orgs), *Ecologia do Perifíton*. Sao Carlos, RiMA: 147-156.
- Ferragut, C. & D. C. Bicudo, 2010. Periphytic algal community adaptive strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. *Hydrobiologia* 646: 295-309.
- Ferragut, C. & D. C. Bicudo, 2009. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade Perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). *Revista Brasileira de Botânica* 32(3): 571-585.
- Fonseca, I. A. & L. Rodrigues, 2005. Comunidade de algas perifíticas em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Scientiarum* 27(1): 21-28.
- França, R. C. S., M. R. M. Lopes & C. Ferragut, 2011. Structural and successional variability of periphytic algal Community in a Amazonian lake during the dry and rainy season (Rio Branco, Acre). *Acta Amazonica* 41(2): 257-266.
- Gianuca, A. T., S. A. J. Declerck, P. Lemmens & L. De Meester, 2017. Effects of dispersal and environmental heterogeneity on the replacement and nestedness components of β -diversity. *Ecology* 98(2): 525-533.
- Grönroos, M., J. Heino, T. Siqueira, V. L. Landeiro, J. Kotanen, & L. M. Bini, 2013. Metacommunity structuring in stream networks: roles of dispersal mode, distance type and regional environmental context. *Ecology and Evolution* 3: 4473-4487.
- Heino, J. & T. Tolonen, 2017. Ecological drivers of multiple facets of beta diversity in lentic macroinvertebrate metacommunity. *Limnology and Oceanography*, in press.
- Heino, J., A. S. Melo, S. Tadeu, J. Soininen, S. Valanko & L. M. Bini, 2015. Metacommunity organisation, spatial extent and dispersal in aquatic systems: patterns, processes and prospects. *Freshwater Biology* 60: 845-869.
- Heino, J., M. Grönroos, J. Ilmonen, T. Karhu, M. Niva & L. Paasivirta, 2013. Environmental heterogeneity and β diversity of stream macroinvertebrate communities at intermediate spatial scales. *Freshwater Science* 32: 142-154.
- Hubbell, S. P., 2001. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

- Junk, W. J. & J. M. Wantzen, 2004. The Flood Pulse Concept: New aspects approaches and applications – an update. In Welcomme, R. L. & R. Petr (eds), Proceedings of the second international symposium on the management of Large Rivers for fisheries. Food and Agriculture Organization & Mekong River Commission. RAP Publication 16: 177-140.
- Junk, W., P. Bayley & R. Sparks, 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 106: 110-127.
- Jackson, D. A., 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology* 74: 2204–2214.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis, 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 4: Nostocales. *Algological studies* 82: 247-345.
- Lansac-Tôha, F. M., B. R. Meira, B. T. Segovia, F. A. Lansac-Tôha & L. F. M. Velho, 2016. Hydrological connectivity determining metacommunity structure of planktonic heterotrophic flagellates. *Hydrobiologia* 781: 81-94.
- Legendre, P., 2014. Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 23: 1324-1334.
- Legendre, P. & O. Gauthier, 2014. Statistical methods for temporal and space-time analysis of community composition data. *Proceedings of the Royal Society* 281: 20132728.
- Legendre, P., D. Bocard & P. R. Peres-Neto, 2005. Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of Community composition data. *Ecological Monographs* 75(4): 435-450.
- Legendre, P. & E. D. Gallagher, 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129: 271–280.
- Legendre, P. & L. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Leibold, M. A., M. Holyoak, N. Mouquet, P. Amarasekare, J. M. Chase, M. F. Hoopes, R.D. Holt, J. B. Shurin, R. Law, D. Tilman, M. Loreau & A. Gonzalez, 2004. The metacommunity concept: A framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7: 601-613.
- Lobo, E. A., V. L. M. Callegaro, G. Hermany, D. Bes, C. A. Wetzel & M. A. Oliveira, 2004. Use of epilithic diatoms as bioindicators, with special emphasis to the eutrophication problem of lotic systems in Southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 16(1):25-40.
- Logue, J. B., N. Mouquet, H. Peter & H. Hillebrand, 2011. Empirical approaches to metacommunities: a review and comparison with theory. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 482–491.

- Mackereth, F. Y. H., J. G. Heron & J. Talling, 1978. Water analysis: some revised methods for limnologist. *Freshwater Biological Association* 36: 1-120.
- Melack, J. M., E. M. L. M. Novo, B. R. Forsberg, M. T. F. Piedade & L. Maurice, 2009. Floodplain Ecosystem Processes. In Kelle, M., M. Bustamante, J. Gash & P. D. Silva (eds), *Amazonia and Global Change*. Geophysical Monograph Series 186: 525-541.
- Melo, A. S., F. Schneck, L. U. hepp, N. R. Simoes, T. Siqueira & L. M. Bini, 2011. Focusing on variation: methods and applications of the concept of beta diversity in aquatic ecosystems. *Acta Limnologica Brasiliensia* 23: 318-331.
- Montoya, J. V., D. L. Roelke, K. O. Winemiller, J. B. Cotner & J. A. Snider, 2006. Hydrological seasonality and benthic algal biomass in a Neotropical floodplain river. *Journal North American Benthological Society* 25: 157-170.
- Murakami, E. A., D. C. Bicudo & L. Rodrigues, 2009. Periphytic algae of the Garcas Lake, upper Paraná River floodplain: comparing the years 1994 and 2004. *Brazilian Journal of Biology* 69: 459-468.
- Neif, E. M., R. D. Lima & L. RODRIGUES, 2013. Seasonal dynamics of the structure of epiphytic algal community on different substrates from a Neotropical floodplain. *Revista Brasileira de Botânica* 36: 169-177.
- Nekola, J. C. & P. S. White, 1999. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography* 26: 867-878.
- Okasanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, M. P. Solymos, H. H. Stevens & H. Wagner, 2013. Vegan: community ecology package. R package version 2.0-9. <http://cran.r-project.org/package=vegan>.
- Padial, A. A., F. Ceschin, S. A. J. Declerck, L. De Meester, C. C. Bonecker, F. A. Lansac-Tôha, L. Rodrigues, L. C. Rodrigues, S. Train, L. F. M. Velho & L. M. Bini, 2014. Dispersal Ability Determines the Role of Environmental, Spatial and Temporal Drivers of Metacommunity Structure. *PLoS ONE* 9(10): e111227.
- Peres-Neto, P. R., P. Legendre, S. Dray & D. Borcard, 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology* 87: 2614-2625.
- Putz, R., 1997. Periphyton communities in Amazonian black-and whitewater habitats: Community structure, biomass and productivity. *Aquatic Sciences* 59: 74-93.
- Quian, H., R. E. Ricklefs & P. S. White, 2005. Beta diversity of angiosperms in temperate floras of eastern Asia and eastern North America. *Ecology Letters* 8: 15-22.

- R Development Core Team. 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Rolls, R. J., J. Heino & B. C. Chessman, 2016. Unravelling the joint effects of flow regime, climatic variability and dispersal mode on beta diversity of riverine communities. *Freshwater Biology* 61: 1350-1364.
- Rodrigues, L., V. M. Algarte, N. S. Siqueira & E. M. N. Machado, 2013. Fatores envolvidos na distribuição e abundância do perifíton e principais padrões encontrados em ambientes da planície de inundação. In Schwarzbald, A., A. L. Burliga & L. C. Torgan (Orgs), *Ecologia do Perifíton*. Sao Carlos, RiMA: 131-145.
- Rodrigues, L., J. A. Leandrini, S. Jati, I. A. Fonseca & E. L. V. Silva, 2004. Structure of communities of Periphytic Algae in the Upper Paraná River Floodplain. In Agostinho, A. A., L. Rodrigues, L. C. Gomes, S. M. Thomaz & L. E. Miranda (eds), *Structure and functioning of the Paraná river and its floodplain*. Maringá, Editoria Eduem: 43-50.
- Rodrigues, L. & D. C. Bicudo, 2001. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 24(3): 235-248.
- Ros, J., 1979. *Práticas de ecologia*. Barcelona: Ed. Omega.
- Round, F. E., 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. *Journal of Applied Phycology* 3: 129-145.
- Round, F. E., R. M. Crawford & D. G. Mann, 1990. *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Schwarzbald, A., 1990. Métodos ecológicos aplicados ao estudo do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia* 3(1): 545-592.
- Soininen, J., R. McDonald & H. Hillebrand, 2007. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography* 30: 3-12.
- Statsoft Inc., 2005. *Statistica (data analysis software system)*. Version 7.1. <http://www.statsoft.com>
- Stevenson, R. J., C. G. Peterson, D. B. Kirschel, C.C. King & N. C. Tuchman, 1999. Density-dependent growth, ecological strategies, effects of nutrients and shading on benthic diatom succession in streams. *Journal of Phycology* 27: 59-69.
- Taniguchi, G. M., D. C. Bicudo & P. A. C. Senna, 2005. Gradiente litorâneo-limnético do fitoplâncton e ficoperifíton em uma lagoa da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu. *Revista Brasileira de Botânica* 28: 137-147.

- Tolonen, K., H. Hamalainen & I. Holopainen, 2003. Body size and substrate association of littoral insects in relation to vegetation structure. *Hydrobiologia* 499(1): 179-190.
- Thomaz, S. M., L. M. Bini & R. L. Bozelli, 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579: 1-13.
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitative phytoplankton-methodic. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 9: 1-38.
- Vilmi, A., K. T. Tolonen, S. M. Karjalainen & J. Heino, 2017. Metacommunity structuring in a highly-connected aquatic system: effects of dispersal, abiotic environment and grazing pressure on microalgal guilds. *Hydrobiologia* 790: 125-140.
- Wetzel, C. E., D. C. Bicudo, L. Ector, E. A. Lobo, J. Soininen, V. L. Landeiro & L. M. Bini, 2012. Distance decay of similarity in Neotropical diatom communities. *Plos One* 7: e45071.
- Wetzel, R. G. & G. E. Likens, 1991. *Limnological analyses*. Springer: 491.
- Winegardner A. K., B. K. Jones, I. S. Ng, T. Siqueira & K. Cottenie, 2012. The terminology of metacommunity ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 27: 253–254.
- Whittaker, R. H., 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs* 30: 279-338.

3 COMUNIDADES DE ALGAS PERIFÍTICAS EM AMBIENTES LÊNTICOS DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ: VARIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL

RESUMO

Este trabalho avaliou a influência da variação sazonal do regime hidrológico e, das variáveis limnológicas sobre a riqueza de espécies de algas perifíticas em ambientes lânticos na planície de inundação do alto rio Paraná. Métodos: A área de estudo está inserida no último trecho livre de barramentos nesta planície, e incluiu três lagos amostrados trimestralmente (maio, agosto e novembro de 2014, e fevereiro e maio de 2015), durante um ano. O material perifítico foi obtido de pecíolos da macrófita aquática *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth. Resultados: Foram registrados 149 táxons, distribuídos em 9 classes. A riqueza de algas modificou-se em relação com a dinâmica sazonal do regime hídrico do rio Paraná. As mudanças do nível hidrológico afetaram diretamente as espécies de algas perifíticas, e nos períodos que houve uma elevação do nível, também houve um aumento na riqueza de espécies. As variáveis limnológicas apresentaram uma estreita relação com a variação do regime hidrológico, sendo as formas assimiláveis dos nutrientes e a turbidez, os fatores abióticos que mais influenciaram a comunidade de algas. As espécies presentes em todos os ambientes e, durante os períodos amostrados foram *Fragilaria capucina* Desmazières, *Gomphonema gracile* Ehrenberg e *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot (Bacillariophyceae) e duas espécies do gênero *Oedogonium* (Oedogoniophyceae). Conclusão: O regime hidrológico do rio Paraná constitui papel importante na estruturação das algas perifíticas e junto com as variações temporais das características limnológicas, estruturaram a riqueza desses organismos em lagos desta planície.

Palavras-chave: perifíton; regime hidrológico; riqueza; variáveis limnológicas.

ABSTRACT

Aim: This study aimed to evaluate the influence the seasonal variation of the hydrological regime and limnological variables on species richness of periphytic algae in lakes at the upper Paraná River floodplain. **Methods:** The study area is located in the last non-dammed stretch of the Paraná River in this floodplain and includes three lakes sampled quarterly (May, August and November of 2014, and February and May of 2015) for one year. The periphytic material was obtained from petioles of the aquatic macrophyte *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth. **Results:** We registered 149 taxa of periphytic algae, distributed in 9 classes. The algae richness was changed in relation to the seasonal dynamics of the Paraná River hydrological regime. The level variations influenced the species of periphytic algae, and in the periods when there was an elevation of the level, there was also an increase in species richness. The limnological variables showed a close relation with the hydrological regime, and the assimilable forms of the nutrients and turbidity were the abiotic factors that most influenced the algal community. The species that were present in all the lakes were *Fragilaria capucina* Desmazières, *Gomphonema gracile* Ehrenberg and *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot (Bacillariophyceae) and two species of the genus *Oedogonium* (Oedogoniophyceae). **Conclusion:** The hydrological regime of the Paraná River played an important role in the structuring of the periphytic algae, and together with temporal variations of the limnological variables, influenced the richness of these organisms in this floodplain lakes.

Keywords: periphyton; hydrological regime; species richness; limnological variables.

3.1 INTRODUÇÃO

Planícies de inundação são macrossistemas fluviais de grande complexidade estrutural, funcional e de elevada diversidade biológica. São consideradas altamente produtivas (Neiff, 1990; Ward et al., 2002; Thomaz et al., 2003; Agostinho et al., 2008), sendo o regime hidrológico (pulsos de inundação) o fator chave no seu funcionamento e a principal força estruturadora das comunidades aquáticas (Junk et al., 1989; Thomaz et al., 2007; Wantzen et al., 2008).

A planície de inundação do alto rio Paraná possui uma ampla heterogeneidade de *habitats* aquáticos e transicionais que apresentam características físicas e químicas peculiares, e uma acentuada variação sazonal, com fases periódicas de cheia (potamofase), que gera a conexão e homogeneização dos ambientes como um todo, e de seca (limnofase) quando os diversos *habitats*

permanecem isolados (Thomaz et al., 2007). Estes atributos propiciam a manutenção da alta diversidade biológica, a regulação da distribuição de espécies e a dinâmica funcional destes ecossistemas (Junk et al., 1989; Neiff, 1997; Thomaz et al., 1997; Ward et al., 2002; Thomaz et al., 2007; Bichoff et al., 2016).

No entanto, o rio Paraná e grande parte de sua bacia hidrográfica estão sujeitos ao controle de hidroelétricas, que alteram as propriedades do regime hidrológico e a sua dinâmica fluvial (Agostinho et al., 2000). Isso modifica principalmente a intensidade e frequência dos pulsos, causando mudanças espaço-temporais nas características limnológicas, no balanço de processos de produção, respiração e padrões de ciclagem de nutrientes, afetando diretamente as comunidades aquáticas (Thomaz et al., 1997, 2007; Agostinho et al., 2008).

Entre os *habitats* da planície de inundação do alto rio Paraná, os ambientes lênticos são predominantes e caracterizam-se por exibir uma alta diversidade de comunidades aquáticas com elevados valores de riqueza de espécies em comparação com outros tipos de *habitats* desta planície (Thomaz et al., 1997; Agostinho et al., 2000). Estes ambientes apresentam condições favoráveis para o desenvolvimento e estabelecimento das comunidades aquáticas (Agostinho et al., 2000; Thomaz et al., 2004), por ter diferentes graus de conectividade com o rio Paraná e, especialmente, por exibirem uma grande variedade de vegetação aquática, que proporcionam áreas de colonização e suporte para a biota, como o perifiton (Rodrigues & Bicudo, 2001; Thomaz et al., 2007; Algarte et al., 2009; Biolo et al., 2015).

O perifiton é considerado um importante produtor primário em lagos, rios e sistemas rios-planícies de inundação, desempenhando um papel importante no metabolismo e funcionamento dos ecossistemas aquáticos, por participar em etapas fundamentais como produção, consumo e decomposição (Rodrigues & Bicudo, 2001; Rodrigues et al., 2003; Algarte et al., 2009; Felisberto & Murakami, 2013; Camargo & Ferragut, 2014). As algas perifíticas são o componente mais estudado desta comunidade, e ganham destaque por constituírem uma grande parcela de produtividade primária, por participar na mineralização e ciclagem de nutrientes, além de assumir uma posição-chave no fluxo de energia e na cadeia alimentar dos ecossistemas aquáticos (Fonseca et al., 2009; Felisberto & Murakami, 2013; Rodrigues et al., 2013).

Por apresentar uma ampla distribuição, alta especificidade e sensibilidade às mudanças físicas, químicas e distúrbios gerados nos *habitats* em que se desenvolvem, as algas perifíticas são

consideradas ótimas indicadoras da qualidade da água e de seu estado trófico (Rodrigues & Bicudo, 2001; Rodrigues et al., 2013; Bichoff et al., 2016). Esta comunidade é influenciada direta ou indiretamente pelas características ambientais (temperatura, disponibilidade de nutrientes, intensidade de luz, velocidade de corrente) e, pelos ciclos hidrológicos do rio Paraná, experimentando constantes variações e oscilações que alteram e refletem nos atributos estruturais da comunidade algal, respondendo de forma rápida as mudanças em função das condições do ambiente (Agostinho et al., 2000; Lobo et al., 2004; Moresco et al., 2009; Ferragut & Bicudo, 2010; Rodrigues et al., 2013; Algarte & Rodrigues, 2013; Dunck et al., 2015).

Assim, por serem organismos que apresentam ciclos de vida curto, modo de vida sésil e geralmente pela grande riqueza de espécies, as algas perifíticas constituem um sistema rico informativo sobre o estado ecológico dos *habitats* em que se estabelecem (Rodrigues & Bicudo, 2003; Fonseca et al., 2009; Ferragut & Bicudo, 2009). Portanto, o monitoramento dos ambientes lênticos da planície de inundação do alto rio Paraná é essencial para o entendimento e compreensão de como as comunidades de algas perifíticas respondem às alterações do nível fluviométrico que vem sofrendo o rio Paraná, principalmente pela construção de barragens em seu curso.

Esta pesquisa buscou analisar a estrutura da comunidade de algas em diferentes períodos hidrológicos em lagos da planície de inundação do alto rio Paraná e, também avaliar a importância dos fatores locais sobre a estrutura da comunidade de algas perifíticas em distintos ambientes lênticos da planície de inundação.

Como a dinâmica hidrológica é considerada o fator de controle direto sobre as comunidades aquáticas, espera-se que em períodos hidrológicos de águas altas a riqueza de espécies de algas perifíticas seja maior que em águas baixas. A hipótese testada foi que a riqueza de espécies de algas perifíticas na planície de inundação do alto rio Paraná mudará em função da variação sazonal do regime hidrológico (escala temporal), e adicionalmente, será influenciada pelas características limnológicas dos ambientes lênticos (escala espacial).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

Esta pesquisa foi realizada na planície de inundação do alto rio Paraná, que abrange o único trecho do rio Paraná livre de barramento em território brasileiro, localizado entre os reservatórios de Porto Primavera-São Paulo e Itaipu-Paraná (Agostinho et al., 2008). Neste trecho, encontram-

se inseridas várias unidades naturais como o Parque Nacional de Ilha Grande que é uma importante área de preservação e conservação da grande diversidade de espécies aquáticas presentes neste ecossistema.

Foram amostrados três ambientes lânticos desta planície trimestralmente, nos meses de Maio, Agosto e Novembro de 2014 e, Fevereiro e Maio de 2015. Estes lagos caracterizam-se por apresentar conectividade com a calha principal do rio Paraná, diferentes morfometrias e extensos bancos de macrófitas com presença da espécie *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth, a qual foi usada como substrato para a obtenção das comunidades de algas perifíticas.

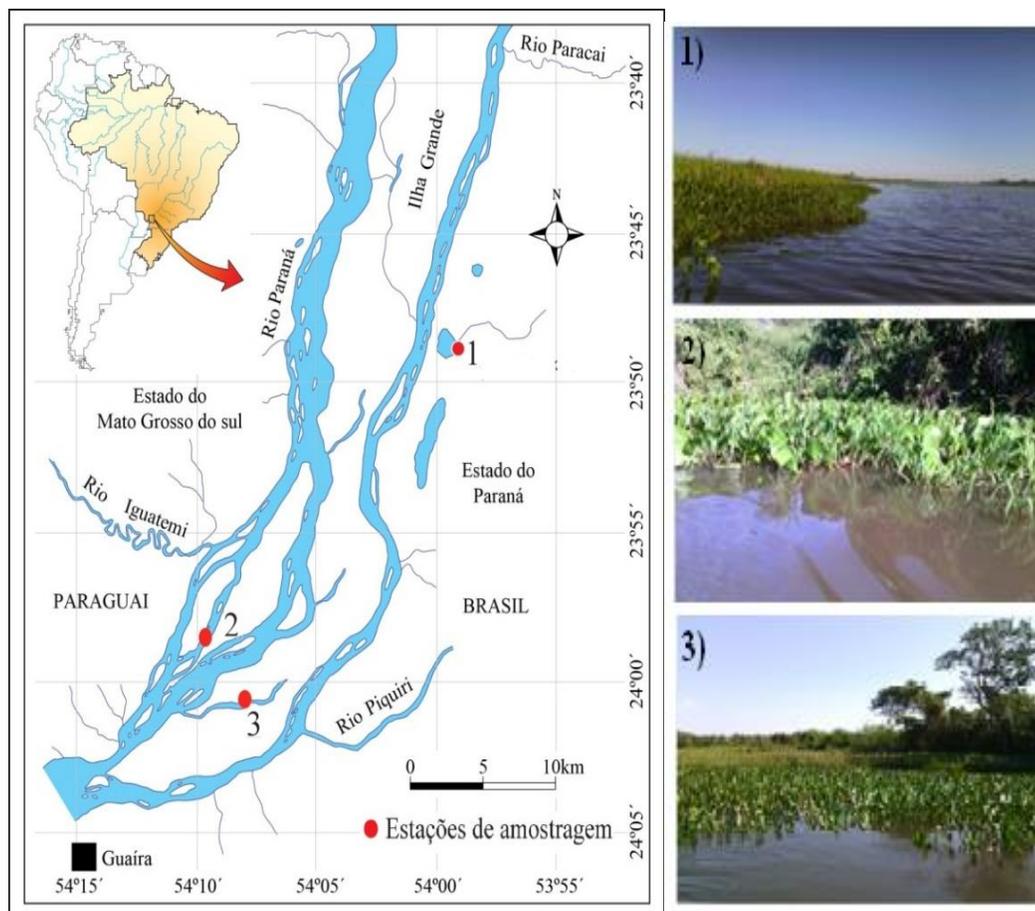


Figura 1. Localização dos pontos de amostragens. Lagos da planície de inundação do alto rio Paraná: 1. Lago São João, 2. Lago Pavão, 3. Lago Saraiva.

3.2.2 Variáveis limnológicas

Foram medidos os seguintes parâmetros abióticos em cada ponto de amostragem: temperatura da água (°C) (termistor digital); oxigênio dissolvido (% de saturação e mg.l-1) (oxímetro digital); pH (pH-metro); condutividade elétrica (µS/cm) (condutivímetro); transparência (m) (disco de Secchi); turbidez (NTU) (turbidímetro) alcalinidade (µEq.l-1) (Wetzel & Likens, 2000); nitrogênio amoniacal, ortofosfato, nitrogênio e fósforo totais (µg.l-1) (Mackareth et al., 1978). Para análise da fração dissolvida dos nutrientes e determinação de material em suspensão, as amostras foram filtradas em filtros Whatman GF/F, sob-baixas pressão (<0,5 atm) e mantidas resfriadas a baixa temperatura para posterior determinação em laboratório.

Os dados do nível hidrométrico do rio Paraná foram obtidos pela estação fluviométrica Base Porto Rico e os valores correspondentes as variáveis limnológicas foram cedidos pelo Laboratório de Limnologia Básica do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura- Nupélia, da Universidade Estadual de Maringá.

3.2.3 Amostragem das comunidades de algas perifíticas

Em cada ponto de coleta foi escolhido aleatoriamente um banco de macrófitas e se tomaram duas amostras de pecíolos de macrófita aquática *E. azurea* (Sw.) Kunth, em estado de maturidade segundo Schwarzbald (1990). Pecíolos foram acondicionados em frascos plásticos de 150 ml e colocados em gelo até fazer a remoção das algas, a qual foi realizada com lâmina de aço inoxidável envolta em papel alumínio e jatos de água destilada. Depois de removido, o perifíton foi fixado e preservado com solução de Lugol acético 5% (Bicudo & Menezes, 2006).

As análises qualitativas das algas perifíticas foram realizadas por meio da preparação de lâminas temporárias, observadas em microscópio óptico binocular com oculares milimétricos e câmara clara acoplada, usando nos aumentos de 400x e 1000x. (Bicudo & Menezes, 2006). As identificações foram feitas até o menor nível de identificação possível, utilizando chaves taxonômicas e literatura especializada. O sistema de classificação utilizado foi Komárek & Anagnostidis (1989), Anagnostidis & Komárek (1988) para as Cyanophyceae, e Round (1990) para as demais classes (Bicudo & Menezes, 2006).

3.2.4 Análises de dados

A riqueza de espécies foi obtida através das análises quantitativas. Uma Análise de Redundância (RDA) foi realizada para avaliar a maior correlação possível entre os dados abióticos e bióticos ao longo do tempo e interpretar quais fatores mais influenciaram as algas perifíticas. As variáveis consideradas nesta análise foram as com nível de significância de $p < 0.05$.

Todas as análises foram feitas por meio do programa estatístico R (R Development Core Team, 2014). Os gráficos foram realizados com auxílio do programa Statistica 7.1 (Statsoft Inc., 2005).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Regime hidrológico

A variação do regime hidrológico do rio Paraná esteve caracterizada pela ausência de pulsos de inundação, e a ocorrência de pequenos pulsos com aumentos do nível com valores abaixo do nível de transborde (4,5m) (Figura 2). Foram registrados aumentos dos níveis de água do rio Paraná desde novembro até abril de 2015, com valores entre 2,5 m e 3,0 m, e foram considerados como períodos de águas altas. Nos períodos de amostragem, maio (1,78 m) e agosto (1,7 m) de 2014 tiveram os menores valores do nível, seguido por maio de 2015 com aproximadamente 1,85 m. Agosto foi considerado como o período de águas baixas, e tanto maio de 2014 quanto maio de 2015 como períodos de transição (Figura 2).

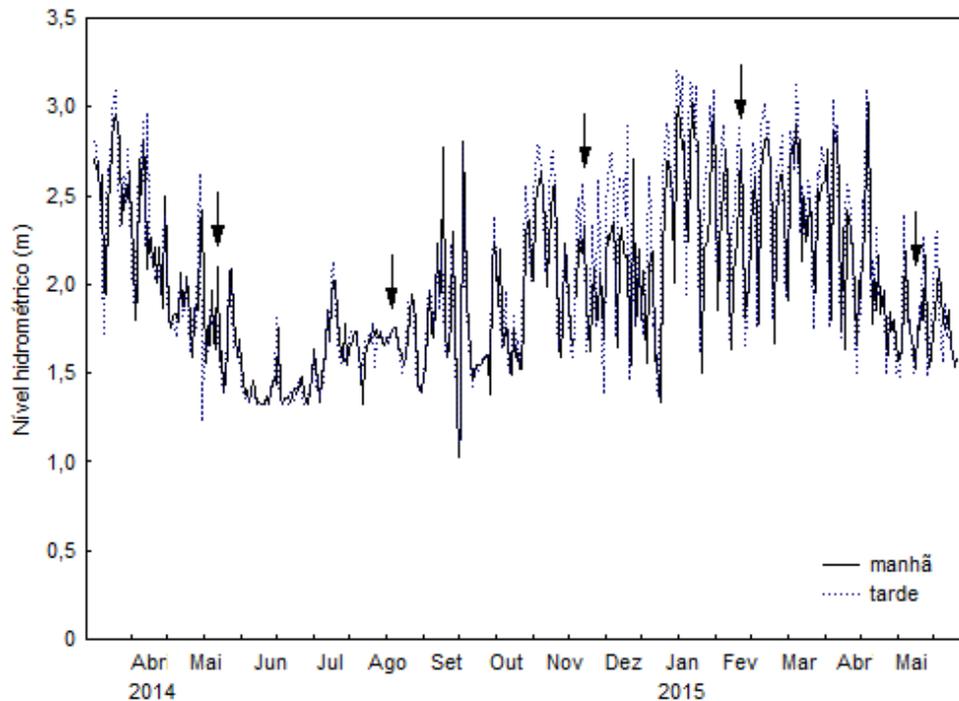


Figura 2. Variação diária dos níveis hidrométricos diários do rio Paraná no período de estudo (maio/2014 a maio/2015). As setas indicam os dias da amostragem da comunidade de algas perifíticas (08-09-11/05/2014, 06-07-08/08/2014, 04-05-08/11/2014, 03-04-08/02/2015 e 06-07-10/05/2015).

3.3.2 Variáveis limnológicas

De maneira geral, as variáveis abióticas apresentaram notáveis variações ao longo do tempo (Tabela 1). Observou-se que a temperatura variou de acordo com a sazonalidade, apresentando maiores valores (acima de $26,6^{\circ}\text{C}$) entre novembro de 2014 e maio de 2015. Os valores de pH variaram de 6 a 7,7 ao longo do tempo, sendo fevereiro o mês que caracterizou águas mais neutras. As concentrações de oxigênio dissolvido oscilaram entre 1,6 e 8,5 mg.l^{-1} , sendo que o Lago Pavão teve os menores valores em todos os períodos amostrados (Tabela 1).

Em relação aos nutrientes, as maiores concentrações de nitrogênio total, fósforo total e as suas formas assimiláveis, foram registradas entre os meses de agosto e novembro de 2014. O Lago Saraiva apresentou os maiores valores de nutrientes em relação com os outros lagos, e o Lago Pavão teve as maiores quantidades das formas assimiláveis dos nutrientes ao longo do tempo (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis limnológicas analisadas nos ambientes lênticos da planície de inundação do alto rio Paraná, nos diferentes períodos de amostragem. Lago Saraiva (S), Lago Pavão (P) e Lago São João (SJ). Temperatura da água (TH₂O), Oxigênio dissolvido (OD), pH, Condutividade (COND), Alcalinidade (ALC), Turbidez (TURB), Nitrogênio Total (NT), Nitrato (NO₃), Fósforo Total (PT), Fosfato (PO₄).

	Maio /2014			Agosto/2014			Novembro/2014			Fevereiro/2015			Maio/2015		
	S	P	SJ	S	P	SJ	S	P	SJ	S	P	SJ	S	P	SJ
TH₂O (°C)	23.9	23.6	23	20.25	19.7	21.5	27.8	26.6	28	29	28.5	27.5	23	22	22.1
OD (mg.L⁻¹)	6.20	2.45	5.37	6.07	2.76	8.03	5.47	3.16	6.81	5.69	2.14	6.38	6.83	3.40	6.89
pH	6.37	6.20	6.15	6.33	6.57	6.86	6.04	6.03	6.74	7.71	7.18	7.37	7.57	6.56	6.62
COND (μS.cm⁻¹)	40.2	55.6	30.6	31.7	72.4	31.3	41.5	67.7	31.9	55.1	68.9	36.4	53.4	59.4	38.1
ALC (μEq L⁻¹)	427.5	795.4	369.2	290.5	978.8	297.5	320.7	499	208.9	421.5	516.8	225.6	354.8	402.9	215.4
TURB (NTU)	3.25	5.42	33.56	7.82	12.85	30.67	5.23	9.17	36.93	5.33	2.88	18.52	9.15	7.40	7.98
NT (μg.L⁻¹)	729.2	624.3	693.6	1392.9	1153.9	688.6	1127.2	804.5	817.2	984	718.9	589.9	1143.3	662.9	775.3
NO₃ (μg.L⁻¹)	0	153.4	0	17.1	249.8	112.1	17.1	119	17.8	16.3	24.4	20.5	1.22	94.24	5.79
PT (μg.L⁻¹)	29.7	21.1	29.3	34.05	26.6	21.7	36.9	32.4	30.7	60.6	42.1	29.03	38.5	23.5	18.2
PO₄ (μg.L⁻¹)	3.03	4.8	5.5	7.1	7.2	9.2	8.6	13.2	9.8	4.1	4.5	3.1	4.7	5.9	3.5

3.3.3 Comunidades de algas perifíticas

A composição das algas perifíticas nos ambientes esteve representada por um total de 149 táxons, pertencentes a nove classes (44 Bacillariophyceae, 34 Zygnemaphyceae, 31 Chlorophyceae, 16 Cyanophyceae, 11 Euglenophyceae, 5 Xanthophyceae, 6 Oedogoniophyceae, 1 Chrysophyceae e 1 Chlamydoephyceae). A riqueza de espécies mostrou que a classe Bacillariophyceae foi a mais representativa, seguida por Zygnemaphyceae e Chlorophyceae (Figura 3).

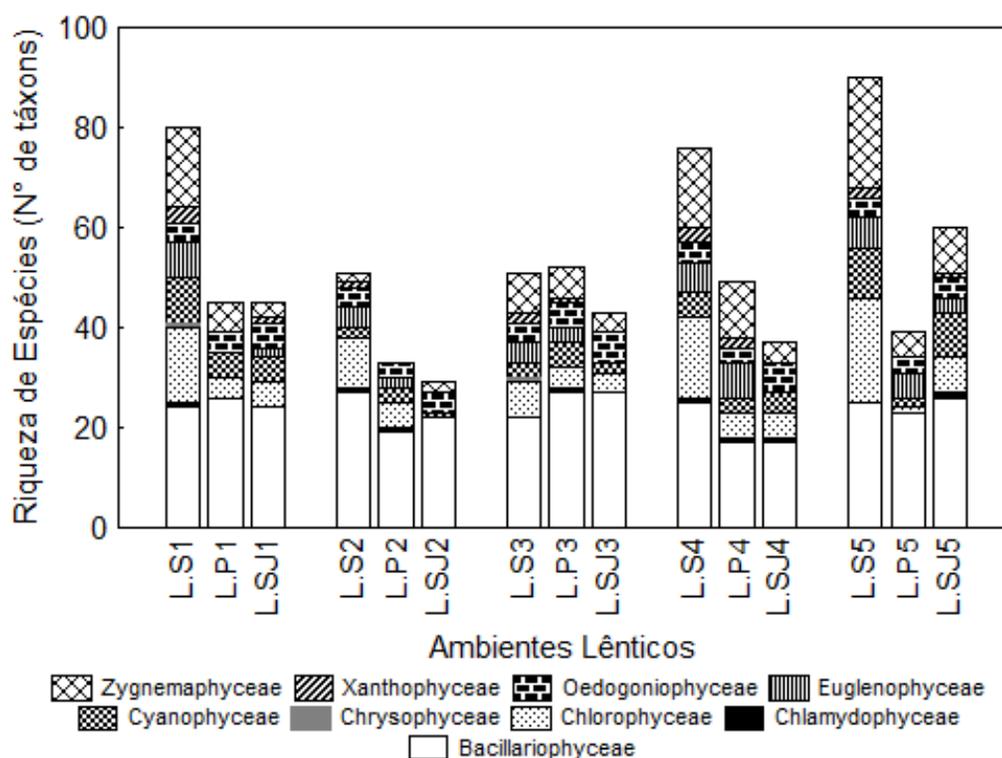


Figura 3. Variação espaço-temporal da riqueza de espécies por classes nos pontos de amostragens na planície de inundação do alto rio Paraná. Lago Saraiva (L.S), Lago Pavão (L.P) e Lago São João (L.SJ). Os números representam os períodos amostrais entre os anos 2014 e 2015. 1) Maio/2014, 2) Agosto, 3) Novembro, 4) Fevereiro/2015 e 5) Maio/2015.

O lago Saraiva foi quem teve uma maior riqueza de espécies na maioria dos períodos amostrados em relação aos outros ambientes (Figura 3), com predomínio da classe Bacillariophyceae, seguido por Zygnemaphyceae e Chlorophyceae. Igualmente, pode-se observar que as diatomáceas predominaram na maioria dos lagos nos períodos estudados, principalmente entre períodos de agosto e novembro de 2014. Nos períodos de fevereiro e

maio de 2015 apresentou um aumento de espécies das classes Zygnemaphyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae (Figura 3).

Com relação aos valores da riqueza total por períodos amostrados, o maior número de táxons ocorreu em Maio (122) de 2015, seguido por Fevereiro (107) do mesmo ano (Figura 4). Ao contrário, Agosto de 2014 foi o período que teve menor número de táxons registrados (63). A riqueza de espécies de algas perifíticas esteve relacionada com o aumento do nível hidrométrico do rio Paraná, registrando-se maior número de táxons nos períodos que apresentaram maiores elevações do nível da água, em comparação com os demais meses amostrados (Figura 4).

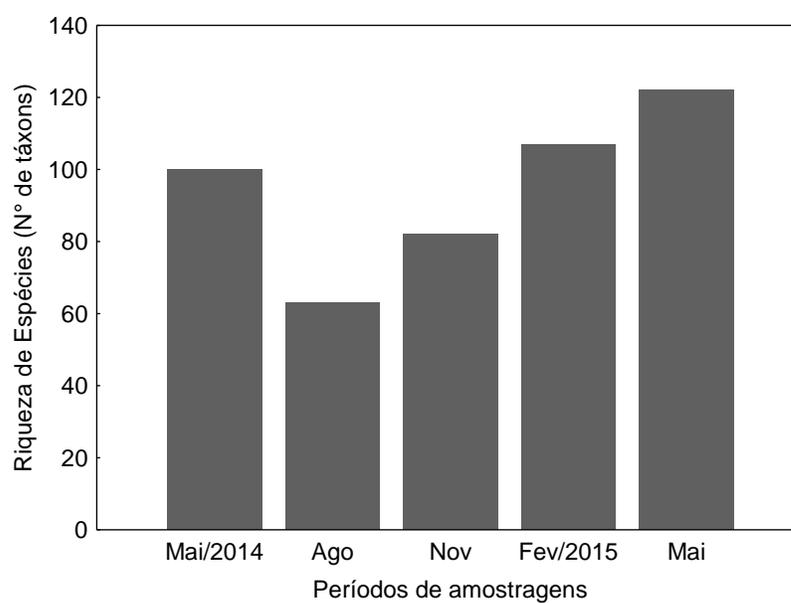


Figura 4. Variação espaço-temporal da riqueza total de espécies por períodos de amostragens. Maio de 2014 (Mai/2014), Agosto de 2014 (Ago), Novembro de 2014 (Nov), Fevereiro de 2015 (Fev/2015) e Maio de 2015 (Mai).

Às espécies que estiveram presentes em todos os lagos e períodos estudados foram: *Fragilaria capucina* Desmazières, *Gomphonema gracile* Ehrenberg e *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot (Bacillariophyceae) e *Oedogonium* sp1 e *Oedogonium* sp.3 (Oedogoniophyceae). No entanto espécies como *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Eunotia incisa* Smith ex Gregory e *Gomphonema lagenula* Kützing foram espécies comuns para a maioria dos lagos.

Os resultados da análise de redundância (RDA) se encontram na Figura 5. Os dois primeiros eixos da análise apresentaram um acúmulo de 47% (RDA1=33% e RDA2=14%) da variação total dos dados. No entanto, só o primeiro eixo desta análise foi significativo ($F=4,399$; $p=0,02$), em relação ao segundo eixo ($F=2,008$; $p=0,08$). Esta ordenação demonstrou uma separação temporal entre os lagos amostrados, em função das variáveis limnológicas e da composição de espécies de algas perifíticas.

No lado esquerdo do eixo 1, se posicionou principalmente o lago Saraiva na maioria de períodos estudados, exceto Agosto de 2014, e o lago Pavão no mês de fevereiro de 2015, que apresentaram os maiores valores de pH, oxigênio dissolvido, nível hidrométrico, condutividade, temperatura e alcalinidade, associadas a maioria das espécies, por exemplo: *Achnantheidium minutissimum*, *Aphanocapsa annulata* McGregor, *Bulbochaete* sp.1, *Calothrix fusca* Bornet & Flahault, *Characium ornithocephalum* Braun, *Coleochaete orbicularis* Pringsheim, *Cosmarium laeve* var. *rotundatum* Messikommer, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Encyonema neogracile* Krammer, *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann, *Euglena* sp.2, *Eunotia flexuosa* (Brébisson ex Kützing) Kützing, *Gomphonema subtile* Ehrenberg, *Oedogonium* sp.7, *Pseudanabaena* cf. *mínima* (An) Anagnostidis, *Spirogyra* sp.1, *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg.

No lado direito deste primeiro eixo, se posicionou principalmente o lago São Joao, seguido pelo lago Pavão que apresentaram maiores valores de Nitrato, Turbidez e Fosfato, associados a um menor número de espécies de algas perifíticas, por exemplo: *Encyonema minutum* (Hilse) Mann, *Epibolium dermaticola* Printz, *Eunotia bilunaris* (Ehrenberg) Schaarschmidt, *Eunotia incisa*, *Eunotia pectinalis* (Kützing) Rabenhorst, *Fragilaria capucina*, *Gomphonema affine* Kützing, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema lagenula*, *Gomphonema turris* Ehrenberg, *Navicula cryptotenella*, *Oedogonium* sp.1, *Oedogonium* sp.3, *Phormidium* sp.1, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Ulothrix aequalis* Kützing. Dentre as variáveis abióticas analisadas, apenas o nitrato ($p=0,02$) e a turbidez ($p=0,03$) influenciaram significativamente a composição de espécies de algas perifíticas.

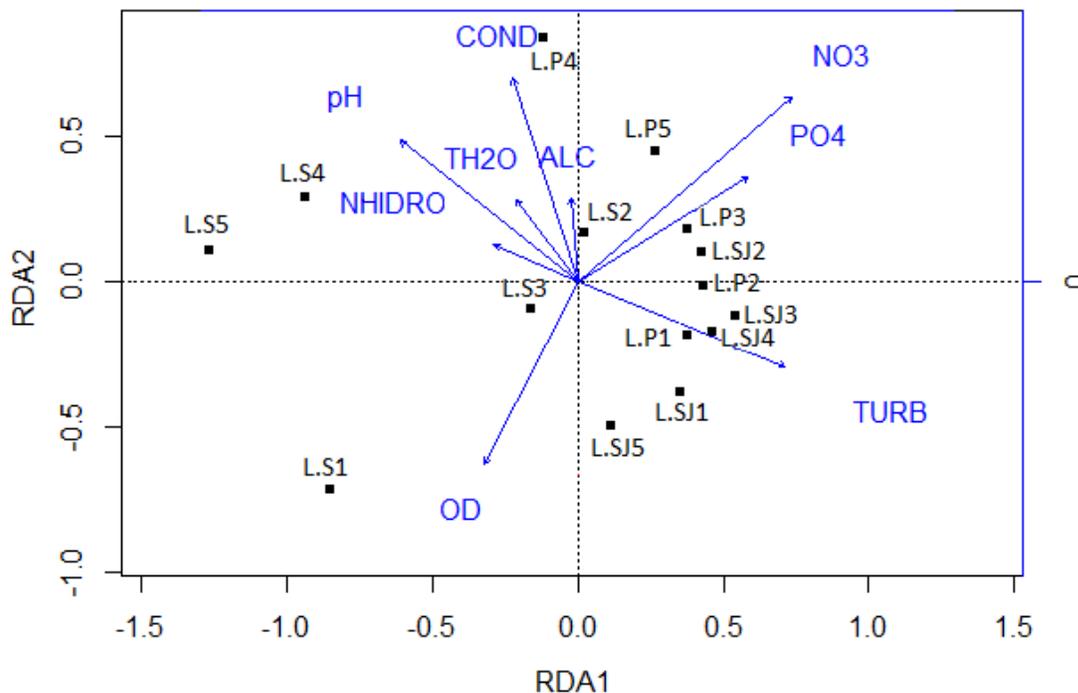


Figura 5. Diagrama de ordenação da Análise de Redundância (RDA), ilustrando as relações entre as variáveis ambientais e ambientes lânticos ao longo do tempo, baseados nos dados das espécies. Lago Saraiva (L.S), Lago Pavão (L.P) e Lago São João (L.SJ). Os números representam os períodos amostrais entre os anos 2014 e 2015. 1) Maio/2014, 2) Agosto, 3) Novembro, 4) Fevereiro/2015 e 5) Maio/2015.

3.4 DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que a riqueza de algas perifíticas dos lagos Saraiva, São João e Pavão modificou-se em relação à variação sazonal do regime hidrológico do rio Paraná durante o ano de estudo, corroborando-se a influência da dinâmica hídrica e das mudanças ambientais sobre as algas perifíticas nesta planície de inundação. Estudos tem apontado essa influência também sobre outros atributos da comunidade além da riqueza, como na biomassa e abundância desses organismos em lagos desta planície (Fonseca & Rodrigues, 2005; Algarte et al., 2009; e Biolo et al., 2015).

Altos valores na riqueza foram registrados nos períodos de maio e fevereiro de 2015, coincidindo com elevados níveis de água, e o menor número de espécies de algas foi

encontrado no mês de agosto de 2014, período que apresentou níveis hidrométricos mais baixos do rio Paraná. Outros estudos realizados em ambientes lênticos e semilóticos da planície de inundação do alto rio Paraná (Rodrigues & Bicudo, 2004; Fonseca & Rodrigues, 2005; Algarte et al., 2006, 2017; Carapunarla et al., 2014; Biolo et al., 2015; Bichoff et al., 2016), registraram maior riqueza de espécies de algas perifíticas em períodos de águas altas, coincidindo com os resultados aqui encontrados.

No entanto, maio de 2015, se caracterizou pela diminuição do nível que passou de estar acima de 2,5 m. a descer até 1,85 m. Mais a ampla ocorrência e periodicidade do aumento do nível do rio Paraná nos meses anteriores, favoreceu a dispersão de propágulos, a chegada e estabelecimento de novas espécies nestes ambientes (Rodrigues & Bicudo, 2001; Rodrigues et al., 2013), além de permitir a entrada de material alóctone que contribui principalmente com a disponibilização de nutrientes (Esteves, 2011), gerando assim, condições propicias para o aumento da riqueza de algas.

Igualmente, a dinâmica sazonal das variáveis limnológicas apresentou uma estreita relação com o padrão de variação do regime hidrológico do rio Paraná, observando-se que nos períodos com níveis de água elevados, ocorrem também os meses mais quentes do ano. Assim, estes períodos apresentaram maiores valores de temperatura, concentrações de sais totais, pH, oxigênio dissolvido e disponibilidade de nutrientes. As algas são sensíveis às mudanças na qualidade da água, e estas condições ambientais contribuíram com a alta riqueza de algas perifíticas (Rodrigues & Bicudo, 2001). O aumento das concentrações dos nutrientes se deve principalmente pelo aumento do nível que pode permitir maior entrada da água, de matéria orgânica e material alóctone proveniente de áreas próximas como a várzea (Agostinho et al., 2000; Rocha & Thomaz, 2004).

A temperatura é um fator chave para as algas, que influencia fortemente os processos metabólicos e regula as mudanças sazonais na estruturação das comunidades perifíticas (Murakami et al., 2009; Biolo & Rodrigues, 2013). O oxigênio dissolvido, o pH, os sais totais e nutrientes, são importante no metabolismo e, na produção primária, decomposição e desenvolvimento das algas, e interferem na sua presença e abundância (Lampert & Sommer, 2007; Ferragut & Bicudo, 2009; Esteves, 2011).

Nos períodos de maio e agosto de 2014, as variáveis limnológicas apresentam uma fase de transição do outono para o inverno, ocorrendo à diminuição da temperatura, alcalinidade, condutividade e a redução da penetração da luz, e favoreceu o aumento da turbidez e das concentrações de oxigênio dissolvido e de nutrientes. Estas condições ambientais associadas aos baixos níveis hidrológicos afetaram a riqueza das algas perifíticas, registrando-se a diminuição do número de táxons devido que estas características físico-químicas reduzem as possibilidades de dispersão das algas e, restringe a sua distribuição nos corpos de água.

A maior riqueza e composição de algas perifíticas foi representada pela classe Bacillariophyceae, que predominou em todos os ambientes ao longo do tempo. As diatomáceas apresentaram maior tolerância às mudanças sazonais do regime hidrológico e, uma fácil adaptação as diferentes condições ambientais (Round, 1991; Rodrigues & Bicudo, 2001; Algarte et al., 2009). Além de colonizar todos os tipos de *habitats*, e serem a maioria r-estrategistas (Biggs et al., 1998), possuem adaptações morfológicas para produzir mucilagem (e.g. pedúnculos) o que favorece a adesão e a permanência no substrato (Biggs et al., 1996; Azim & Asaeda, 2005; Schneck et al., 2008; Bichoff et al., 2016).

As classes que predominaram depois de Bacillariophyceae foram Zygnemaphyceae e Chlorophyceae. A riqueza destas classes variou de acordo com a elevação do nível hidrométrico e as características limnológicas, e aumentaram ao longo do tempo. As clorofíceas e desmídias desenvolvem-se melhor em altas temperaturas (Coesel & Wardenaar, 1990; Ferragut, 2004; Vercellino, 2007; Murakami et al., 2008). Além de serem facilmente carregadas e distribuídas pelas correntes de água e se estabelecerem em ambientes com abundantes bancos de macrófitas, o que contribui com o aumento de seu número de espécies (Algarte et al., 2009, 2017; Biolo et al., 2015).

Este estudo também demonstrou que algumas espécies foram relacionadas com alta disponibilidade das concentrações de nutrientes e da turbidez na água (RDA). Estas variáveis tiveram maior significância sobre a estruturação, organização e presença das espécies de diatomáceas, *Gomphonema augur* var *sphaerophorum* (Ehrenberg) Grunow, e *Cymbella tropica* Krammer. Estas espécies foram relacionadas com altas concentrações de nitrato, relação indicada em outros estudos (Moro & Fürstenberger, 1997; Lobo et al., 2004).

Gomphonema turris (Bacillariophyceae), *Uronema gigas* Vischer (Chlorophyceae), e *Phormidium* sp.1 (Cyanophyceae), estiveram associadas a altos valores de turbidez, condição também registrada por Moro & Fürstenberger (1997), Ferragut et al. (2005) e Bicudo & Menezes (2006). As espécies do gênero *Phormidium* podem ocorrer em vários tipos de *habitats*, e são comuns em ambientes lênticos (Bicudo & Menezes, 2006).

Assim, conclui-se que as variações sazonais do regime hidrológico do rio Paraná associado às características limnológicas dos ambientes lênticos da planície de inundação do alto rio Paraná influenciaram diretamente a riqueza das algas perifíticas. Demonstrou-se que a dinâmica hídrica constitui papel importante e fator chave na estrutura e composição das comunidades perifíticas em planícies de inundação.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A.A., PELICICE, F.M. and GOMES, L.C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*, 2008, 68(4), 1119-1132. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019>.

AGOSTINHO, A.A., THOMAZ, S.M., MINTE-VERA, C.V. and WINEMILLER, K.O. Biodiversity in the high Paraná river floodplain. In: GOPAL B, JUNK WJ and DAVIS, J.A., eds. *Biodiversity in wetlands: Assessment, function and conservation*. Brackhuys publishers, 2000, pp. 89-118.

ALGARTE, V.M., SIQUEIRA, N.S., RUWER, D.T., OSORIO, N.C. and RODRIGUES, L. Richness of periphytic algae and its relationship with hydrological attributes. *Brazilian Journal of Botany*, 2017, 28, 1-6. doi:10.1007/s40415-017-0383-2.

ALGARTE, V.M. and RODRIGUES, L. How periphytic algae respond to short-term emersion in a subtropical floodplain in Brazil. *Phycologia*, 2013, 52(6), 557-564.

ALGARTE, V.M., SIQUEIRA, N.S., MURAKAMI, E.A. and RODRIGUES, L. Effects of hydrological regime and connectivity on the interannual variation in taxonomic similarity of periphytic algae. *Brazilian Journal of Biology*, 2009, 69, 609-616.

ANAGNOSTIDIS, K. and KOMÁREK, J. 1988. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 3: Oscillatoriales. *Algological studies*, 1988, 80: 327-472.

AZIM, M.E. and ASAEDA, T. Periphyton structure, diversity and colonization. In: AZIM, M.E., BEVERIDGE, M.C.M., VAN DAM, A.A. and VERDEGEM, M.C.J., eds. *Periphyton: ecology, exploitation and management*. Cambridge, CABI Publishing, 2005, pp. 15-34.

BICHOFF, A., OSORIO, N.C., DUNCK, B. and RODRIGUES, L. Periphytic algae in a floodplain lake and river under low water conditions. *Biota Neotropica*, 2016, 16(3), e20160159. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0159>.

BICUDO, C.E.M. and MENEZES, M. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chaves para identificação e descrições*. 2ª edição. São Carlos: RiMa, 2006.

BIGGS, B.J.F. Patterns in benthic algal of streams. In: STEVENSON, R.J., BOTHWELL, M.L. and LOWE, R.L., eds. *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, 1996, pp. 31-56.

BIOLO, STEFANIA., ALGARTE, V.M. and RODRIGUES, L. Composition and taxonomic similarity of the periphytic algal community in different natural substrates in a neotropical floodplain, Brazil. *African Journal of Plant Science*, 2015, 9, 17-22.

BIOLO, S. and RODRIGUES, L. Structure of the periphytic algae associated with a floating macrophyte in an open lake on the Upper Paraná river floodplain, Brazil. *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 2013, 35(4), 513-519.

CAMARGO, V.M. and FERRAGUT, C. Estrutura da comunidade de algas perifíticas em *Eleocharis acutangula* (Roxb.) Schult (Cyperaceae) em reservatório tropical raso, São Paulo, SP, Brasil. *Hoehnea*, 2014, 41(1), 31-40.

CARAPUNARLA, L., BAUMGARTNER, D. and RODRIGUES, L. Community structure of periphytic algae in a floodplain lake: a long-term study. *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 36:147-154.

COESEL, P.F.M. and WARDENAAR, K. Growth responses of planktonic desmid species in a temperature: light gradient. *Freshwater Biology*, 1990, 23(3),551-560.

DUNCK, B., LIMA-FERNANDES, E., CÁSSIO, F., CUNHA, A., RODRIGUES, L. and PASCOAL, C. Responses of primary production, leaf litter decomposition and associated communities to stream eutrophication. *Environmental Pollution*, 2015, 202, 32–40.

ESTEVEZ, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. 3^a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FELISBERTO, S.A. and MURAKAMI, E.A. Papel do Perifíton na Ciclagem de Nutrientes e na Teia Trófica. In: SCHWARZBOLD, A., BURLIGA, A.L., and TORGAN, L.C., orgs. *Ecologia do Perifíton*. São Carlos: RiMa, 2013, pp.147-156.

FERRAGUT, C. and BICUDO, D.C. Periphytic algal community adaptive strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 2010, 646, 295–309.

FERRAGUT, C. and BICUDO, D.C. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade Perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). *Revista Brasileira de Botânica*, 2009, 32(3), 571-585.

FONSECA, I.A., SIQUEIRA, N.S. and RODRIGUES, L. Algas perifíticas a montante e a jusante do local de instalação de tanques-rede em tributários do reservatório de Rosana, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum*, 2009, 31, 135-141.

FONSECA, I.A. and RODRIGUES, L. Comunidade de algas perifíticas em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Scientiarum*, 2005, 27(1), 21-28.

JUNK, W., BAYLEY, P. and SPARKS, R. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1989, 106, 110-127.

JUNK, W.J. Mechanisms for development and maintenance of biodiversity in neotropical floodplains. *Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation*. B. Gopal, W. J. Junk and J. A. Davis. Leiden, Backhuys Publishers, 2000, 1, 119-139.

KOMÁREK, J. and ANAGNOSTIDIS, K. 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 4: Nostocales. *Algological studies*, 1989, 82, 247-345.

LAMPERT, W. and SOMMER, V. Limnoecology, the ecology of lakes and streams. 2^a ed. Oxford University Press, 2007, pp.335.

LEANDRINI, J., FONSECA, I.A. and RODRIGUES, L. Variation in algal periphyton biomass in the upp Paraná River floodplain, Brazil. Brazilian Journal of Biology, 68(4), 14-37.

LEGENDRE, P. and LEGENDRE, L. Numerical Ecology. Elsevier Science, 1998.

LOBO, E.A., CALLEGARO, V.L., HERMANY, G., BES, D., WETZEL, C. and OLIVEIRA, M.A. Use of epilithic diatoms as bioindicators, with special emphasis to the eutrophication problem of lotic systems in Southern Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia, 2004, 16(1), 25-40.

MACKERETH, F.Y.H., HERON, J. and TALLING, J.F. Water analysis: some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association, 1978, 36, 1-120.

MIDDLETON, B.A. The flood pulse concept in wetland restoration. In: MIDDLETON, B.A., ed. Flood Pulsing in Wetlands: Restoring the Natural Hydrological Balance. Jonh Wiley and Sons, Inc. 2002, pp.1-10.

MORO, R.S. and FÜRSTENBERGER, C.B. Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas. Ponta Grossa, Editora UEPG, 1997, p. 282.

MURAKAMI, E.A., BICUDO, D.C. and RODRIGUES, L. Periphytic algae of the Garcas Lake, upper Paraná River floodplain: comparing the years 1994 and 2004. Brazilian Journal of Biology, 2009, 69, 459-468.

NEIFF, J.J. Diversity in some tropical wetland systems of South América. In: Gopal B, Junk, W.J., Davis, J.A., eds. Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. Backuys Publishers, Leiden, 2001, pp.157-186.

NEIFF, J.J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. Interciencia, 1990, 15, 424-441.

PELLEGRINI, B.G. and FERRAGUT, C. Variação sazonal e sucessional da comunidade de algas perifíticas em substrato natural em um reservatório mesotrófico tropical. *Acta Botanica Brasilica*, 2012, 26, 807-818.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2014, Vienna, Austria. Available: <http://www.R-project.org/>

ROBERTO, M.C., SANTAN, N.F. and THOMAZ, S.M. Limnology in the Upper Paraná River floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. *Brazilian Journal of Biology*, 2009, 69, 717-725.

ROCHA, R.R.A. and THOMAZ, S.M. Variação temporal de fatores limnológicos em ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná (PR/MS - Brasil). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 2004, 26(3): 261-271.

RODRIGUES, L., ALGARTE, V.M., SIQUEIRA, N.S. and NEIFF, E.M. Fatores envolvidos na distribuição e abundância do perifíton e principais padrões encontrados em ambientes da planície de inundação. In: SCHWARZBOLD, A., BURLIGA, A.L., and TORGAN, L.C., eds. *Ecologia do Perifíton*. São Carlos: RiMa, 2013, pp. 131-145.

RODRIGES, L. and BICUDO, D.C. Periphytic algae. In: S.M. THOMAZ, A.A. AGOSTINHO, and N.S. HAHN, eds. *The upper Paraná river and its floodplain – physical aspects, ecology and conservation*. Backhuys Publishers, Leiden, 2004, pp. 126-143.

RODRIGUES, L., BICUDO, D.C. and MOSCHINI-CARLOS, V. O papel do perifíton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais. In: THOMAZ, S.M., and BINI, L.M., eds. *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Eduem, Maringá, 2003, pp.211-230.

RODRIGES, L. and BICUDO, D.C. Limnological characteristics comparison in three systems with different hydrodynamic regime in the upper Paraná river floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 2001, 13(1), 235-248.

ROUND, F.E. Diatoms in river water-monitoring studies. *Journal of Applied Phycology*, 1991, 3, 129-145.

ROUND, F.E., CRAWFORD, R.M. and MANN, D.G. *Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, 1990.

SALOMONI, S.E., ROCHA, O., CALLEGARO, V.L. and LOBO, E.A. Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravataí river, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia*, 2006, 559, 233-246.

SCHNECK, F., TORGAN, L.C. and SCHWARZBOLD, A. Diatomáceas epilíticas em riacho de altitude no sul do Brasil. *Rodriguésia*, 2008, 59, 325-338.

SCHWARZBOLD, A. Métodos ecológicos aplicados ao estudo do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1990, 3(1), 545-592.

STATSOFT Inc. *Statistica* (data analysis software system). Version 7.1. 2005. <http://www.statsoft.com>

THOMAZ, S.M., ROBERTO, M.C. and BINI, L.M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A.E.A.M., AGOSTINHO, A.A. and HAHN, N.S., eds. *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos e biológicos e socioeconômicos*. Maringá: Eduem, 1997, pp. 73-102.

THOMAZ, S.M., PAGIORO, T.A., BINI, L.M., ROBERTO, M.C. and ROCHA, R.R.A. Limnological characterization of the aquatic environments and the influence of hydrometric levels. In THOMAZ, S.M., AGOSTINHO, A.A. and HAHN, N.S., eds. *The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. The Netherlands: Backhuys Publishers, 2004, pp. 75-102.

THOMAZ, S.M., BINI, L.M. and BOZELLI, R.L. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia*, 2007, 579, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-006-0285-y>.

VERCELLINO, I.S. and BICUDO, D.C. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em reservatório oligotrófico tropical (São Paulo, Brasil): Comparação entre período seco e chuvoso. *Revista Brasileira de Botânica*, 2006, 29: 363-377.

WARD, J.V., TOCKNER, K., ARSCOTT, D.B. and CLARET, C. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, 2002, 47, 517–539.

WANTZEN, K.M., JUNK, W.J. and ROTHHAUPT, K.O. An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. *Hydrobiologia*, 2008, 613, 151–170.

WETZEL, R.G. and LIKENS, G.E. *Limnological analyses*. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 2000, pp. 491.

WETZEL, R.G. Recommendations for future research on periphyton. In R.G. WETZEL, ed. *Periphyton of freshwater ecosystem*. The Hague: Dr. W. Junk, 1983, pp. 339-346.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa corroborou uma vez mais a importância relativa do fator ambiental sobre a estruturação de metacomunidades de algas perifíticas em ambientes lênticos da planície de inundação do alto rio Paraná. Também foi possível evidenciar que a variação espaço-temporal das comunidades de algas perifíticas em ambientes de planície de inundação são influenciadas principalmente pelas variações ambientais juntamente com a mudança sazonal do regime hidrológico do rio Paraná.