

EVOLUÇÃO DO GRAU DE EUTROFIZAÇÃO NA LAGOA DA PAMPULHA: COMPARAÇÃO DE CICLOS SAZONAIS DE NUTRIENTES (N e P) E ORGANISMOS PLANCTÔNICOS.

Ricardo M. Pinto-Coelho
Depto. de Biologia Geral
ICB – UFMG

INTRODUÇÃO

Em ecossistemas aquáticos, o processo de eutrofização pode ser definido como um aumento da biomassa e produção tanto ao nível dos produtores quanto consumidores (MARGALEF, 1983). Há uma paralela e crescente redução da capacidade metabólica dos organismos em adaptar às novas condições do ambiente o que acarreta inevitável redução da complexidade biológica do ecossistema (WETZEL, 1983). Em sistemas lacustres epicontinentais, este processo é, na maioria dos casos, gerado por influência direta ou indireta da atividade humana em suas bacias hidrográficas, principalmente através do carreamento excessivo de nutrientes contidos em seus dejetos domésticos, industriais e agrícolas. Ao lado da transparência da água, os parâmetros indicadores clássicos para monitorar e quantificar o processo de eutrofização em lagos são as concentrações de nutrientes, tais como o nitrogênio e fósforo, bem como senso demográficos e biomassa das populações dos principais organismos planctônicos (VOLLENWEIDER & KERÉKES, 1979).

A lagoa da Pampulha é, ao lado do distrito lacustre do vale do Rio Doce e do "Karst" de Lagoa Santa, um dos sistemas lacustres mais bem estudados sob o ponto de vista limnológico do estado de Minas Gerais. Na década de oitenta, o processo de eutrofização do reservatório intensificou-se de forma dramática. Em 1980, a estação de captação de água da Cia. de Saneamento do Estado de Minas Gerais (COPASA) teve que ser desativada em decorrência dos freqüentes blooms de algas fitoplanctônicas que passaram a ocorrer no reservatório. Ocorreram também vários surtos de proliferação de macrófitas aquáticas (i.e. 1986) e alguns casos isolados de mortalidade de peixes. Neste período, houve uma intensificação dos estudos limnológicos no reservatório que enfocaram basicamente a dinâmica sazonal dos fatores físico-químicos da água, a composição e abundância de organismos planctônicos bem como inventários detalhados sobre as comunidades litorâneas incluindo moluscos e insetos (SUDECAP/ FUNDEP, 1986; GIANI et al. 1988; SUDECAP/DAM, 1989; SUDECAP/FUNDEP, 1992). Paralelamente, iniciaram-se estudos ecológicos sobre a vegetação marginal bem como sua composição de anfíbios e vertebrados superiores (BRANDT Meio Ambiente, 1992a e b; GRANDI et al., in prep.).

O presente trabalho tem como objetivo central sumarizar e discutir as principais alterações verificadas na zona limnética do reservatório na segunda metade da década de oitenta e início dos anos noventa. Isto será feito através da comparação de ciclos sazonais de algumas espécies químicas do ciclo do nitrogênio e do fósforo bem como dos principais grupos de organismos planctônicos. Esta comparação servirá de subsídio para a formulação de um plano de monitoramento e manejo mais racional para a década de noventa. Procurar-se-á também ressaltar que, embora sejam essenciais para o diagnóstico do estágio de eutrofização, os estudos descritivos apresentam limitada capacidade de explanação dos eventos biológicos que vêm ocorrendo na lagoa e que somente com a introdução de novos enfoques metodológicos é que se poderá avançar no entendimento da dinâmica do processo de eutrofização deste reservatório.

METODOLOGIA

A primeira etapa deste trabalho foi a de localizar os dados disponíveis. A maioria das informações aqui utilizadas provém de relatórios de pesquisa ainda não publicados na literatura especializada (opt. cit). Somente os trabalhos que incluíram pelo menos um ciclo sazonal completo foram considerados. A Tab. 1 sumariza os trabalhos selecionados, bem como os ciclos sazonais cobertos por cada um deles.

A segunda etapa foi a de compatibilizar os dados selecionados já que diferentes metodologias de coleta, análise e processamento foram utilizadas. Esta etapa incluiu uma análise das tendências sazonais em termos de valores médios, mínimos e máximos bem como comparações com valores de literatura. Sendo assim, eventuais falhas e imprecisões nos dados puderam ser detectadas.

A escolha das variáveis a serem consideradas foi a terceira etapa. Para esta escolha, levou-se em consideração não somente a uniformidade metodológica e a consistência dos resultados obtidos mas também sua relevância em termos de indicador de grau de eutrofização bem como o fato das amostras terem sido tomadas nos mesmos pontos ou em regiões próximas entre si. Tendo em vista todos estes aspectos, as seguintes variáveis foram escolhidas: amônia solúvel, fósforo-total e organismos fito e zooplantônicos. A Tab. 2 fornece os locais e metodologias de coleta e análise para cada um dos parâmetros selecionados.

RESULTADOS

As variações mensais nas concentrações de amônia solúvel na superfície da água em um ponto próximo à ilha dos Amores estão representadas na Fig. 1. Os valores mais elevados ocorreram entre agosto e outubro nos dois ciclos sazonais. Este período corresponde normalmente ao final do período de seca, como atestam as alturas pluviométricas mensais ilustradas para o ciclo sazonal 84/85 (topo). Os valores absolutos das concentrações de amônia são, no entanto, muito diferentes entre os dois períodos abordados. Observar, por exemplo, as concentrações extremamente elevadas ($> 15.000 \mu\text{g/L}$ de N-NH_4) registradas para a amônia em setembro de 1990 e 1991. A médias anuais foram 1157 e $8568 \mu\text{g/L}$ de N-NH_4 para os ciclos 84/85 e 90/91, respectivamente (Tab. 3).

TABELA 1

Estudos limnológicos básicos (zona limnética) no reservatório da Pampulha, Belo Horizonte (MG) realizados nos últimos 14 anos.

ANO	FQ	nutrientes	colimetria	fitoplâncton	zooplâncton
1979	cp		cp		
1980	cp		cp		
1981	cp		cp		
1982					
1983					
1984	gp	gp		gp	gp
1985	gp	gp		gp	gp
1986					
1987					
1988	cp		cp		
1989	fr	fr		fr	fr
1990	fr	fr		fr	fr
1991	fr	fr		fr	fr
1992	gp	gp		gp	gp

cp: SUDECAP (1989) – gp: Giani et al. (1988) – fr: SUDECAP (1992) – FQ: parâmetros físico-químicos (temp. pH, OD, Secchi/turbidez) – nutrientes: série nitrogenada e fósforo total.

TABELA 2

Pontos de amostragem, metodologias de coletas e de análise dos parâmetros químicos e biológicos utilizadas pelas séries de dados selecionadas.

Parâmetro	1984–1985			1990–1991		
	pontos	coleta	análise	pontos	coleta	análise
amônia	1,4,9	KE	IF	1,9	KE	NS
fósforo total	1,4,9	KE	MR	1,9	KE	MR
fitoplâncton	1,4,9	KE	UT	1,9	KE	**
zooplâncton	1,4,9	RD	PC	1,9	CJ	PC

Observações:

Pontos 1: Ba rragem, 4: late e 9 Ilha dos Amores

Coleta KE: G. de Kemmerer, RD: rede de 90 μ , CJ: arm. de Clarke-Juday

Análise IF: Koroleff (1976), NS: APHA (1976), MR: Murphy & Riley (1962), UT: Utermohl (1958), PC: Pinto-Coelho (1983)

** não disponível.

L. da Pampulha Nutrientes (N e P)

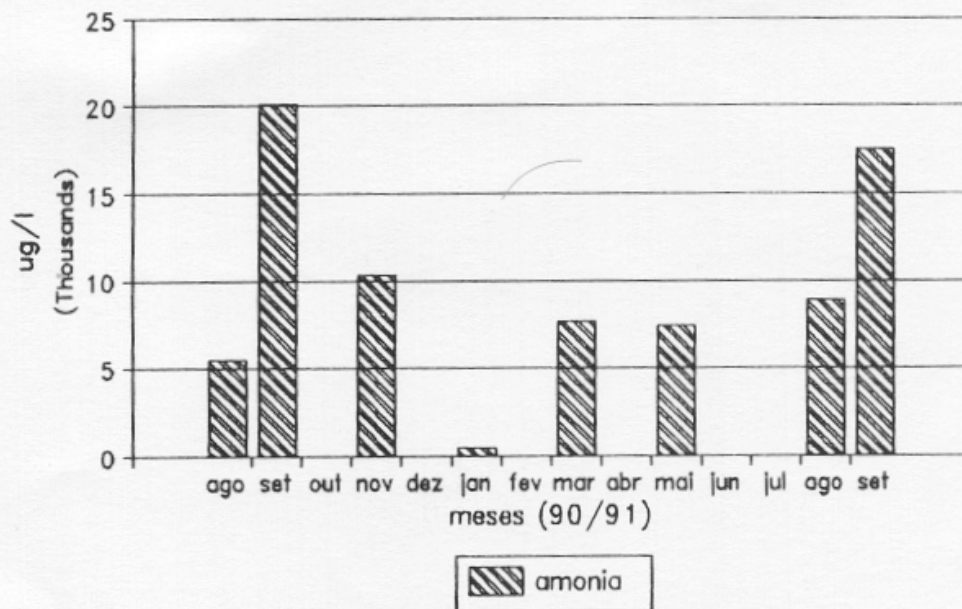
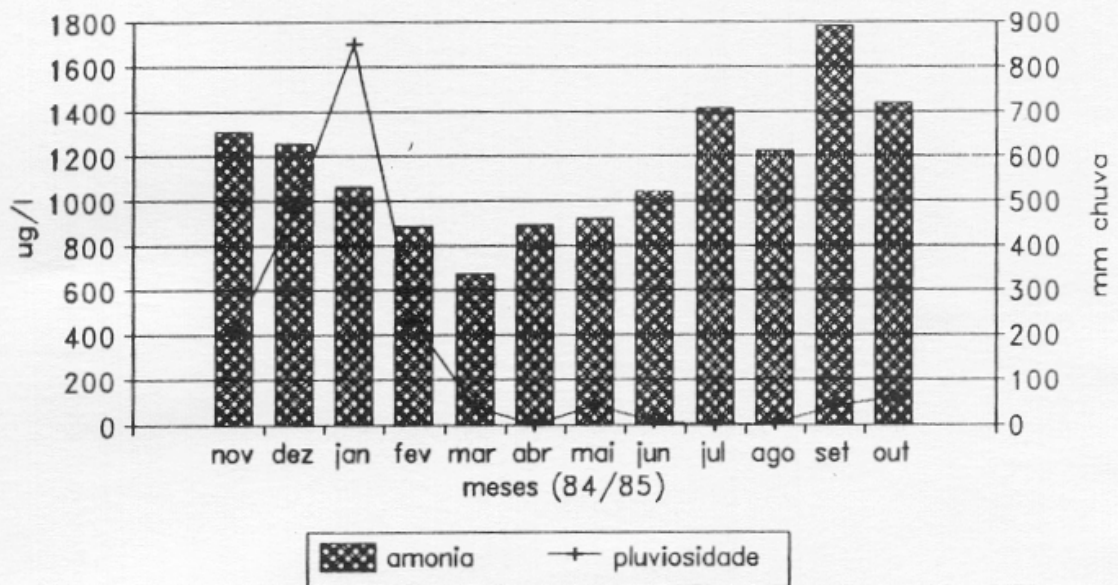


FIGURA 1 – Concentrações de amônia solúvel na superfície da água na represa da Pampulha (E. 09) em dois ciclos sazonais distintos.

A Fig. 2 ilustra as variações sazonais do fósforo total nos ciclos sazonais 84/85 (parte superior) e 90/91 (parte inferior). Nos dois períodos, as concentrações mais elevadas ocorreram também entre agosto e outubro. No entanto, as semelhanças entre os dois ciclos restringem-se apenas ao padrão sazonal. As concentrações mensais foram sempre superiores nos anos 90/91. Além disso, a variabilidade observada nas concentrações de fósforo relativas ao período 90/91 foi também muito mais acentuada. Os valores de tendência central e de dispersão ilustram muito bem estas duas tendências (Tab. 3).

TABELA 3

Medidas de tendência central e de dispersão de nutrientes (N e P) e de organismos planctônicos em dois ciclos sazonais na represa da Pampulha.

	ciclo	med.	desv.	min.	max.	n
amônia	1	1157	292	673	1779	14
	2	8568	6428	60	20310	8
fósforo	1	27	11	9	47	14
	2	51	56	10	190	8
cladóceros	1	57	49	1	148	14
	2	176	226	2	721	14
copépodes	1	192	155	32	582	14
	2	881	656	64	2285	14
rotíferos	1	78	84	3	325	14
	2	1362	1257	223	4533	14
dom. fito (%)	1	24	29	0	93	14
	2	84	35	0	100	14

1: 1984/1985 — 2: 1990/1991.

A dinâmica sazonal dos principais grupos de algas fitoplanctônicas está ilustrada na Fig. 3 e Tab. 4. Esta comunidade modificou-se de modo dramático entre os dois períodos considerados. Em 84/85 a espécie mais abundante era a cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii*. Em 90/91 ela praticamente desapareceu do lago sendo substituída por *Microcystis spp.* (*M. flos-aquae* e *M. aeruginosa*) cujas densidades em várias ocasiões suplantaram 10^6 cél/ml. A Fig. 3 ilustra claramente que as maiores densidades observadas para o fitoplâncton no ciclo 90/91 são devidas exclusivamente a *Microcystis* já que os outros grupos de algas (i.e. fitoflagelados) praticamente não modificaram seus padrões de abundância entre os dois ciclos sazonais. A Tab. 3 ilustra que a dominância era praticamente inexistente na comunidade fitoplanctônica dos anos 84/85. *C. raciborskii* teve uma dominância média de 10% sobre a abundância total de

L. da Pampulha Nutrientes (N e P)

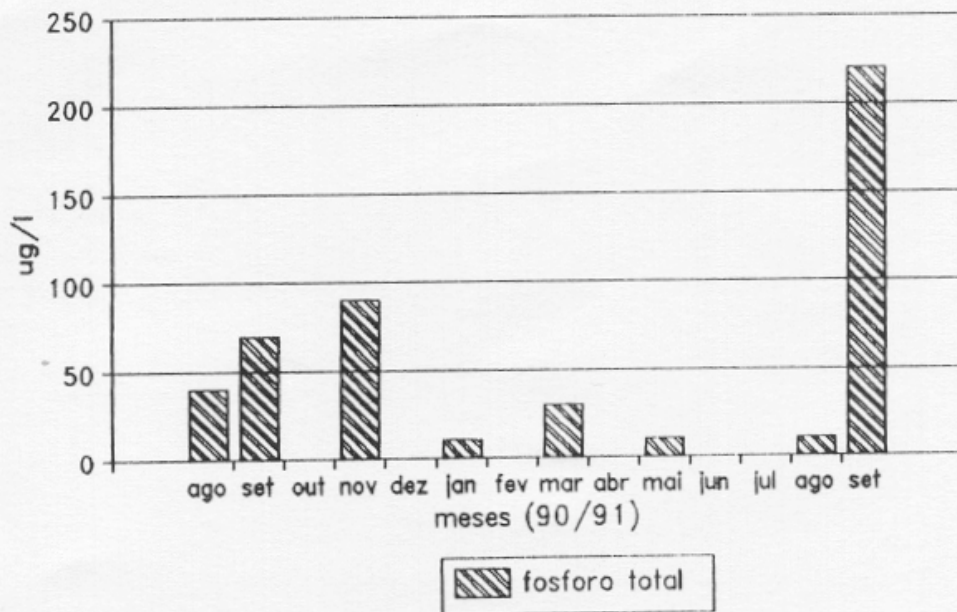
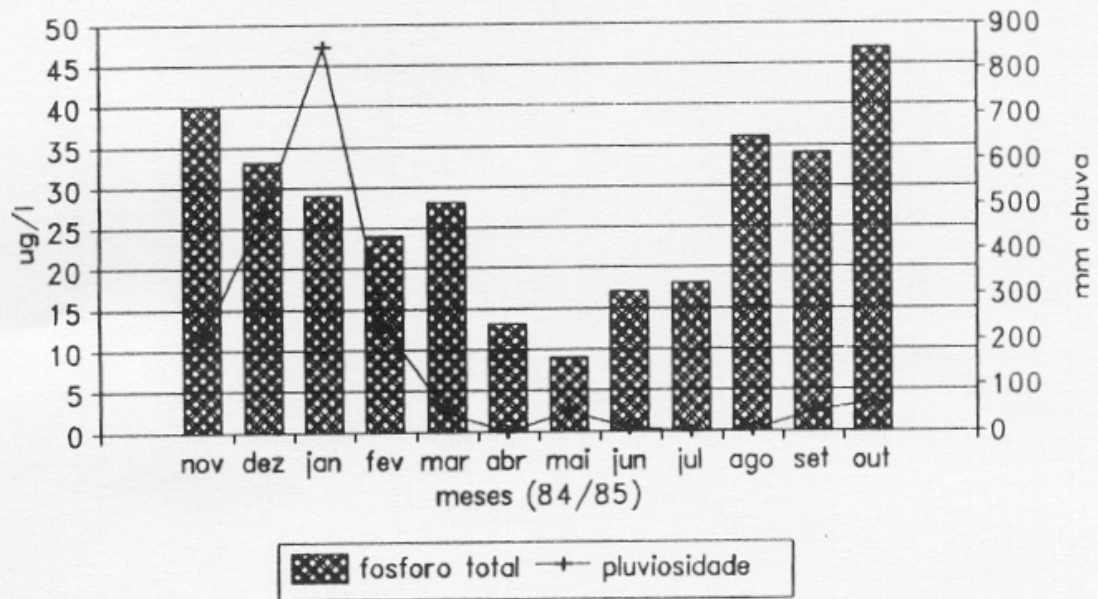


FIGURA 2 – Concentrações de fósforo total na superfície da água na represa da Pampulha (E.09) em dois ciclos sazonais distintos.

L. da Pampulha (E.09) fitoplancton

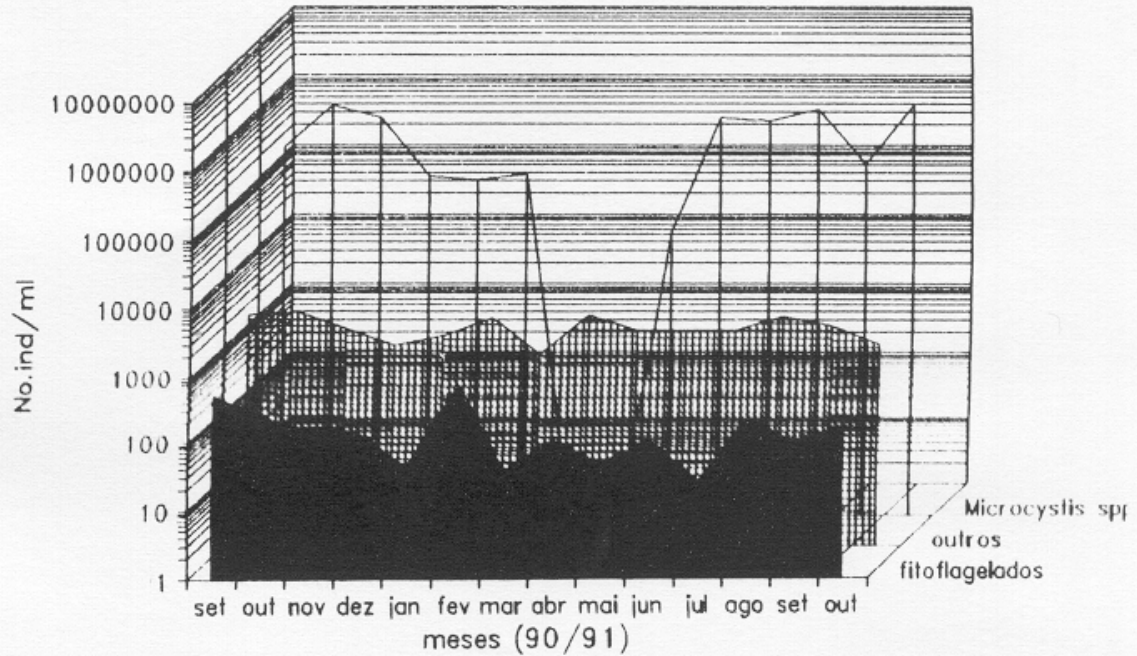
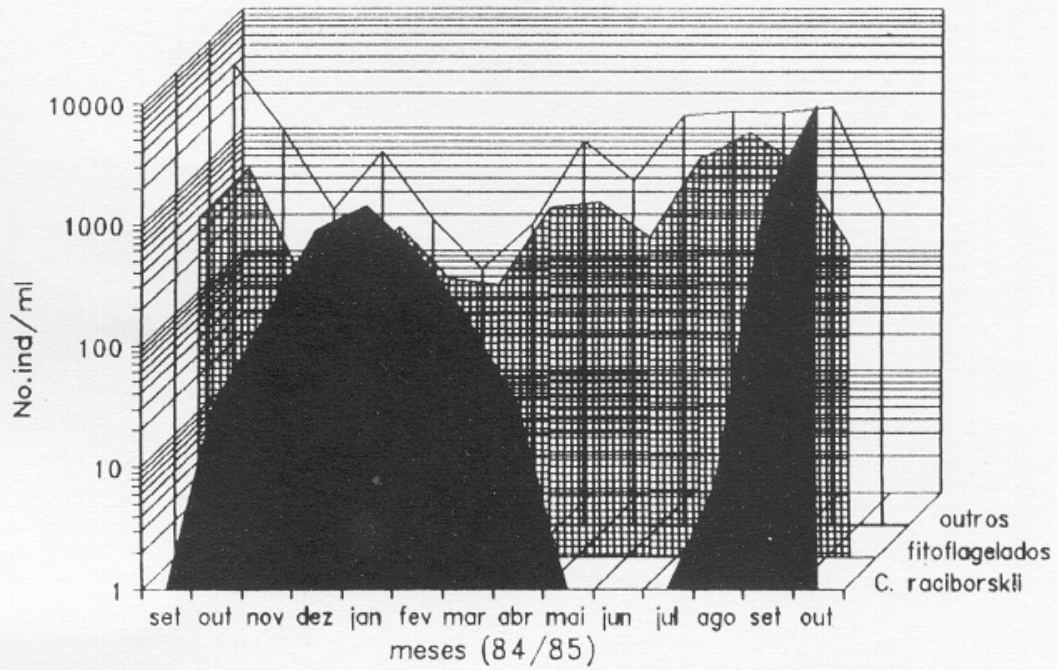


FIGURA 3 – Densidades dos principais grupos de organismos fitoplancônicos na represa da Pampulha (E.09) em dois ciclos sazonais distintos.

indivíduos, enquanto *Microcystis spp.* atingiu um valor médio de 84% para a dominância (TAB. 3). A Tab. 4 fornece os valores mensais bem como a média, o desvio padrão e a amplitude observada para as densidades de cada um destes grupos de organismos fitoplanctônicos.

O zooplâncton também sofreu importantes modificações quantitativas entre os dois ciclos analisados. A Fig. 4 ilustra que, embora os padrões sazonais dos principais grupos tenham se repetido nos dois ciclos, maiores densidades foram observadas de modo consistente no ciclo 90/91. Estas tendências foram comprovadas pelas médias e amplitudes observadas nestes períodos (Tab. 3). É interessante notar ainda o paralelismo entre os padrões sazonais de copépodes ciclopóides e cladóceros. Já os copépodes calanoides foram mais abundantes entre os meses de abril e julho, período em que foram observadas menores concentrações de nutrientes.

DISCUSSÃO

A análise dos dois ciclos temporais demonstrou que os padrões sazonais mantiveram-se praticamente inalterados entre os anos 84/85 e 90/91. Isto pode ser observado através das maiores concentrações ao final do período seco para o nitrogênio (amônia) e fósforo como também pelas maiores abundâncias de zooplâncton entre os meses de setembro e novembro. Esta tendência pode ser aplicada até mesmo para o fitoplâncton que sofreu profundas modificações estruturais em sua composição. Basta observar que há interrupções significativas na dominância exercida pelas algas verde-azuladas nos dois períodos considerados (*C. raciborskii* em 84/85 e *Microcystis spp.* em 90/91) e que grupos de algas subdominantes, tais como os fitoflagelados, praticamente mantiveram suas abundâncias e sazonalidades comparáveis entre os dois períodos.

Outro aspecto que merece ser ressaltado, refere-se às variações interanuais que comumente ocorrem e que não têm relação aparente com o processo de eutrofização. Isto está muito bem ilustrado para o zooplâncton. Em 84/85 concentrações mais elevadas foram encontradas ao final da estação seca de 85 (em relação a outubro-novembro de 84). Já no ciclo de 90/91, as concentrações mais elevadas ocorreram entre setembro e outubro de 1990 (em relação a setembro-outubro de 91). Daí a importância de se considerar ciclos sazonais completos para se avaliar o progresso da eutrofização.

Por outro lado, todos os parâmetros analisados sofreram importantes modificações quantitativas entre os períodos considerados. As estatísticas de tendência central e de dispersão fornecidas pela Tab. 4 demonstraram claramente que as concentrações médias de amônia, fósforo total bem como as abundâncias de organismos fitoplanctônicos e zooplanctônicos foram mais elevadas em 90/91. Importante observar que as variações interanuais comentadas no parágrafo anterior foram levadas em consideração para o cálculo destas estatísticas.

No entanto, algumas diferenças observadas em relação aos ciclos anuais de alguns

TABELA 4

Densidades em número de ind/ml de organismos fitoplanctônicos na estação E.09, represa da Pampulha, em 1984/85 e em 1990/91.

Organismos	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	ind
<i>(84/85)</i>															
<i>C. raciborskii</i>	1	34	171	903	1414	603	175	34	1	1	1	7	1578	9607	1038
fitoflagelados	630	1927	213	246	524	194	169	767	849	430	1884	3186	1686	368	912
outros	6385	1806	397	1181	328	128	303	1401	686	2354	2574	2499	2776	370	1661
total	7017	3466	780	2330	2272	925	648	2263	1536	2785	4458	5693	6040	10345	3611
dominância (%)	0	1	22	39	62	65	27	1	0	0	0	0	26	93	24
<i>(90/91)</i>															
<i>Microcystis spp.</i>	263544	1074405	711936	166947	92114	108864	1	1	16200	708322	651882	924554	151240	1118640	423046
fitoflagelados	519	243	146	142	42	770	37	111	48	106	27	235	96	174	193
outros	2866	3225	1889	1064	1436	2697	796	2877	1707	1755	1730	2731	1992	1088	1996
total	266929	1077873	713971	168153	93592	112331	834	2989	17955	710183	653639	927520	153328	1119902	425229
dominância (%)	99	100	106	99	98	97	6	0	90	100	100	100	99	100	84

L. da Pampulha (E.09) Zooplankton

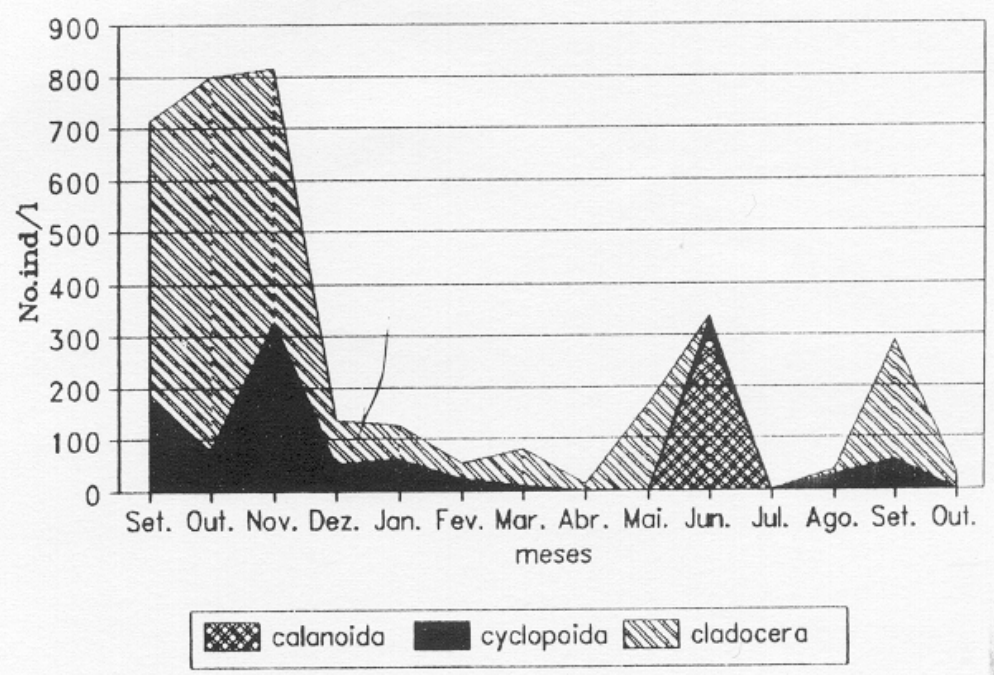
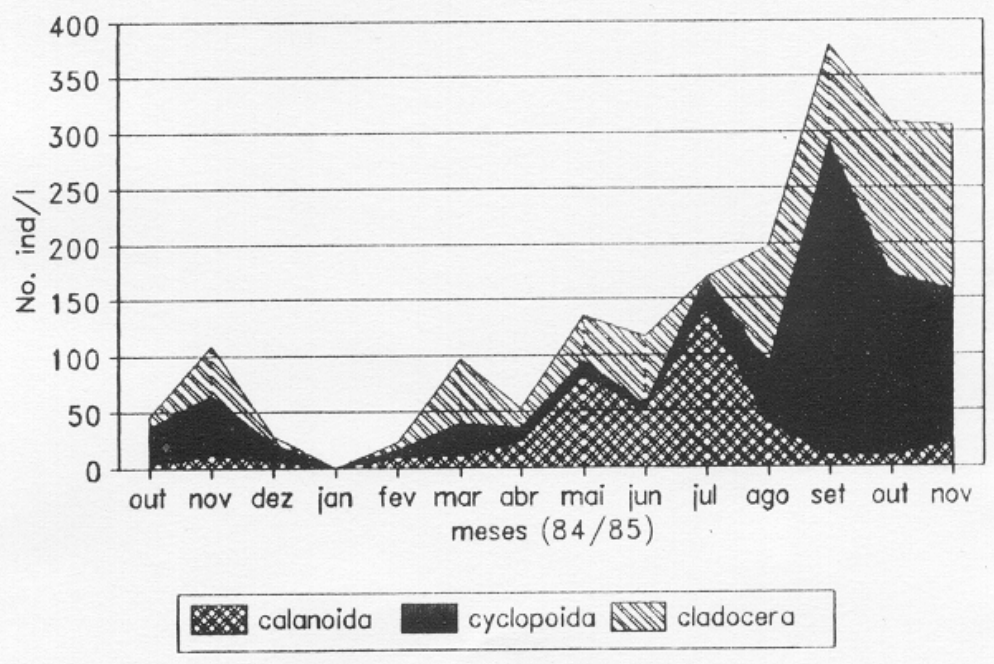


FIGURA 4 – Densidades de organismos zooplancônicos na represa da Pampulha (E. 09) em dois ciclos sazonais distintos.

destes parâmetros podem não estar ligadas exclusivamente ao processo de eutrofização. Como a Tab. 2 demonstrou, o zooplâncton e a amônia foram coletados e ou processados por diferentes metodologias. A amônia, por exemplo, que em 84/85 tinha sido analisada segundo o método proposto por KOROLEFF (1976), em 90/91 foi analisada pelo método de NESSLER (APHA, 1976). Estes métodos apresentam diferenças importantes em relação à sensibilidade e acurácia. O zooplâncton, por outro lado foi coletado por rede em arrasto vertical em 84/85 e através do uso de armadilha de CLARKE-JUDAY em 90/91. De BERNARDI (1984) demonstra que a rede de zooplâncton tende a subestimar as concentrações reais de zooplâncton. Diferenças acentuadas foram observadas em relação a ambos os parâmetros entre os ciclos 84/85 e 90/91 (Tab. 3). Elas podem na realidade ser menores se este fato for levado em consideração.

Num ambiente eutrófico, um outro aspecto muito importante é a relação nitrogênio/fósforo (N:P). Ela pode indicar, por exemplo, qual é o fator nutricional limitante à produção biológica do sistema. A TAB. 5 fornece estas razões para diferentes pontos do reservatório nos ciclos 84/85. No meio celular, a razão em termos de peso de C, N e P oscila ao redor de 40:7:1, (RHEE, 1978). Raramente na natureza os nutrientes estão disponíveis seguindo esta proporção e na maioria dos casos o fósforo é o fator limitante (TILZER, 1979). No ciclo 84/85, a razão N:P variou de 41 a 53 segundo um gradiente partindo da ilha dos Amores em direção à barragem. Isto quer dizer que o fósforo vai se tornando progressivamente cada vez mais escasso no ecossistema, uma vez que a sua demanda cresce dentro do lago. Isto resulta em importantes implicações em termos de manejo e recuperação do ecossistema (talvez o fósforo seja o elemento-chave em termos do controle da eutrofização neste ambiente). Por outro lado, este fato também demonstra a importância dos fenômenos biológicos (i.e. remineralização de nutrientes pelo zooplâncton) na ciclagem dos nutrientes dentro do lago.

TABELA 5

Médias anuais das concentrações em μ g/l de nitrogênio (amônia, nitrato e nitrito), fósforo total e razão N:P em três pontos distintos da r. da Pampulha durante o ciclo sazonal 1984/1985.

Local	estação	N	P	N:P
Barragem	E.01	1439	27	53
Iate	E.04	1463	29	50
Ilha dos Amores	E.09	1592	39	41

Nº de observações: 14

RECOMENDAÇÕES

a) monitoramento

É imperiosa a continuidade do monitoramento ambiental na Lagoa da Pampulha. Os estudos realizados foram interrompidos prematuramente por falta de verbas e desta interrupção resultaram lacunas que impedem uma interpretação mais segura das tendências isoladas. As variações interanuais ilustram muito bem as limitações de programas que se reestrinjam a apenas um ciclo sazonal. Elas devem ser observadas e só um programa de monitoramento ininterrupto e plurianual poderá contornar os problemas por elas gerados na análise do progresso da eutrofização no reservatório.

Na retomada do monitoramento, mesmo no caso deste programa ser de natureza multi-institucional, a uniformidade e a padronização metodológica devem ser metas prioritárias para evitar os problemas detectados em relação à amônia e ao zooplâncton acima assinalados.

Ênfase deve ser dada à análise contínua dos nutrientes (N, P e Si principalmente) e aos sensos populacionais das populações planctônicas, se possível utilizando medidas de biovolume para o fitoplâncton e de biomassa em peso seco para o zooplâncton, evitando-se os inconvenientes de comparar em base numérica organismos com pesos muito diferentes como um rotífero (peso seco inferior a 1 μg) com um grande cladó-cero, tal como uma *Daphnia* adulta, que pode ultrapassar 30 μg de peso seco.

Resta frisar que a contribuição alóctone de nutrientes deve ser avaliada de modo mais preciso, para isto sendo necessário quantificar o aporte externo (*external load*) de nitrogênio e fósforo ao reservatório através dos tributários, escoamento superficial, lençol freático e através das chuvas.

b) introdução de novos enfoques

Estudos descritivos (monitoramento) são insuficientes para responder algumas questões relacionadas ao processo de eutrofização existente na Lagoa da Pampulha. Na discussão, ficou claramente evidenciado que o aporte interno de nutrientes (*internal load*) se faz de modo diferenciado e que as proporções de nutrientes são afetadas por este processo. Reconhecer quais são as principais vias de aporte interno seria o primeiro grande desafio dos enfoques experimentais a serem adotados pelos limnólogos que atuam na Lagoa da Pampulha. Só assim poderemos, por exemplo, determinar as velocidades de depuração das águas, uma vez tenha sido interrompido o aporte de esgotos ao lago.

O processo de eutrofização pode ser entendido como um distúrbio na dinâmica de produção e consumo de matéria orgânica. Ensaio de biomanipulação tais como o uso de "enclosures" para avaliar a pressão de predação dos peixes sobre o zooplâncton, determinação das taxas de consumo de algas pelo zooplâncton ou o

acompanhamento da produção primária em ensaios de precipitação química de fósforo em áreas isoladas do reservatório poderão ser muito úteis para entendermos a dinâmica dos processos ecológicos acima assinalados.

c) modelização

Estudos mais avançados sobre a dinâmica das séries temporais já obtidas ou a elaboração de modelos trófico-dinâmicos que envolvam a participação de equipes multidisciplinares poderiam constituir a terceira fase de pesquisas. Nestes estudos, as informações já obtidas poderiam ser processadas no sentido de se produzir modelos que expliquem não só o funcionamento das diferentes comunidades do ecossistema mas que sobretudo possam contribuir para prever o que acontecerá num futuro próximo. Estes modelos poderão ser muito úteis na elaboração de uma política de manejo, recuperação e preservação da Lagoa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association – APHA. Standart methods for the examination of waters and wastewaters. 14 Ed. New York, USA, 1976.
- BRANDT Meio Ambiente. Projeto de habilitação das Ilhas II e III da Pampulha. 62 p. + anexos. 1992a.
- BRANDT Meio Ambiente. Projeto para a implantação do Parque ecológico da Pampulha. Fase 2. 31 p. + anexos. 1992b.
- De BERNARDI, R. Methods for the estimation of zooplankton abundance. In: Downing J.A. & F.H. Rigler (eds.) A manual on methods for the assessment of secondary productivity on fresh waters. IBP handbook, 17. Blackwell. Oxford. pp.59-86, 1984.
- GIANI, A., R.M. PINTO-COELHO, S.J.M. DE OLIVEIRA, A. PELLI. Ciclo sazonal de parâmetros físico-químicos da água e distribuição horizontal de nitrogênio e fósforo no reservatório da Pampulha, (Belo Horizonte, MG, Brasil). Ciência e Cultura v.40, p.69-77, 1988.
- GRANDI, T.S.M., R.C.F. DE CARVALHO, E.A.G. DELVIGNA, L.R. RENNÓ. Levantamento florístico da margem da Lagoa da Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. SEMINÁRIO/WORSHOP SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DA PAMPULHA, 1992, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 1992. p.15-29.
- KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: Grashoff, K. (ed.) Methods of seawater analysis. Verlag Chemie Weheim. p.117-181, 1976.
- MARGALEF, R. Limnología. Ed. Omega. Barcelona. España. 1983.
- MURPHY, J. & J.P. RILEY. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, v.27, p.31-36, 1962.

- PINTO-COELHO, R.M. Efeitos do zooplâncton na composição qualitativa e quantitativa do fitoplâncton no Lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, UnB, 163pp.
- RHEE, G.Y. Effects on N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition and nitrate uptake. *Limnology & Oceanography*, v.23, p.10-25, 1978.
- SUDECAP/FUNDEP. Estudos ecológicos na represa da Pampulha. Conv. SUDECAP/FUNDEP. Relatório Final. 1986.
- SUDECAP/DAM. Recuperação do conjunto paisagístico da Pampulha. Dragagem parcial da Lagoa. Estudo de impacto ambiental. DAM Projetos de Engenharia. Relatório Final. 1989.
- SUDECAP/FUNDEP. Estudos ecológicos na represa da Pampulha. Conv. SUDECAP/FUNDEP. Relatório Final. 1992.
- TILZER, M. Einführung in die Limnologie. Limnologisches Institut. Universität Konstanz. Bundesrepublik Deutschland.
- UTERMOHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie. Mitteilungen No 9. 1958.
- VOLLENWEIDER, R.A. & J. KERÉKES. The loading concept as a basis for controlling eutrophication. Philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. *Progress on Water Technology*, v.12, p.5-18, 1979.
- WETZEL, R.G. *Limnology*. 2nd. Ed. Saunders. Philadelphia. USA, 1983.