

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

TEORES DE METAIS PESADOS EM ORGANISMOS ZOOPLANCTÔNICOS E NA MACRÓFITA *EICHHORNIA CRASSIPES* NO RESERVATÓRIO DA PAMPULHA, BELO HORIZONTE, MG

*Ricardo M. Pinto Coelho
**Magda K. B. Greco

Resumo

O reservatório da Pampulha situa-se em Belo Horizonte, Minas Gerais. Trata-se de um pequeno reservatório urbano que vem sofrendo essencialmente três problemas ambientais: assoreamento, eutrofização e contaminação ambiental. O objetivo do presente estudo foi averiguar os teores de metais pesados (ou elementos-traço) no zooplâncton e na macrófita *Eichhornia crassipes* (aguapé). As coletas de amostras se estenderam entre 1994 e 1996. O zooplâncton foi coletado com rede cônica de 90m em arrastos verticais. As macrófitas foram coletadas em limnocurrais situados próximo à entrada dos tributários mais poluídos. Foram analisados os seguintes elementos: As, Cd, Hg, Pb e Zn. Tanto o zooplâncton quanto as macrófitas apresentaram níveis detectáveis para todos os metais pesquisados. Com exceção do Cádmio, que apresentou níveis similares entre as comunidades analisadas, o zooplâncton apresentou teores mais elevados para todos os demais elementos analisados conjuntamente. Dentre todos os elementos analisados, o zinco foi o metal que apresentou os maiores índices relativos tanto para o zooplâncton quanto para *E. crassipes*. Este estudo também demonstrou que os teores de cádmio foram relativamente elevados, seja no zooplâncton, seja na macrófita, se comparados com níveis internacionalmente aceitos para águas não-poluídas.

Introdução

O termo metais pesados é uma expressão que procura designar coletivamente um grupo de metais e metalóides que possuem densidade atômica superior a 6 g.cm^{-3} (Alloway & Ayres, 1992). Embora seja uma definição pouco precisa, o estudo dos metais pesados em ecologia está usualmente restrito a alguns poucos elementos tendo em vista seus efeitos tóxicos largamente reconhecidos sobre a biota.

elementos: cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn). O termo elementos-traço talvez seja mais correto e leva em conta o fato de que esses elementos normalmente se apresentam em baixas concentrações tanto no meio ambiente quanto na biomassa dos organismos.

A contaminação por metais pesados em lagos e reservatórios está associada a praticamente todos os tipos de atividade humana. Na agricultura, por exemplo, os metais pesados estão presentes em pesticidas (i.e: Cu, As, Hg), em fungicidas (Hg), preservativos de madeira (As), fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb) etc. A atividade minerária também está associada a um amplo espectro de metais pesados. Praticamente todas as minerações metalíferas podem produzir uma vasta gama de metais pesados como subproduto de suas atividades básicas (Peters, 1978). As indústrias petroquímica e química também são responsáveis pela emissão de grandes quantidades de metais-traço, seja por emissão de aerossóis na atmosfera, seja através dos próprios efluentes líquidos (Alloway & Ayres, 1992).

O efeito tóxico dos metais pesados para zooplâncton e algas há muito tem sido reconhecido (Biesinger & Christensen, 1972). O estudo desses efeitos tem sido em grande parte realizado através de bioensaios de laboratório, os quais, na maioria das vezes, são restritos a uma ou poucas espécies (Monteiro et al., 1995). Poucos estudos tem se dedicado às

* M. Sc. Prof. Adjunto - UFMG

** M. sc. doutoranda do programa Ecologia, Conservação da Vida Silvestre

possíveis respostas que comunidades inteiras possam ter como resposta à contaminação crônica com metais pesados e metalóides. Nesse sentido, torna-se interessante o estudo comparativo e simultâneo de diferentes comunidades dentro de um mesmo ecossistema tais como o zooplâncton, o fitoplâncton, as macrófitas e os organismos bentônicos.

O presente trabalho teve como objetivo a comparação em termos de níveis relativos de metais pesados de dois grupos de organismos fundamentais na estrutura ecológica de um reservatório eutrófico: o zooplâncton e a macrófita *Eichhornia crassipes*. Sob esse enfoque, procurou-se responder às seguintes perguntas:

- Qual é o metal pesado que possui os teores mais elevados no zooplâncton e na macrófita? Trata-se do mesmo elemento nos dois casos?
- Existem diferenças em relação à escala de importância entre os metais estudados para os dois grupos de organismos estudados?
- Há algum elemento em concentrações relativamente elevadas que pode ser potencialmente tóxico para a biota do reservatório?

Área de Estudos

O reservatório da Pampulha situa-se no município de Belo Horizonte, mas a sua bacia, de 97Km², se estende até o município de Contagem. Trata-se de um pequeno reservatório que conta com 2,4Km² de área inundada, sendo que o perímetro de margem atinge 16Km. A profundidade máxima é de 18 metros e a profundidade média é igual a 5m. O volume de água acumulado originalmente era de 18 milhões de metros cúbicos que, graças a um intenso processo de assoreamento, acha-se reduzido atualmente a cerca de 12 milhões de m³.

Embora seja de pequeno porte, esse reservatório tem uma grande importância para Belo Horizonte. Ele foi construído em 1938 e, em suas margens, foi erguido um importante conjunto arquitetônico projetado por Oscar Niemeyer. Esse conjunto, na própria concepção do arquiteto, se constitui no berço da moderna

Desde os anos 70 o reservatório vem sofrendo um processo de eutrofização causado basicamente por um grande aporte de esgotos domésticos e industriais não-tratados. Esse processo se caracteriza pela manutenção de elevados teores de nutrientes na água que promovem o crescimento excessivo de determinados organismos autótrofos, principalmente macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*) e algas Cyanobacteria do gênero *Microcystis*.

O estudo dos elementos-traço nesse ecossistema justifica-se pelo fato de que os tributários, além de serem contaminados por esgotos domésticos, recebem efluentes de centenas de indústrias de pequeno e médio portes do distrito industrial de Contagem. Além disso, o "chorume" do aterro sanitário da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte é descarregado diretamente em um dos efluentes da represa.

Metodologia

Os organismos zooplancônicos foram coletados através de redes cônicas de 90m de abertura de malha em arrastos verticais de 4,5m até a superfície. Os organismos assim coletados foram imediatamente transferidos para uma garrafa térmica de boca larga Thermolar de 5 litros de capacidade e rapidamente transportadas até o laboratório (30 minutos). A seguir, as amostras de zooplâncton foram imediatamente filtradas em gaze INOX de 160m, que foram individualmente dispostas em placas de Petri plásticas e imediatamente congeladas (-25°C). As amostras foram liofilizadas num liofilizador Edwards CL30 por 12 horas. O material liofilizado foi transferido para recipientes de plástico inerte, com sílica gel, hermeticamente fechado e novamente recolocado em freezer convencional até o prosseguimento das análises.

As macrófitas foram coletadas em triplicatas com uma armação de PVC de 0,25m² de área em cinco limnocurrais dispostos em região próxima à entrada dos efluentes contendo os esgotos (ribeirões Ressaca e Sarandi). As plantas foram acondicionadas em sacos plásticos para o transporte até o laboratório. A seguir, as plantas foram triadas e secadas em

as plantas foram acondicionadas em sacos de papel, que foram armazenados até a data das análises.

As amostras para determinação dos metais arsênio, cádmio, chumbo e zinco foram tratadas com ataque com água-régia e, para o mercúrio as amostras foram digeridas em solução de permanganato. Todos os metais pesados foram determinados em fase dissolvida, por espectrofotometria de absorção atômica em forno de grafite no Centro de Pesquisas Especiais (CPE) de Belo Horizonte. Os resultados foram expressos em partes por milhão (ppm) referentes ao peso seco da amostra, tanto para o zooplâncton quanto para a macrófita *Eichhornia crassipes*.

A comparação dos teores de metais pesados entre o zooplâncton e *E. crassipes*, e a variabilidade temporal foram testadas através de análise de variância (ANOVA), realizada através do programa SYSTAT (Wilkinson, 1990).

Resultados

Zooplâncton

O zooplâncton foi analisado em amostras compostas provenientes de quatro ciclos diurnos realizados nas seguintes datas: 24 de abril de 1994, 16 de agosto de 1994, 07 de novembro de 1994, 21 de fevereiro de 1995 e 07 de setembro de 1996. O zooplâncton da represa da Pampulha foi constituído basicamente por cladóceros (*Diaphanosoma birgei*, *Daphnia gessneri*, *D. laevis*, *Moina minuta* e *Ceriodaphnia cornuta*) e copépodes (*Thermocyclops decipiens*, *Metacyclops* sp. e *Mesocyclops* spp.). Os seguintes metais pesados foram pesquisados no zooplâncton: zinco, chumbo, cádmio e arsênio.

O metal pesado com os maiores teores foi o zinco, que apresentou uma faixa de variação de 99.11 a 355.47ppm e média de 177.15ppm (Figura 1). O segundo metal pesado com maiores teores relativos foi o chumbo, com média de 22.51ppm (faixa de variação: 6.77-57.12ppm). O arsênio teve faixa de variação igual a 0.66 a 1.91ppm, com média de 1.35 ppm. O cádmio apresentou os menores

zooplâncton com apenas 0.97ppm de média e variação igual a 0.66 a 1.24ppm.

Eichhornia crassipes

As amostras de aguapé são provenientes de coletas realizadas nas seguintes datas: 17 de outubro de 1994, 11 de novembro de 1994, 26 de janeiro de 1995, 15 de março de 1995 e 20 de abril de 1995.

Zinco novamente foi o metal com os maiores teores (Figura 2), ficando com uma média de 69.02ppm (amplitude de variação: 42.86 - 151.74ppm). O chumbo se apresentou aqui também como o segundo metal em termos de teores relativos mais elevados, tendo uma amplitude de variação igual a 5.04 - 12.77ppm, e uma média de 7.89ppm. Ao contrário do zooplâncton, o cádmio apareceu como o terceiro metal mais importante dos aguapés. Sua faixa de variação foi de 0.36 - 2.26ppm e a média igual a 0.92ppm. O mercúrio apresentou uma média de 0.31ppm (0.15 - 0.54ppm). Assim como o zooplâncton, *E. crassipes* apresentou níveis baixos de arsênio, ficando com uma média de apenas 0.14ppm (amplitude de variação: 0.12 - 0.17ppm).

Comparação entre *Eichhornia crassipes* e o Zooplâncton

O zooplâncton apresentou níveis estatisticamente superiores em relação à macrófita para o arsênio, chumbo e o zinco (Tabela 01). As estatísticas F foram de 16.821 (P= 0.015), 10.369 (P= 0.032) e 11.043 (P= 0.029) para o arsênio, chumbo e o zinco, respectivamente. O cádmio, como esperado,

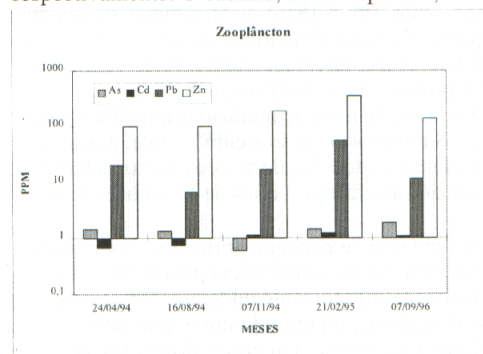


Figura 1 – Teores médios de metais pesados obtidos para o zooplâncton entre 1994 e 1996 no reservatório da

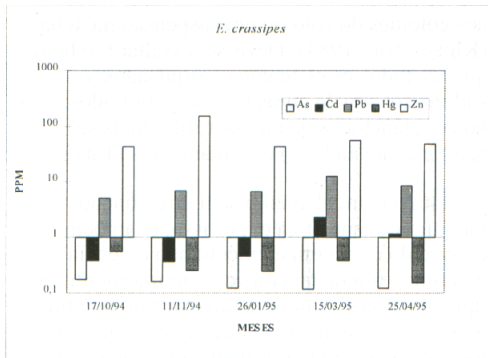


Figura 2 – Teores médios de metais pesados em *E. crassipes* ao longo do ciclo sazonal 1994-1995 no reservatório da Pampulha, Belo Horizonte (MG)

não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (zooplâncton x macrófita), já que a estatística F entre eles foi de apenas 0.330 (P= 0.596).

Discussão

É muito difícil generalizar sobre a toxicidade atribuída aos metais pesados. Ela pode variar amplamente entre diferentes espécies e subespécies. Muitos fatores internos e externos aos indivíduos podem alterar a resposta deles aos efeitos tóxicos potenciais dos elementos-traço. Alguns indivíduos apresentam alta resistência aos metais, principalmente devido à existência de mecanismos homeostáticos que envolvem sobretudo a produção de proteínas especiais, as metalotioninas (que possuem grupos -SH), ou as fitoquelatinas das plantas que são capazes de se ligar aos metais-traço anulando os seus efeitos deletérios (Alloway & Ayres, 1992).

Vários fatores externos aos indivíduos podem também afetar a toxicidade dos metais, sendo os mais importantes aqueles que influenciam a adsorção dos metais aos colóides existentes no meio. O pH é um dos fatores externos mais importantes. Em geral, a grande maioria dos metais é mais solúvel e, portanto, possui

baixo pH e, portanto, os seus efeitos tóxicos se fazem mais presentes em ambientes com pH ácidos (Bowen, 1979). Outro fator que interfere na biodisponibilidade desses elementos-traço seria ainda os níveis das diferentes formas de nitrogênio orgânico presente na água (Tuschall & Brezonik, 1980).

Apesar de toda a variabilidade acima exposta, existem algumas normas adotadas internacionalmente visando a estabelecer níveis críticos para os elementos-traço, seja no ambiente, seja nos indivíduos. A Tabela 2 lista alguns desses níveis para águas e solos não-poluídos, bem como a dose letal aguda para mamíferos (LD 50) para o grupo de metais considerados neste estudo.

O zooplâncton apresentou níveis médios bem superiores aos encontrados em *E. crassipes* para os seguintes metais: As (964%), Pb (285%) e Zn (256%). Os teores médios de cádmio foram bem similares: 0.97ppm para o zooplâncton e 0.92ppm para a macrófita.

Outra característica encontrada neste estudo foi a alta variabilidade temporal encontrada em ambos os grupos de organismos. Essa variabilidade está possivelmente relacionada não só com possíveis diferenças na taxa de entrada desses elementos pelos tributários mas, sobretudo, com o ciclo sazonal de desenvolvimento dessas comunidades (Baudo et al., 1981). No entanto, essa variabilidade temporal não pôde ser associada a nenhum padrão sazonal em ambos os tratamentos considerados (Tabela 1).

Elemento	ANOVA	Tratamento	Var. Temporal	R ²	N
As	F	16.821	2.243	0.940	10
	P	0.015	0.227		
Cd	F	0.330	0.554	0.358	10
	P	0.596	0.710		
Pb	F	10.369	2.228	0.766	10
	P	0.032	0.228		
Zn	F	11.043	1.486	0.739	10
	P	0.029	0.355		

Tabela 1 – Estatística F, probabilidade (P), força de correlação, testando o efeito entre os tratamentos (*Eichhornia crassipes* e zooplâncton) e da variabilidade

Dentre todos os metais pesados pesquisados no zooplâncton, o zinco e o cádmio apresentaram concentrações superiores aos níveis aceitáveis internacionalmente para águas e solos não-poluídos (Tabela 2). Isso talvez possa ser explicado pelo fato de que as águas do Quadrilátero Ferrífero, zona geográfica que é drenada por vários tributários do reservatório, apresentam teores naturalmente elevados de vários metais (principalmente Fe e Mn) em suas rochas matrizes. Por outro lado, esses mesmos tributários recebem águas residuárias de várias indústrias metalúrgicas situadas no município de Contagem.

A macrófita *E. crassipes* apresentou os teores de mercúrio superiores aos valores tolerados para águas não-poluídas, mas esses teores ficaram ainda muito abaixo dos limites de toxicidade estabelecidos para os mamíferos. Os teores de cádmio foram também relativamente altos na macrófita uma vez que eles se aproximaram bastante dos níveis desse metal encontrados no zooplâncton. Em ambos os casos, os teores de cádmio foram superiores aos recomendados para águas não-poluídas (Tabela 2).

Os teores mais elevados para quase todos os metais pesados observados no zooplâncton se explicam pelo fato de que esse grupo de organismos encontra-se no segundo e terceiro níveis tróficos, o que possibilita uma biomagnificação de elementos-traço em sua biomassa (Odum, 1972; 1985).

Entretanto, é interessante notar os teores comparáveis de cádmio encontrados entre as

duas comunidades, fato este que ressalta as diferenças na dinâmica de bioacumulação de cada compartimento do ecossistema. Cd, Ti e Zn são os metais que possuem os maiores coeficientes de transferência planta-solo basicamente devido ao fato de que esses metais apresentam uma baixa adsorção

aos colóides do solo ou em suspensão na água (Kloke *et al.*, 1984). Deve-se ressaltar também que, de todos os elementos pesquisados, o cádmio foi aquele cujos níveis encontrados, seja no zooplâncton, seja na macrófita, mais se aproximaram da DL₅₀ para mamíferos (Tabela 2).

O cádmio é um elemento sem uma função bioquímica específica e, por isso, é também conhecido como um elemento não essencial, não sendo um metal considerado micronutriente típico tal como o molibdênio (Mo) ou o cobre (Cu). Adicionalmente, o cádmio está entre os metais-traço com maior potencial de toxidez seja para as plantas, seja para os microorganismos (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

Conclusões

A comparação entre zooplâncton e macrófitas revelou as seguintes tendências:

- ❑ Em ambos os casos, o zinco foi o metal pesado com os níveis relativos mais elevados na biomassa. Essa tendência se manteve inalterada em todas as amostras, sem exceção.
- ❑ O zooplâncton sempre apresentou teores médios mais elevados para todos os metais pesados analisados conjuntamente (As, Cd, Pb e Zn).
- ❑ O chumbo e o zinco foram os metais pesados com maior variabilidade temporal para o zooplâncton, contando ambos com um coeficiente de variação da ordem de 80%. No caso dos aguapés, esses metais foram, respectivamente, o cádmio (79%) e o zinco (60%).

Metal	Zooplâncton (ppm)	<i>E. crassipes</i> (ppm)	água ^(*) (ppm)	solo ^(**) (ppm)	LD 50 ^(***) (ppm)
As	1.35±0.42	0.14±0.02	5.00	90.70	6.00
Cd	0.97±0.23	0.92±0.73	0.50	2.90	1.30
Hg	–	0.31±0.13	0.10	–	1.50
Pb	22.51±17.91	7.89±2.65	25.00	65.50	70.0
Zn	177.15±95.30	69.02±41.65	60.00	134.60	–

Notas: (*) água não poluída no Canadá, segundo o Canadian Council of Ministers of the Environment, 1991; (**) solo não-poluído nos EUA, segundo Galbraith *et al.* (1995); (***) dose letal aguda, DL 50, para mamíferos segundo Bowen (1979)

Tabela 2 – Concentração de metais pesados (médias e desvios-padrão) encontradas no zooplâncton e em *E. crassipes*, concentrações aceitas para água e solo não-poluídos e a dose letal (LD50)

- Dentre todos os elementos pesquisados, o cádmio se revelou o elemento potencialmente com maior chance de exercer efeitos tóxicos sobre a biota do reservatório da Pampulha, já que suas concentrações foram superiores aos níveis recomendados para águas não-poluídas e se aproximaram bastante da LD₅₀ para mamíferos.

Referências Bibliográficas

- ALLOWAY, B.J. & D.C. AYRES. 1992. *Chemical Principles of Environmental Pollution*, Blackie Academic & Professional.
- BAUDO, R.; R. DE BERNARDI; E. SOLDAVINI; B. LOCHT; H. MUNTAU. 1981. Spatial and temporal variations of metal concentrations in plankton of Lago Maggiore and Lago di Mergozzo. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 38:79-100
- BIESINGER, K.E. & G.M. CHRISTESEN. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna*. *J. Fish. Res. Board. Can.* 29:1691-1700.
- BOWEN, H. J.M. 1979. *The Environmental Chemistry of Elements*. Academic Press., London.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT INTERIM CANADIAN ENVIRONMENT QUALITY. 1991. *Criteria for Contaminated Sites*. Report CCME EPC-C534, Winnipeg, Manitoba.
- GALBRAITH, H.; K. LEJEUNE; J. LIPTON. 1995. Metal and Arsenic impacts to soils, vegetation communities and wildlife habitat in Southern Montana uplands contaminated by smelter emissions I. field evaluation. *Environ. Toxicol. Chem.* 14(11):1895-1903.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. 1984. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- KLOKE, A; D. SAUERBECK; H. VETTER. 1984. *Changing Metal cycles and Human Health*. Springer Verlag, Berlin.
- MONTEIRO, M.T.; R. OLIVEIRA; C. VALE. 1995. Metal stress on the plankton communities of Sado River (Portugal). *Wat. Res.* 2:695-701.
- ODUM, E.P. 1972. *Ecologia Interamericana*, Mexico, 3. Ed. Trad., 639 p.
- ODUM, E.P. 1985. *Ecologia*. Trad., Interamericana, Rio de Janeiro, Brasil. 434p.
- PETERS, W.C. 1978. *Exploration and Mining Geology*. John Wiley & Sons, New York.
- TUSCHALL, J.R. Jr. & P.L. BREZONIK. 1980. Characterization of organic nitrogen in natural waters: Its molecular size, protein content, and interactions with heavy metals. *Limnology & Oceanography* 25(3):495-504.
- WILKINSON, L. 1990. *SYSTAT: The System for Statistics*. SYSTAT Inc., Evanston, IL, USA.