

VARIAÇÃO SAZONAL NA FORMA DE CONTROLE DE BACTERIOPLÂNCTON EM UMA LAGOA RASA SUBTROPICAL

Danieli Ledur Kist¹; Luciana de Souza Cardoso² & David da Motta Marques³

RESUMO – A comunidade de bacterioplâncton possui um importante papel na cadeia trófica de ecossistemas aquáticos. Esses microrganismos são responsáveis pela re-mineralização dos nutrientes tornando-os novamente disponíveis para os produtores primários, além de serem importantes fontes de biomassa para os demais níveis. Buscando compreender as formas de controle, este estudo foi conduzido em uma lagoa subtropical rasa, Lagoa Mangueira. Amostras foram coletadas no ponto central da lagoa, ao longo de um perfil na coluna d'água em duas diferentes estações do ano (inverno e verão). A Lagoa Mangueira é controlada no inverno pelo controle descendente e no verão pelo controle ascendente.

ABSTRACT – The bacterioplankton community has an important role in the food chain of aquatic ecosystems. These microorganisms are responsible for re-mineralization of nutrients making them available again for primary producers, they are also important sources of biomass for the other levels. Trying to understand the forms of control, this study was conducted in a subtropical shallow lake, Mangueira Lake. Samples were collected at the midpoint of the lake, along a profile in the water column in two different seasons (winter and summer). The Mangueira Lake is controlled by bottom-up control over winter and top-down control over summer due to micropredators.

Palavras-Chaves: Protistas, comunidade bentônica, níveis tróficos

¹ Eng. de Bioprocessos e Biotecnologia, Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental UFRGS, IPH. Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029 CEP: 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: danielikist@yahoo.com.br

² Professora Adjunta da UFRGS, Instituto de Biociências. Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP: 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: luciana.cardoso@ufrgs.br

³ Professor Adjunto da UFRGS, IPH. Av. Bento Gonçalves, 9500. Caixa Postal 15029 CEP: 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: dmm@iph.ufrgs.br

INTRODUÇÃO

A cadeia trófica de ecossistemas aquáticos apresenta uma elevada complexidade por ser regulada por inúmeras variáveis bióticas (presas e predadores) e abióticas (nutrientes). A comunidade bacteriana desses ecossistemas é um componente essencial para essa cadeia trófica. O bacterioplâncton é responsável pela re-mineralização da matéria orgânica particulada e dissolvida, fazendo com que os nutrientes, transformados para a forma inorgânica, sejam reutilizados pelos produtores primários (Esteves, 1998).

Além da re-mineralização da matéria orgânica o bacterioplâncton é um produtor secundário de biomassa. Essa comunidade utiliza de forma preferencial o carbono orgânico dissolvido liberado pelo fitoplâncton como substrato, tornando-se assim um produtor secundário e importante fonte de biomassa para os bacterívoros (Azam *et al.*, 1983).

A comunidade de protozooplâncton (ciliados e flagelados heterotróficos) é a principal predadora de bacterioplâncton dos ecossistemas aquáticos (Abreu *et al.*, 1992; Laybourn-Parry, 1992). Esses organismos controlam a comunidade bacteriana de forma descendente (*top-down*). Outro importante controle da comunidade bacteriana é a forma ascendente (*bottom-up*), controle esse representado pelas baixas concentrações de nutrientes na forma orgânica, ou mesmo indiretamente nutrientes da forma inorgânica que diminuem a produção fitoplanctônica e conseqüentemente o aporte de carbono orgânico dissolvido (Toolan *et al.*, 1991; Wang *et al.*, 1992; Cesar e Abreu, 2001; Farjalla *et al.*, 2006; Passouw *et al.*, 2007). Tanto o controle ascendente quanto descendente têm alterações ao longo da coluna d'água, que afetam diretamente a comunidade bacteriana, acarretando alterações também na sua estrutura (Tammert *et al.*, 2005).

A comunidade bacteriana responde a esses controles através de alterações em sua densidade, biomassa e morfotipagem, principal forma de defesa das bactérias (Cesar e Abreu, 2001; Corno e Jürgens, 2005), sendo a forma *Coccus* a mais palatável para os predadores, e, portanto, a mais predada. Já as formas alongadas e filamentosas são menos palatáveis e, por isso, sofrem menor predação. Em decorrência da preferência por determinados morfotipos e também pela disponibilidade de nutrientes, a biomassa e a densidade sofrem grandes alterações nos ambientes aquáticos, tanto no perfil horizontal quanto vertical.

Buscando compreender as formas de controle ascendente e descendente da comunidade bacteriana, este trabalho teve como objetivo analisar a estrutura e o comportamento dessa comunidade em uma lagoa subtropical rasa (Lagoa Mangueira), em dois diferentes períodos sazonais (inverno e verão) ao longo de um perfil na coluna d'água.

METODOLOGIA

Área de estudo

Localizada no extremo sul do Brasil, a Lagoa Mangueira (Figura 1) é uma lagoa subtropical rasa, com área superficial de 80.800ha. Seu regime hídrico é influenciado principalmente pela Lagoa Mirim, ambas interligadas através de um canal localizado no banhado do Taim, ao norte da Lagoa Mangueira. A lagoa sofre forte influência de ventos e tem o Banhado do Taim como o principal aporte de nutrientes.

As coletas foram realizadas em períodos sazonais distintos: inverno de 2010 e verão de 2011. O local de amostragem está situado na região central da lagoa, destacado em vermelho na Figura 1, e corresponde ao ponto de maior profundidade da mesma, com média de 7m. Foram coletadas amostras em diferentes profundidades, sendo a primeira sub-superfície e as seguintes a cada metro. No verão, devido à estiagem, a lagoa se encontrava com um volume hídrico menor do que o normal, e, por esse motivo, não teve o ponto amostral denominado 'Fundo'.

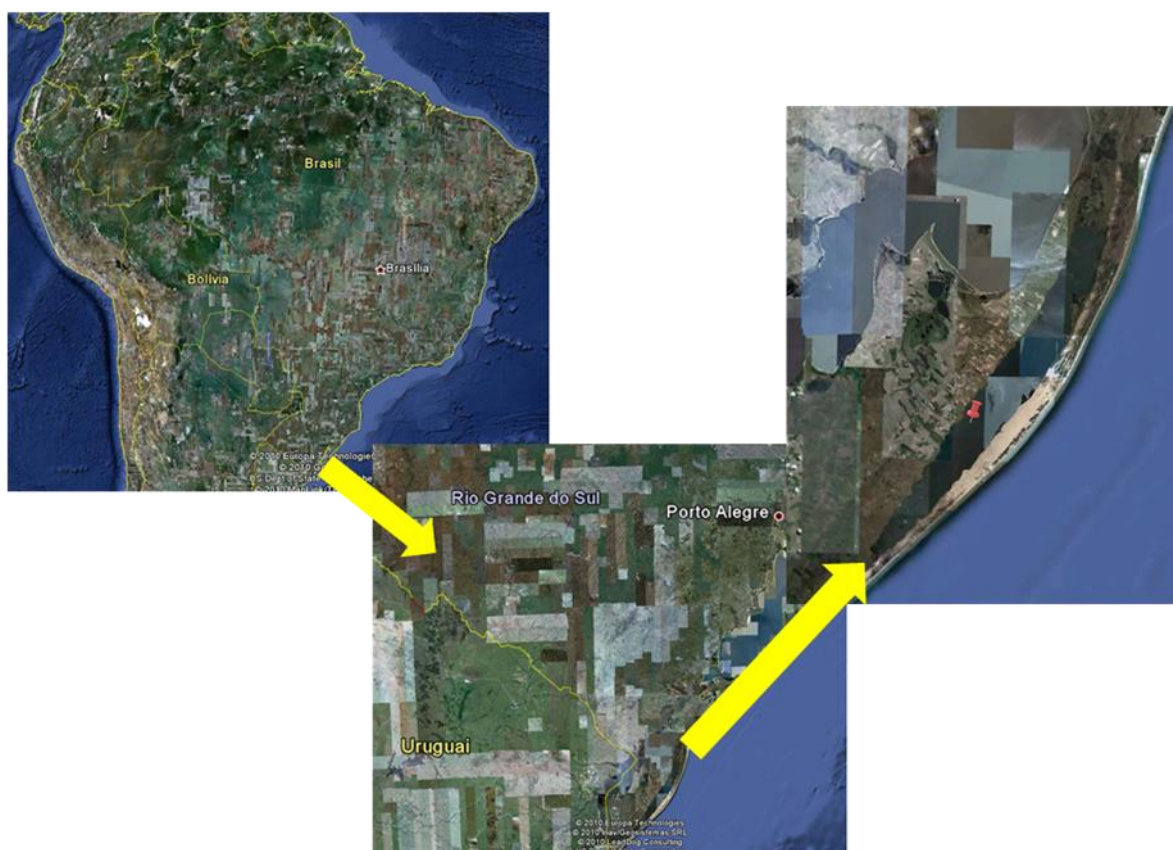


Figura 1 – Localização da Lagoa Mangueira e o ponto de amostragem (Fonte: Google Earth)

Análises das amostras

Durante a coleta das amostras, em campo, foram realizadas medidas de temperatura e oxigênio dissolvido (OD) através de sonda multi-parâmetro (Yellow Spring modelo YSI 6920).

Análises de sólidos foram realizadas através do método gravimétrico (APHA, 1999). As formas de carbono total foram analisadas de forma direta no equipamento TOC V, marca Shimadzu 5000, enquanto as formas dissolvidas foram previamente filtradas com filtro de fibra de vidro, Macherrey-Nagel com 0,6 µm de retenção média, previamente calcinados para a posterior análise no equipamento TOC V. As análises das formas nitrogenadas e fosfatadas foram realizadas através do método colorimétrico do ácido ascórbico (APHA, 1999).

Para a estimativa da densidade, biomassa e morfotipagem do bacterioplâncton, 10 mL de amostra foram fixadas em formol 40%, diluído em 1:10, e mantidas sob refrigeração até a análise. Em laboratório, as amostras foram pré-filtradas em filtro quantitativo (Macherrey-Nagel 640d), com porosidade de retenção média de 2,0 a 4,0 µm. A seguir, foram filtradas 5 mL da amostra em membrana de policarbonato (Millipore) *black* 0.2 µm de porosidade e 25 mm de diâmetro, após a filtração adicionou-se 1 mL do fluorocromo laranja de acridina (LA) 10% (Hobbie *et al.*, 1997). Os filtros foram montados entre lâmina e lamínula com óleo de imersão. Em um microscópio de epifluorescência, fez-se a captura de aproximadamente 15 imagens, dessas 7 foram analisadas nos programas Image Tool (v. 3.00) (Massana *et al.*, 1997) e Image Tool (v. 1.27) através do *plug-in* CMEIAS (Liu *et al.*, 2001). Através dos dados obtidos, calculou-se a densidade (Kepner e Pratt, 1994), a biomassa (Norland, 1993) e os dados de morfotipagem foram fornecidos diretamente pelos programas (Liu *et al.*, 2001). Dentre os 9 morfotipos classificados pelo programa, consideraram-se os que apresentaram maior densidade, *Coccus*, *Curved* e *Regular*, os demais foram somados e denominados Outros.

Amostras de zooplâncton foram coletadas com rede de 25 µm de abertura de malha, com a qual foram filtrados 100 L de amostra e concentradas em 250 mL, preservadas em solução de formaldeído 4%, sendo posteriormente uma alíquota quantificada em câmara de Sedgwick-Rafter (APHA, 1999).

Com o intuito de buscar padrões de distribuição espacial e temporal, bem como relações entre as comunidades bacteriana e zooplânctônicas, os resultados obtidos foram analisados através de uma matriz de correlação (r-Pearson, $p < 0,05$) e de análises multivariadas, como Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Redundância (RDA).

RESULTADOS

A PCA (Figura 2) mostra as principais tendências entre as variáveis limnológicas no perfil vertical da lagoa. Utilizaram-se 10 variáveis abióticas para a PCA, as quais explicaram 93,5% da variabilidade dos dados entre os dois primeiros eixos (eixo 1 = 74,3% e eixo 2 = 19,2%). O gráfico mostra uma diferenciação sazonal impulsionada por variáveis ambientais analisadas. No lado negativo do eixo 1, encontram-se todos os pontos amostrais referentes ao inverno de 2010, enquanto

que, no lado positivo, encontram-se todos os pontos amostrais do verão de 2011, sendo, o inverno portanto, caracterizado principalmente por disponibilidade de nutrientes, e o verão, por aumento da temperatura e oxigênio dissolvido.

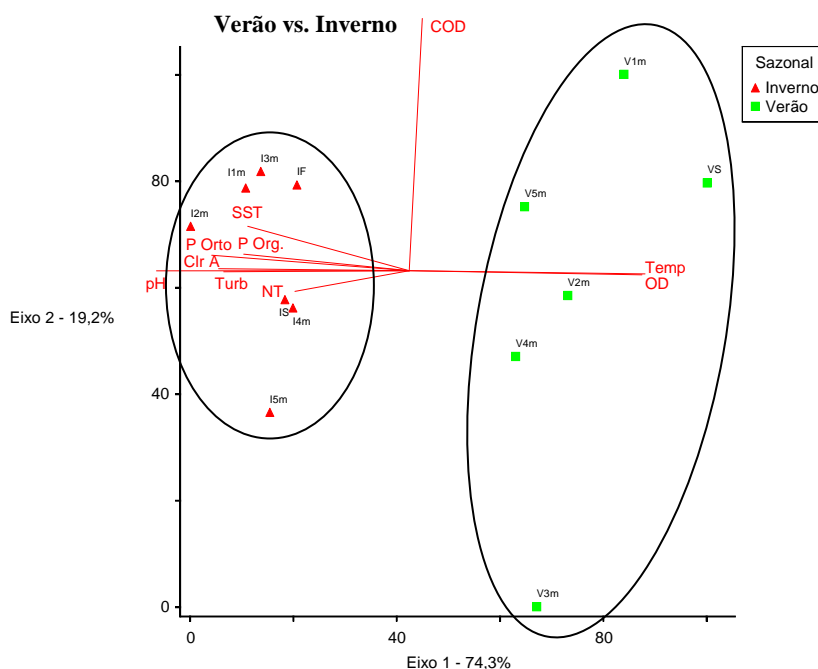


Figura 2 – Diagrama da PCA aplicada às variáveis ambientais dos perfis verticais da Lagoa Mangueira nas duas estações (I=inverno, V=verão, S=superfície, F=fundo, 1m a 5m=profundidades em metro)

Uma DCA (*Detrended Correspondence Analysis*) foi efetuada previamente com a matriz biótica para análise do gradiente, cujo, comprimento, foi menor do que 3, devendo, portanto, proceder uma RDA.

O gráfico da RDA (Figura 3) mostra a tendência das comunidades bacterianas e zooplancônicas direcionadas pelas variáveis abióticas sazonalmente. O eixo 1 do gráfico explicou 56,9% da variabilidade ($p < 0,05$ e $r = 0,999$). As variáveis mais correlacionadas com o inverno foram o pH (-0,911) e a clorofila *a* (-0,909) enquanto que o OD (0,961) e a temperatura (0,955) estiveram mais correlacionadas com o verão. Através do gráfico pode-se observar que a densidade total bacteriana e a densidade dos principais morfotipos (*Coccus*, *Regular*, *Curved* e ‘Outros’) estiveram relacionadas com aquelas unidades amostrais de inverno, vinculadas com os maiores níveis de nitrogênio total. Em relação ao zooplâncton, a densidade total, de Rotifera e Protista estiveram relacionadas com o verão, vinculadas ao aumento de temperatura e ao oxigênio dissolvido. Por outro lado, Cladocera e Copepoda estiveram relacionadas com as unidades amostrais de inverno, quando os níveis de turbidez, SST, pH e P-Org foram mais elevados.

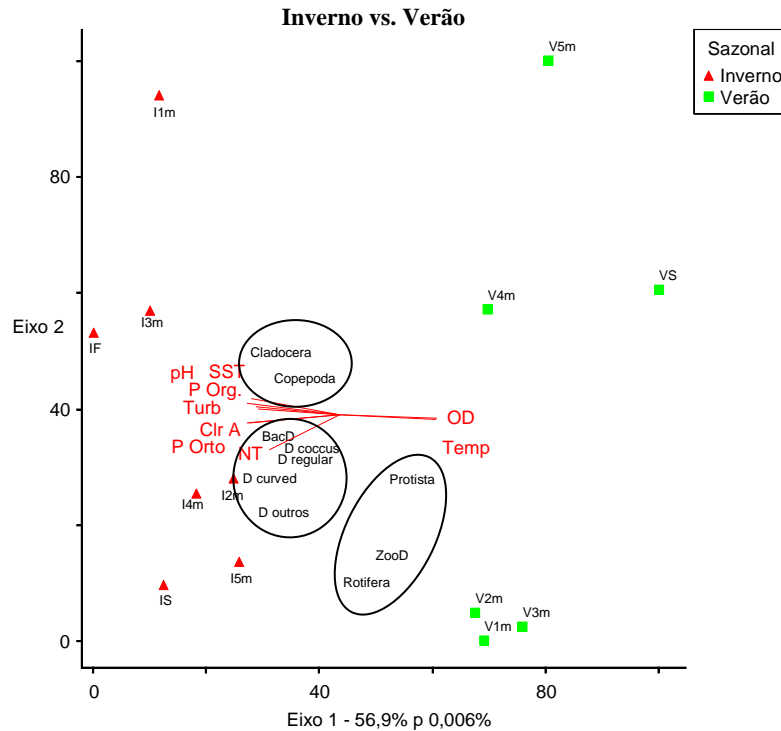


Figura 3 – Diagrama da RDA aplicada às variáveis ambientais e biológicas dos perfis vertical da Lagoa Mangueira nas duas estações (ver legenda na Figura 2)

A correlação entre as comunidades com as variáveis ambientais mostraram essas mesmas tendências de variação sazonal, quando Protistas e densidade de zooplâncton estiveram correlacionadas positivamente com OD e temperatura. As densidades de *Coccus*, Regular, *Curved* e total de bacterioplâncton apresentaram correlação positiva com SST, ortofosfato, P-Org, NT (com exceção do *Curved*), clorofila *a*, pH e turbidez (Tabela 1).

Tabela 1 – Correlação entre as comunidades e as variáveis ambientais nos dois períodos sazonais estudados

	OD	SST	P ORTO	P ORG	NT	CLR A	COD	TEMP	PH	TURB
PROTISTA	0,83	-0,89	-0,77	-0,84		-0,78		0,83	-0,83	-0,63
ROTIFERA										
CLADOCERA										
COPEPODA				0,56						
DENSIDADE DE ZOOPLÂNCTON	0,65	-0,68		-0,57				0,66	-0,68	-0,57
COCCUS	-0,93	0,88	0,79	0,76	0,60	0,87		-0,92	0,80	0,74
REGULAR	-0,91	0,88	0,77	0,73	0,57	0,86		-0,90	0,77	0,72
CURVED	-0,84	0,83	0,67	0,63		0,80		-0,84	0,69	0,65
OUTROS							-0,60			
DENSIDADE DE BACTERIOPLÂNCTON	-0,92	0,87	0,78	0,74	0,59	0,86		-0,92	0,79	0,73

A relação de predação foi evidenciada através das correlações inversas (Tabela 2), especialmente entre Protista e a comunidade bacteriana (morfotipos e densidade total), com exceção

das formas ‘Outros’, entre a densidade de zooplâncton e as densidades de *Coccus*, Regular e total de bacterioplâncton. Por outro lado, Cladocera mostrou relação positiva com a comunidade bacteriana, sendo este grupo mais abundante no inverno (Figura 4).

Tabela 2 – Correlação entre as densidades de zooplâncton e bacterioplâncton nos dois períodos sazonais estudados

	COCCUS	REGULAR	CURVED	OUTROS	DENSIDADE DE BACTERIOPLÂNCTON
PROTISTA	-0,73	-0,71	-0,65		-0,72
ROTIFERA					
CLADOCERA	0,59	0,59	0,68		0,60
COPEPODA					
DENSIDADE DE ZOOPLÂNCTON	-0,58	-0,56			-0,57

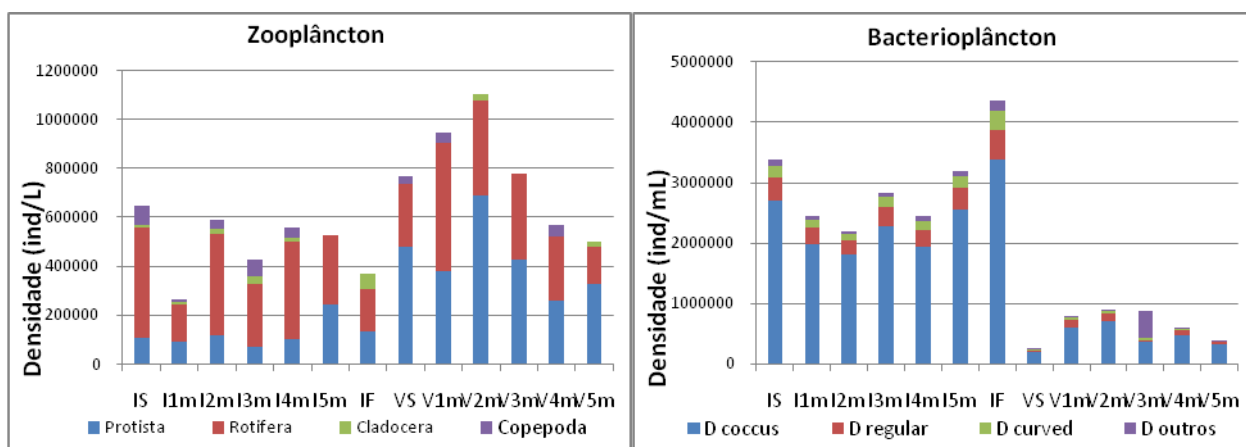


Figura 4 – Densidade das comunidades zooplanctônicas e bacterianas no perfil da coluna d’água nas duas estações (ver legenda na Figura 2)

Os gráficos de densidade do zooplâncton e do bacterioplâncton (Figura 4) evidenciam a bacterivoria, especialmente durante o verão, quando os protistas foram mais abundantes. Os protistas são os principais predadores de bacterioplâncton, e observa-se que, no inverno a densidade de bacterioplâncton foi bem maior do que no verão. Além disso, a comunidade zooplanctônica de inverno apresentou uma maior representatividade de rotíferos e macrozooplâncton (cladocera e copepoda) do que de protistas, ou seja, mais organismos predadores preferenciais do fitoplâncton do que do bacterioplâncton.

A densidade de *Coccus* foi, com exceção do ponto 3m no verão, sempre maior do que as densidades dos demais morfotipos; entretanto, a biomassa de *Coccus* teve a menor média (Figura 5).

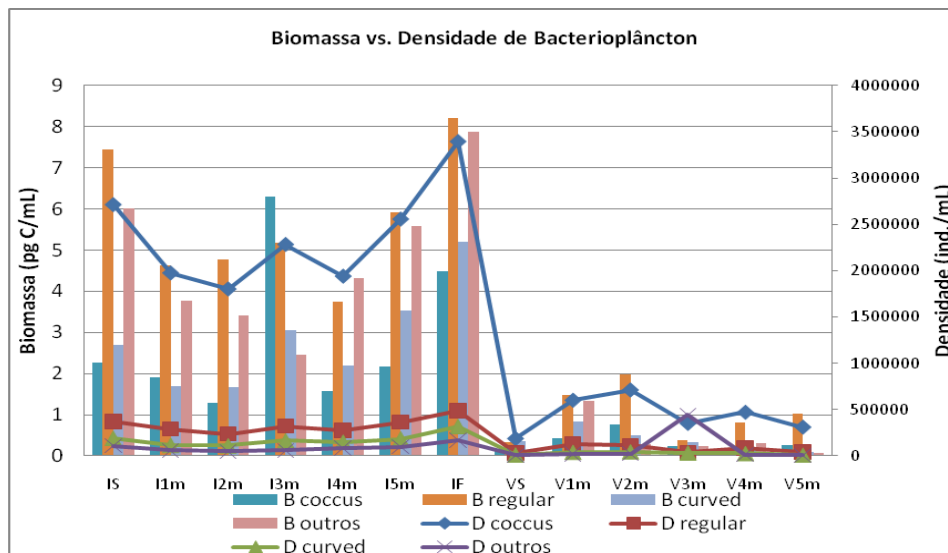


Figura 5 – Biomassa (B) e densidade (D) de bacterioplâncton no perfil da coluna d’água nas duas estações (ver legenda na Figura 2)

DISCUSSÃO

A RDA mostrou que os nutrientes, em especial o nitrogênio total, explicaram a densidade bacteriana total e a densidade dos morfotipos, evidenciando assim um controle ascendente (*bottom-up*) no inverno. Resultado semelhante foi obtido por La Ferla e Leonardi (2005), os quais obtiveram correlação entre o biovolume bacteriano e as concentrações de nutrientes, principalmente o nitrato e nitrito. O controle descendente (*top-down*) foi observado no verão, especialmente vinculado aos potenciais predadores (protistas).

Entre os dois períodos amostrais, evidenciou-se a limitação de nutrientes sobre a densidade bacteriana associada negativamente com a densidade de protistas, que afetaram significativamente todas as densidades bacterianas, com exceção da densidade dos morfotipos ‘Outros’.

Em termos de densidade e biomassa bacteriana, observou-se que, no inverno, ambas as variáveis tiveram seus maiores valores na superfície e no fundo da lagoa. As formas Regular e Curved foram as mais abundantes e com maior biomassa, provavelmente como resposta às concentrações de nutrientes (Jürgens *et al.*, 1994; Cesar e Abreu, 2001). A disponibilidade de nutrientes pode estar relacionada com a forma e com o tamanho das bactérias (Corno e Jürgens, 2005). Para as amostras de verão, o morfotipo que teve a maior densidade foi o Regular, provavelmente como resposta à predação, conforme resultados obtidos pelos autores acima citados, indicando preferência por tipos havendo possibilidade de escolha.

CONCLUSÕES

A comunidade bacteriana da Lagoa Mangueira sofreu controle ascendente (*bottom-up*), durante o inverno, e controle descendente (*top-down*) durante o verão. Mostrando um marcante metabolismo sazonal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através do programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD).

BIBLIOGRAFIA

a) Livro

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (1999). Eaton, a. d.; Clesceri, L. S.; Greenberg, A. E. (orgs.). Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 20ª ed. Washington: American Public Health Association, Inc.

ESTEVES, F. A. (1998). Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro. Interciência. p.602.

LAYBOURN-PARRY, J. (1992). Protozoan Plankton Ecology. London: Chapman & Hall. 231p.

NORLAND, S. (1993). The relationship between biomass and volume of bactéria. In: Kemp, P. F.; Sherr, B. F.; Sherr, E. B. & Cole, J. J. Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology. USA: Lewis Publishers. p. 339-345. 777p.

b) Artigo em revista

ABREU, C. A.; BIDDANDA, B. B.; ODEBRECHT, C. (1992). Bacterial dynamics of the Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil (32° S, 52° W): Relationship with phytoplankton production and suspended material. Estuarine Coastal and Shelf Science, 35: 621-635.

AZAM, F.; FENCHEL, T.; FIELD, J. G.; GRAY, J. S.; MEYER-REIL, L. A.; THINGSTAD, F. (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. Marine Ecology - Progress Series, 10:257-263.

CESAR, D.E; ABREU, P. C. (2001). Ecology of aquatic microorganisms in southern Brazil: State of Art. Oecologia Brasiliensis, 9: 153-171.

CORNO, G.; JÜRGENS, K. (2005). Direct and Indirect Effects of Protist Predation on Population Size Structure of a Bacterial Strain with High Phenotypic Plasticity. Applied and Environmental Microbiology, 72:78-86.

FARJALLA, V. F.; ENRICH-PRAST, A.; ESTEVES, F. A.; CIMBLERIS, A. C. P. (2006). Bacterial growth and DOC consumption in a tropical coastal lagoon. Brazilian Journal Biology, 66(2A):383-392.

HOBBIE, J. E.; DALEY, R. J.; JASPER, S. (1997). Use of nucleopore filters for counting bactéria by fluorescent microscopy. Applied and Environmental Microbiology. v.33, n.5, p. 1225-1228.

- JÜRGENS, K.; ARNDT, H.; ROTHHAUPT, K. O. (1994). Zooplankton-Mediated Changes of Bacterial Community Structure. *Microbial Ecology*, 27:27-42.
- KEPNER, R. L. JR.; PRATT, J. R. (1994). Use of fluorochromes for direct enumeration of total bacteria in environmental sample: past and present. *Microbiological Reviews*. v.58. n.4, p. 603-615.
- LA FERLA, R.; LEONARDI, M. (2005). Ecological implications of biomass and morphotype variations of bacterioplankton: an example in a coastal zone of the Northern Adriatic Sea (Mediterranean). *Marine Ecology*. 26:82-88.
- LIU, J.; DAZZO, F. B.; GLAGOLEVA, O.; YU, B.; JAIN, A. K. (2001). CMEIAS: A computer-aided system for the image analysis of bacterial morphotypes in microbial communities. *Microbial Ecology*. v.41, p.173-194.
- MASSANA, R.; GASOL, J. M.; BJØRNSSEN, P. K.; BLACK-BURN, N.; HAGSTRÖM, Å.; HIETANEN, S.; HYGUM, B. H.; KUPARINEN, J.; PEDRÓS-ALIÓ, C. (1997). Measurement of bacterial size via image analysis of epifluorescence preparations: description of an inexpensive system and solutions to some of the most common problems. *Scientia Marina*. v.61, n.3, p.397-407.
- PASSOW, U.; DE LA ROCHA, C. L.; ARNOSTI, C.; GROSSART, H-P.; MURRAY, A. E.; ENGEL, A. (2007). Microbial dynamics in autotrophic and heterotrophic seawater mesocosms. I. Effect of phytoplankton on the microbial loop. *Aquatic Microbial Ecology*, 49:109-121.
- TAMMERT, H.; KISAND, V.; NOGES, T. (2005). Bacterioplankton abundance and activity in a small hypertrophic stratified lake. *Hydrobiologia*. v.547, pp.83-90.
- TOOLAN, T.; WEHR, J. D.; FINDLAY, S. (1991). Inorganic Phosphorus Stimulation of Bacterioplankton Production in a Meso-eutrophic Lake. *Applied and Environmental Microbiology*. 57(7):2074-2078.
- WANG, L.; MILLER, T. D.; PRISCU, J. C. (1992). Bacterioplankton Nutrient Deficiency in a Eutrophic Lake. *Archiv fuer Hydrobiologie* 125(4):423-439.