

ARTÍCULOS ORIGINALES

Evaluación toxicológica y de metales (Cu, Pb, Ni, Zn y Cd) en el sedimento del reservorio Paiva Castro en Mairiporã-SP, Brasil

Toxicological and metal evaluation (Cu, Pb, Ni, Zn and Cd) in the sediment of Paiva Castro reservoir, in Mairiporã-SP, Brasil

*Silva, D. C. V. R.¹; Queiroz, L. G.²; Sager, E. A.³; Cardoso-Silva, S.⁴; Kofuji, P. Y. M.²; Paiva, T. C. B. P.²; Pompêo, M. L. M.¹

¹Department of Ecology, University of São Paulo, São Paulo, Brazil. ²Department of Biotechnology, Engineering School of Lorena, University of São Paulo, Lorena, São Paulo, Brazil. ³Department of Basic Sciences, University of Lujan, Lujan, Argentina. ⁴Environmental Sciences Program, São Paulo State University - UNESP, Sorocaba- SP, Brazil

*clemente.daniel@ib.usp.br

Recibido: 16 de mayo de 2015

Aceptado: 1 de mayo de 2018

Resumen. El hombre ha cambiado el ambiente para sostener la demanda global de recursos naturales como el agua. La gestión de los cuerpos hídricos tiene que ser constante, con el propósito preventivo y correctivo, dependiendo del estado de antropización de cada sistema. El objetivo de este artículo fue analizar la toxicidad del sedimento y los metales Mn, Zn, Pb, Ni, Cd y Cu, en el reservorio Paiva Castro, que abastece la Region Metropolitana de São Paulo. Se realizaron 2 muestreos (Mayo 2011, estación seca y Enero de 2012, estación húmeda) y se analizaron 5 puntos próximos a la captación de agua por la Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Se realizaron ensayos de toxicidad aguda y crónica en sedimento, a través de ensayos biológicos con el cladóceros *Daphnia similis* y el insecto *Chironomus xanthus*. El tratamiento de datos se realizó con el test de Fisher (mortalidad). El nivel de asociación entre las variables en sedimento y en los test ecotoxicológicos fueron evaluados por test no-paramétricos, a través del coeficiente de correlación de Spearman's. Los resultados del presente trabajo señalaron bajas concentraciones de metales en el sedimento del área de estudio y ausencia de toxicidad en los organismos ensayados. Se puede concluir que área estudiada del reservorio Paiva Castro se encuentra poco impactada por los metales, sin efectos directos sobre la calidad de vida los organismos bentónicos: *D. similis* y *C. xanthus*.

Palabras clave: Limnología; Ecotoxicología; Reservorios; Sedimentos

Abstract. Man had changed the natural environment in an attempt trying to supply the global demand for resources. The management of the hydric bodies has to be constant, with preventive and corrective purpose, depending on the eutrophication state of each one. The objective of this article was to analyze the sediment toxicity and the metals Mn, Zn, Pb, Ni, Cd and Cu, in the Paiva Castro reservoir, that supply the Metropolitan Region of São Paulo. It was made 2 collections (May 2011, dry season and January 2012, wet season). It was analyzed 5 points next to the water captation station by the Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. The sediment was analyzed as for acute and chronic toxicity through bioassays with the cladocerans *Daphnia similis* and the insect *Chironomus xanthus*. Data treatment was done with Fisher Exact Test (mortality). The association level between the variables in sediment and ecotoxicological tests was available in non-parametric tests, through the Spearman's correlation coefficient. Oriented on the results presented in this work, pointing low concentrations of heavy metals in the sediments presented in the collect local, and the absence of toxicity, we can say that at this reservoir, at least in the collect area, it's low impacted, not implicating in direct interferences in the quality of life of benthonic organisms.

Keywords: Limnology; Ecotoxicology; Reservoir; Sediments

Introducción

En la actualidad muchos de los problemas ambientales relativos al agua se deben a actividades antrópicas. El hombre modifica el ambiente en su intento por suplir la demanda global de recursos naturales. El agua es un recurso esencial para la vida en la tierra y como resultado del crecimiento demográfico y económico del último siglo, aumentó la demanda global de agua (Biemans y col. 2011).

En relación al abastecimiento de agua potable, la construcción de reservorios constituyó una solución a esa mayor demanda, una vez que el aglomerado de personas crecía sustancialmente. De esta forma, con la acumulación de agua en regiones estratégicas, su distribución puede ser controlada, y las aguas pueden ser conducidas por largas distancias, abasteciendo así regiones con mayor déficit hídrico.

El perímetro urbano del municipio de Mairiporã (São Paulo, Brasil), en donde está inserto el reservorio de Paiva Castro contaba, en 1970, con una población de 4.000 habitantes (Ab'sáber 1978) y en 2013 alcanzaba los 86.240 habitantes (Fabhat 2013).

El reservorio Paiva Castro es el último que compone el Sistema Cantareira, un sistema compuesto por una serie de cinco reservorios interligados por túneles y canales, construidos para abastecer la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP) (Whately y Cunha 2007). Para el período de 2004-2012, el reservorio Paiva Castro tuvo flujo medio de salida de 30,85 m³/s, con tiempo de residencia de 10,7 días (Agência Nacional de Águas). En la actualidad el agua producida por el sistema Cantareira abastece 8,8 millones de personas residentes en las zonas norte, centro, parte del este y oeste de la capital y los municipios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Osasco, Carapicuíba y São Caetano do Sul y regiones de Guarulhos, Barueri, Taboão da Serra y Santo André (Whately y Cunha 2007). Son pocos los estudios realizados en este reservorio, destacándose Cardoso-Silva (2013) y Silva (2013), que analizaron el agua y sedimento.

La autorización para la derivación de agua para la RMSP de hasta 33 m³/s fue dada por la ley n° 750, en el Ministerio de las Minas y Energía, de 1974. El mismo establecía un plazo de 30 años de vigencia, pero con la necesidad de renovación de aquella autorización. La Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), protocolizó junto a el Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) y a la Agência Nacional de Águas (ANA) un pedido de licencia de derecho de usos de recursos hídricos para continuar realizando esta derivación (ANA 2004). Con la legislación pertinente, entrada en vigor en el municipio de Mairiporã, se encuentra el 80,1% de su área total bajo la protección de los manantiales. Sin embargo, el embalse no está a salvo de los problemas generados por una urbanización desenfrenada (Giatti 2000).

Uno de los principales problemas que impacta sobre el reservorio es que se a intensificado su uso. Es posible observar el surgimiento de complejos inmobiliarios residenciales y de ocio. Se estableció un proceso creciente de ocupación del suelo entorno de los reservorios de toda la región. Dicha utilización ocurre sin la debida planificación y puede acarrear impactos negativos para la calidad del agua en el sistema (Whately y Cunha 2007).

La ausencia de planificación en la utilización y ocupación se puede comprobar por la baja cobertura de servicios de recolección y tratamiento de aguas residuales en los municipios de la región. Varios municipios destinan las aguas residuales a ríos y arroyos que alimentan el sistema, sin ningún tratamiento previo (Whately y Cunha 2007).

Los cuerpos hídricos, también están formados por el sedimento que se encuentra en el lecho, de forma el agua circundante y el sedimento interactúan como un todo, dependiendo de las condiciones ambientales a las que son sometidos (Esteves 2011).

El sedimento puede actuar como depósito de metales que se van acumulando con el tiempo y son responsables del transporte de muchos contaminantes (Saleem y col., 2018). Dependiendo de las condiciones ambientales, tales como cambio de pH y condiciones de anoxia, el sedimento puede convertirse en fuente de sustancias tóxicas para la columna de agua, causando una alteración general en las condiciones del sistema. Además, elevadas concentraciones de estas sustancias pueden causar toxicidad y tener impacto en la supervivencia y crecimiento de los organismos bentónicos (Dornfeld 2006; Gao y col. 2018).

Los metales pueden encontrarse en la naturaleza (metales traza) o principalmente tienen origen en la emisión antropogénica, siendo omnipresentes en el ambiente. Estos contaminantes, asociados a los sedimentos, pueden influir en las concentraciones de metales tanto en la columna de agua como en la biota, si se pueden absorber o pueden quedar disponibles para los organismos bentónicos (Milenkovic y col. 2005). Los metales pesados son, en su mayoría, tóxicos, persistentes y no degradables en los ecosistemas acuáticos. La concentración de estos contaminantes en ecosistemas naturales es generalmente baja, pero las fuentes antropogénicas pueden aumentar sus concentraciones de forma considerable. Estos metales ingresan a los ecosistemas acuáticos a través de fuentes puntuales, como desechos industriales, municipales y domésticos, y fuentes difusas, como escorrentía superficial, erosión del suelo y deposición atmosférica (Saleem y col. 2018; Pal y Maiti 2018).

En este sentido, los análisis ecotoxicológicos y físicos-químicos son fundamentales para la caracterización del sedimento para informar del nivel de polución al cual está sometido. La gestión de los cuerpos hídricos debe ser cons-

tante, con propósito preventivo y correctivo. El presente trabajo tuvo por objetivo determinar la concentración de metales encontrados en el sedimento del reservorio Paiva Castro, y correlacionar los elementos con los datos obtenidos en pruebas de toxicidad con el cladócero *Chironomus xanthus* y el insecto *Chironomus xanthus*.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el reservorio Paiva Castro (figura 1), situado en el municipio de Mairiporã (São Paulo, Brasil).

Los muestreos fueron realizados en el área

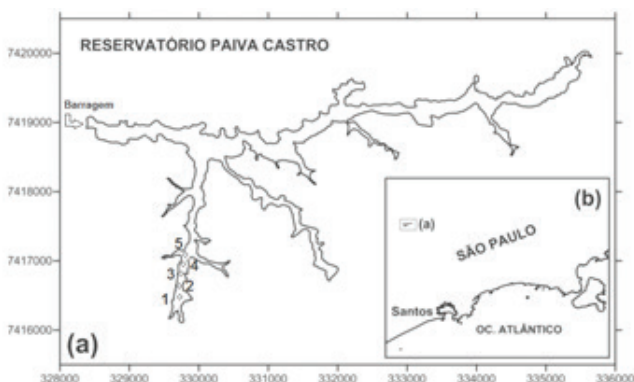


Figura 1. Reservorio Paiva Castro a) Puntos de toma de muestras b) Localización geográfica (São Paulo, Brasil). Los puntos de toma de muestras fueron georeferenciados de acuerdo con sistemas de coordenadas UTM (datum SAD69 y meridiano central 45°).

de captación de agua para ser enviada (a través de una plataforma elevadora) al reservorio Santa Inés, y de allí el agua es tratada y ofrecida a la población.

Se realizaron muestreos en el periodo seco, mayo del 2011, y en periodo lluvioso, en enero de 2012, según la media histórica de precipitación para el lugar (figura 2).

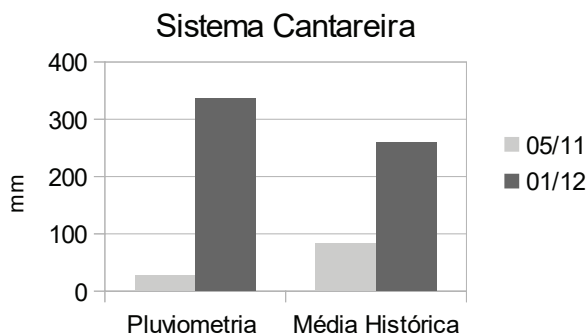


Figura 2. Datos pluviométricos del sistema Cantareira en el periodo de mayo de 2011 y Enero de 2012. Fuente: Sabesp (Sin fecha).

En los periodos de estudios se tomaron muestras de 5 puntos en las respectivas coordenadas: (1) 0329445, 7414987; (2) 0329357, 7415202; (3) 0329413, 7415264; (4) 0329415, 7415110; y (5) 0329412, 7415356, siendo las muestras de sedimento colectadas con un recolector Eckman-Birge (análisis ecotoxicológicos) y Ambühl Bühler (análisis de metales).

El sedimento recolectado (región neferomérica entre 0-3 cm) fue utilizado en la determinación de metales (Mn, Zn, Pb, Ni, Cd y Cu), materia orgánica, granulometría y pruebas ecotoxicológicas. Durante el muestreo fueron realizadas in situ medidas de pH y temperatura en el primer centímetro de la capa de sedimento. Las muestras fueron entonces almacenadas en potes de polietileno previamente esterilizados (HNO₃ 10% v/v) y acondicionadas en ambiente refrigerado a aproximadamente 4 °C, hasta el momento de análisis.

Los valores utilizados para analizar el grado de contaminación por los metales, con vistas a la protección de la biota acuática, fueron los establecidos por el *Canadian Council of Ministers of Environment – CCME* (1999). Basados en concentraciones totales y en la probabilidad de ocurrencia de efecto nocivo sobre la biota, el menor límite – TEL (*Threshold Effect Level*) o el nivel 1, representa la concentración que por debajo, no hay efectos adversos para los organismos. El mayor límite – PEL (*Probable Effect Level*) o nivel 2, representa la concentración encima de la cual son esperados efectos adversos en los organismos. Los valores de toxicidad entre TEL y PEL son considerados inciertos (Tabla 1). Las cantidades de metales fueron comparados también con valores de referencia establecidos para la represa Paiva Castro (Cardoso-Silva, 2013).

Tabla 1. Valores guías de calidad del sedimento para metales TEL (*Threshold Effect Level*) y PEL (*Probable Effect Level*) (CCME, 1999) y valores de referencia (VR) regionales establecidos para la represa Paiva Castro (Cardoso-Silva, 2013). Valores expresados en mg.kg⁻¹.

Metales	TEL	PEL	VR
Cadmio - Cd	0,6	3,5	-
Plomo - Pb	35,0	91,3	24,0
Cobre - Cu	35,7	197,0	14,0
Níquel - Ni	18,0	35,9	28,0
Zinc - Zn	123,0	315,0	61,0
Manganeso - Mn	-	-	378,0

En laboratorio las muestras fueron secadas en estufa a 60 °C por 48 hs, y después de eso fueron maceradas. La extracción de los metales ocurrió a través de la digestión ácida con HNO₃ en un bloque digestor. Para el análisis se siguió el protocolo 3050-B estipulado por la USEPA (1996). Las lecturas de las muestras fueron hechas en espectrofotómetro de absor-

ción atómica (AAS), Thermo Série S, y los resultados expresados en mg.kg⁻¹.

La exactitud y precisión de los datos fueron determinados con material certificado de referencia SS1 (suelos de la EnviroMAT™). En la tabla 2 están representadas la media, desviación estándar, precisión y exactitud obtenidos para los análisis del material certificado de referencia.

Tabla 2. Valores (mg.kg⁻¹) obtenidos para el material de referencia (SS1).

Metal	Concentración certificada (mg/kg)	Concentración medida (mg/kg)	Precisión (RSD)%	Exactitud (RE) %	(n)
	SS1	SS1	SS1	SS1	
Cd	34	32,3±2.4	6,3	5,9	3
Cu	690	688,8±7.6	1,1	0,2	3
Ni	231	234,1±18.0	7,7	1,4	3

Para el análisis granulométrico se utilizó el método de tamización mecánica según Suguio (1973), realizando el pesaje de sub-muestras de 100g de sedimento seco. En este análisis las partículas fueron clasificadas conforme el tamaño: arena gruesa (>0,2 a 2,0 mm), arena fina (>0,07 a <0,2 mm) y limo + arcilla (inferior a 0,07 mm).

En los análisis ecotoxicológicos fue utilizado el microcrustáceo *Chironomus xanthus* para la evaluación de la toxicidad aguda según la norma ABNT 12713 (Associação Brasileira de Normas Técnicas 2009) y el insecto *Chironomus xanthus* para la evaluación de la toxicidad crónica según el protocolo concebido por Fonseca (1997). Ambos organismos cultivados en laboratorio.

Para la determinación de la toxicidad aguda, neonatos de *D. similis* con edad entre 8 y 24 horas fueron expuestos por un período de 48 horas, a 23 ± 2 °C y fotoperíodo 12-12 h, al elutriado obtenido a partir de las muestras de sedimento. La toxicidad crónica fue determinada utilizando larvas del 2° estadio de *C. xanthus*. Estas larvas fueron colocadas en recipientes con 75 g de sedimento de la represa Paiva Castro. La exposición ocurrió por un período de 8 días. Al final de los ensayos, agudo y crónico, se evaluó la mortalidad e inmovilidad de los organismos. Los resultados se expresaron como "tóxicos" y "no tóxicos".

Los datos obtenidos en las pruebas ecotoxicológicas, proceden de los ensayos agudos y crónicos, realizados para verificar la existencia de diferencias significativas entre las estaciones de recolección y el control; agua de cultivo (*D. similis*) y arena de cultivo (*C. xanthus*) de laboratorio. Se utilizó el software TOXSTAT versión 3.4®, con Fisher Exact test p<0,05 para análisis de mortalidad/inmovilidad. Para los análisis estadísticos, los valores de las variables fueron estandarizados por la amplitud de variación – ranging $[(X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})]$.

Para el grado de asociación entre las variables físicas, químicas (metales, granulometría y cantidad de materia orgánica) y ecotoxicológicas se utilizó test no-paramétrico, a través del coeficiente de correlación de Spearman con nivel de significancia de p<0,05. Para todos los análisis se usó el paquete estadístico Statistica 7®.

Resultados

Las medias de los valores de pH en el sedimento del reservorio Paiva Castro en estación seca y lluviosa fueron de 6,0 y 6,5 respectivamente. En relación a la temperatura, las medias fueron en 19,0 oC (estación seca) y 20,0 oC (estación lluviosa).

La materia orgánica en estación seca fue de 7,4%, y en estación lluviosa de 9,2%. Los valores medios de arena gruesa, arena fina y limo/arcilla fueron de: 15,6%, 66% y 18,4% para la

estacion ceca y de 20,8%, 53,6% y 25,5% en la estación lluviosa, respectivamente. En total, el sedimento presentó una media de 59,8% de arena fina, 21,9% de limo y arcilla, seguido por 18,8% de arena gruesa. Las concentraciones de los metales expresa-

das en mg.kg-1, son presentadas en las tablas 3 y 4 (estación seca y lluvia). No hay valores de TEL y PEL para Mn. La ausencia de contaminación de los metales fue corroborada por la comparación de los niveles encontrados con los valores de referencia (Figura 3).

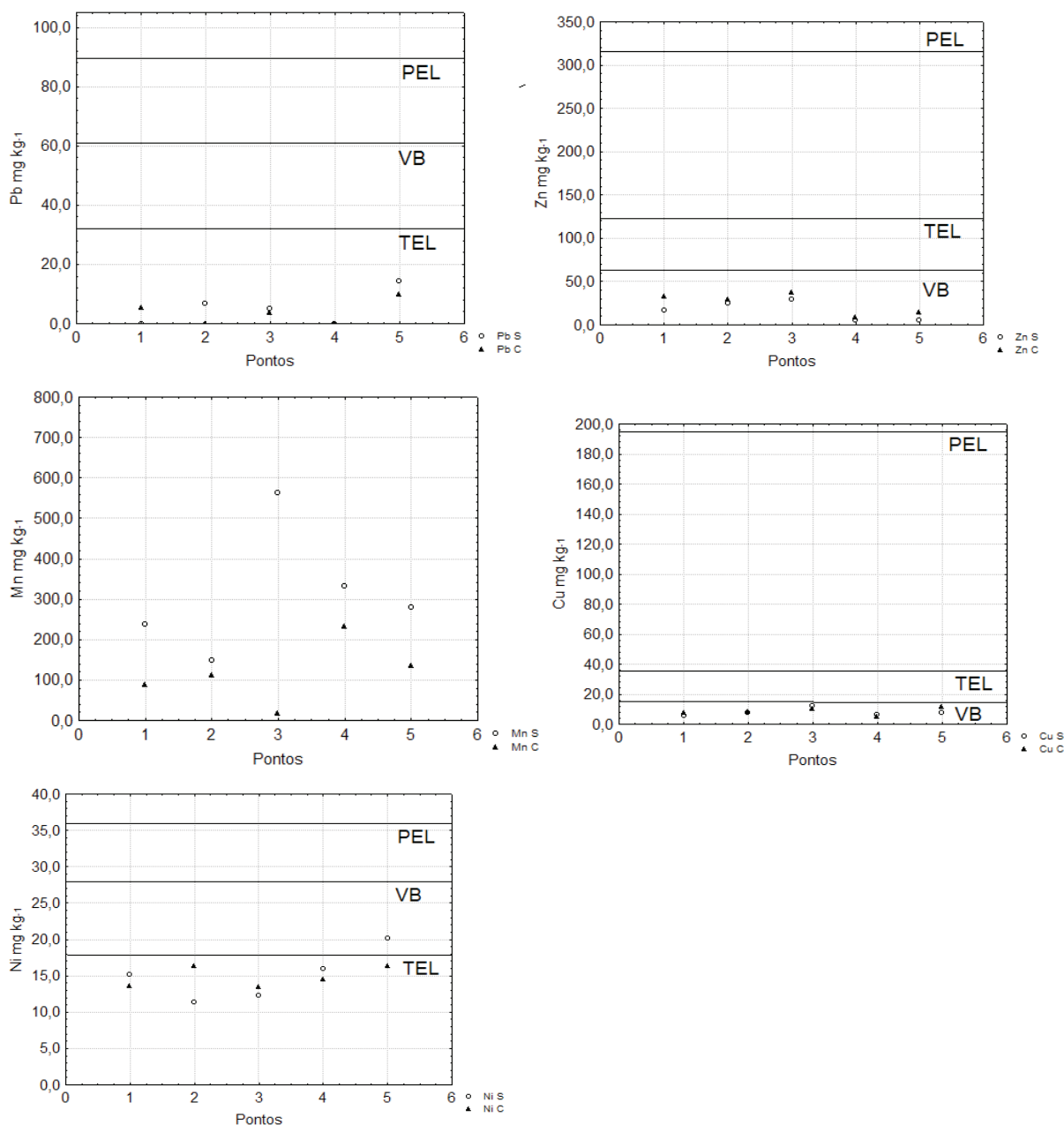


Figura 3. Cantidades de metales en los sedimentos del área de captación de la represa Paiva Castro. VB: valores basales determinados por Cardoso-Silva (2013). Valores de TEL (*Threshold Effect Level*) y PEL (*Probable Effect Level*) (CCME).

Tabla 3. Concentraciones medias de metales (mg.kg-1) en los sedimentos del área de captación de la represa Paiva Castro en el periodo de seca.

Metal	Media	V _{Min}	V _{Max}	DE	TEL	PEL	VR
Cd	0,07	0,0	0,34	0,15	0,6	3,5	-
Cu	7,91	5,97	11,92	2,41	35,7	197,0	14,0
Ni	14,98	11,31	20,11	3,46	18,0	35,9	28,0
Mn	311,92	148,15	563,46	155,84	-	-	378,0
Pb	5,42	0,0	14,21	5,70	35,0	91,3	24,0
Zn	16,32	5,27	30,0	11,11	123,0	315,0	61,0

V_{Min}: Valor mínimo; V_{Max}: Valor máximo; DE: Desviación estandar; TEL: Threshold Effect Level; PEL: Probable Effect Level; VR: Valor de referencia.

Tabla 4. Concentraciones medias de metales (mg.kg-1) en los sedimentos del área de captación de la represa Paiva Castro en el periodo de lluvia.

Metal	Media	V _{Min}	V _{Max}	DE	TEL	PEL	VR
Cd	3,26	2,10	4,01	0,70	0,6	3,5	-
Cu	8,41	4,76	11,21	2,46	35,7	197,0	14,0
Ni	14,90	13,46	16,48	1,45	18,0	35,9	28,0
Mn	117,13	17,64	232,33	77,94	-	-	378,0
Pb	3,35	0,0	9,76	3,76	35,0	91,3	24,0
Zn	24,82	8,32	37,46	12,50	123,0	315,0	61,0

V_{Min}: Valor mínimo; V_{Max}: Valor máximo; DE: Desviación estandar; TEL: Threshold Effect Level; PEL: Probable Effect Level; VR: Valor de referencia.

Los resultados de los análisis ecotoxicológicos se presentan como diferencia “significativa” o “no significativa” en relación al control, es decir como “tóxico” o “no tóxico” (Tabla

5). Sólo un punto presentó efecto tóxico agudo en sedimento, en la estación lluviosa. No se registraron efectos de toxicidad en los test crónicos.

Tabla 5. Resultado de los bioensayos agudo y crónico del sedimento en el periodo seco y lluvioso.

Punto	Test Agudo		Test Crónico	
	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia
PC1	NT	NT	NT	NT
PC2	NT	NT	NT	NT
PC3	NT	NT	NT	NT
PC4	NT	TOX	NT	NT
PC5	NT	NT	NT	NT

Se evidenciaron correlaciones significativas ($p < 0,05$) entre las variables analizadas en el sedimento (Tabla 6).

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Spearman entre las variables de la Represa Paiva Castro con correlaciones significativas ($p < 0,05$).

	AG	AF	L+A	Ni	Zi	Cu	TAS
AG	-	-0,7	*	-0,77	*	*	*
AF		-	*	0,79	-0,81	*	-0,7
S+A			-	*	0,79	0,79	*
Ni				-	*	*	*
Zi					-	*	*
Cu						-	*
TAS							-

Notas: AG = Porcentaje de Arena Gruesa; AF = Porcentaje de Arena Fina; L/A = Limo/Arcilla; Ni = Níquel Zi = Zinc; Cu = Cobre; TAS = Test Agudo Sedimento. Los parámetros arena gruesa, arena fina, y Ni se correlacionaron negativamente con $r = -0,70$ $-0,77$, respectivamente. El parámetro arena fina se correlacionó negativamente con Zn y con el test agudo y, positivamente con Ni ($r = -0,81$; $-0,70$; $0,79$). Mientras que entre limo y arcilla con Zi y Cu se evidenció una correlación positiva con $r = 0,79$ y $r = 0,79$ respectivamente.

Discusión

Los metales son elementos importantes y esenciales en los ecosistemas acuáticos cuando se encuentran en pequeñas concentraciones, pero en altos niveles, muchos son tóxicos y pueden bioacumular y biomagnificarse en las cadenas alimenticias. En estos ambientes, los metales pueden estar de forma libre en solución, en forma de complejos con la materia orgánica disuelta, o coloides en el agua intersticial ligados a las partículas del sedimento (Lamberson y col. 1992; Luoma y Rainbow 2008; Zhang y col. 2014).

El sedimento está formado por extractos de partículas minerales y orgánicas, que se encuentran en contacto con el hipolimnion. En relación a la granulación sedimentaria, se sabe que uno de los parámetros que más afecta a las interacciones del metal con el sedimento es el tamaño de la partícula del sedimento (Luoma y Rainbow 2008; Zhang y col. 2014). La interacción se relaciona con que a mayor área superficial de los sedimentos finos, mayor capacidad de adsorción del sedimento, llevando a la inmovilización de estos elementos en el sedi-

mento de la represa (Cardoso-Silva y col. 2016; Kang y col. 2017). Para metales en particular, se sabe que existe mayor afinidad en sedimentos compuestos por grandes concentraciones de limo, arcilla y materia orgánica - fracción menor que $63 \mu\text{m}$ (Araújo y col. 2006; Campana y col. 2012; Zhang y col. 2014). En los reservorios, la granulometría tiende a ser menor conforme se aproxima a la presa, ya que la decantación de las partículas que entran en el sistema ocurre de manera más lenta mientras menor es el tamaño de la partícula, por lo que puede existir un gradiente de concentración de contaminantes en el sedimento desde la cabecera hacia el sitio próximo a la presa.

Podemos señalar el sedimento del sitio de estudio con bajo poder de adsorción de metales, debido a que su material particulado posee granulometría con fracción predominantemente mayor que $63 \mu\text{m}$, es decir, con predominio de la fracción arena. A pesar del bajo porcentaje de la presencia de la fracción menor que $63 \mu\text{m}$ en el reservorio, se observó que los metales Zi y Cu se correlacionaron positivamente con la arcilla presente en el lugar. Al evaluar la presencia de metales en los sedimentos de la represa Paiva Castro, Cardoso-Silva y col. (2016) observaron una correlación positiva entre Cu y arcilla, relacionando con la aplicación de CuSO_4 como algicida en el área de estudio.

La cantidad de materia orgánica en el sedimento es un parámetro importante, ya que regula la sorción y biodisponibilidad de diversos contaminantes (Power y Chapman, 1992; USEPA, 2005; Zhang y col. 2014). Según Viganò y col. (2007) la materia orgánica y los nutrientes pueden causar gran influencia en los ambientes acuáticos, a través de la interacción con los productores primarios y consumidores primarios. De este modo, se ha dado gran atención los materiales particulados ya que puedan ser una fuente contemporánea de energía y tóxicos para la cadena alimentaria (Viganò y col. 2007). Para ser considerado orgánico, el sedimento debe contener más de 10% de materia orgánica en su peso seco (Esteves 2011), mientras que la materia orgánica en el sitio de estudio fue de 8,3%. Por lo tanto, los resultados evidencia baja asociación del sedimento de este reservorio con los metales aquí analizados.

Silva (2013), en su trabajo sobre los Reservorios Guarapiranga y Billings identificó el sedimento de ambos sitios como orgánico, con más de 10% de cantidad de materia orgánica, y con concentraciones medias superiores a 30% de

limo y arcilla. Hubo correlaciones significativas del sedimento de los reservorios Guarapiranga y Billings con varios metales analizados. Además, factores de transporte y carga causados en otros ríos pueden dificultar la sedimentación y retención de materia orgánica en el sedimento. La cuenca del Río Piracicaba, por ejemplo, estudiada en el año 2000, reveló que la cantidad de materia orgánica en el sedimento tuvo variación de 1,2% y 15,5%. Los valores encima de 10% fueron observados en represas menores, y los valores menores en los ríos (Del Grande 2003). En el presente estudio, el área de muestreo posee un brazo estrecho de captación, con una considerable corriente y flujo de agua, por lo que las condiciones locales parecidas con ambientes lóticos explicaría la mayor granulometría del sedimento y menor cantidad de materia orgánica.

Un factor que pudo interferir en la cantidad de materia orgánica, es la concentración de O₂ en el sedimento y en la interface de éste con el agua, que puede llevar a una degradación más rápida de materia orgánica y finalmente a una reducción en la cantidad de ésta (Delistraty y Yokel 2007).

Según Araújo y col. (2006), la toxicidad de los contaminantes puede verse afectada dependiendo de las características de los extractos minerales y orgánicos, así como a la complejación y biodisponibilidad del contaminante. Delistraty y Yokel (2007) sugieren que los sedimentos causan efectos adversos en la biota que vive en ese compartimento, siendo que los riesgos parecen estar asociados a los metales y factores como baja cantidad de O₂ y altas cantidades de amonio. Una vez más vemos que en ambientes lóticos, la dinámica local influye positivamente los patrones de toxicidad del sedimento.

Las áreas lóticas tienden a acumular menores cantidades de metales, en este sentido Kemble y col. (2013) obtuvieron un número limitado de correlaciones significativas entre la toxicidad y la concentración de metales en siete ríos de Norteamérica.

Rodgher y col. (2005) encontraron contaminación por metales en el sedimento y agua del lugar de estudio, causados por efluente sanitario, industrial y de agricultura. Los tests ecotoxicológicos de muchas muestras indicaron efectos tóxicos sobre los organismos bioindicadores, posiblemente resultante de la entrada constante de materia de las áreas adyacentes del reservorio.

Evidencias de toxicidad por metales en reservorios son descritas en el informe de la CETESB (2012), donde se destacan las altas concentraciones de Cu en el sedimento del reservorio Guarapiranga y la correlación de este metal con la toxicidad.

Los valores de referencia TEL y PEL sirven para comparar la existencia de posibles efectos sobre la biota en relación a la concentración de metales encontradas en el ambiente. En este sentido, los elementos Pb, Cu, Ni y Zn permanecieron por debajo de los valores de TEL, por lo que se puede concluir que el sedimento del reservorio en el área de captación para abastecimiento público no presenta potencial tóxico para los organismos bentónicos de los sitios muestreados.

Según Zagatto y Bertolotti (2008), la evaluación de la ecotoxicidad, se constituye en un abordaje exploratorio que evidencia un problema de calidad en cuerpos hídricos que reciben efluentes domésticos e industriales. En este trabajo, tales análisis fueron realizados a fin de obtener datos que señalen la calidad del sedimento del reservorio Paiva Castro y asociar posibles contaminantes con su toxicidad sobre los organismos bentónicos. En el análisis de correlación de Pearson no hubo correlaciones significativas entre la toxicidad y los metales del sedimento.

Cabe aclarar que si bien no se observó daño en los organismos ensayados, es necesario hacer un seguimiento en el tiempo del estado del reservorio ya que no de los principales problemas que los metales pesados poseen una vida media biológica larga (Milenkovic y col. 2005), es decir que una vez en el organismo, el metal puede bioacumularse por largos periodos de tiempo y puede existir procesos de biomagnificación en las redes tróficas. Por lo que sería necesario complementar el estudio con la evaluación de la presencia de metales en organismos bentónicos.

Los resultados presentados en este trabajo se señalan bajas concentraciones de metales en el sedimento, así como la ausencia de toxicidad de las especies ensayadas. En este sentido, podemos decir que el reservorio, al menos en el área de estudio, se encuentra poco impactada y no estaría produciendo interferencias directas en la calidad de vida de los organismos bentónicos.

Agradecimientos: A la FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - procesos 2009/16652-1 y 2006/51705-0), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento

Científico e Tecnológico - processo 470443/2008-1) y Capes (Co-ordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por la beca de estudio.

Bibliografía citada

Ab'Sáber A.N. O reservatório Juqueri na área de Mairiporã: estudos básicos para defesa ambiental e ordenação dos espaços envolventes. *Geografia e Planejamento* 1978,32:1-28.

Agência Nacional de Águas (ANA). Nota Técnica Conjunta ANA/DAEE. Subsídios para a análise do pedido de outorga do Sistema Cantareira e para a definição das condições de operação dos seus reservatórios. Julio de 2004.

Agência Nacional de Águas (ANA). Sistema Cantareira. São Paulo: ANA, 2012. (Séries dos hidrológicos). [en línea] [Consulta 16 de mayo de 2015] Disponible en: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/Renovacao_Outorga/SeriedeHidrologicos-SistemaCantareira-2004-2012-SABESP.xlsx.

Araújo R.P.A., Shimizu G.Y., Bohrer M.B.C., Jardim W. Avaliação da qualidade de sedimentos. En: Zagatto P.A., Bertoletti E. *Ecotoxicologia aquática – princípios e aplicações*. São Carlos: Rima, 2006, p. 293-326.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *Ecotoxicologia aquática – Ensaio de toxicidade aguda com Chironomus xanthus* Claus, 1876 (Cladocera, Crustácea). Norma NBR 12713:2009. Rio de Janeiro, ABNT, p.16. 2009.

Biemans H., Haddeland I., Kabat P., Ludwig F., Hutjes, R.W.A., Heinke J., von Bloh W., Gerten D. Impact of reservoirs in river discharge and irrigation water supply during the 20th century. (2011). *Water Resour. Res.*, 47 W03509.

Cadoso-Silva S. Metais-traço em sedimentos do reservatório Paiva Castro (Mairiporã- São Paulo): histórico por meio da geocronologia do ²¹⁰Pb, biodisponibilidade e uma proposta para a gestão dos recursos hídricos, Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia. 2013.

Campana O., Simpson S.L., Spadaro D.A., Blasco J. Sub-lethal effects of copper to benthic invertebrates explained by sediment

properties and dietary exposure. *Environ Sci Technol* 2012;46(12):6835-42.

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 1999. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Protocol of the derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CCME EPC-98E).

Cardoso-Silva S., Silva D.C.V.R., Lage F., Paiva T.C.B., Moschini-Carlos V., Rosa A.H., Pompeu M. Metals in sediments: bioavailability and toxicity in a tropical reservoir used for public water supply. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, p. 188-310.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (CETESB). Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo – 2011. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 2012.

Del Grande M. Distribuição de compostos organoclorados nas águas e sedimentos na bacia do rio Piracicaba-SP – Brasil. *Química Nova*. 2003; 26(5):678-686.

Delistraty D., Yokel J. Chemical and ecotoxicological characterization of Columbia River sediments below the Hanford site (USA). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2007; 66:16-28.

Dornfeld C.B. Utilização de *Chironomus* sp (Diptera, Chironomidae) para a avaliação da qualidade de sedimentos e contaminação por metais, 2006. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos.

Esteves F.A. *Fundamentos em Limnologia*. 2ª Edição. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2011.

Fonseca A.C. Avaliação da qualidade da água na Bacia do Rio Piracicaba/SP através de testes de toxicidade com invertebrados, 1997. Tese do doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos.

Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (FABHAT). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos. Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 06. 2013.

Gao L., Wang Z., Li S., Chen J. Bioavailability and toxicity of trace metals (Cd, Cr, Cu, Ni, and Zn) in sediment cores from the Shima River, South China. *Chemosphere*. 2018;192:31-42.

Giatti L.L. Reservatório Paiva Castro Mairiporã – SP. Avaliação da qualidade da água sobre alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos (1987/1998), 2000. Dissertação de Mestrado. USP.

Kang X., Song J., Yuan H., Duan I., Li X., Li N., Liang X., Qu B. Speciation of heavy metals in different grain sizes of Jiaozhou Bay sediments: Bioavailability, ecological risk assessment and source analysis on a centennial timescale. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017;143:296-306.

Kemble N.E., Hardesty D.K., Ingersoll C.G., Kunz J.L., Silbey P.K., Calhoun D.L., Gilliom R.J., Kuivila K.M., Nowell L.H., Moran P.W. Contaminants in stream sediments from seven United States metropolitan areas. Part II – Sediment toxicity to the amphipod *Hyalella azteca* and the midge *Chironomus dilutus*. *Arch Environ Contam Toxicol* 2013;64:52-64.

La Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Datos pluviométricos del sistema Cantareira en el período de mayo de 2011 y enero de 2012. [en línea]. [Consulta 16 de mayo de 2015] Disponible en: <http://www2.sabesp.com.br/mananciais/DivulgacaoSiteSabesp.aspx>.

Lamberson, J.O.; Dewitt, T.H.; Swartz, R.C. 1992. Assessment of sediment toxicity to marine benthos. In: Burton JR, G.A. (Ed.). *Sediment Toxicity Assessment*. Lewis Publishers Inc., Chelsea, p. 183-211. 1992.

Luoma S.N., Rainbow P.S. *Metal Contamination in Aquatic Environments: Science and lateral management*. Cambridge: Cambridge University, 2008.

Milenkovic N., Damjanovic M., Ristic M. Study of Heavy Metal Pollution in Sediments from the Iron Gate (Danube River), Serbia and Montenegro 2005; 14(6):781–787.

Pal D., Maiti S.K. Seasonal variation of heavy metals in water, sediment, and highly consumed cultured fish (*Labeo rohita* and *Labeo*

bata) and potential health risk assessment in aquaculture pond of the coal city, Dhanbad (India). *Environmental Science and Pollution Research*, 2018.

Power E.A., Chapman P.M. Assessing sediment quality. En: Burton Jr, A.G. *Sediment toxicity assessment*. Lewis Publishers, INC. 1992.

Rodgher S., Espíndola E.L.G. Suitability of *Chironomus xanthus* as a alternative organism in ecotoxicological tests: implications for metal toxicity. In: *Ecotoxicology*. 2010;19:1027-1033.

Saleem M., Iqbal J., Akhter G., Shah M.H. Fractionation, bioavailability, contamination and environmental risk of heavy metals in the sediments from a freshwater reservoir. *Journal of Geochemical Exploration*. 2018;184:199-208.

Silva D.C.V.R. Toxicidade da água e sedimento dos reservatórios Guarapiranga, Billings e Paiva Castro, na região metropolitana de São Paulo-SP. Dissertação de Mestrado. USP. 2013.

Suguio K. *Introdução à sedimentologia*. Edgard Blücher, s.d., 1973.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). Acid digestion of sediments, sludge's and soils. Method 3050B, 1996.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). Procedure for the derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (ESBs) for the protection of benthic organisms: metal mixtures (cadmium, cooper, lead, nickel, silver and zinc. Office of Research and Development. 2005.

Viganò L., Farkas A., Guzzella L., Roscioli D., Erratico C. The acumulation levels of PAHs, PCBs and DDTs are related in an inverse way to the size of a benthic amphipod (*Echinogammarus stammeri* Karaman) in the River Po. *Science of the Total Environment*. 2007;373:131-145.

Whately M., Cunha P. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da região metropolitana de São Paulo-SP. Resultados do Diagnóstico Socioambiental Participativo do Sistema Cantareira. São Paulo: Instituto Socioambiental. 2007.

Zagatto P.A., Bertolleti E. Ecotoxicologia Aquática, Princípios e Aplicações. 2^a ed. Rima Editora. São Carlos-SP, 2008.

Zhang C., Yu Z., Zeng G., Jiang M, Yang Z., Cui F., Zhu M., Shen L., Hu L. Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. *Environment International*. 2014;73:270–281.