

AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE METAIS EM ÁGUAS REPRESADAS DO SUDESTE DE SÃO PAULO, BRASIL *

(Toxicological evaluation of metals in reservoirs of South East São Paulo, Brazil)

Maria Helena MAIER **
Mithine TAKINO **
Hélio Ladislau STEMPNIEWSKI **

RESUMO

Como parte do projeto "Tipologia de Reservatórios do Estado de São Paulo" (Iniciativa FAPESP) foram estudados 17 reservatórios localizados em rios da Bacia do Paraná (8), do Ribeira de Iguape (4), do Paraíba do Sul (2) e Complexo Billings (3), a maioria recentes e de profundidade inferior a 30m. A região estudada (43° 31' — 48° 57' W e 20° 40' — 24° 20' S), apresenta duas estações climáticas, chuvosa-quente (outubro a março) e fria-seca (abril a setembro). Realizaram-se, em 1979, determinações trimestrais de íons metálicos por espectrofotometria de absorção atômica. As concentrações máximas registradas (ppm) foram: 3,11 Fe, 3,18 Mn, 1,49 Al e 0,03 Cd em represas da Bacia do Paraná; 0,1 de Pb e 0,04 de Ni em represas da Bacia do Paraná e do Ribeira de Iguape; 0,3 Zn, 0,09 Cr, 0,08 As e 0,04 Ni em represas do Complexo Billings. Não foram encontrados além do limite mínimo de detecção: Cu (0,02ppm), B (1,0ppm) e Ag (0,05ppm). A sensibilidade das dosagens, por ser menor que o limite de tóxicos de alguns metais não permitiu a detecção de teores tóxicos de Ag e Cu, o mesmo sucedendo para Cd (0,02ppm) e Pb (0,05ppm), embora concentrações mais altas de Cd e Pb tenham sido registradas. Concentrações de íons metálicos, consideradas tóxicas para organismos aquáticos foram encontradas nas 4 bacias estudadas: Cr (0,05 — 0,09ppm) para zooplâncton em 4 represas, Pb (0,05 — 0,10ppm) para peixes em 7, Ni (0,03 — 0,04ppm) para zooplâncton e peixes em 8, Al (0,20 — 1,49ppm) para zooplâncton e peixes em 3 e Cd (0,020 — 0,03ppm) para fitoplâncton, zooplâncton e peixes em 5 represas. Os demais íons não foram detectados em concentrações consideradas tóxicas para organismos aquáticos.

ABSTRACT

As part of the project "Typology of reservoirs of the State of São Paulo" (FAPESP), 17 reservoirs, located at rivers of the Paraná River Basin (8), Ribeira de Iguape River Basin (4) Paraíba do Sul River Basin (2) and Billings Complex (3), were studied during the year of 1979. Most of reservoirs are recent, and 30m or less deep. The region investigated (43° 31' — 48° 57' W and 20° 40' — 24° 20' S) shows two climatic seasons, warm and raining (October-March), and cold and dry (April-September). The concentration of metallic elements was estimated by atomic absorption spectrophotometry, at quarterly intervals. The higher concentrations, 3,11 Fe, 3,18 Mn, 1,49 Al and 0,03 Cd, were registered at reservoirs of the Paraná River Basin, while Pb (0,1) and Ni (0,04) occurred in reservoirs of Paraná and Ribeira de Iguape Rivers; Zn (0,3), Cr (0,09), As (0,08) and Ni (0,04) were detected in Billings Complex reservoirs. Cu, B and Ag were only registered at the minimum limit of detection, respectively 0,02, 1,0 and 0,05ppm. The sensitivity of the analysis of Ag and Cu did not permit the detection of toxic concentrations, as well for Cd (0,02ppm) and Pb (0,05ppm), although higher concentrations of Cd and Pb were registered. Metallic elements in toxic concentration for aquatic organisms were detected at the 4 studied basins, as follows: Cr (0,05 — 0,09ppm) toxic for zooplankton, at 4 reservoirs; Pb (0,05 — 0,10ppm) toxic for fishes, at 7; Ni (0,03 — 0,04ppm), toxic for zooplankton and fishes, at 7; Zn (0,06 — 0,30ppm), for zooplankton and fishes at 8; Al (0,20 — 1,49ppm) for zooplankton and fishes at 3 and Cd (0,02 — 0,03ppm) for phytoplankton, zooplankton and fishes, at 5. The other elements analysed were not detected at toxic concentrations for aquatic organisms.

(*) Trabalho realizado com auxílio outorgado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
(**) Pesquisadores Científicos — Seção de Limnologia — Divisão de Pesca Interior — Instituto de Pesca.

1. INTRODUÇÃO

Foi realizado levantamento prévio, visando um estudo ecológico de ambientes represados, o qual incluiu a determinação de concentrações de gases e de matéria orgânica e inorgânica dissolvidos na água. Entre as substâncias que poderiam encontrar-se em níveis potencialmente tóxicos para organismos aquáticos, estudou-se a concentração de metais (Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd, Al, As, Ag, Cu e B) ao longo da coluna d'água de 17 represas.

As represas estudadas localizam-se em rios da Bacia do Paraná, do Ribeira de Iguape, do Paraíba do Sul e no Complexo Billings. A localização geográfica (Figura 1), altitude, área inundada e

profundidade média de coleta nas represas estudadas encontra-se na Tabela 1.

A maioria das represas é utilizada para produção de energia elétrica, sendo pouca as de uso múltiplo, como as do Complexo Billings: depurador de esgotos, fonte de abastecimento público e gerador de energia elétrica.

Os dados obtidos foram comparados a valores de concentrações iônicas de outras represas e lagos tropicais, de concentrações tóxicas para organismos aquáticos e de concentrações permissíveis na água de acordo com "Water Quality Criteria Fisheries" (ANGLIAN WATER AUTHORITY, 1977).

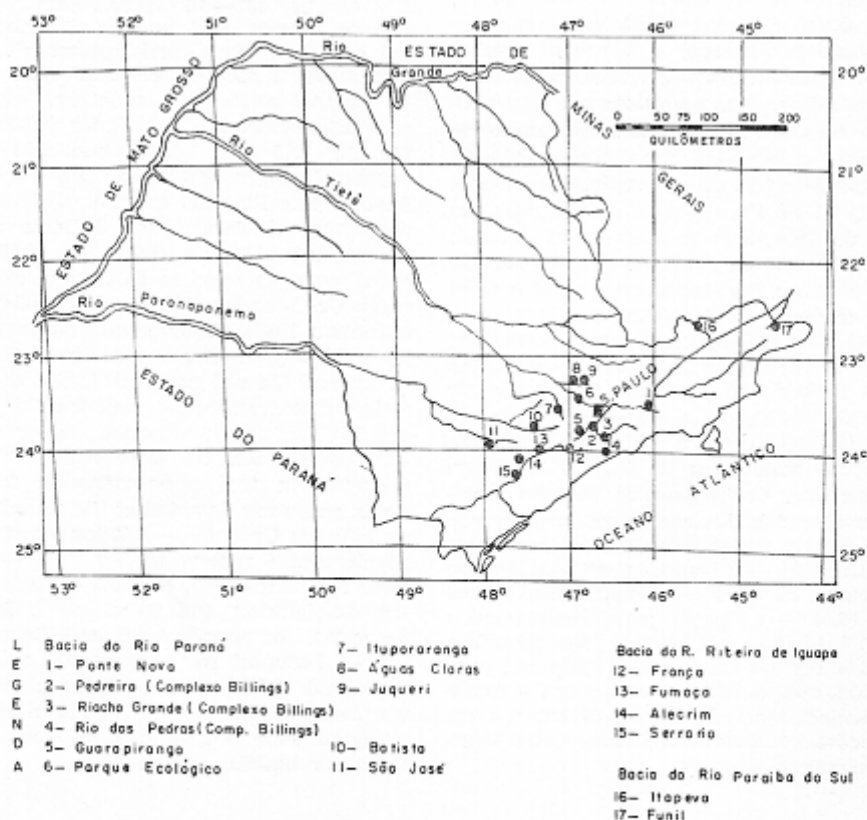


FIGURA 1 — Localização das represas no Estado de São Paulo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados em 1979, no período diurno, quatro coletas (março-abril, maio-junho, agosto-setembro, novembro-dezembro), totalizando 291 amostras de água, coletadas de bordo de um barco com garrafa de Van Dorn em 5 profundidades que englobam superfície, meia água e fundo. As amostras foram coletadas em um (1) ponto de cada represa.

As amostras foram filtradas em filtro Millipore AP 20 047 00 e conservadas com

ácido nítrico em proporção 1:1000. Os íons foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica de plasma induzido Jarrel — Ash Atom. Comp. Mod. 975, tendo sido estabelecidos os seguintes limites mínimos de detecção: 0,01ppm para Mn e Zn, 0,02ppm para Ni, Cr, Cd e Cu, 0,05 ppm para Pb, As e Ag, 0,20ppm para Al, 1,0ppm para B e 0,1ppm para Fe.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a apresentação dos resultados, utilizaram-se os valores máximos e mínimos detectados para cada íon, e os valores máximos de cada represa observados através dos dados registrado ao longo da coluna d'água, nos quatro períodos de coleta (Tabelas 2, 3 e 4).

Ao maioria das amostras apresentou resultados inferiores ao limite mínimo de detecção estabelecido, sendo 206 (Fe), 80 (Mn), 65 (Zn), 43 (Ni), 38 (Cr), 24 (Pb), 6 (Cd), 12 (Al), 13 (As) e zero (Cu, B e Ag) o número de amostras cujos valores foram superiores a esse limite.

Nas represas estudadas, as concentrações mínimas de Pb, Cd e As, ao contrário de Fe, poderiam ser consideradas elevadas se comparadas àquelas registradas em outros ambientes lênticos tropicais, enquanto que as de Mn e Al, intermediárias (Tabela 3).

Segundo a classificação de WOOD (1975), entre os metais estudados, Fe e Al pertencem ao grupo de toxicidade não crítica e Ni, Cu, Zn, As, Ag, Cd e Pb ao grupo dos metais muito tóxicos e relativamente frequentes.

Em ambientes aquáticos a toxicidade de metais pode apresentar variação dependente das condições do meio ambiente.

Para As, LUNDE (1977) verificou que

organismos terrestres têm em geral concentrações mais baixas que 1ppm e marinhos mais altas que 100ppm, pois estes últimos são capazes de transformar As inorgânico em orgânico.

Fatores como, temperatura, oxigênio dissolvido, pH e coexistência de metais atuam no grau de toxicidade para organismos aquáticos. MACINNES & CALABRESE (1978) observaram que para embrião de ostra (*Crassostrea virginica*) a concentração letal de Cu é variável nas temperaturas de 20 °, 25 ° e 30 ° C. Segundo BRANCO (1960), as concentrações letais de Zn e Cu para peixes (guaru-guaru) não são quando a água de teste não é arejada. HOLCOMBE & ANDREW (1978), verificaram que a toxicidade de Zn para truta aumenta com a elevação de pH, e LEWIS (1978) mostrou que a toxicidade de Cu, Zn e Mn para peixe (*Agosia chrysogaster*) aumenta quando os testes são realizados com Cu + Zn e Cu + Mn.

TAKINO & MAIER (1980) observaram para as mesmas represas referidas neste estudo que a temperatura da água (superfície) varia entre 22 e 27,5 ° C no período quente e 16 e 22 ° C no frio, sendo a saturação de oxigênio de aproximadamente 80% e que o pH é próximo ao neutro. Entretanto, no presente estudo, não foram realizados testes biológicos para evidenciar toxicidade de metais e

TABELA 1

Reservatórios — Bacias hidrográficas, nomes dos reservatórios e ano em que foram construídos, localizações geográficas (latitude-longitude), altitude (m), áreas inundadas (ha), profundidade média * de coletas (m) e capacidade total de Reservatório (10³m³).

BACIAS	RESERVATÓRIOS—(ANO)	LOCALIZAÇÃO	ALTITUDE	AREA	PROF.	CAPACIDADE
Complexo Billings	Pedreira—(1928)	23° 39'S—46° 38'W	746	12700	12	1229000
"	Riacho Grande—(1928)	23° 52'S—46° 31'W	746		10	
"	Rio das Pedras—(1926)	23° 51'S—46° 28'W	728	730	13	49000
Paraná	Ponte Nova—(1972)	23° 33'S—45° 50'W	765	2760	15	336000
"	Guarapiranga—(1906)	23° 41'S—46° 43'W	737	3618	7	194000
"	Parque Ecológico—(1977)	23° 32'S—46° 48'W	790	3	4	—
"	Itupararanga—(1914)	23° 37'S—46° 26'W	827	3944	14	355000
"	Águas Claras—(1970)	23° 20'S—46° 44'W	860	18	11	1000
"	Juqueri—(1970)	23° 18'S—46° 35'W	745	553	13	36040
"	Batista—(1913)	23° 42'S—47° 35'W	780	75	7	
"	São José—(1934)	23° 45'S—48° 57'W	650	85	12	15000
Ribeira de Iguape	França—(1958)	23° 58'S—48° 12'W	610	145	20	135000
"	Fumaça—(1963)	24° 20'S—47° 12'W	585	841	20	90000
"	Alecrim—(1974)	24° 18'S—47° 38'W	67	880	18	10000
"	Serraria—(1977)	24° 17'S—47° 39'W	65	—	23	16500
Paraíba do Sul	Itapeva—(1950)	22° 44'S—45° 34'W	2000	1	5	—
"	Funil—(1969)	22° 40'S—44° 31'W	547	3500	16	890000

(*) Valor intermediário entre as profundidades registradas em cada coleta, não é média calculada.

TABELA 2

Níveis de metais — Valores máximos (ppm) da Bacia do Rio Paraná, do Rio Ribeira de Iguape, e do Paraíba do Sul. Respectivas profundidades onde ocorreram, S — superfície, M — meia água, F — fundo Cobre < 0,02, prata < 0,05 e boro < 1,0 ppm

Represas	Ions									
	(lmd)	Fe (0,1)	Mn (0,01)	Zn (0,01)	Ni (0,02)	Cr (0,02)	Pb (0,05)	Cd (0,02)	Al (0,20)	As (0,05)
Pedreira (Complexo Billings)		1,31 (F)	0,35 (S,M,F)	0,08 (F)	0,03 (F)	0,06 (S)	< 0,005 (S,M,F)	0,02 (F)	0,37 (M)	0,08 (M)
Riacho Grande (Complexo Billings)		0,82 (S)	0,38 (F)	0,30 (M)	0,01 (M)	0,09 (M)	0,06 (F)	0,02 (M)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Rio das Pedras (Complexo Billings)		0,62 (S,M,F)	0,46 (F)	0,08 (M)	0,04 (M)	0,05 (F)	0,07 (M)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Ponte Nova		3,11 (F)	0,21 (F)	0,01 (S)	0,04 (M)	0,04 (F)	< 0,05 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Guarapiranga		1,06 (M)	0,01 (F)	0,08 (S)	0,03 (S,M)	< 0,02 (S,M,F)	0,06 (M)	0,02 (M)	1,49 (M)	< 0,05 (S,M,F)
Parque Ecológico		0,88 (S,F)	0,16 (F)	0,08 (S,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)	0,03 (M)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Itapararanga		0,49 (S)	0,69 (F)	0,02 (M)	0,01 (S,M)	< 0,02 (S,M,F)	0,05 (M)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Águas Claras		0,62 (S,M,F)	0,06 (S,F)	< 0,01 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	0,03 (M,F)	< 0,05 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Juqueri		2,75 (F)	3,18 (F)	0,01 (M)	0,02 (S)	0,03 (F)	< 0,05 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Batista		0,83 (M,F)	0,20 (F)	0,02 (F)	< 0,02 (S,M,F)	0,03 (F)	< 0,05 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	0,33 (M)	< 0,05 (S,M,F)
São José		0,13 (F)	0,01 (F)	0,02 (M,F)	0,03 (M,F)	0,07 (M)	0,10 (M)	0,02 (F)	< 0,20 (S,M,F)	0,05 (M)
França		0,83 (F)	0,20 (F)	0,01 (M,F)	0,01 (S)	0,02 (M)	< 0,05 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Fumaça		0,63 (F)	0,12 (M)	0,02 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	0,04 (S)	< 0,05 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Alecrim		0,68 (M)	0,11 (M)	0,17 (F)	0,04 (S)	0,02 (M)	< 0,05 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Serraria		1,25 (F)	1,45 (F)	0,05 (S)	0,04 (S,M)	0,04 (S,M)	0,10 (M)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Itapeva		0,67 (F)	0,01 (F)	0,06 (M)	0,01 (M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Funil		0,40 (M)	0,25 (M)	0,10 (F)	0,02 (F)	< 0,02 (S,M,F)	0,06 (M)	< 0,02 (S,M,F)	< 0,20 (S,M,F)	< 0,05 (S,M,F)
Valores Máximos		3,11	3,18	0,30	0,04	0,09	0,10	0,03	1,49	0,08

TABELA 3

Valores de concentração de metais (m — m²: mínimo — máximo; m: média; M: Mediana) na água de lagos tropicais naturais e artificiais.

Íons (ppm)	Represas de São Paulo		Represa Hartbeespoort ¹		Represa Voelvlei ¹		Lago Nakuru ²		Lago Mc Ilwaine ³		Lagos de falha ⁴ vulcânicos		Lago George ⁴		Lago Nabugabo ⁴		Lago Vitória ⁴	
	(m — m ²)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)
Fe	0,07 — 3,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	2,6	0,5	0,1	—	—	—	2,3
Mn	0,01 — 3,18	0,045	0,038	0,024	0,032	0,012	—	—	—	—	—	0,1	0,03	0,0	—	—	—	0,0
Zn	0,01 — 0,30	0,036	0,025	0,049	0,012	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	0,02 — 0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	0,02 — 0,09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pb	0,05 — 0,10	0,004	0,012	0,005	0,010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	0,02 — 0,03	<0,001	0,002	0,021	0,001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	0,20 — 1,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—	—	0,1
As	0,05 — 0,08	0,001	0,003	0,006	0,003	0,003	—	—	—	—	—	0,0	—	—	—	—	—	—
Cu	<0,02	0,003	0,013	0,002	0,010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

- (1) GREICHUS et alii (1977)
 (2) GREICHUS et alii (1978b)
 (3) GREICHUS et alii (1978a)
 (4) VISSER (1974)

TABELLA 4
Avaliação toxicológica — Concentrações letais (CL) e tóxicas e limite de tolerância (LT) para organismos aquáticos. Valores citados por vários autores (Referências).

Substância	Organismo	Nome Científico	CL (ppm)	Tóxica (ppm)	LT (ppm)	Referências
Sal Mn	diatomácea (m)	<i>Solenastrum capricornutum</i>	CL ₅₀ = 3.1	—	—	CHRISTENSEN; SCHERFIG; DIXON (1979)
Sulfato de Zn	peixe (l)	<i>Jordaniella floridae</i>	96h CL ₅₀ = 0.066	—	—	McKIM et alii (1976)
Sulfato de Zn	peixe	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	204h CL ₅₀ = 0.03	—	—	JONES (1962)
Nitrato de Zn	peixe	<i>Phoxinus phoxinus</i>	—	0.06	—	McKIM et alii (1976)
Nitrato de Zn	peixe	<i>Phoxinus phoxinus</i>	—	0.3	—	McKIM et alii (1976)
Sal de Zn	peixe	<i>Pimephales promelas</i>	—	0.145	—	BENOIT & HOLCOMBE (1978)
Sal de Zn	cladocero	<i>Daphnia magna</i>	—	0.07	—	WHITTON & SAY (1975)
Sulfato de Zn	peixe	—	64h CL ₅₀ = 0.5 Zn	—	—	JONES (1962)
Nitrato de Cd	peixe	<i>Channa punctatus</i>	—	0.01	—	DUBALE & SHAH (1979)
Nitrato de Cd	peixe	<i>Gasterosteus fontinalis</i>	190h CL ₅₀ = 0.3 Cd	—	—	JONES (1962)
Cloreto de Cd	peixe	<i>Jordaniella floridae</i>	—	—	0.0041	McKIM et alii (1976)
Cloreto de Cd	peixe	<i>Carassius sp</i>	9-18h CL ₅₀ = 0.017	—	—	JONES (1962)
Sal Cd	peixe (e - a)	—	—	—	0.0017-0.080	McKIM (1977)
Sal Cd	diatomácea	<i>Asterionella formosa</i>	—	0.002	—	CONWAY (1978)
Sal Cd	cladocero	<i>Daphnia magna</i>	—	0.00017	—	WHITTON & SAY (1975)
Nitrato de Al	peixe	<i>Gasterosteus fontinalis</i>	144h CL ₅₀ = 0.1	—	—	JONES (1962)
Nitrato de Al	peixe	—	—	—	0.07	JONES (1964)
Sal de Al	cladocero	<i>Daphnia magna</i>	—	0.330	—	WHITTON & SAY (1975)
Sulfato de Cu	peixe	<i>Salvelinus fontinalis</i>	96h CL ₅₀ = 0.1 Cu	—	—	McKIM & BENOIT (1971)
Sulfato de Cu	peixe (l - j)	<i>Leptomis macrochirus</i>	—	0.04	0.0093-0.0174	McKIM et alii (1976)
Sal de Cu	ostra (m)	<i>Crassostrea virginica</i>	48h CL ₅₀ = 0.0151-0.0187	—	—	MACINNES & CALABRESE (1978)
Sal de Ni	cladocero	<i>Daphnia magna</i>	—	0.05	—	WHITTON & SAY (1975)
Sal de Ni	molusco (m)	<i>Mya arenaria</i>	—	0.05	—	EISLER (1977)
Sal de Ni	peixe (e - a)	—	—	—	0.38-0.78	McKIM (1977)
Sal de Cr	cladocero	<i>Daphnia magna</i>	96h CL ₅₀ = 0.05	—	—	TRABALKA & GEHRS (1977)
Sal de Cr	anelideo (m)	<i>Neanthes arenaceodentata</i>	96h CL ₅₀ = 2.2-4.3	0.0125-0.05	—	OSHIDA; WORD; MEARNS (1981)
Sal de Cr	peixe (e - a)	—	—	—	0.3-3.95	McKIM (1977)
Sal de Pb	peixe	<i>Salmo gairdneri</i>	21d CL ₅₀ = 2.4	0.013	—	HODSON; BLUNT; SPREY (1978)
Sal de Pb	peixe (e - a)	—	—	—	0.0313-0.119	McKIM (1977)
Nitrato de Pb	peixe	<i>Gasterosteus fontinalis</i>	336h CL ₅₀ = 0.1 Pb	—	—	JONES (1962)
Sal de Pb	diatomácea (m)	<i>Solenastrum capricornutum</i>	CL ₅₀ = 0.14	—	—	CHRISTENSEN; SCHERFIG; DIXON (1979)
Nitrato de Ag	peixe	<i>Gasterosteus fontinalis</i>	180h CL ₅₀ = 0.004 Ag	—	—	JONES (1962)
Hidróxido de Fe	peixe	<i>Salvelinus fontinalis</i>	—	—	7.5	SYKORA et alii (1976)
Arsenito de Na	peixe	—	36h CL ₅₀ = 17.8 As	—	—	JONES (1962)

sua relação com as condições do meio ambiente.

O Zn, como a maioria dos metais, é acumulativo e WHITTON & SAY (1975) mencionam que algas (cianofíceas) acumulam o Zn numa proporção de 3.800 vezes a concentração existente na água. Nas represas estudadas, o Zn não foi encontrado em concentrações superiores às aquelas permitidas na água (0,3 ppm), entretanto, em 3 represas da Bacia do Paraná, uma do Ribeira de Iguape, 2 do Paraíba do Sul e 2 do Complexo Billings (Tabela 2), valores entre 0,06 e 0,3 ppm podem significar toxicidade para peixes e zooplâncton (Tabela 4).

Segundo McKIM & BENOIT (1971) o limite de tolerância de Cu para truta é de 0,0095 — 0,0174 ppm. As amostras analisadas não apresentaram concentrações de Cu maiores que 0,02 ppm, valor esse que apesar de inferior ao permissível na água (0,05 ppm) não identifica a presença de teores tóxicos ou não.

Segundo JONES (1962) pequenas concentrações de Ag são tóxicas para peixes sendo 0,004 ppm, letal. Nas represas estudadas o resultado de Ag (<0,05 ppm), não permitiram a verificação de existência ou não de teores tóxicos, pois esses valores não podem ser caracterizados como atóxicos para organismos aquáticos.

O Cd é acumulativo, e sua concentração nos organismos aquáticos é função não apenas da concentração no ambiente, mas também do tempo (CONWAY, 1978 e JENNINGS & RAINBOW, 1979). Valores entre 0,02 e 0,03 ppm de Cd, considerados tóxicos, tanto para peixes quanto para fito e zooplâncton (Tabela 4), foram encontrados em 3 represas da Bacia do Paraná e 2 do Complexo Billings (Tabela 2); no entanto, na maioria das represas, resultados < 0,02 ppm, (dez vezes superior ao máximo permissível na água 0,002), não possibilitaram a detecção de teores tóxicos ou não.

A valência do íon pode influir na toxicidade do metal, como foi demonstrado

por vários autores inclusive OSHIDA; WORD; MEARN (1981) que verificaram que o Cr VI é tóxico para o anelídeo marinho *Neanthes arenaceodentata* enquanto que o Cr III não é tóxico para a vida marinha talvez por ser quase insolúvel no pH normal do mar. Nas represas estudadas, os valores de Cr não foram superiores ao permissível na água (0,10 ppm); entretanto, concentrações entre 0,05 e 0,09 ppm consideradas tóxicas para zooplâncton (Tabela 4), foram detectadas nas 3 represas do Complexo Billings e uma da Bacia do Paraná (Tabela 2).

A concentração de metais em organismos aquáticos depende de sua capacidade de os acumular, como é o caso de diatomáceas (*Asterionella sp* e *Melosira sp*), que podem apresentar Pb numa concentração 100.000 vezes superior à da água (DENNY & WELSH, 1979). Apesar das concentrações encontradas nas represas (0,05 — 0,1 ppm), não superiores ao limite permissível na água (0,5 ppm), o Pb foi encontrado em concentrações consideradas tóxicas para peixes (Tabela 4) em 3 represas da Bacia do Paraná, uma do Ribeira de Iguape e uma do Paraíba do Sul, 2 do Complexo Billings (Tabela 2).

O Al tem sido pouco estudado quanto à sua toxicidade para organismos aquáticos, e na água, não foram estabelecidos limites de permissibilidade. Em 2 represas da Bacia do Paraná e uma do Complexo Billings (Tabela 2) o Al ocorreu em concentrações entre 0,20 e 1,49 ppm, teores esses considerados tóxicos para peixes e zooplâncton (Tabela 4).

WHITTON & SAY (1975) citam que teores de 0,03 ppm Ni são tóxicos para zooplâncton (*Daphnia magna*) e nas represas estudadas, concentrações entre 0,03 e 0,04 ppm, foram detectadas em 3 represas da Bacia do Paraná, 2 do Ribeira de Iguape e 2 do Complexo Billings (Tabela 2); entretanto a concentração permissível na água é de 7 ppm.

Segundo JONES (1962), As é pouco tóxico para peixes podendo ser utilizado

como herbicida em tanques de criação. CONWAY (1978) demonstrou que a diatomácea *Asterionella formosa* possui um mecanismo celular que torna o As não tóxico. Esse autor verificou também que a concentração desse íon na alga é função da concentração no meio, e que se eleva até atingir um platô quando, na água, a concentração é 130 ppm. Nas represas estudadas, a concentração máxima de As, (0,08 ppm) (Tabela 2) foi aproximadamente 10 vezes inferior à permis-

sível na água (0,5 ppm) e 100 vezes inferior à tóxica para peixes (Tabela 4).

Fe e Mn, para os quais não estão determinados limites de permissibilidade na água, foram encontrados em todos os reservatórios em concentrações superiores a 0,10 ppm (Fe e 0,01 ppm (Mn), sendo que as mais elevadas, 3,11 e 3,18 ppm, respectivamente (Tabela 2), não são consideradas tóxicas para organismos aquáticos (Tabela 4).

4. CONCLUSÕES

Em algumas das represas estudadas, Zn, Cr, Pb, Cd, Al e Ni foram encontrados em concentrações que podem ser consideradas tóxicas para organismos aquáticos, Fe, Mn e As em teores não tóxicos, e Ag e Cu, em teores duvidosos quanto a toxicidade.

Apesar de, na maioria das represas, os metais terem sido encontrados em concentrações consideradas não tóxicas, deve ser levado em conta que os mesmos podem ser concentrados na cadeia alimentar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), cuja colaboração finan-

ceira permitiu a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGLIAN WATER AUTHORITY 1977 *The review of consent conditions for discharges to inland waters*; Water Quality Criteria: Fisheries. (Supplementary Notes).
- BENOIT, D. A. & HOLCOMBE, G. W. 1978 Toxic effects of zinc on fathead minnows *Pimephales promelas* in soft water. *J. Fish Biol.*, Huntingdon, 13(6):701-8, Dec.
- BRANCO, S. M. 1960 Observações sobre o comportamento de peixes em presença de certos compostos metálicos dissolvidos na água. *Rev. DAE*, São Paulo, 21(37):37-41, jun.
- CHRISTENSEN, E. R.; SCHERFIG, J.; DIXON, P. S. 1979 Effects of manganese, copper and lead on *Selenastrum capricornutum* and *Chlorella stigmatophora*. *Water Res.*, Oxford, 13(1):79-92.
- CONWAY, H. L. 1978 Sorption of arsenic and cadmium and their effects of growth, micronutrient utilization, and photosynthetic pigment composition of *Asterionella formosa*. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, Ottawa, 35(3):286-94, Mar.
- DENNY, P. & WELSH, R. P. 1979 Lead accumulation in plankton blooms from Ullswater, the English Lake District. *Environ. Pollut.*, London, 13(1):1-9.
- DUBAJE, M. S. & SHAH, P. 1979 Toxic effects of cadmium nitrate on the liver of *Channa punctatus*. *Experientia*, Basel, 35(5):643-4.

MAIER, M. H.; TAKINO, M.; STEMPNIEWSKI, H. L. 1981 Avaliação toxicológica de metais em águas represadas do sudeste de São Paulo, Brasil. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 8(único):119-130, dez.

- EISLER, R. 1977 Toxicity evaluation of a complex metal mixture to the softshell clam *Mya arenaria*. *Mar. Biol.*, Hamburg, 43(3):265-76.
- GREICHUS, Y. A. et alii 1977 Insecticides, polychlorinated biphenyls and metals in African lake ecosystems. I. Hartbeespoort Dam, Transvaal ond Voëlvlei Dam, Cape Province, Republic of South Africa. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 6:371-83.
- . 1978a Insecticides, polychlorinated biphenyls and metals in African lake ecosystems. II. Lake Mc Ilwaine, Rhodesia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 19:444-53.
- . 1978b Insecticides, polychlorinated biphenyls and metals in African lake ecosystems. III. Lake Nakuru, Kenya. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 19:454-61.
- HODSON, P. V., BLUNT, B. R.; SPRY, D. J. 1978 Chronic toxicity of water-borne and dietary lead to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in Lake Ontario water. *Water Res.*, Oxford, 12:869-78.
- HOLCOMBE, G. W. & ANDREW, R. W. 1978 *The acute toxicity of zinc to rainbow and brook trout: comparisons in hard and soft water*. Duluth, MN, U. S. Environmental Protection Agency. 16p. (Ecological Research, EPA-600/3-78-094).
- JENNINGS, J. R. & RAINBOW, P. S. 1979 Studies on the uptake of cadmium by the crab *Carcinus maenas* in the laboratory. I. Accumulation from seawater and a food source. *Mar. Biol.*, Hamburg, 50(2):131-9.
- JONES, J. R. E. 1962 Fish and river pollution. In: KLEIN, L. *River pollution*. 2. Causes and effects. London, Butterworths, cap. 7, p. 254-310.
- . 1964 The metals as salts. In: JONES, J. R. E. *Fish and river pollution*. London, Butterworths, p.66-82.
- LEWIS, M. 1978 Acute toxicity of copper, zinc and manganese in single and mixed salt solutions to juvenile longfin dace, *Agosia chrysogaster*. *J. Fish. Biol.*, Huntingdon, 13(6):695-700, Dec.
- LUNDE, G. 1977 Occurrence and transformation of arsenic in the marine environment. *Environmental Health Perspectives*, 19:47-52, Aug.
- MACINNES, J. R. & CALABRESE, A. 1978 Response of embryos of the american oyster, *Crassostrea virginica*, to heavy metals at different temperatures. In: Mc LUSKY, D. S. & BERRY, A. J. *Physiology and behaviour of marine organisms*. Oxford, Pergamon Press. p.195-202.
- McKIM, J. M. 1977 Evaluation of tests with early life stages of fish for predicting long-term toxicity. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, Ottawa 34(8):1148-54, Aug.
- . & BENOIT, D. A. 1971 Effects of long-term exposures to copper on survival, growth, and reproduction of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, Ottawa, 28(5):655-62 May.
- . et alii 1976 Effects of pollution on freshwater fish. *J. Water Pollution Control. Fed.*, 48(6):1545-620, June.
- OSHIDA, P. S.; WORD, L. S.; MEARN, A. J. 1981 Effects of hexavalent and trivalent chromium on the reproduction of *Neanthes arenaceodentata* (Polychaeta). *Mar. Environ. Res.*, 5(1):41-9.
- SYKORA, J. L. et alii 1975 Some observations on spawning of brook trout (*Salvelinus fontinalis*, Mitchill) in lime neutralized iron hydroxide suspensions. *Water Res.*, Oxford, 9:451-58.
- TAKINO, M. & MAIER, M. H. 1980 Hydrology of reservoirs. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF THEORETICAL AND APPLIED LIMNOLOGY, 21, Kyoto, 1980. *Abstracts...* Kyoto, Japan, SIL. p.213.
- TRABALKA, J. R. & GEHRS, C. W. 1977 An observation on the toxicity of hexavalent chromium to *Daphnia magna*. *Toxicology Letters*, 1:131-4.
- VISSER, S. A. 1974 Composition of waters

MAIER, M. H.; TAKINO, M.; STEMPNIEWSKI, H. L. 1981 Avaliação toxicológica de metais em águas represadas do sudeste de São Paulo, Brasil. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 8(único):119-130, dez.

of lakes and rivers in East and West Africa. *Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish.*, Jinja, Uganda, 3(1):43-60.

286-311.

WHITTON, B. A. & SAY, P. J. 1971 Heavy metals. In: WHITTON, B. A. *River ecology*. Oxford, Blackwell Scientific Publications. v.2: Studies in ecology, cap. 13, p.

WOOD, J. M. 1975 Metabolic cycles for toxic elements in the environment. In: KRENKEL, P. A. *Heavy metals in the aquatic environment*. Oxford, Pergamon Press. p. 105-12.