

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

THAÍS XAVIER DE MELO

**Efeitos do enriquecimento de nutrientes sobre os processos ecossistêmicos  
(produtividade primária e secundária): uma abordagem experimental**

Maringá  
2015

THAÍS XAVIER DE MELO

**Efeitos do enriquecimento de nutrientes sobre os processos ecossistêmicos  
(produtividade primária e secundária): uma abordagem experimental**

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: Dr.<sup>a</sup> Claudia Costa Bonecker  
Coorientadora: Dr.<sup>a</sup> Juliana Déo Dias

Maringá  
2015

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

M528e Melo, Thaís Xavier de, 1990-  
Efeitos do enriquecimento de nutrientes sobre os processos ecossistêmicos (produtividade primária e secundária) : uma abordagem experimental / Thaís Xavier de Melo. -- Maringá, 2015.  
38 f. : il. (algumas color.).  
Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-- Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2015.  
Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Claudia Costa Bonecker.  
Coorientadora: Dr.<sup>a</sup> Juliana Déo Dias.  
1. Zooplâncton de água doce - Produtividade secundária - Eutrofização moderada. 2. Fitoplâncton de água doce - Produtividade primária - Eutrofização moderada. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -595.341763158  
NBR/CIP - 12899 AACR/2

THAÍS XAVIER DE MELO

**Efeitos do enriquecimento de nutrientes sobre os processos ecossistêmicos  
(produtividade primária e secundária): uma abordagem experimental**

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

Dr.<sup>a</sup> Claudia Costa Bonecker  
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Odete Rocha  
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Dr. Luiz Felipe Machado Velho  
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 25 de fevereiro de 2015.

Local de defesa: Auditório do Nupélia, Bloco H-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

Dedico este trabalho a  
minha querida Tia  
Carminha (*in memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pela bolsa concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA).

A minha orientadora Dr.<sup>a</sup> Claudia Costa Bonecker.

A minha coorientadora Dr.<sup>a</sup> Juliana Déo Dias.

Ao Prof. Dr. Nadson Ressayé Simões.

Ao Laboratório de Ecologia de Zooplâncton do PEA-UEM.

Ao Laboratório de Limnologia do PEA-UEM.

A turma do mestrado PEA-2013.

A Bianca Trevisan e Felipe Amadeo.

A Diogo Castanho, Ariádine Heloisa Nunes, Louizi Braghin e Clarice Leal.

A Mariana Teixeira e Luiz Felipe Fernandes.

A minha família paraibana e paranaense.

Ao José Vítor Botter Fasoli.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho, muito obrigada!

Outros que contem  
Passo por passo:  
Eu morro ontem

Nasço amanhã  
Ando onde há espaço:  
– Meu tempo é quando.

(Poética – Vinícius de Moraes)

## **Efeitos do enriquecimento de nutrientes sobre os processos ecossistêmicos (produtividade primária e secundária): uma abordagem experimental**

### **RESUMO**

O enriquecimento de nutrientes nos ecossistemas aquáticos é um dos impactos antrópicos mais difundidos no mundo. Sendo assim, é necessário avaliar experimentalmente quais os seus efeitos nos processos ecossistêmicos de produtividade primária fitoplanctônica (PPL) e secundária zooplanctônica (PS), e na riqueza, dominância e composição da comunidade zooplanctônica. Foi testado se os processos ecossistêmicos são afetados positivamente com o enriquecimento de nutrientes, e se a estrutura da comunidade zooplanctônica apresenta respostas distintas a este enriquecimento e ao longo do tempo. Para isso, o experimento ocorreu durante 30 dias, utilizando mesocosmos preenchidos com água do rio Paraná. Inóculos de fitoplâncton e zooplâncton, coletados nos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná, foram adicionados nos mesocosmos. O delineamento experimental foi ao acaso, em tréplica, com três tratamentos: menor concentração de nutrientes (N1); média concentração de nutrientes (N2) e elevada concentração de nutrientes (N3). A PPL do fitoplâncton foi estimada através do método de frascos claros e escuros, em cada mesocosmo no início e a cada cinco dias até o final do experimento, totalizando sete amostragens. O zooplâncton foi coletado nos mesmos dias de determinação da PPL através da filtração de 10 L de água em cada mesocosmo. A PS dos rotíferos foi estimada por meio do método do recrutamento, e dos cladóceros e copépodes através do método de incremento de biomassa. A riqueza correspondeu ao número de espécies em cada amostra, e a dominância foi estimada a partir da equitabilidade da comunidade. O enriquecimento de nutrientes afetou os processos ecossistêmicos positivamente, e aumentou as oscilações ao longo do tempo. Por outro lado, os atributos da comunidade foram afetados apenas pelo tempo, e as interações entre as populações foram alteradas, favorecendo organismos de grande porte e melhores competidores, como grandes cladóceros e copépodes. Esses efeitos poderão ser refletidos negativamente nos serviços ambientais prestados pelos ecossistemas aquáticos.

**Palavras-chave:** Produtividade primária fitoplanctônica. Produtividade secundária zooplanctônica. Mesocosmos. Eutrofização moderada.

## **Effects of nutrient enrichment on ecosystem processes (primary and secondary productivity): an experimental approach**

### ***ABSTRACT***

Nutrient enrichment on aquatic ecosystem is one of the most widespread human impacts on Earth. The aimed to evaluate experimentally the effects of nutrient enrichment on ecosystem processes of phytoplankton primary productivity (PPL) and zooplankton secondary productivity (PS), and on richness, dominance and composition of zooplankton community. We tested whether ecosystem processes are positively affected with nutrient enrichment, and whether the structure of zooplankton community responds distinctively to enrichment and over time. The experiment ran for 30 days in mesocosms filled with water from the Paraná River. Inocula of phytoplankton and zooplankton from environments of the Upper Paraná River floodplain were added in the mesocosms. The experimental design was randomized and replicated three times, with three treatments: lower nutrient concentration (N1); middle nutrient concentration (N2); and high nutrient concentration (N3). The phytoplankton's PPL was estimated by the method of light and dark bottles in each mesocosm at the beginning and every five days until the end of the experiment, with a total of seven days of sampling. Zooplankton was collected at the same PPL sampling days by filtering 10 L of water from each mesocosm. Rotifers' PS was estimated by the method of recruitment, and cladocerans and copepods' through the biomass growth method. Richness was the species number in the sample, and the dominance was estimated from community evenness. Nutrient enrichment positively affected primary and secondary productivity, and increased fluctuations over time. Community attributes were only affected by time; the interactions between populations changed in favor of large bodied animals and better competitors, such as large cladocerans and copepods. These effects could reflect negatively in environmental services provided by aquatic ecosystems.

**Keywords:** Phytoplankton primary productivity. Zooplankton secondary productivity. Mesocosms. Moderate eutrofication.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Plos one*. Disponível em: <<http://www.plosone.org/>>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	11
2.1 DESENHO EXPERIMENTAL.....	11
2.2 PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA (PPL) FITOPLANCTÔNICA.....	12
2.3 PRODUTIVIDADE SECUNDÁRIA (PS) E ESTRUTURA DA COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA.....	13
2.4 ANÁLISES DOS DADOS .....	17
<b>3 RESULTADOS</b> .....	18
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	28
<b>ANEXO A</b> .....	35

# 1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos estão sob constante ameaça a sua integridade ecológica devido aos impactos antrópicos [1]. Um dos impactos antrópicos mais difundidos sobre os ecossistemas aquáticos em todo o mundo é o enriquecimento de nutrientes [2-7]. O aporte de esgotos e de fertilizantes agrícolas, além da degradação da vegetação ripária a qual impede o escoamento de nutrientes para o ecossistema aquático adjacente [8], pode, direta ou indiretamente, afetar os processos ecossistêmicos e as comunidades aquáticas [9-14]. Isso leva a maiores taxas de crescimento populacional, exclusão competitiva e, por conseguinte, redução da riqueza de espécies e aumento da dominância [15-17].

O nitrogênio e fósforo são nutrientes limitantes para a produtividade primária e estão envolvidos no enriquecimento dos ecossistemas aquáticos [4,10]. A produtividade primária líquida corresponde à quantidade de matéria orgânica acrescida pela fotossíntese nos organismos produtores, por um período de tempo, menos a energia perdida pela respiração [18], representa a quantidade de energia disponível para o próximo nível trófico [19]. Esse processo ecossistêmico está relacionado positivamente com a produtividade secundária [20-21], taxa de produção de nova biomassa por organismos consumidores, avaliada pela densidade, biomassa e crescimento ao longo do tempo de uma população [22]. Assim, como a produtividade primária é favorecida pelo enriquecimento de nutrientes devido a maior disponibilidade de recursos [14], a produtividade secundária também deve ser favorecida inicialmente.

A maioria dos trabalhos que investigam os efeitos do enriquecimento de nutrientes aborda esse tema relacionando o aumento de nutrientes com a produtividade primária e/ou atributos das comunidades aquáticas, como riqueza, abundância e biomassa [17, 23-25]. É importante utilizar a produtividade secundária nesse aspecto, pois ela permite estimar a quantidade de energia que foi incorporada através do consumo e está disponível para os próximos níveis tróficos, uma medida funcional do fluxo de energia através do ecossistema [26-28]. Os experimentos manipulativos são importantes em ecologia, pois assumem que variáveis atuando simultaneamente não irão interferir sobre o delineamento e procedimentos experimentais [29]. Vários estudos testaram experimentalmente os efeitos do enriquecimento

de nutrientes sobre os organismos aquáticos [11, 17, 25, 30-33] e evidenciaram a necessidade de preocupação com os ecossistemas sujeitos ao aporte de nutrientes.

Sendo assim, é necessário avaliar experimentalmente quais os efeitos do enriquecimento de nutrientes sobre os processos ecossistêmicos de produtividade primária fitoplanctônica e secundária zooplanctônica, e em alguns atributos estruturais da comunidade zooplanctônica (riqueza, composição e dominância). Para isso, foi testada a seguinte hipótese: os processos ecossistêmicos são alterados com o enriquecimento de nutrientes, e a estrutura da comunidade zooplanctônica apresenta respostas distintas ao enriquecimento e ao longo do tempo, como diminuição da riqueza, aumento da dominância e alteração na composição de espécies.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 DESENHO EXPERIMENTAL**

O experimento foi realizado na Base Avançada de Pesquisas do Nupélia (Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura), Porto Rico-PR, durante 30 dias (11 de novembro a 11 de dezembro de 2013). O número de dias de execução do experimento foi determinado considerando o ciclo de vida das espécies de zooplâncton, que é de até 31 dias [34-35].

Foram utilizados mesocosmos de polietileno com 800L, preenchido com água do rio Paraná caracterizada como oligotrófica [36]. Comunidades naturalmente diversas de fitoplâncton e zooplâncton foram adicionadas a partir de inóculos dessas comunidades, obtidos em diferentes lagoas da planície de inundação do alto rio Paraná, coletados com redes de plâncton de 20 $\mu$ m (fitoplâncton), 45 $\mu$ m e 68 $\mu$ m (zooplâncton), para aumentar a efetividade da amostragem dos organismos menores. As amostras apresentaram uma elevada diversidade, e as espécies foram estocadas em mesocosmos semelhantes aos do experimento, durante três dias antes do início do mesmo.

O delineamento experimental foi ao acaso com três níveis de nutrientes, em tréplica num total de nove mesocosmos. As concentrações de nutrientes utilizadas nos diferentes

níveis foram: menor concentração de nutrientes – 100  $\mu\text{gL}^{-1}$  de nitrato e 5  $\mu\text{gL}^{-1}$  de fosfato (N1); média concentração de nutrientes – 240  $\mu\text{gL}^{-1}$  de nitrato e 12  $\mu\text{gL}^{-1}$  de fosfato (N2) e elevada concentração de nutrientes – 360  $\mu\text{gL}^{-1}$  de nitrato e 18  $\mu\text{gL}^{-1}$  de fosfato (N3), e estas foram mantidas por meio de adição de diferentes volumes de uma solução composta de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) de concentração conhecida (80  $\text{gL}^{-1}$  de nitrato e 4  $\text{gL}^{-1}$  de fosfato) a cada 3 dias para evitar o esgotamento ao longo do tempo e manter a proporção das concentrações entre os distintos tratamentos. Essas concentrações foram definidas com base em trabalhos realizados anteriormente na planície de inundação do alto rio Paraná (22°45'S e 53°30'W) que está localizada na região subtropical da América do Sul ocupando uma área de 5.267  $\text{km}^2$ . Por fazer parte de regiões populosas, esse ecossistema está sujeito a impactos de origem antrópica, como elevados aportes de nutrientes provenientes de atividades agrícolas e esgotos domésticos, desmatamento da vegetação ripária e construção de barragens [37-38].

A fim de monitoramento, diariamente foram mensurados o oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ; oxímetro digital YSI®), temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ; termômetro acoplado ao oxímetro), condutividade elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ; medidor portátil Digimed®) e pH (medidor portátil Digimed®) e turbidez (NTU; turbidímetro portátil LaMotte®). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Variáveis abióticas mensuradas em cada tratamento (N1, N2, N3).**

	OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	pH	Turbidez (NTU)	
N1	média	8,4	28,7	75,3	8,7	4,1
	$\pm$ DP	0,8	2,2	6,6	0,5	1,4
	mínimo	7,1	25,8	63,6	7,8	2,2
	máximo	10,2	32,3	89,7	9,6	7,3
N2	média	8,4	28,8	75,0	8,6	5,9
	$\pm$ DP	1,0	2,1	7,5	0,9	1,3
	mínimo	5,7	25,2	63,3	6,3	3,3
	máximo	10,6	32,3	95,0	9,8	9,6
N3	média	8,8	28,7	76,9	9,0	6,7
	$\pm$ DP	1,2	2,2	8,1	0,6	1,3
	mínimo	6,5	25,7	63,2	8,0	3,5
	máximo	11,7	32,5	95,5	9,8	9,0

OD = oxigênio dissolvido; média  $\pm$  desvio padrão, mínimo e máximo.

## 2.2 PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA (PPL) FITOPLANCTÔNICA

A PPL do fitoplâncton ( $\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ ) foi estimada em cada mesocosmo no início e a cada cinco dias até o final do experimento, totalizando sete amostragens (T1, T2, T3, T4, T5,

T6 e T7). Essa estimativa foi obtida através da avaliação das alterações nas concentrações de oxigênio na água, por unidade de tempo, dentro de frascos claros e escuros, abordagem comum utilizada para medir o metabolismo aquático [39-40]. A concentração de oxigênio dissolvido foi mensurada utilizando o oxímetro digital YSI®.

Esse método consiste na incubação de amostras de água em dois frascos, sendo um claro (Fc) e um escuro (Fe). Após encher os frascos com água em cada mesocosmo, foi medida a concentração do oxigênio dissolvido (Fi). O Fc e o Fe foram incubados por 4h (10h-14h de cada dia de amostragem), e posteriormente foi medida novamente a concentração do oxigênio dissolvido em cada frasco. No Fc, além da produção de oxigênio pela fotossíntese também ocorreu o consumo deste pela respiração da comunidade, enquanto que no Fe ocorreu apenas o consumo. Desse modo, foi assumido que a respiração em ambos os frascos ocorreu na mesma intensidade. Para o cálculo da produtividade primária líquida (PPL), foi utilizada a equação:

$$PPL = Fc - Fi$$

Os valores de produção primária líquida foram convertidos para carbono usando a relação de 0,375 mol de carbono para 1 mol de oxigênio [39].

### 2.3 PRODUTIVIDADE SECUNDÁRIA (PS) E ESTRUTURA DA COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA

Os rotíferos, cladóceros e copépodes foram amostrados nos mesmos dias de amostragem da PPL. Para isso, foram filtrados 10 litros de água em cada mesocosmo (quantidade suficiente para representar a comunidade, sem causar impacto na densidade do zooplâncton) em rede de plâncton com 45 µm de abertura de malha, e a água filtrada retornou para o mesocosmo, a fim de evitar redução no nível da água. O zooplâncton foi narcotizado por saturação de CO<sub>2</sub> da amostra (adição de água com gás), antes da fixação com solução de formaldeído (4%) com adição de açúcar e tamponada com carbonato de cálcio. Este procedimento evita a contração dos indivíduos e o desprendimento dos ovos.

Em laboratório, a identificação das espécies foi realizada com auxílio de bibliografia especializada [41-46]. A abundância dos indivíduos (ind.m<sup>-3</sup>) foi obtida através de sub-

amostragens com pipeta tipo Hensen-Stempel (2,5 mL), sendo contados no mínimo, 50 indivíduos de cada grupo zooplanctônico em câmaras de Sedgewick-Rafter modificada, sob microscópio óptico [47]. As amostras que apresentaram um reduzido número de indivíduos foram quantificadas na íntegra.

A produtividade secundária dos rotíferos ( $\mu\text{gC.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ) foi estimada utilizando o método do recrutamento [48], pelo qual são avaliados a taxa finita de nascimento ( $B$ ) e o peso seco médio individual dos organismos, onde apenas as espécies que apresentaram ovos nas amostras foram utilizadas.

$$B = \frac{E}{De}$$

Onde,

$E$  = fecundidade (número de ovos/fêmeas);

$De$  = tempo de desenvolvimento.

$$PN = Nf.B$$

Onde,

$PN$  = recrutamento de novos indivíduos;

$Nf$  = densidade de fêmeas;

$B$  = taxa finita de nascimento.

$$PS = PN.W$$

Onde,

$PS$  = produtividade secundária;

$W$  = peso médio individual.

Esse método é principalmente aplicado para organismos que apresentam pequenas diferenças no tamanho dos indivíduos recém-eclodidos e adultos [49], como é o caso dos

rotíferos.

O tempo de desenvolvimento ( $De$ ) embrionário foi calculado usando uma regressão [49]:

$$\ln(De) = \ln(a) + b\ln(t) + c(\ln(t))^2$$

Onde,

$$\ln(a) = 2,7547$$

$$b = -0,2484$$

$$c = -0,2408$$

$t$  = temperatura média da água do dia de amostragem (°C)

O biovolume ( $\mu\text{m}^3$ ) foi calculado a partir das formas geométricas descritas em Ruttner-Kolisko (1977) [50], e utilizando as medidas de comprimento, largura e altura de 30 indivíduos de cada espécie, com auxílio de microscópio ótico com retículo micrometrado e objetiva de 10x. O biovolume de cada indivíduo foi convertido em peso úmido, assumindo que  $10^6 \mu\text{m}^3$  corresponde a 1  $\mu\text{g}$  de peso úmido [47]. A partir disso, o peso seco ( $\mu\text{gPS}$ ) foi estimado como 10% do peso úmido [51]. O peso seco foi convertido em carbono assumindo a relação peso seco:carbono de 10:4 [52].

A produtividade secundária dos cladóceros e copépodes ( $\mu\text{gC.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ) foi estimada pelo método de incremento de biomassa [53], considerando as diferentes classes de tamanho de cladóceros (neonata = n, jovem = j e adulta = a) e fases de desenvolvimento de copépodes (náuplio = n, copepodito = c e adulto = a).

Cladóceros:

$$PS = \frac{Nn \cdot Dvn}{Tn} + \frac{Nj \cdot Dvj}{Tj} + \frac{Na \cdot Dva}{Ta}$$

Copépodes:

$$PS = \frac{Nn.Dvn}{Tn} + \frac{Nc.Dvc}{Tc} + \frac{Na.Dva}{Ta}$$

Onde,

$PS$  = produtividade secundária

$N$  = densidade

$Dv$  = incremento de biomassa

$T$  = tempo de desenvolvimento

$n$  = neonato (cladóceros); náuplio (copépode)

$j$  = jovem

$c$  = copepodito

$a$  = adulto

Para essa estimativa, foram selecionadas as espécies que apresentaram abundância relativa maior que 5%. O peso seco foi calculado por meio de modelos de regressão peso-comprimento obtidos da literatura [28, 54-57]. Quando não obtida a regressão para a espécie, o peso seco foi calculado com base em regressões de espécies com dimensões e formato do corpo semelhantes. O tamanho dos indivíduos foi obtido com auxílio de microscópio ótico com retículo micrometrado e objetiva de 10x, considerando o maior eixo corpóreo dos cladóceros e copépodes, excetuando-se os espinhos. Foram medidos 30 indivíduos de cada espécie em cada amostra, incluindo as formas jovens de cladóceros (neonata e jovem) e copépodes (náuplios e copepoditos) e os adultos. As espécies de cladóceros foram separadas por classe de tamanho similarmente a Santos (2010), sendo os neonatos os menores indivíduos, com tamanho intermediário de embrião e jovem; jovens os indivíduos com tamanho maior que neonatos e menores que a menor fêmea ovada; e adulto as fêmeas de tamanho maior ou igual a menor fêmea ovada. O peso seco, assim como nos rotíferos, foi convertido para carbono utilizando a relação 10:4 [52].

O tempo de desenvolvimento embrionário e pós-embrionário e o peso dos ovos dos cladóceros e copépodes foram obtidos da literatura [26, 55, 58-59]. A taxa de renovação ou turnover (produção/biomassa) também foi calculada para os três grupos zooplancctônicos. Ela

representa uma medida do fluxo de energia em relação a biomassa e pode variar entre populações ou comunidades [60], por isso é um elemento importante da produção [61].

A riqueza correspondeu a quantidade de espécies registrada nas amostras. A dominância (D) foi estimada a partir da equitabilidade (E) da comunidade [62], através da expressão:

$$D = 1 - E$$

Sendo

$$E = \frac{H'}{H_{\text{máx}}}$$

Onde,

$H'$ : é a diversidade obtida pelo índice de Shannon-Wiener

$H_{\text{máx}}$ : diversidade sob condição máxima de uniformidade

## 2.4 ANÁLISES DOS DADOS

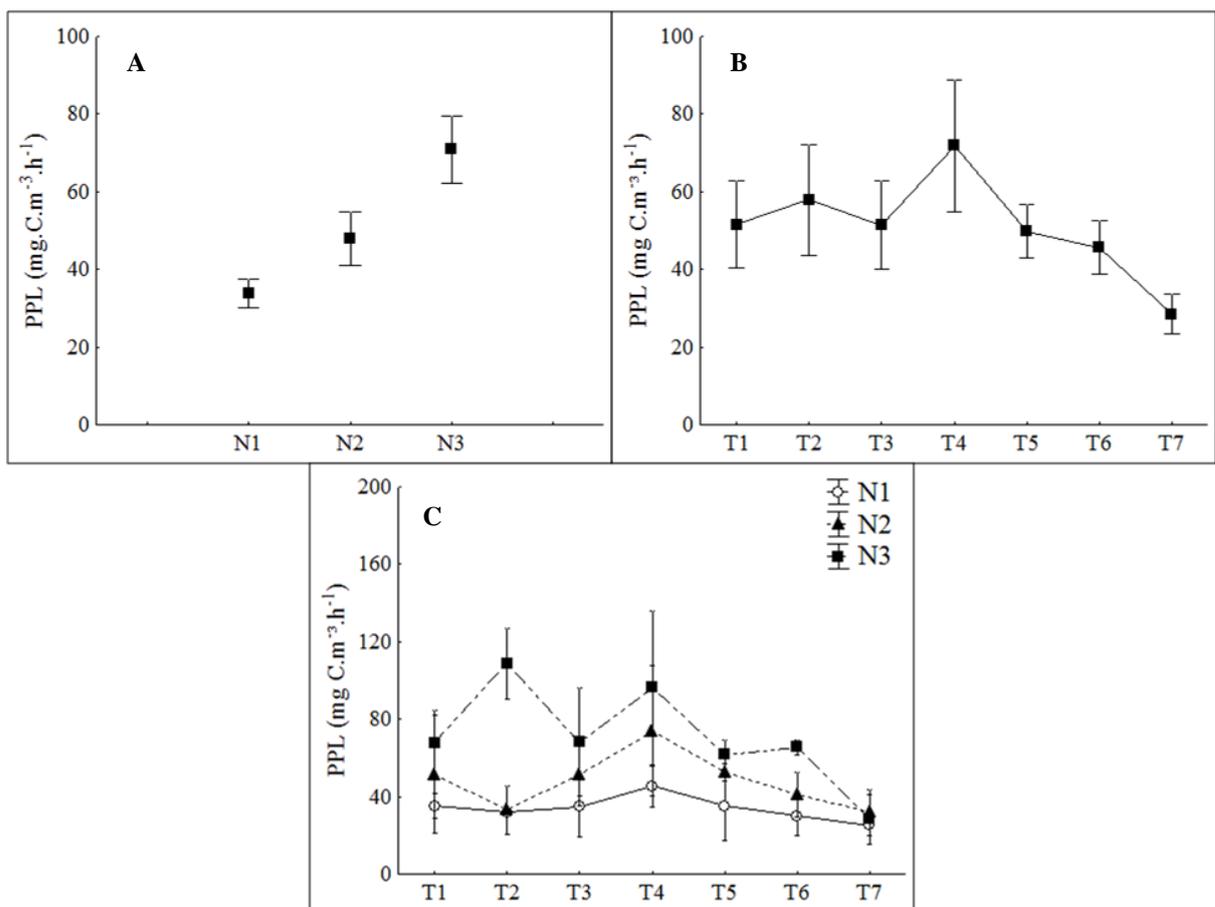
Análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas foi usada para testar o efeito do enriquecimento de nutrientes, do tempo e suas interações na PPL, PS, riqueza e dominância. Os dados foram transformados por  $\log_{10}(x+1)$  e os pressupostos de normalidade e homocedasticidade foram testados para cada análise.

Quando as análises de variância foram significativas, as médias em cada tratamento e dia de amostragem foram comparadas através do teste de Tukey, a fim de verificar quais foram significativamente diferentes entre si. O  $p \leq 0,05$  foi considerado significativo. Essas análises foram realizadas com o auxílio do pacote estatístico Statistica versão 7.1 [63].

Escalonamento multidimensional não métrico (MDS: non-metric multi-dimensional scaling) [64], foi realizado para observar o efeito do enriquecimento de nutrientes e do tempo sobre a composição zooplancônica. Para tanto foi calculada uma matriz de distância de Jaccard, a partir de uma matriz de dados de presença e ausência. A significância dos resultados ( $p \leq 0,05$ ) foi calculada a partir de uma Análise de similaridade (ANOSIM) [64] com 999 permutações. Estas análises foram realizadas no programa estatístico R [65] utilizando os pacotes estatísticos *vegan* [66], *BiodiversityR* [67] e *MASS* [68].

### 3 RESULTADOS

A média da PPL foi  $34,7 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$  no tratamento N1,  $47,7 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$  no tratamento N2 e  $71,4 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$  no tratamento N3, sendo observada diferença significativa entre os tratamentos ( $p = 0,05$ ;  $F = 5,01$ ;  $df = 2$  – Fig. 1; Tabela 2), onde o N1 diferiu do N3 ( $p = 0,04$ ). Ao longo do experimento, foi observada a queda da PPL, com valor médio maior no T4 ( $71,88 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Não foi constatada diferença significativa entre os dias de amostragem, e nem interação, sendo possível observar maiores oscilações no tratamento N3.

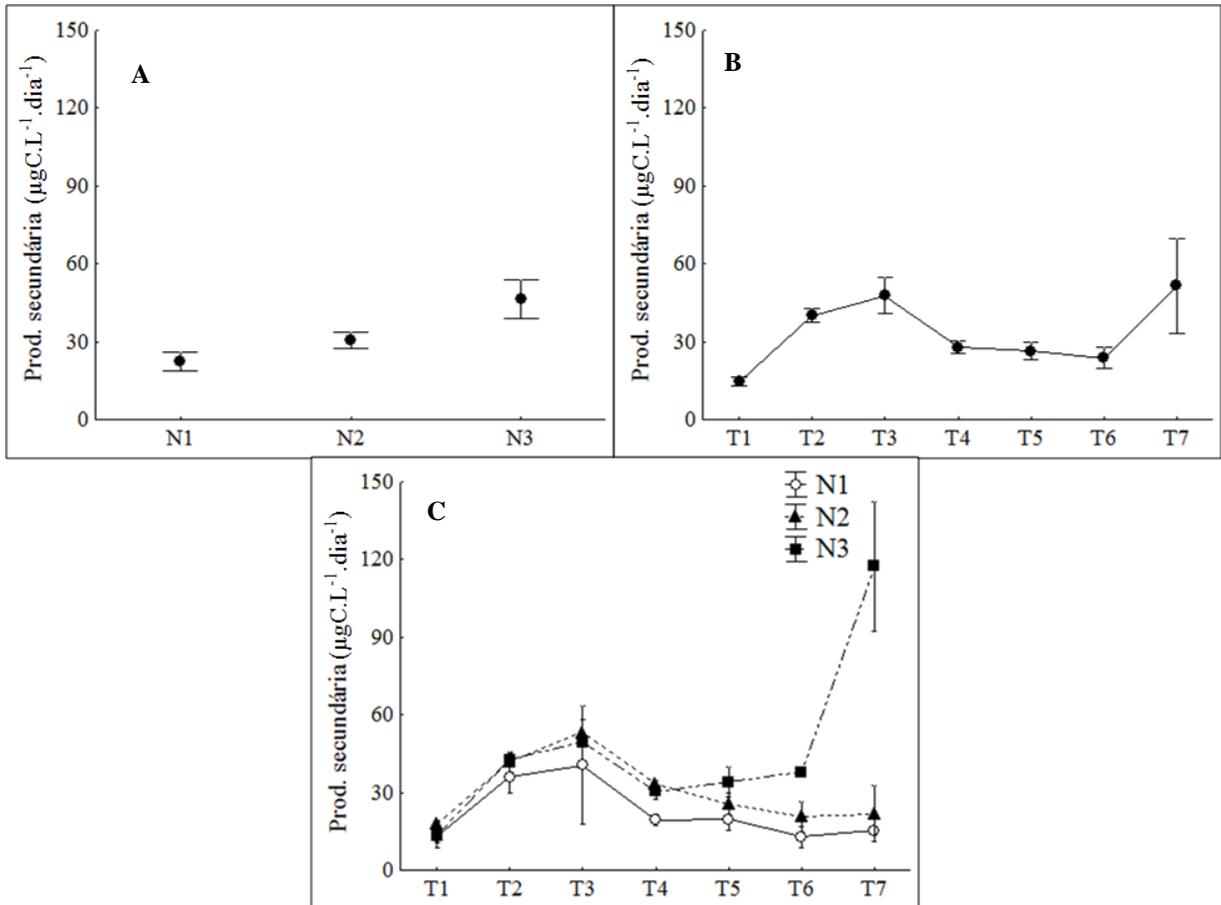


**Fig. 1.** Valores médios  $\pm$  erro padrão da produtividade primária líquida fitoplanctônica em cada tratamento: N1, N2 e N3 (A), ao longo do tempo: T1-T7 (B) e interação (C).

A comunidade zooplanctônica esteve representada em todo experimento por 78 espécies, sendo destas 49 rotíferos, 15 copépodes e 14 cladóceros (S1), além de jovens de cladóceros e copépodes.

A produtividade secundária média da comunidade foi  $22,43 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  no tratamento N1,  $30,57 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  no tratamento N2 e  $46,49 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  no tratamento N3 (Fig. 2), e

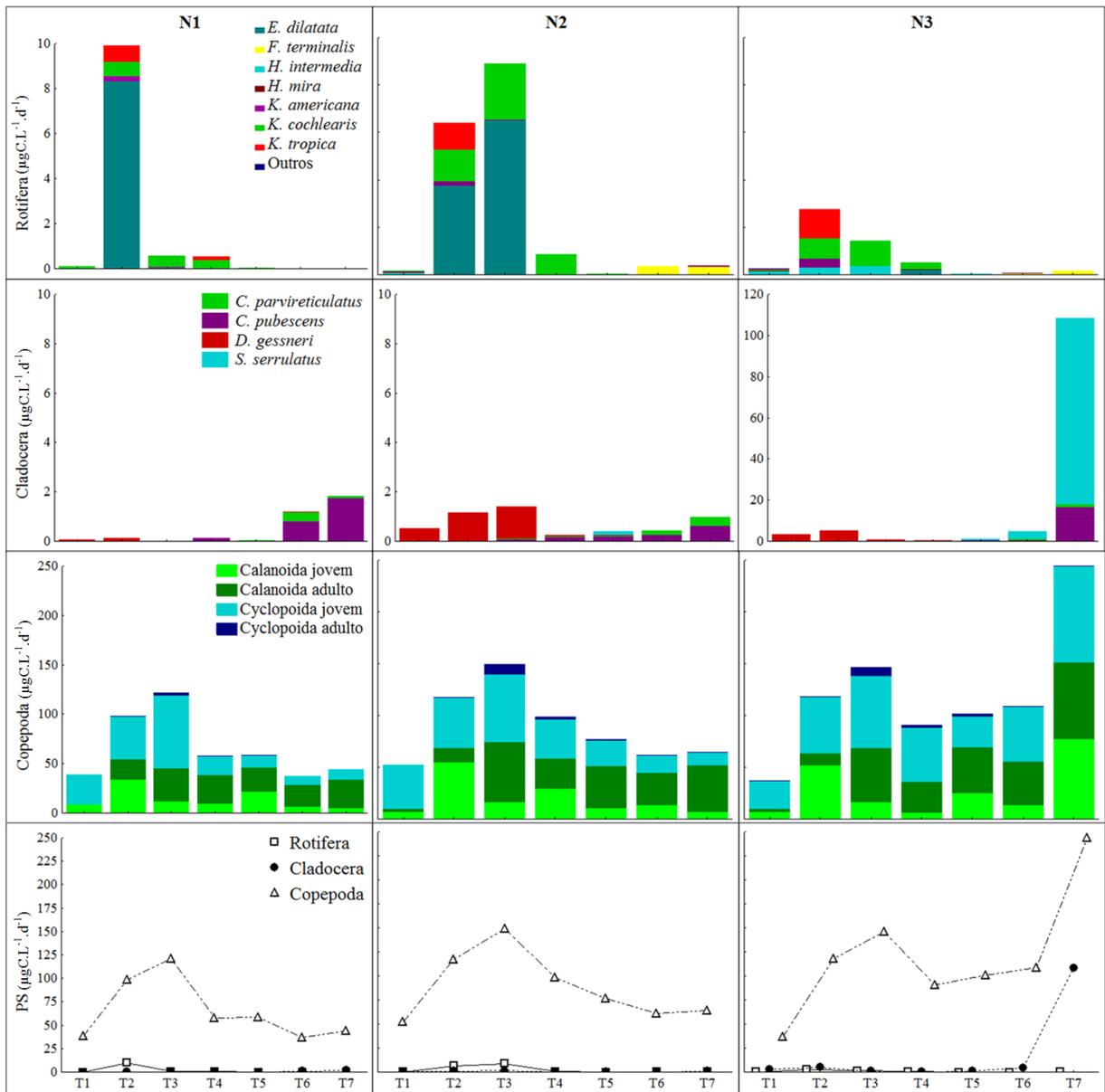
maiores valores foram constatados no tempos T3 e T7. Foi verificada interação significativa entre os tratamentos e dias de amostragem ( $p < 0,01$ ;  $F = 2,78$ ;  $df = 12$  – Tabela 2), e em especial no N3 em T7 ( $p < 0,04$ ).



**Fig. 2.** Valores médios  $\pm$  erro padrão da produtividade secundária em cada tratamento: N1, N2 e N3 (A), ao longo do tempo: T1-T7 (B) e interação (C).

Entre os grupos zooplanctônicos, as espécies de copépodes que contribuíram para a produção secundária foram *Notodiaptomus henseni* (Calanoida adulto) e *Thermocyclops decipiens* (Cyclopoida adulto), além das formas jovens (náuplios e copepoditos). A alta produtividade dos copépodes foi responsável pela maior fração da produtividade secundária total (Fig. 2 e 3), com média de  $30,50 \mu\text{gC.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$  e com maiores valores nos dias de amostragem T2 e T3 em todos os tratamentos diminuindo no T4, e um pico no T7 no tratamento N3 (Fig. 3). Esse valor significativo foi devido ao aumento na produtividade de copépodes Calanoida principalmente. Por outro lado, a produtividade secundária média dos rotíferos foi a mais baixa,  $0,53 \mu\text{gC.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , e teve a contribuição principal de *Euchlanis dilatata*, *Filinia terminalis*, *Hexarthra intermedia*, *H. mira*, *Keratella americana*, *K. cochlearis* e *K. tropica*. Em geral nesse grupo, os maiores valores de PS foram observados no

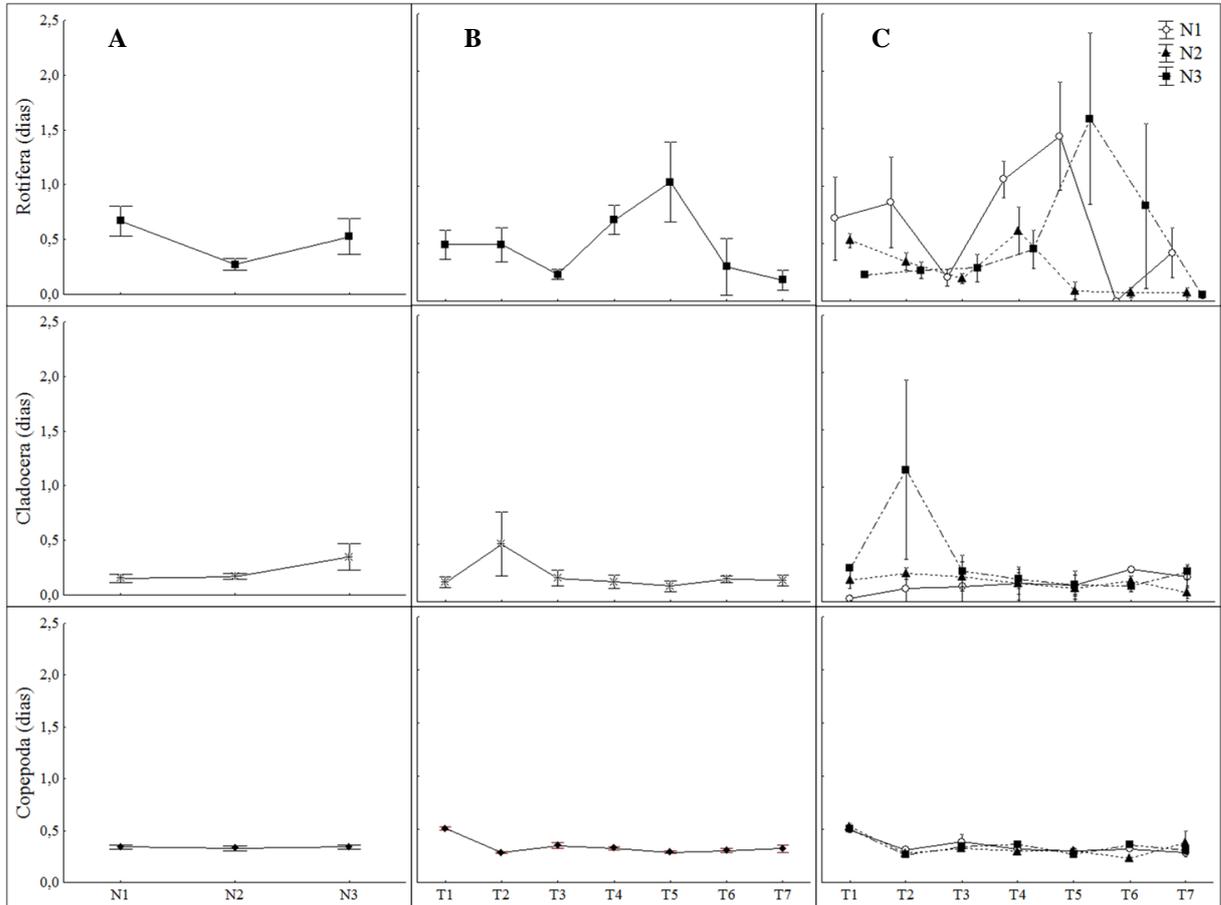
início do experimento (T2 e T3), e em especial no tratamento N2 (Fig. 3). A produtividade secundária média dos cladóceros foi  $2,13 \mu\text{gC.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , com a contribuição de *Chydorus pubescens*, *C. parvireticulatus*, *Daphnia gessneri* e *Simocephalus serrulatus*. Ao contrário dos rotíferos, esses microcrustáceos apresentaram maiores valores de PS no tratamento N3 ao final do experimento, sustentados pelo *Simocephalus serrulatus* (Fig. 3).



**Fig. 3. Produtividade secundária zooplancônica em cada grupo, em cada tratamento: N1, N2, N3, e ao longo do tempo: T1-T7. PS é a soma das produtividades secundárias das espécies representantes de cada grupo. Note que os gráficos diferem quanto a escala do eixo y.**

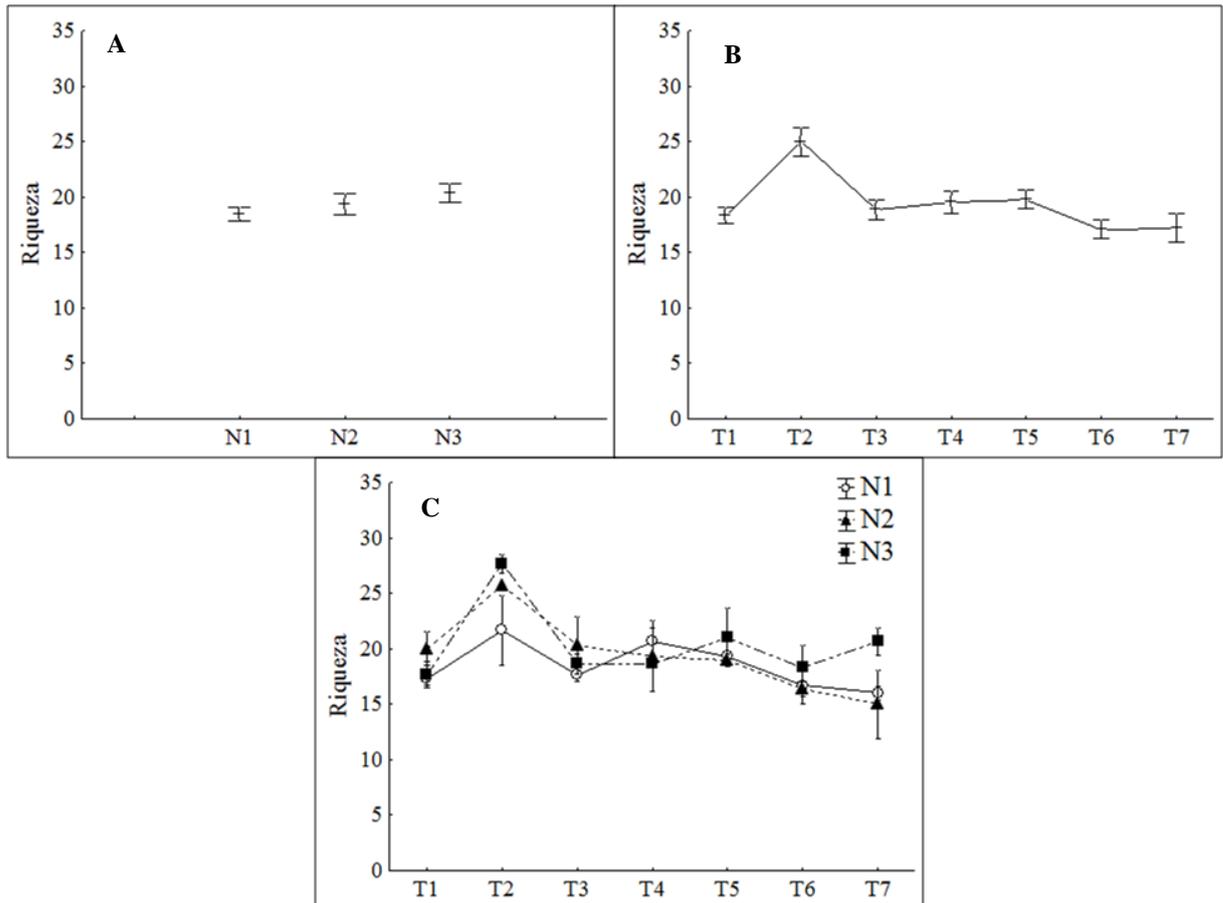
Embora os rotíferos tenham apresentado uma menor PS, a sua taxa de turnover foi a maior entre os grupos zooplancônicos em todos os tratamentos, e o seu valor ao longo do

tempo também foi maior. Cladóceros e copépodos apresentaram valores menores e mais estáveis em todos os tratamentos e ao longo do tempo (Fig. 4).



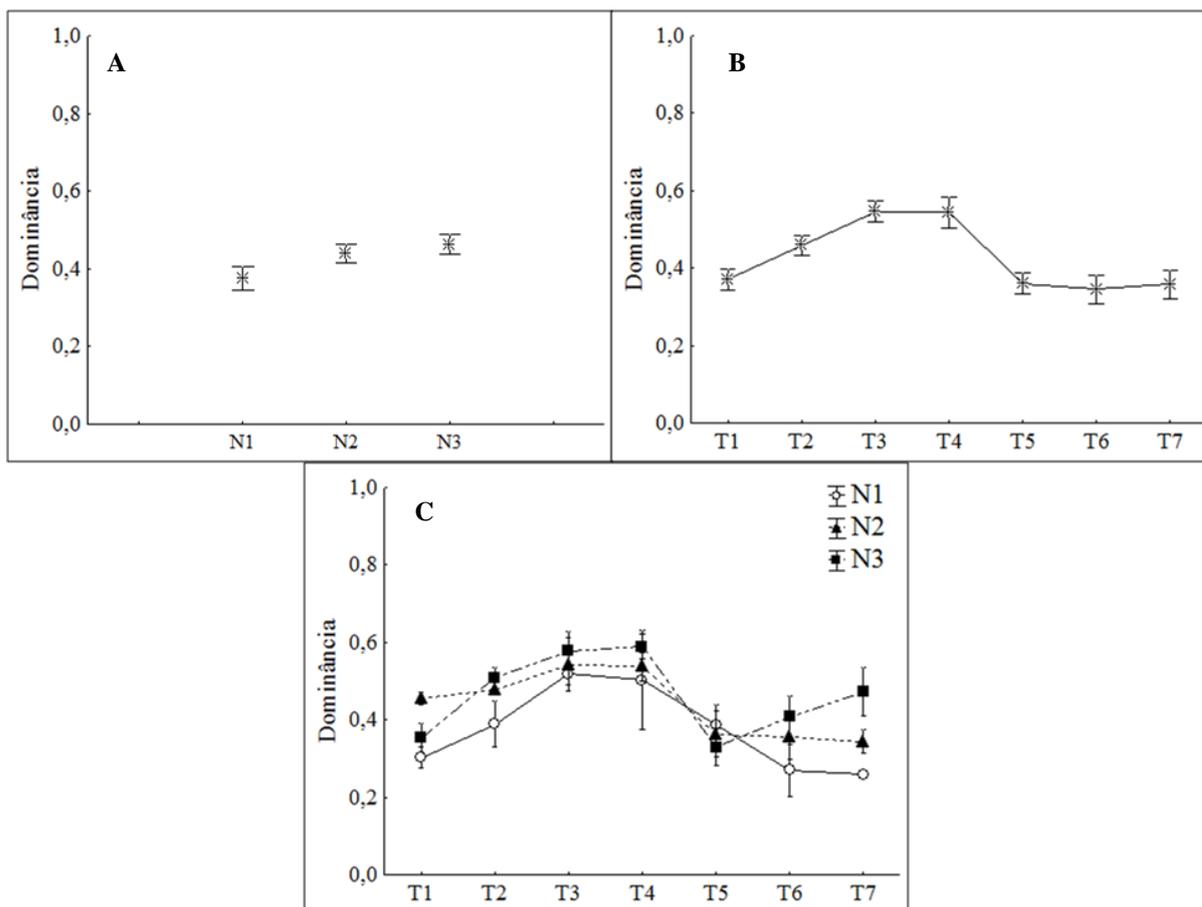
**Fig. 4. Turnover dos grupos zooplancônicos em cada tratamentos (coluna A), ao longo do tempo (coluna B) e interação (coluna C).**

A riqueza média zooplancônica no tratamento N1 foi 18 espécies, 19 no tratamento N2 e 20 no tratamento N3, sendo que essa diferença entre os tratamentos não foi significativa (Fig. 5), apenas ao longo do tempo ( $p < 0,001$ ;  $F = 5,88$ ;  $df = 6$  – Tabela 2), com maiores valores no tempo T2. O teste de Tukey mostrou que os valores médios de riqueza neste dia de amostragem diferiram significativamente dos demais, menos do T5.



**Fig. 5.** Valores médios  $\pm$  erro padrão da riqueza de espécies em cada tratamento: N1, N2 e N3 (A), ao longo do tempo: T1-T7 (B) e interação (C).

A dominância apresentou uma variação semelhante a riqueza de espécies, também apresentando diferenças significativas apenas ao longo do tempo ( $p < 0,001$ ;  $F = 9,57$ ;  $df = 6$  – Fig. 6; Tabela 2). Nesse caso, a dominância nos tempos T3 e T4 foi semelhante entre si e apresentaram diferenças significativas quando comparadas com os outros dias de amostragem.



**Fig. 6.** Valores médios  $\pm$  erro padrão da dominância em cada tratamento: N1, N2 e N3 (A), ao longo do tempo: T1-T7 (B) e interação (C).

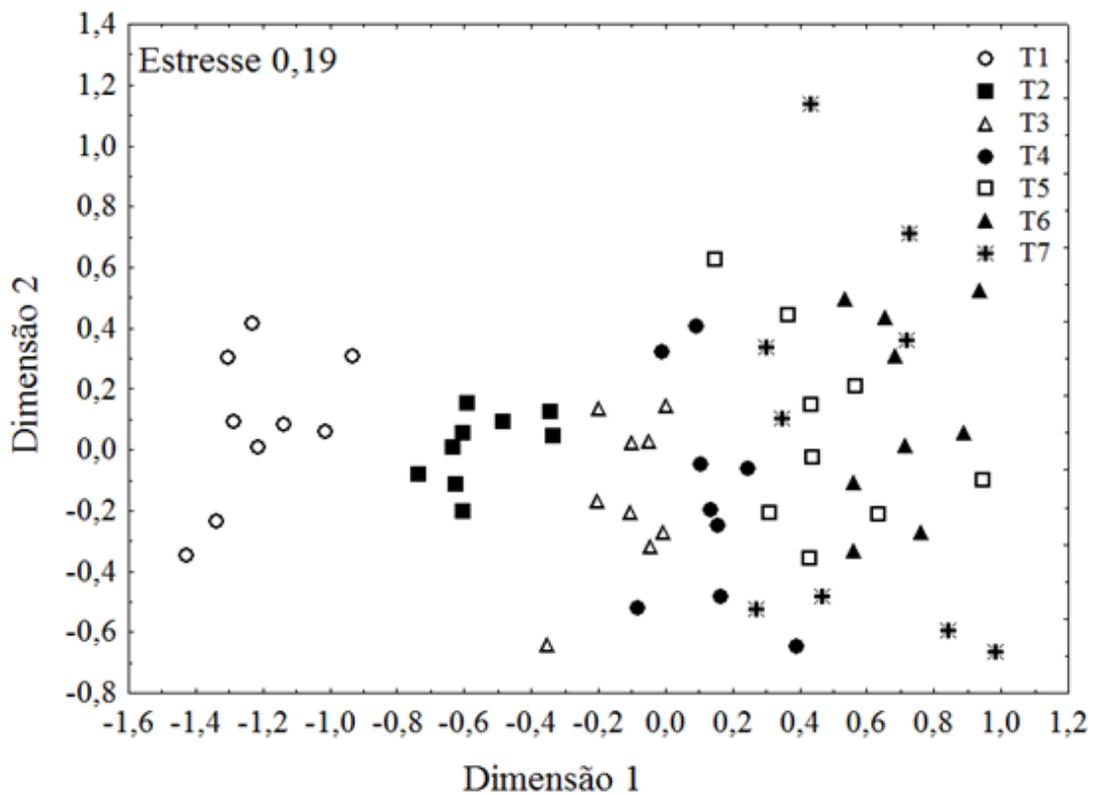
As significâncias das ANOVAs com medidas repetidas para PPL, PS, riqueza e dominâncias estão sumarizadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados da ANOVA com medidas repetidas testando o efeito do nutriente, do tempo e sua interação na produtividade primária líquida (PPL) e secundária (PS), riqueza e dominância do zooplâncton.

PPL			PS		
Efeito	F	p	Efeito	F	p
Nutriente	5,01	*	Nutriente	5,81	*
Tempo	1,09	0,39	Tempo	5,59	***
Nutriente*Tempo	0,55	0,86	Nutriente*Tempo	2,78	**
Riqueza			Dominância		
Nutriente	1,56	0,28	Nutriente	3,17	0,11
Tempo	5,88	***	Tempo	9,58	***
Nutriente*Tempo	1,09	0,40	Nutriente*Tempo	1,15	0,35

A significância estatística foi marcada da seguinte maneira: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

A composição da comunidade zooplancônica, como apresentado pelo escalonamento multidimensional não métrico (MDS), não mostrou separação entre os tratamentos, apenas entre os tempos (Fig. 7). Esse resultado foi confirmado pela ANOSIM que foi significativa apenas para o tempo ( $R: 0,69$ ;  $p = 0,001$ ). Porém, parece haver uma aparente similaridade composicional em cada dia de amostragem T1, T2, T3 e T4 que não é observada nos outros dias.



**Fig. 7.** Escalonamento multidimensional não métrico (MDS) da comunidade zooplancônica diferenciando os tempos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7).

## 4 DISCUSSÃO

O enriquecimento de nutrientes afetou positivamente os processos ecossistêmicos, visto que os valores das produtividades primária e secundária foram mais elevados no nível mais alto de nutrientes. Nitrogênio e fósforo são conhecidos por regular e aumentarem significativamente a produtividade primária quando adicionados simultaneamente no ambiente e representam uma maior disponibilidade de recursos [4, 10]. Com o enriquecimento de nutrientes, os organismos fitoplancônicos investem em crescimento e reprodução [69], refletindo no aumento da PS, pois afeta também as propriedades populacionais, como por exemplo, a biomassa zooplancônica [17].

No entanto, ao longo do tempo, a dinâmica da produtividade primária e da secundária em relação ao enriquecimento de nutrientes foi diferente, a PPL apresentou menores valores e a PS maiores valores ao fim do experimento. Os copépodes Calanoida e o cladóceros *Simocephalus serrulatus* foram os principais responsáveis por essa relação, por ambos serem microcrustáceos herbívoros de grande porte, com valor alto de biomassa e serem bons competidores por recurso quando comparados com os rotíferos [70]. Os rotíferos, por sua vez, são suprimidos e até mesmo excluídos pelos microcrustáceos de grande porte, através da competição pelo mesmo recurso alimentar, no caso o fitoplâncton, porque os organismos maiores se alimentam de forma mais eficiente [52, 71-72].

É perceptível quando se observa a PS em cada grupo separadamente, a menor produtividade secundária foi observada para os rotíferos, enquanto que a maior foi observada para os copépodes. Por serem organismos oportunistas, com alta taxa de fecundidade, desenvolvimento direto, reprodução partenogênica e rápidas taxas de crescimento [73], os rotíferos tiveram maiores valores de PS no início do experimento. Os maiores organismos e melhores competidores, no caso os copépodes e grandes cladóceros, se sobressaíram no fim do experimento. Por outro lado, o aumento significativo na produtividade secundária dos grandes microcrustáceos competidores não ocorreu nos menores níveis de nutrientes, pois a baixa quantidade de nutriente pode ter limitado a PS de toda a comunidade.

O fato dos valores da PPL e PS terem apresentado uma maior quantidade de oscilações no nível mais alto de nutrientes, sugere que o enriquecimento de nutrientes desestabiliza as comunidades e pode levar a grandes oscilações, de forma que as populações não consigam se recuperar e possam acabar sendo extintas [75].

A concentração de nutrientes é o principal fator que afeta a dinâmica fitoplâncton-zooplâncton nos sistemas oligotróficos [69, 76]. O enriquecimento de nutrientes pode afetar a morfologia do fitoplâncton, aumentando a abundância das espécies mais propensas a formar longos filamentos e colônias, que são de difícil ingestão pelo zooplâncton [69, 77], modificando a comunidade dos consumidores. Estudos apontam a redução na riqueza de espécies zooplanctônicas com o enriquecimento de nutrientes [17, 23, 78], porém não foi o que aconteceu nos resultados apresentados. A riqueza de espécies não diminuiu com o enriquecimento de nutrientes, refutando parte da hipótese do trabalho. Apesar disso, foi significativamente diferente ao longo do tempo, com maiores valores no início do estudo. Esse evento ocorreu devido ao aumento expressivo da densidade zooplanctônica, refletida na produtividade secundária no início do experimento (T2), que aumentou a probabilidade das espécies serem amostradas. A aparente diferença de riqueza no nível de maior concentração de nutrientes ao final do experimento mostra que houve uma limitação nos menores níveis de nutrientes, uma vez que com o enriquecimento mais espécies foram mantidas ao longo do tempo.

A dominância foi diferente apenas ao longo do tempo, devido aos maiores valores de PS dos copépodes na metade do experimento. Como já foi mencionado anteriormente, esse grupo apresenta vantagem competitiva por consumir o recurso de maneira mais eficiente, dominando então o ambiente.

A alta taxa de turnover dos rotíferos na metade do experimento mostra que, nesse momento, esses organismos conseguiram obter recursos e disponibilizar energia de forma mais rápida, o que coincide com a menor PS dos copépodes e da dominância. Além do mais, os tratamentos no início do experimento (T1, T2, T3 e T4) apresentaram uma aparente similaridade da composição zooplanctônica, que não foi observada nos outros dias, podendo ter relação com a dominância. Isso porque a dominância aumentou até a metade do estudo, assim como a produtividade secundária dos copépodes, e quando houve redução desta, a dominância também diminuiu, já que outras espécies conseguiram aumentar sua PS, como os cladóceros *Chydorus pubescens* e *Simocephalus serrulatus*.

O enriquecimento de nutrientes afetou positivamente os processos ecossistêmicos e aumentou as oscilações ao longo do tempo, podendo criar variações maiores em que as populações não consigam se estabelecer. Esse impacto também alterou as interações entre as populações, favorecendo organismos de grande porte e melhores competidores e apesar da riqueza, dominância e composição não terem sido modificados pelo aumento de nutrientes,

foi possível notar certa influência do enriquecimento ao longo do tempo. Os efeitos iniciais de um enriquecimento de nutrientes moderado foram apresentados, onde as consequências não são tão drásticas quando comparadas a outros estudos que investigam o mesmo problema. Espera-se então que em uma maior escala temporal e com maiores valores da concentração de nutrientes maiores efeitos negativos em toda comunidade e ecossistema sejam gerados. Além disso, utilizar a produtividade secundária como variável resposta realça os efeitos nos níveis tróficos superiores, trazendo uma abordagem viável para os estudos nessa área.

## REFERÊNCIAS

1. Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata Z, Knowler DJ, Leveque C, et al. The contribution of scientific information to the conservation and management of freshwater biodiversity in tropical Asia. *Hydrobiologia* 2003; 500: 295-314.
2. Vitousek PM, Aber JD, Howarth RW, Likens GE, Matson PA, Schindler DW, et al. Human alteration of the global nitrogen cycle sources and consequences. *Ecological Applications* 1997; 7(3): 737-750.
3. Smith VH, Tilman D, Nekola J. Eutrophication impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 1999; 100: 179-196.
4. Smith VH, Joye SB, Howarth RW. Eutrophication of freshwater and marine ecosystem. *Limnology and Oceanography* 2006; 51 (1, parte 2): 351-355.
5. Harpole WS, Tilman D. Grassland species loss resulting from reduced niche dimension. *Nature* 2007; 446: 791-793.
6. Galloway JN, Townsend AR, Erisman JW, Bekunda M, Cai Z, Freney JR, et al. Transformation of the nitrogen cycle recent trends, questions, potential solutions. *Science* 2008; 320: 889-892.
7. Smith VH, Schindler, DW. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution* 2009; 24 (4): 201-207.
8. Finnegan J, Regan JT, de Eyto E, Ryder E, Tiernan D, Healy MG. Nutrient dynamics in a peatland forest riparian buffer zone and implications for the establishment of planted saplings. *Ecological Engineering* 2012; 47: 155–164.
9. Blindow I, Hargeby A, Meyercordt, J, Schubert H. Primary production in two shallow lakes with contrasting plant form dominance: A paradox of enrichment? *Limnology and Oceanography* 2006; 51(6): 2711-2721.
10. Elser JJ, Bracken MES, Cleland EE, Gruner DS, Harpole WS, Hillebrand H, et al. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 2007; 10: 1135–1142.
11. Miracle MR, Alfonso MT, Vicente E. Fish and nutrient enrichment effects on rotifers in a Mediterranean shallow lake: a mesocosm experiment. *Hydrobiologia* 2007; 593:77–94.

12. Downing A, Van Nes E, Mooij W, Scheffer M. The Resilience and Resistance of an Ecosystem to a Collapse of Diversity. *Plos one* 2012; 7 (9): 1-7.
13. Isbell F, Tilman D, Polasky S, Binder S, Hawthorne P. Low biodiversity state persists two decades after cessation of nutrient enrichment. *Ecology Letters* 2013; 16: 454–460.
14. Onandia G, Miracle MR, Vicente E. Primary production under hypertrophic conditions and its relationship with bacterial production. *Aquat Ecol.* 2014; 48:447–463.
15. Rosenzweig M. Paradox of enrichment: destabilization of exploitative ecosystem in ecological time. *Science* 1971, 171: 385–387.
16. Abrams PA. Monotonic or Unimodal Diversity-Productivity Gradients: What Does Competition Theory Predict? *Ecology* 1995; 76 (7): 2019-2027.
17. Sorf M, Davidson TA, Brucet S, Menezes RF, Sondergaard M, Lauridsen TL, et al. Zooplankton response to climate warming: a mesocosm experiment at contrasting temperatures and nutrient levels. *Hydrobiologia* 2015; 742 (1): 185-203.
18. Esteves FA. *Fundamentos de Limnologia*. 3ª Edição. Editora Interciência; 2011.
19. Hairston Jr. NG, Hairston NG. Cause-effect relationships in energy flow, trophic structure, and interspecific interactions. *The American Naturalist* 1993; 142 (3): 379-411.
20. Brylinsky M, Mann KH. An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. *Limnology and Oceanography* 1973; 18 (1): 1-14.
21. Hill WR, Mulholland PJ, Marzolf ER. Stream ecosystem responses to forest leaf emergence in spring *Ecology* 2001; 82(8): 2306–2319.
22. Valentine-Rose L, Rypel AL, Layman CA. Community secondary production as a measure of ecosystem function: a case study with aquatic ecosystem fragmentation. *Bull. Mar. Sci.* 2011; 87: 913–937.
23. Jeppesen E, Jensen JP, Sondergaard M, Lauridsen T, Landkildehus, F. Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology* 2000; 45: 201–218.
24. Cottingham KL, Glaholt S, Brown AC. Zooplankton community structure affects how phytoplankton respond to nutrient pulses. *Ecology* 2004; 85(1): 158–171.
25. Donohue I, Jackson AL, Pusch MT, Irvine K. Nutrient enrichment homogenizes lake benthic assemblages. *Ecology* 2009; 90(12): 3470–3477.

26. Santos-Wisniewski MJ, Rocha O. Spatial distribution and secondary production of Copepoda in a tropical reservoir: Barra Bonita, SP, Brazil. *Braz. J. Biol* 2007; 67: 223-233.
27. Panarelli E, Casanova SM, Henry R. Secondary production and biomass of Cladocera in marginal lakes after the recovery of their hydrologic connectivity in a river-reservoir transition zone. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 2010; 15: 319-334.
28. Santos RM. Estrutura das comunidades fitoplanctônica e zooplânctônica, com ênfase na produção secundária do zooplâncton, e fatores ambientais relacionados nos reservatórios do Baixo Rio Tietê, SP. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos. 2010.
29. Hurlbert SH. Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments. *Ecological Monographs* 1984; 54:187-211.
30. Hulot FD, Lacroix G, Lescher-Moutoué F, Loreau M. Functional diversity governs ecosystem response to nutrient enrichment. *Nature* 2000; 405: 340-344.
31. Carpenter SR, Cole JJ, Hodgson JR, Kitchell JF, Pace ML, Bade D, et al. Trophic cascades, nutrients, and lake productivity: whole-lake experiments. *Ecological Monographs* 2001; 71(2): 163–186.
32. Hansson L, Gyllstrom M, Stahl-Delbanco A, Svensson M. Responses to fish predation and nutrients by plankton at different levels of taxonomic resolution. *Freshwater Biology* 2004; 49: 1538–1550.
33. Ozen A, Sorf M, Trochine C, Liboriussen L, Beklioglu M, Sondergaard M, et al. Long-term effects of warming and nutrients on microbes and other plankton in mesocosms. *Freshwater Biology* 2013; 58: 483–493.
34. Melão MGG. Desenvolvimento e aspectos reprodutivos dos cladóceros e copépodos de águas continentais brasileiras. In: Pompêo, MLM, editor. *Perspectivas na Limnologia do Brasil*. Gráfica e Editora União, 1991. Cap. 3 pp. 1-13.
35. Rocha O, Matsumura-Tundisi T. Growth rate longevity and reproductive performance of *Daphnia laevis* Birge *Daphnia gessneri* Herbst and *Daphnia ambigua* Scourfield in laboratory cultures. *Brazilian Journal of Biology* 1990; 50: 915-921.
36. Roberto MC, Santana NF, Thomaz SM. Limnology in the Upper Paraná River floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. *Brazilian Journal of Biology* 2009; 69 (2, Suppl.): 717-725.

37. Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice, FM. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Eduem. 2007.
38. Agostinho AA, Pelicice FM, Gomes LC. 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.
39. Wetzel RG, Likens GE. *Limnological Analyses*. Springer. 3ª edição Verlag, New York. 2000.
40. Simões NR, Colares MAM, Lansac-Tôha FA, Bonecker CC. Zooplankton species richness–productivity relationship: Confronting monotonic positive and hump-shaped models from a local perspective. *Austral Ecology* 2013; 38 (8): 952-958.
41. Koste W. *Rotatoria die Rädertiere Mitteleuropas begründet von Max Voight. Monogononta*. Gebrüder Borntraeger, I e II. 1978.
42. Reid JW. Chave de Identificação e lista de referências bibliográficas para as espécies continentais sulamericanas de vida livre da ordem Cyclopoida (Crustacea, Copepoda). *Boletim de zoologia* 1985; 9: 17-143.
43. Matsumura-Tundisi T. Latitudinal distribution of Calanoida in freshwater aquatic systems of Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 1986; 46(3): 527-553.
44. Segers H. Rotifera. The Lecanidae (Monogononta) (Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world; v. 2). SPB Academics, The Hague. 1995.
45. De Smet WH. Rotifera: Dicranophoridae (Monogononta) (Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world: Vol. 5). SPB Academics, The Hague. 1997.
46. Elmoor-Loureiro MAL. Manual de Identificação de cladóceros límnicos do Brasil. Universa. 1997.
47. Bottrell HH, Duncan A, Gliwicz Z, Grygierek E, Herzig A, Hillbricht-Ilkowska A, et al. Review of some problems in zooplankton production studies. *Norwegian Journal of Zoology* 1976; 24: 419-456.
48. Edmondson WT, Winberg GC: A manual on methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters. Blackwell. 1971.
49. Peláez-Rodrigues M, Matsumura-Tundisi T. Rotifer production in a shallow artificial lake (Lobo-Broa Reservoir, SP, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 2002; 63(3): 509-516.

50. Ruttner-Kolisko A. Suggestions for biomass calculations of plankton rotifers. *Archive für Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse Limnologie* 1977; 8: 71-76.
51. Pace ML, Orcutt JD Jr. The relative importance of protozoans, rotifers and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnology and Oceanography* 1981, 26: 822-830.
52. Baranyi C, Hein T, Holarek C, Keckeis S, Schiemer F. Zooplankton biomass and community structure in a Danube River floodplain system effects of hydrology. *Freshwater Biology* 2002; 47: 473-482.
53. Winberg, G.C.; Pechen, G.A. & Shusshkina, E.A., 1965. Production of planktonic crustaceans in three lakes of different type. *Zool. Zhur.*, 44, 676-687.
54. Dumont, H.J.; Van de Velde, I. & Dumont, S., 1975. Dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia*, 1 (19): 75-97.
55. Melão MGG. A comunidade planctônica fitoplâncton e zooplâncton e produtividade secundária do zooplâncton de um reservatório oligotrófico. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos. 1997.
56. Maia-Barbosa PM, Bozelli RL. Length-Weight Relationships for Five Cladoceran Species in an Amazonian Lake. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 2005; 48 (2): 303-308.
57. Azevedo F, Dias JD, Braghin L, Bonecker CC. Length-weight regressions of the microcrustacean species from a tropical floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia* 2012; 24 (1): 1-11.
58. Espíndola ELG. Dinâmica da associação congênica das espécies de *Notodiptomus* spp na represa de Barra Bonita, São Paulo. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos. 1994.
59. Rietzler AC. Alimentação, ciclo de vida e análise da coexistência de espécies de na represa de Barra Bonita, São Paulo. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. 1995.
60. Dias JD. A comunidade zooplanctônica em lagoas de uma planície de inundação neotropical: estrutura e papel funcional. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá. 2012.

61. Benke AC, Huryn AD. Benthic invertebrate production—facilitating answers to ecological riddles in freshwater ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 2010; 29(1): 264-285.
62. Pielou EC. The measurement of diversity in different types of biological collection. *Journal of Theoretical Biology* 1966; 13: 131-144.
63. Statsoft Incorporation, 2005. *Statistica*. Tulsa: Statsoft Inc.
64. Clarke KR. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 1993; 18: 117-143.
65. R Development Core Team. (2014) R: Language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing. Acessado através: The R Project for Statistical Computing at <http://www.r-project.org>
66. Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, et al. (2014) *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.2-0. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
67. Kindt, R. (2014) *BiodiversityR: GUI for biodiversity, suitability and community ecology analysis Package*. R package version 2.5-1. <http://cran.r-project.org/web/packages/BiodiversityR/index.html>
68. Ripley, B., Venables, B., Bates, DM., et al. (2015) *MASS: Support Functions and Datasets for Venables and Ripley's MASS Package*. R package version 7.3-37 <http://cran.r-project.org/web/packages/MASS/index.html>
69. Pan Y, Zhang Y, Sun S. Phytoplankton–zooplankton dynamics vary with nutrients: a microcosm study with the cyanobacterium *Coleofasciculus chthonoplastes* and cladoceran *Moina micrura*. *Journal of Plankton Research* 2014; 36(5): 1323–1332.
70. Brooks JL, Dodson SI. Predation, Body Size, and Composition of Plankton. *Science* 1965; 150 (3692): 28-35.
71. Gilbert J. Suppression of mtifer populations by *Daphnia*: A review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure. *Limnology and Oceanography* 1988; 33(6, part1): 1286-1303.
72. Kirk KL, Particles Alter Competition in Grazing Plankton: The Role of Selective Feeding. *Ecology* 1991; 72 (3): 915-923.
73. Pourriot R, Rougier C, Miquelis A. Origin and development of river zooplankton: example of the Marne. *Hydrobiologia* 1997; 345 (2-3): 143-148.

74. Iglesias C, Mazzeo N, Meerhoff M, Lacerot G, Clemente JM, Scasso F, et al. High predation is of key importance for dominance of small bodied zooplankton in warm shallow lakes: evidence from lakes, fish exclosures and surface sediments. *Hydrobiologia* 2011; 667 :133–147.
75. Gonzalez A, Loreau M. The Causes and Consequences of Compensatory Dynamics in Ecological Communities. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 2009; 40: 393-414.
76. Perhar G, Arhonditsis GB, Brett MT. Modeling zooplankton growth in Lake Washington: A mechanistic approach to physiology in a eutrophication model. *Ecological Modelling* 2013; 258: 101–121.
77. Anderson DM, Glibert PM, Burkholder JM. Harmful Algal Blooms and Eutrophication: Nutrient Sources, Composition, and Consequences. *Estuaries* 2002; 25 (4b): 704–726.
78. Dodson SI, Arnott SE, Cottingham KL. The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. *Ecology* 2000; 81 (10): 2662–2679.
79. Carpenter SR; Caraco DL; Correll RW, Howarth RW, Sharpley AN, Smith VH. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 1998; 8: 559-568.
80. Camargo JA, Alonso A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International* 2006; 32: 831-849.

## ANEXO A

**S1 Tabela. Lista de espécies encontradas em todos os tratamentos e dias de amostragem.**

---

**Phylum: Rotifera****Classe: Digononta****Ordem: Bdelloidea****Classe: Monogononta****Ordem: Flosculariacea****Família: Conochilidae***Conochilus coenobasis* (Skorikov, 1914)*Conochilus natans* (Seligo, 1900)*Conochilus unicornis* Rousselet, 1892**Família: Filinidae***Filinia opoliensis* (Zacharias, 1898)*Filinia terminalis* (Plate, 1886)**Família: Hexarthridae***Hexarthra intermedia* Wiszniewski, 1929*Hexarthra mira* (Hudson, 1871)**Família: Testudinellidae***Testudinella patina* (Hermann, 1783)**Ordem: Ploima****Família: Asplanchnidae***Asplanchna sieboldi* (Leydig, 1854)**Família: Brachionidae***Brachionus calyciflorus* Pallas, 1766*Brachionus caudatus* Barrois & Daday, 1894*Brachionus falcatus* Zacharias, 1898*Brachionus mirus* Daday, 1905*Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908)*Keratella americana* Carlin, 1943*Keratella cochlearis* (Gosse, 1851)*Keratella quadrata* (Müller, 1786)

**Continuação S1 Tabela***Keratella tropica* (Apstein, 1907)*Platyionus patulus* (Müller, 1786)**Família: Dicranophoridae***Dicranophoroides claviger* (Hauer, 1965)*Dicranophorus epicharis* Harring & Myers 1928**Família: Epiphanidae***Epiphanes clavulata* (Ehrenberg, 1832)**Família: Euchlanidae***Euchlanis deflexa* (Gosse, 1851)*Euchlanis dilatata* Ehrenberg, 1832**Família: Gastropodidae***Ascomorpha ovalis* (Bergendal, 1892)**Família: Lecanidae***Lecane bulla* (Gosse, 1851)*Lecane closterocerca* (Schmarda, 1859)*Lecane furcata* (Murray, 1913)*Lecane inopinata* Harring & Myers, 1926*Lecane leontina* (Turner, 1892)*Lecane luna* (Müller, 1776)*Lecane lunaris* (Ehrenberg, 1832)*Lecane nana* (Murray, 1913)*Lecane papuana* (Murray, 1913)*Lecane quadridentata* (Ehrenberg, 1830)**Família: Lepadellidae***Lepadella ovalis* (Muller 1786)**Família: Mytilinidae***Mytilina mucronata* (O. F. Muller 1773)*Mytilina ventralis* (Ehrenberg 1832)**Família: Notommatidae***Cephalodella obvia* Donner, 1950*Eosphora anthadis* Harring & Myers 1922*Notommata pachyura* (Gosse, 1886)

**Continuação S1 Tabela****Família: Synchaetidae**

*Ploesoma truncatum* (Levander, 1894)

*Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925

*Synchaeta oblonga* Ehrenberg, 1832

*Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832

**Família: Trichocercidae**

*Trichocerca bicristata* Ehrenberg, 1832

*Trichocerca pusilla* (Jennings, 1903)

**Família: Trichotriidae**

*Trichotria tetractis* (Ehrenberg, 1830)

---

**Phylum: Arthropoda****Subphylum: Crustacea****Classe: Branchiopoda****Ordem: Cladocera****Família: Bosminidae**

*Bosmina hagmanni* (Stingelin, 1904)

*Bosminopsis deitersi* Richard, 1895

**Família: Chydoridae**

*Chydorus eurynotus* Sars, 1901

*Chydorus parvireticulatus* Frey, 1987

*Chydorus pubescens* Sars, 1901

*Coronatella poppei* (Richard, 1897)

*Dunhevedia odontoplax* Sars, 1901

*Ephemeroporus tridentatus* Bergamin, 1939

**Família: Daphniidae**

*Daphnia gessneri* Herbst, 1967

*Daphnia lumholtzi* (Sars, 1885)

*Simocephalus serrulatus* (Koch, 1841)

**Família: Ilyocryptidae**

*Ilyocryptus spinifer* Herrick, 1882

**Família: Macrothricidae**

*Macrothrix elegans* Sars, 1901

Continuação S1 Tabela

**Família: Sididae**

*Diaphanosoma* sp.

---

**Classe: Copepoda**

**Ordem: Calanoida**

**Família: Diaptomidae**

*Acanthocyclops robustus* (Sars G.O., 1863)

*Argyrodiaptomus azevedoi* (Wright, 1935)

*Notodiaptomus cearensis* (Wright S., 1936)

*Notodiaptomus henseni* (Dahl F., 1894)

*Notodiaptomus cf. spinuliferus* (Dussart, 1985)

**Ordem: Cyclopoida**

**Família: Cyclopidae**

*Eucyclops* sp.

*Eucyclops ensifer* Kiefer, 1936

*Mesocyclops aspericornis* (Daday, 1906)

*Mesocyclops meridianus* (Kiefer, 1926)

*Microcyclops alius* (Kiefer, 1935)

*Microcyclops anceps* (Richard, 1897)

*Microcyclops finitimus* Dussart, 1984

*Paracyclops chiltoni* (Thomson G.M., 1883)

*Thermocyclops decipiens* (Kiefer, 1929)

*Thermocyclops minutus* (Lowndes, 1934)

---