



Influência da entrada de nutrientes em ambientes aquáticos sobre os traços funcionais de algas planctônicas

Ariany Tavares de Andrade¹ (IC)*; Karine Borges Machado¹ (PG); João Carlos Nabout¹ (PQ)
***arianytavares00@gmail.com**

¹ Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Câmpus Central – Sede: Anápolis, GO – Ciências Exatas e Tecnológicas, Henrique Santillo.

Resumo: O fitoplâncton é composto por organismos fotossintetizantes que vivem suspensos na coluna d'água dos ambientes aquáticos, esses organismos se estabelecem como um grupo polifilético muito diverso, apresentando inúmeras características morfológicas, fisiológicas, comportamentais ou fenológicas mensuráveis, em nível de indivíduo, capazes de influenciar suas respostas às variações ambientais como os nutrientes, denominamos essas características de traços funcionais. Destarte, o nosso estudo teve com o objetivo avaliar a influência da eutrofização dos corpos d'água sobre composição dos atributos funcionais de microalgas planctônicas, para isso identificamos quais traços funcionais estavam presentes nos diferentes níveis de disponibilidade de nutrientes, observamos como diferentes níveis de nutrientes afetaram os traços funcionais das algas. Para execução do experimento foram montados 16 mesocosmos em caixas d'água de 500L, essas que foram preenchidas com água coletada de uma lagoa oligotrófica, situada no Câmpus da UEG em Anápolis. Os mesocosmos estavam distribuídos em duas condições, estado oligotrófico e o estado eutrófico. Foram identificados 16 táxons nos mesocosmos. Observamos, por meio do experimento, que a eutrofização afetou a composição dos traços funcionais, logo temos que a composição de traços entre os tratamentos oligotrófico e eutrófico foram significativamente diferente, o tratamento controle apresentou maior diversidade de traços funcionais e de estruturas especializadas.

Palavras-chave: Fitoplâncton. Enriquecimento. Oligotrófico . Eutrofização. Nutriente. Composição.

Introdução

O fitoplâncton é um grupo polifilético extremamente diverso composto de micro-organismos fotossintetizantes adaptados para viver em suspensão em ambientes aquáticos (HEDGES *et al.* 2001; REYNOLDS, 1984). Esses microorganismos apresentam uma ampla diversidade morfológica, ecológica e fisiológica que incluem uma grande variedade de formas e tamanhos. Essa grande diversidade morfológica do fitoplâncton, segundo Reynolds *et al.* (2002), está relacionada à cinética para a utilização de recursos e à prevenção da predação. Desta forma as espécies do fitoplâncton podem ser classificadas de acordo com suas características ou traços funcionais.

Os traços funcionais representam características morfológicas, fisiológicas, comportamentais ou fenológicas mensuráveis, em nível de indivíduo, capazes de influenciar suas respostas às variações ambientais ou afetar funções/processos ecossistêmicos (VIOLLE *et al.* 2007, MLAMBO, 2014). A abordagem funcional está baseada na teoria de nicho ecológico (HUTCHINSON, 1957), que considera que as espécies não são entidades homogêneas, uma vez que respondem de modo diferente às condições ambientais. As características funcionais do fitoplâncton





estão associadas as três funções ecológicas principais: a reprodução, a aquisição de recursos e a proteção contra herbívoros, as quais por sua vez podem ser classificadas como traços morfológicos, fisiológicos e comportamentais, como por exemplo: tamanho e forma da célula, aerótopos, flagelo, mixotrofia, mucilagem (LITCHMAN; KLAUSMEIER, 2008).

Mudanças ambientais agem como filtro que podem selecionar espécies com traços funcionais que conseguem colonizar e estabelecer-se em uma nova condição (REYNOLDS *et al.* 2002). Os traços funcionais podem retratar as condições ambientais e as espécies que compartilham os mesmos traços podem ser agrupadas (KRUK *et al.* 2010; BRASIL; HUSZAR, 2011). O enriquecimento de corpos d'água pode afetar a composição de traços funcionais do fitoplâncton (BRASIL; HUSZAR, 2011; DITTRICH, 2017). Nutrientes tais como: nitrogênio e fósforo, podem afetar o crescimento e a composição de espécies, do fitoplâncton, dependendo de suas concentrações (REYNOLDS, 2006; VARGAS, 2012).

O fitoplâncton se estabelece como um importante componente da rede trófica em ambientes aquáticos e está relacionado a importantes funções ecossistêmicas como a produção primária (FERNANDES *et al.* 2011). Diante do exposto, esses organismos representam um bom grupo para avaliar a dinâmica das comunidades com base na composição funcional (LITCHMAN *et al.* 2007). Assim a abordagem baseada em traços funcionais nos permite fazer maiores generalizações do que uma abordagem baseada na filogenia (BRASIL; HUSZAR, 2011). Essa ainda tem potencial de aumentar a capacidade de explicar a organização das comunidades ecológicas e de entender como elas são moldadas por mecanismos ecológicos ao longo de um gradiente ambiental (MCGILL *et al.* 2006; VANDEWALLE *et al.* 2010; CADOTTE *et al.* 2011).

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da eutrofização dos corpos de água sobre a composição dos atributos funcionais de microalgas planctônicas, observar como os diferentes níveis de nutrientes afetam a diversidade dos traços funcionais de algas; além de identificar quais traços funcionais estavam presentes nos diferentes níveis de disponibilidade de nutrientes, analisando desta forma a dinâmica e a composição dos traços funcionais das comunidades de algas planctônicas.





Material e Métodos

O trabalho foi executado na área experimental localizada no Campus da Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas, na cidade de Anápolis, Goiás. Desenvolvemos o experimento em mesocosmos, cada mesocosmo foi representado por uma caixa de água com capacidade para 500 L (figura 1). Os mesocosmos foram preenchidos com água coletada em uma lagoa oligotrófica, situada no Campus da UEG. As espécies fitoplanctônicas foram coletadas na mesma lagoa utilizando rede de plâncton com abertura de malha de 20 μ m.



Figura 1. Área experimental utilizada na presente proposta de pesquisa.

Para o experimento foram utilizadas 16 caixas d'água. Essas foram aleatoriamente distribuídas em duas condições de estados tróficos. Os níveis utilizados foram: i) estado oligotrófico, no qual é caracterizado por baixa concentração de nutrientes; ii) estado eutrófico, que se caracteriza por elevada concentração de nutrientes. Para controlar essas condições de estado trófico, foram adicionados ao longo do experimento nitrato e fosfato, obtidos a partir de soluções de nitrato de sódio e fosfato de potássio em concentrações que seguiram o sugerido pela literatura científica quanto à categorização dos estados tróficos (LAMPARELLI, 2004).

No final do experimento (70 dias após o início da eutrofização) foi realizada a coleta da comunidade fitoplanctônica. As amostras foram obtidas na superfície da água utilizando frascos escuros (100 mL) e fixadas com lugol acético modificado (VOLLENWEIDER, 1974). A contagem dos indivíduos foi conduzida através da





técnica de sedimentação (UTHERMÖL, 1954) em microscópio invertido com aumento de 400X. A identificação foi realizada até o menor nível taxonômico possível e a densidade expressa em indivíduos por mL (ind.mL⁻¹).

Foram utilizados dez traços funcionais do fitoplâncton que representam características morfológicas, fisiológicas ou comportamentais (LITCHMAN; KLAUSMEIER, 2008) que são capazes de determinar a forma como as espécies respondem às alterações ambientais (p. ex. enriquecimento de nutrientes) ou influenciam os processos ecossistêmicos (p. ex. taxas de fotossíntese). São elas: máxima dimensão linear (MDL), área superficial (AS), biovolume do indivíduo, forma biológica, mucilagem, sílica, heterócito, mixotrofia, flagelo e aerótopos. Os traços funcionais foram mensurados para cada uma das espécies a partir de literatura específica, consulta a banco de dados e a especialistas. Em seguida, estes traços foram multiplicados pelo valor de abundância relativa das espécies buscando obter um valor de traço funcional ponderado pela densidade para cada réplica dos tratamentos (p. ex. MACHADO *et al.* 2016) com isso foi gerada uma matriz com a proporção de traços por mesocosmo, a qual foi utilizada na análise de dados.

O efeito da adição de nutrientes sobre os traços funcionais das espécies de algas planctônicas foi avaliado por meio da Análise de Variância Permutacional com único fator (PERMANOVA, LEGENDRE; LEGENDRE, 2012). Uma análise de Escalonamento Multidimensional não métrico (NMDS, LEGENDRE; LEGENDRE, 2012) foi utilizada para avaliar quais traços funcionais estavam mais associados a cada um dos estados tróficos. As análises foram realizadas no programa R (R Core Team, 2020), utilizando o pacote Vegan (OKSANEN *et al.* 2019).

Resultados e Discussão

Foram observados 16 táxons nos mesocosmos, pertencentes a sete classes taxonômicas descritoras, que são elas: Chlorophyceae (*Coelastrum sphaericum*; *Desmodesmus armatus*; *Golenkina radiata*; *Monoraphidium contortum*), Cryptophyceae (*Cryptomonas erosa*; *Cryptomonas marssonii*); Bacillariophyceae (*Frustulia sp*), Cyanophyceae (*Microcystis sp*; *Pseudanabaena limnetica*; *Romeria gracilis*; *Synechococcus sp*), Dinophyceae (*Peridinium sp*; *Peridinium umbonatum*; *Peridinium volzii*), Euglenophyceae (*Phacus longicauda*) e Zygnemaphyceae (*Staurodesmus dejectus*). É importante ressaltar que não foram encontrados na literatura os valores de biovolume e área de superfície para as espécies *Coelastrum*





sphaericum; *Frustulia sp*; *Microcystis sp*; *Peridinium sp*; *Phacus longicauda*. Não foi encontrado, também, o MDL para as espécies *Frustulia sp*; *Microcystis sp* e *Peridinium sp*. As demais espécies apresentaram as seguintes variações quanto aos traços relacionados ao tamanho da célula, para ambos os tratamentos: MDL (média controle= 9,67; desvio padrão controle= 5,68; Média eutrófico= 8,39; desvio padrão eutrófico= 5,52), biovolume (média controle= 17,48; desvio padrão controle= 9,65; Média eutrófico= 6,89; desvio padrão eutrófico=2,34) e área de superfície (média controle = 20,89; desvio padrão controle = 9,22; Média eutrófico = 14,73; desvio padrão eutrófico = 5,75).

A tabela 1 abaixo mostra a densidade média para os traços funcionais do fitoplâncton observados no tratamento controle e eutrófico. Podemos ver (tabela 1) que traços que tiveram maior densidade no tratamento controle foram: unicelular; mixotofia; flagelo e mucilagem (considerando tanto organismos com ou sem mucilagem). Para o tratamento eutrófico, os traços que tiveram maior densidade foi o unicelular. No tratamento eutrófico os traços sílica; colônia; heterócito não foram observados (tabela 1).

Tabela 1. Densidade média para os traços funcionais do fitoplâncton observados no tratamento controle e eutrófico. Os números em parênteses indicam o número de espécies que apresentaram o traço funcional. Uma mesma espécie pode ser classificada simultaneamente em mais de um estado do traço funcional. Os traços MDL, biovolume e área de superfície não foram incluídos nesta tabela por se tratarem de dados contínuos.

Traço funcional	Tratamento	
	Controle	Eutrófico
Unicelular (14)	1,0	1,0
Colônia (1)	7,73E-04	0,0
Cenóbio (2)	4,15E-05	3,09E-05
Filamento (2)	6,16E-04	3,05E-05
Sílica (1)	3,76E-05	0,0
Heterócito (1)	7,73E-04	0,0
Mixotrofia (6)	2,92E-02	9,96E-03
Aerótopos (2)	1,37E-03	3,05E-05
Flagelo (6)	2,92E-02	9,96E-03
Com mucilagem (6)	2,83E-02	9,72E-03
Sem mucilagem (10)	9,72E-01	9,90E-01





A PERMANOVA para composição dos traços funcionais revelou que a eutrofização afetou a composição dos traços funcionais e que essa explica cerca de 25% da variação dos traços entre as comunidades dos ambientes eutróficos e oligotróficos ($F= 4.862$; $R^2=0.25777$ e $p=0.009$).

Por meio da análise NMDS foi possível verificar que os traços MDL, AS, sem mucilagem estão mais associados ao tratamento eutrófico. Já os traços com mucilagem, biovolume, aerótopos e flagelo estão mais associados ao tratamento controle (figura 2).

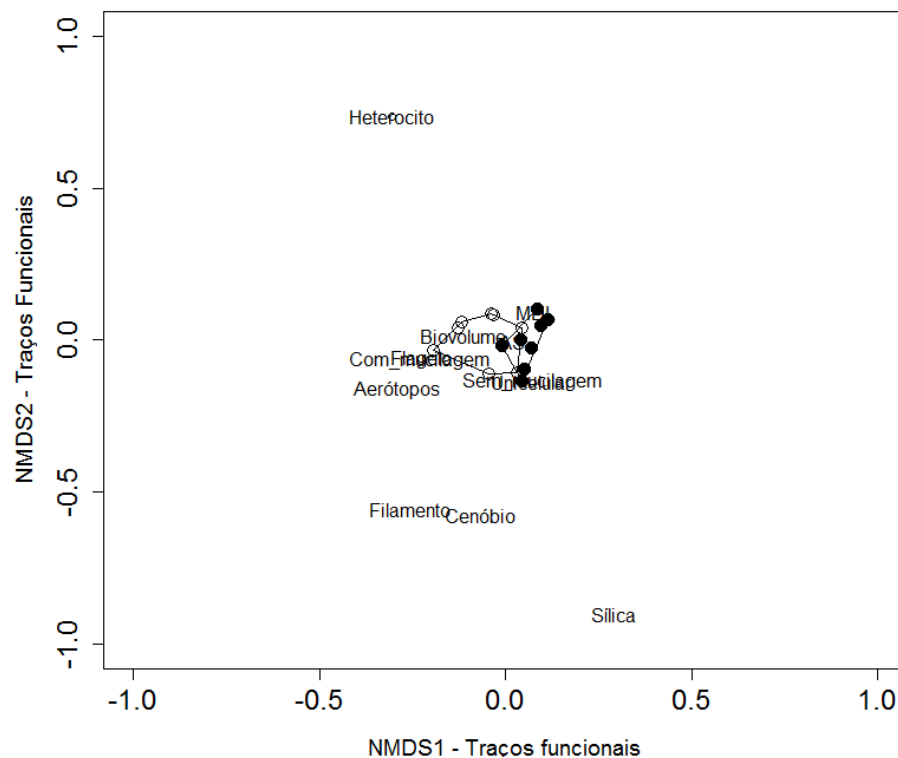


Figura 2. NMDS para os traços funcionais. Os círculos pretos representam o tratamento eutrófico e os círculos transparentes, o tratamento controle.

A eutrofização afetou a composição dos traços funcionais, como foi possível observar por meio da PERMANOVA. Assim temos que nos mesocosmos com concentração elevada de nutrientes (eutróficos), em média, os organismos presentes neste tratamento possuíam um MDL; biovolume e uma área de superfícies menores que as espécies do tratamento controle. Logo temos que esses traços (MDL, biovolume e área de superfície) para o tratamento controle tiveram uma média e um desvio padrão maiores. As espécies presentes no tratamento eutrófico, tinham um tamanho médio à pequeno e não possuíam estruturas especializadas (PIANKA, 1970; KRUK *et al.* 2010).





Bellinger; Sigeo (2010) argumentam que o tamanho das espécies do fitoplâncton podem variar consideravelmente de uma espécie para outra, para eles o significado ecológico do tamanho do fitoplâncton em relação a biomassa pode ser observado quando comparamos a participação de espécies de dimensões máximas lineares muito distintas na estrutura de uma comunidade. Reynolds (1984) salienta que as diferenças de tamanhos estão relacionadas com a forma como que dadas espécies exploram os recursos disponíveis. Deste modo estes traços, MDL; biovolume e área de superfície, para o tratamento controle pode está relacionada a espécies do fitoplâncton maiores e com estruturas especializadas.

Temos que a densidade e a diversidade dos traços funcionais se tornaram menores no tratamento eutrófico em relação ao tratamento controle (tabela 1). Isso era esperado uma vez que em ambientes eutrofizados há uma elevação da densidade de uma menor quantidade de traços, isso porque, o aumento de nutrientes pode elevar a densidade de espécies dominantes e diminuir a riqueza de espécies e conseqüentemente dos traços funcionais (ROSENZWEIG, 1971).

O tratamento controle que possuía níveis de nutrientes de um ambiente oligotrófico, apresentou maior densidade e diversidade de espécies com traços especializados como espécies flageladas. Reynolds *et al.* (2002) estabelece que esse traço funcional geralmente está associado com espécies que possuem tolerância a ambientes com baixa concentração de nutrientes, desse modo por apresentarem alta motilidade, podem migrar até zonas mais ricas em recursos. Foi possível notar ainda que no tratamento controle houve a presença de uma espécie com heterócito, esses que são células especializadas em fixar nitrogênio atmosférico, logo presença de heterócito pode está relacionada a deficiência desse nutriente corpo d'água (BICUDO; MENEZES, 2006). O traço mixotrofia apresentou uma densidade considerável no ambiente oligotrófico, isso pode ser devido a esse traço oferece vantagens competitivas às espécies que o possui em condições de baixa disponibilidade de nutriente (JONES, 2000).

O NMDS (figura 2) reforça que o tratamento eutrófico apresenta uma baixa diversidade de traços e de estruturas especializadas, em relação ao tratamento controle, isso porque os traços que foram associados ao tratamento controle são: mucilagem, biovolume e flagelo, já os traços MDL, AS, sem mucilagem estão mais associados ao tratamento eutrófico. Portanto a ausência de traços especializados faz com que os organismos que foram encontrados no tratamento eutrófico





apresentem menos estratégias de competição adequadas a ambientes com limitação de nutrientes, como o tratamento controle (DOS SANTOS, 2018), apresentando, deste modo uma baixa densidade nesse tratamento.

Considerações Finais

De modo geral concluímos que a composição de traços funcionais reflete os processos que estruturam a comunidade, filtros ambientais, como a adição de nutrientes, testado em nosso estudo, pode favorecer o aumento da abundância e a densidade de espécies adaptadas a essa condição (ROSCHE *et al.* 2013), isso se dá pelo fato de que o incremento de nutrientes pode selecionar espécies com determinados traços, que permitem sobreviver em ambientes com excesso de nutrientes. Concluímos também que a composição de traços entre os tratamentos controle e eutrófico foi diferente, onde o tratamento controle apresentou maior diversidade de traços e de estruturas especializadas, uma possível explicação para isso é que a adição de nutrientes pode provocar a perda de combinações de traços (SUDING *et al.* 2005).

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida à Ariany Tavares de Andrade e toda equipe do Laboratório de Biogeografia e Ecologia Aquática da UEG em especial a Dra. Karine Borges Machado e o Prof. Dr. João Carlos Nabout.

Referências

BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil (chave para identificação e descrições). São Carlos. **RiMa**. 502p, 2006.

BRASIL, J.; HUSZAR, V. L.M. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 4, p. 799-834, 2011.

CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHNICK, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. **J. App. Ecol.** n 38, p. 1079-1087, 2011.

DOS SANTOS, A. C. S. **Agrupamento taxonômico ou funcional do fitoplâncton: qual o melhor descritor das condições ambientais?** 2018. Belo Horizonte: UFMG/ Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.

DITTRICH, J. **Diferentes métricas da diversidade de organismos planctônicos têm respostas distintas à adição experimental de nutrientes.** 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.





FERNANDES, L. F.; GUTSEIT, K. C.; WOJCIECHOWSKI, J.; LAGOS, P. E. D.; XAVIER, C. F.; WOSIACK, A. C. Ecologia do fitoplâncton no reservatório Rio Verde. Eutrofização em Reservatórios: Gestão Preventiva. Estudo Interdisciplinar na Bacia do Rio Verde, PR. Curitiba: Ed. da UFPR, p. 286-306, 2011.

GARNIER, E.; CORTEZ, J.; BILLÈS, G.; NAVAS, M.L.; ROUMET, C.; DEBUSSCHE, M.; LAURENT, G.; BLANCHARD, A.; AUBRY, D.; BELLMANN, A.; NEILL, C.; TOUSSAINT, J.P.; ARNIER, E.R.I.C.G.; ORTEZ, J.A.C.; ILLE, G.E.B.; Functional, P., Capture, M., Properties, E., Succession, D.S., Arnier, E.R.I.C.G., Ortez, J.A.C., & Ille, G.E.B. Plant Functional Markers Capture Ecosystem Properties. **Ecology** n.85, p.2630–2637, 2004.

HEDGES, S.B.; CHEN, H.; KUMAR, S.; WANG, D.; THOMPSON, A.; WATANABE, H. A genomic timescale for the origin of eukaryotes. **BMC Evol. Biol.** V.1, n. 4, 2001.

HILLEBRAND, H.; DÜRSELEN, C. D.; KIRSCHTEL, D.; POLLINGHER, U.; ZOHARY, T. Cálculo de biovolume para microalgas pelágicas e bentônicas. **Journal of phycology**. v. 2, n.35, p.403-424, 1999.

JONES, R. I. Mixotrophy in planktonic protists: an overview. **Freshwater biology**, v. 45, n. 2, p. 219-226, 2000.

KRUK, C.; HUSZAR, V. L.; PEETERS, E. T.; BONILLA, S.; COSTA, L.; LÜRLING, M.; SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater biology**, v. 55, n. 3, p. 614-627, 2010.

LAMPARELLI, M. C. 2004. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.

LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C. A. Trait-based community ecology of phytoplankton. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, n. 39, p. 615-639, 2008.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. Elsevier Science, Amsterdam, 2012.

MACHADO, K. B.; TERESA, F. B.; VIEIRA, L. C. G.; HUSZAR, V. L. D. M.; NABOUT, J. C Comparing the effects of landscape and local environmental variables on taxonomic and functional composition of phytoplankton communities. **Journal of Plankton Research**, v. 38, n. 5, p. 1334-1346, 2016.

MLAMBO, M. C. Not all traits are 'functional': insights from taxonomy and biodiversityecosystem functioning research. **Biodiversity Conservation**, v. 23, p. 781-790, 2014.

McGil, I B.J.; ENQUIST, B.J.; WEIHER, E.; WESTOBY, M. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends Ecol. Evol.** n.21, p.178–85, 2006.





OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECs, E.; WAGNER, H. 2019. Vegan: Community Ecology Package. R Package Version 2.5-5. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; Naselli-Flores, L.; MELO, S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research** v.24, p.417–428, 2002.

REYNOLDS, C. S. The Ecology of Phytoplankton (Ecology, Biodiversity and Conservation). **Cambridge University Press, Cambridge**, p.535; 2006.

REYNOLDS C.S. The Ecology of Freshwater Phytoplankton, **Cambridge University Press, Cambridge** 1984.

R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

ROSCHER, C.; SCHUMACHER, J.; LIPOWSKY, A.; GUBSCH, M.; WEIGELT, A.; POMPE, S.; KOLLE, O.; BUCHMANN, N.; SCHMID, B.; SCHULZE, E. A functional trait-based approach to understand community assembly and diversity–productivity relationships over 7 years in experimental grasslands. **Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.** v. 15, n. 3, p. 139-149, 2013.

ROSENZWEIG, M. L. Paradox of enrichment: destabilization of exploitation ecosystems in ecological time. **Science**, v. 171, p. 385-387.10, 1971.

SUDING, K. N.; COLLINS, S. L.; GOUGH, L.; CLARK, C.; CLELAND, E. E.; GROSS, K. L.; MILCHUNAS, D. G.; PENNINGs, S. Functional-and abundance-based mechanisms explain diversity loss due to N fertilization. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 12, p. 4387-4392, 2005.

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommnung der continuousn phytoplankton-methodik. Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und **Angewandte Limnologie** v.9, p. 1-38, 1958.

VANDEWALLE, M.; DE BELLO, F.; BERG, M. P.; BOLGER, T.; DOLÉDEC, S.; DUBS, F.; FELD, C.K.; HARRINGTON, R. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. **Biodiv. and Conserv.**, v.19, p. 2921-2947, 2010.

VARGAS, S. R. **Influência da concentração de nutrientes na interação entre duas espécies fitoplanctônicas isoladas do Reservatório de Itupararanga-SP.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional. **Oikos**, n. 116, p.882-892, 2007.

VOLLENWEIDER, R. A. **A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments.** Blackwell Scientific Publications, London 1974.

