

Avaliação da qualidade das águas e dos sedimentos do rio São Lourenço-SP

Water and sediment quality assessment at São Lourenço River-SP

Angélica Megda da Silva*

Denis Moledo de Souza Abessa**

Paulo Augusto Zantune Pamplin***

Maria Beatriz Bohrer-Morel****

75

Artigo Original • Original Paper
O Mundo da Saúde, São Paulo - 2014;38(1):75-85

Resumo

O rio São Lourenço faz parte da bacia do rio Ribeira de Iguape, fornecendo água para o abastecimento dos municípios de São Lourenço da Serra e Juquitiba. O rio é utilizado também como corpo receptor de grande parte da carga poluidora gerada por esses municípios. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos do lançamento de resíduos de estações de tratamento de água (ETA) e esgotos (ETE) sobre os sedimentos do rio São Lourenço. Foram estabelecidos seis pontos de coleta no rio (incluindo pontos a montante e a jusante, tanto para a ETA quanto para a ETE), tendo ocorrido seis campanhas de amostragem. Em todas foi coletado material para ensaios ecotoxicológicos, e em duas foi coletado material para caracterização da comunidade bentônica (março e setembro de 2006) e uma para avaliação química (setembro de 2006). Foram realizadas sete campanhas de amostragem de água, visando à realização de ensaios ecotoxicológicos. Os níveis de metais foram baixos em todas as amostras. Os resultados ecotoxicológicos para sedimento apontaram efeitos agudos nos pontos a jusante da ETA e da ETE em novembro de 2005 e março de 2006, e efeitos crônicos em todos os pontos coletados em novembro de 2005 e setembro de 2006. O Ponto SLS 008 apresentou ecotoxicidade crônica em todas as campanhas. Os resultados obtidos mostraram respostas negativas quanto à comunidade bentônica, com baixa riqueza e diversidade, corroborando os dados ecotoxicológicos. As águas dos pontos a jusante da ETA apresentaram ecotoxicidade aguda em dois episódios. Não foi verificada toxicidade crônica. Os resultados indicam que o local é influenciado por ações antrópicas, além dos descartes das ETA e ETE, e que o sedimento é o compartimento mais afetado nesse ecossistema.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Ecotoxicologia. Toxicidade.

Abstract

São Lourenço River (SLR) is part one of the Ribeira de Iguape River basin, and provides water to supply the cities of São Lourenço da Serra and Juquitiba. The SLR also receives large amounts of pollution from these municipalities. In this context, this study aimed to evaluate the impacts of the release of residues from water treatment (WTP) and wastewater treatment plants (WWTP) on the sediments of the SLR. Six sampling stations were established along the river (including upstream and downstream of both WTP and WWTP), and 6 sampling campaigns for sediments were conducted. In such 6 surveys sediments were collected for ecotoxicological tests, in 2 surveys, material was also collected for benthic community evaluation (March and September 2006), and in one survey samples for chemistry were taken (September 2006). Seven campaigns were conducted for water sampling aiming to ecotoxicological tests. The metal levels were low for all samples. Ecotoxicological tests with sediments showed acute toxicity in samples collected downstream to both WTP and WWTP in November 2005 and March 2006, and chronic effects for all samples in November 2005 and September 2006. All samples from SLS 008 were toxic. Results showed negative responses in the benthic community, with low richness and diversity. The water samples collected downstream to WTP presented acute ecotoxicity in 2004 and 2006. No chronic toxicity was observed for waters. The results indicate that SLR is influenced by other anthropic activities, beyond to WTP and WWTP discharges, and that sediments are more affected in this ecosystem.

Keywords: Water Quality. Ecotoxicology. Toxicity.

DOI: 10.15343/0104-7809.20143801075085

* Doutora em Ciências pelo IPEN-CNEN. Consultora Ambiental. E-mail: angelicams@usp.br

** Professor na UNESP, Campus Experimental do Litoral Paulista. E-mail: dmabessa@clp.unesp.br

*** Professor na Universidade Federal de Alfenas-MG, Brasil. E-mail: paulo.pamplin@unifal-mg.edu.br

**** Pesquisadora no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. E-mail: mbohrer@ipen.br

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

INTRODUÇÃO

São Lourenço da Serra-SP abriga a nascente do rio São Lourenço, e seu território está integralmente inserido na Área de Preservação dos Mananciais. O rio São Lourenço está classificado como corpo d'água Classe 2 – rios que fornecem água potável para consumo após tratamento convencional –, e também se destina à proteção da vida aquática e contato primário para recreação¹.

Nos últimos anos, a avaliação da qualidade da água de mananciais tem sofrido algumas mudanças substanciais do ponto de vista de sua concepção, os quais vêm afetando, direta e indiretamente, os programas de monitoramento em diversos países. Essa mudança de paradigma leva a uma nova abordagem que inclui a avaliação da qualidade dos sedimentos, um compartimento que era, até bem pouco tempo, apenas considerado como local de acumulação e imobilização de nutrientes e de uma miríade de diferentes contaminantes².

A relação entre o uso da água e a sua qualidade é direta. O abastecimento público, por exemplo, requer a satisfação de alguns critérios de qualidade. No entanto, um mesmo corpo d'água utilizado para abastecimento doméstico pode ser usado como receptor de despejos, sendo necessária a satisfação simultânea de diversos critérios de qualidade³.

Como outras companhias de saneamento básico do país, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) utiliza tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação e filtração) para tratar a água que é coletada no rio São Lourenço, visando ao abastecimento público. Essa companhia utiliza também um sistema de tratamento de esgoto composto por lagoas de estabilização, onde há a liberação de efluente que passa por um tanque de cloração e é então liberado no rio. Durante os processos e operações para tratamento das águas e dos esgotos (os quais incluem a decantação, a lavagem dos filtros e dos tanques de preparação de soluções e suspensões de produtos químicos), há a introdução de produtos químicos (como sulfato de alumínio, cloro e cal) que geram resíduos sólidos e líquidos os quais são descartados no rio. A Estação de Tratamento de Águas (ETA) lançou o lodo diretamente no rio São Lourenço, sem qualquer tipo de tratamento, até dezembro de 2005, quando então seu descarte foi transferido para a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE). No Brasil, considera-se como insuficiente o estudo sobre o impacto e a ecotoxicidade desses resíduos gerados pelas ETA e ETE na bacia hidrográfica, bem como qual a influência do uso dos produtos químicos no entorno⁴.

Frente aos problemas de geração de resíduos de ETE e ETA e a necessidade de informações sobre o impacto de sua introdução no ambiente, fazem-se necessários estudos mais abrangentes, tanto abordando a avaliação química, quanto os impactos biológicos, medidos por meio de ensaios ecotoxicológicos e da macrofauna bentônica.

Observações de campo⁵ sugerem, e ensaios em laboratório confirmam, que a contaminação por agentes químicos no sedimento pode ser letal para os organismos bentônicos, como crustáceos e larvas de insetos. Esses organismos ocupam uma importante posição na cadeia alimentar, por serem primários e participarem da ciclagem de nutrientes. Se a contaminação causar a morte dos animais bentônicos, haverá escassez de alimento para seus predadores. Já os efeitos subletais, além de causarem prejuízos à comunidade afetada, podem provocar diversos efeitos no crescimento, ciclos biológicos, comportamento, fisiologia e reprodução das espécies, além da possibilidade de haver bioacumulação e transferência dos contaminantes pela cadeia trófica. A contaminação do sedimento não permanece imobilizada no fundo. Alguns processos físicos no ambiente, como chuvas médias e fortes, por exemplo, podem causar a ressuspensão do material sedimentado, disponibilizando a contaminação para a coluna d'água, atingindo não apenas os organismos bentônicos como também os demersais^{6,7}. Esses fatores apontam a necessidade de considerar a sazonalidade e fatores intrínsecos (característica do substrato, os organismos que habitam o ambiente, etc.) em avaliações de risco ecológico⁶.

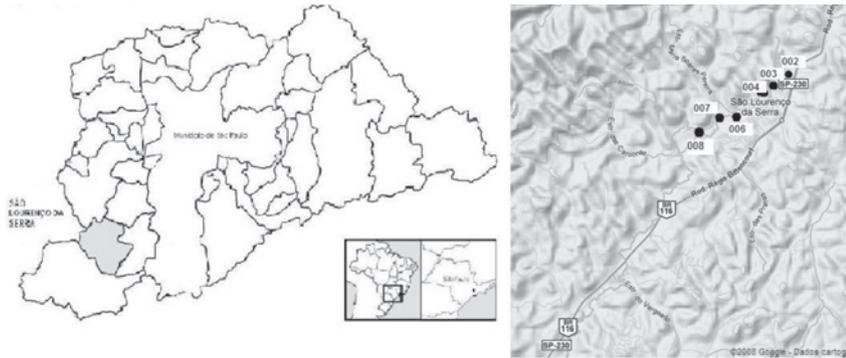
O objetivo do presente trabalho foi avaliar o impacto dos resíduos das ETA e ETE no ecossistema aquático (água e sedimento) do rio São Lourenço, a partir de abordagem integrada utilizando a Tríade da Qualidade do Sedimento (TQS), que envolve estudo da comunidade bentônica, avaliação ecotoxicológica e análises químicas na água e sedimento. Complementando o estudo foi avaliada a qualidade do ecossistema antes e após a transposição do descarte da ETA para a ETE.

MÉTODO

Caracterização da área

O rio São Lourenço nasce no município de São Lourenço da Serra (Figura 1), na região do Vale do Ribeira. A população estimada para a região, em 2003, era de 13.645 habitantes, e sua área de 187 km², o que resulta numa densidade demográfica de 72,97 hab/km².

Figura 1. Localização dos pontos de amostragem no rio São Lourenço, São Lourenço da Serra-SP, Brasil: SLS 002, SLS 003, SLS 004, SLS 006, SLS 007 e SLS 008



As águas do rio são utilizadas para abastecimento público, porém, além disso, o rio é também o corpo receptor de grande parte da carga poluidora gerada pelo município de São Lourenço da Serra. A ETA desse município tem uma produção estimada de lodo de 16 L/s, utiliza Sulfato de Alumínio como coagulante, na proporção de 13 mg/L, e produz 0,975 toneladas de lodo por mês. O sistema de tratamento é do tipo convencional, constituído por floculador, decantadores e filtros. A limpeza dos filtros é realizada em dias alternados utilizando 34,4 m³ de água por filtro. Os decantadores são limpos a cada 15 dias, o que consome aproximadamente 200 m³ de água. Todo resíduo gerado pela ETA foi descartado no rio até dezembro de 2005 quando passou a ser encaminhado para a rede coletora de esgotos e posteriormente para a ETE.

A estação de tratamento de esgoto de São Lourenço da Serra foi inaugurada em 22 de fevereiro de 2001, e localiza-se à jusante da cidade. O processo de tratamento resume-se em eliminar

os resíduos sólidos retidos nas grades médias e caixas de areia, seguido por tratamento através de lagoa anaeróbia (tratamento primário) seguida de lagoa facultativa (tratamento secundário), denominado Sistema Australiano. Ao final do processo, antes do lançamento ao corpo receptor, o efluente é conduzido a um tanque de cloração para desinfecção. Além da ETE e da ETA, há outras fontes potenciais de contaminação, tais como lixões, descargas pontuais e difusas de esgotos e águas de drenagem urbana, lixiviação de áreas rurais, entre outras, já que a microbacia do rio drena regiões rural, urbana e industrial.

Foram disponibilizados dados da pluviosidade do local no ano de 2006, pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas^a.

Foram coletadas amostras de água e sedimento do rio São Lourenço em 6 pontos, dispostos da seguinte forma: um à montante e dois à jusante das respectivas ETA e ETE do município de São Lourenço da Serra (Figura 1 e Tabela 1).

Tabela 1. Localização dos pontos de coleta no rio São Lourenço, no município de São Lourenço da Serra-SP, Brasil

Local de Coleta	Corpo Receptor	Localização		Descrição dos pontos
		Latitude	Longitude	
SLS002 (Montante ETA 100m)	Rio São Lourenço	23°51' 072"	46° 56' 598"	Ponto localizado no terreno de moradias desprovidas de sistema de coleta de esgoto, além de entrada de um córrego de origem desconhecida.
SLS 003 (Jusante ETA 10m)	Rio São Lourenço	23° 51' 034"	46° 56' 707"	Trecho do rio raso e estreito, com fraca correnteza, inserido dentro da vegetação.
SLS 004 (Jusante ETA 100m)	Rio São Lourenço	23° 51' 113"	46° 56' 792"	Trecho do rio que passa no fundo de quintais de habitações populares, com muito entulho. Visível assoreamento devido ao depósito de sólidos
SLS 006 (Montante ETE 100m)	Rio São Lourenço	23° 51' 354"	46° 56' 267"	Ponto afastado das casas
SLS 007 (Jusante ETE 10m)	Rio São Lourenço	23° 51' 516"	46° 56' 376"	Difícil acesso, localizado dentro do terreno da estação de tratamento de esgoto.
SLS 008 (Jusante ETE 100m)	Rio São Lourenço	23° 51' 511"	46° 56' 485"	Trecho mais fundo

a. CIIAGRO: <http://www.ciiagro.sp.gov.br>

O sedimento foi coletado no ano de 2005, nos meses de março, julho e novembro; e em 2006, em março e setembro. As amostras foram coletadas com auxílio de um pegador tipo *Petersen* (0,03 m²), sendo retiradas alíquotas que posteriormente foram utilizadas para as análises ecotoxicológicas, químicas e ecológicas. As amostras de sedimento, para os ensaios ecotoxicológicos e análises químicas, foram mantidas refrigeradas (4 °C no escuro) até o início dos testes, que foram realizados em até 2 semanas^{8,9}.

Para avaliar a ecotoxicidade dos sedimentos, foram realizados ensaios de toxicidade aguda, com *Chironomus xanthus* Rempel, 1939 e *Hyalella azteca* Saussure, 1858¹⁰, e crônica com *Ceriodaphnia silvestrii* Daday, 1902⁸. Os organismos utilizados nos ensaios foram cultivados no Laboratório de Ecologia e Ecotoxicologia Aquática do Centro de Química e Meio Ambiente do IPEN, sob condições padronizadas e de acordo com as boas práticas de laboratório. A qualidade dos cultivos é verificada todo mês a partir de testes de sensibilidade com a substância de referência cloreto de sódio (NaCl), para garantir que o lote de organismos testados tem sensibilidade considerada aceitável, de modo que os resultados de testes de toxicidade sejam confiáveis.

Para a caracterização da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, foram realizadas coletas em março e setembro de 2006. As amostras foram fixadas ainda em campo com formaldeído 10%, e após triagem do material em laboratório, os organismos encontrados foram conservados em álcool 70% para posterior identificação das famílias. Foram utilizadas as seguintes chaves de identificação: *Fresh-Water Biology*¹¹; *Oligochaeta*¹²; *Fresh-Water invertebrates of the United States*¹³; Larvas de Chironomidae (Diptera) do estado de São Paulo: guia de identificação e diagnose dos Gêneros¹⁴; *Guia para la identificación de oligoquetos acuaticos continentales de sul y centroamerica*¹⁵; *Land and Freshwater molluscs of Brazil*¹⁶.

Foram realizadas análise de granulometria do sedimento, no Laboratório de Química Ambiental do IPEN, pela escala granulométrica de Wentworth, seguindo os procedimentos descritos na Norma L 6.160 da CETESB¹⁷. Foram utilizadas 07 peneiras com abertura de 2000 mm a 0,063

mm, e um tempo de peneiramento de 30 minutos. A determinação do teor de matéria orgânica foi realizada por queima a 440 °C, pelo Laboratório Química Ambiental-IPEN, seguindo os procedimentos descritos na NBR n. 13.600¹⁸. Foi determinada a concentração de Carbono orgânico total (COT) pelo laboratório BIOAGRI Ambiental a partir do método de ignição e gravimetria¹⁹ em setembro de 2006, onde também foram realizadas análises de cádmio, cobre, mercúrio, níquel, chumbo, zinco, alumínio, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl, nitrato e nitrito. Os ânions foram determinados segundo protocolos internacionais²⁰, assim como as concentrações de metais²¹, de mercúrio²², de nitrogênio amoniacal, NKT, nitritos e nitratos²³. Os resultados foram analisados de acordo com critérios de classificação da degradação dos sedimentos de rios determinados pela CETESB²⁴ (Tabela 2).

Já as coletas de água ocorreram em agosto de 2004, março, julho, outubro e novembro de 2005; e março e setembro de 2006. Foram coletadas em frascos de polietileno com capacidade de 5 L, previamente descontaminados²⁵, e preservadas sob refrigeração a 4 °C. Os valores de OD e temperatura foram medidos no momento das coletas (*Yellow Springs International*-YSI, modelo portátil). Para a determinação de ânions, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno de 250 mL, previamente descontaminados, e preservadas sob refrigeração a 4 °C²⁵. Para a determinação de metais, imediatamente após a coleta as amostras foram preservadas com HNO₃ 1:1, supra-pur até pH < 2.

Para avaliação da qualidade da água, foram realizados ensaios ecotoxicológicos agudos com *Daphnia similis*, *Daphnia laevis*, *Ceriodaphnia dubia* ou *Ceriodaphnia silvestrii*²⁶, de acordo com a disponibilidade dos organismos em laboratório, e crônicos com *C. silvestrii*²⁷. As amostras foram mantidas em refrigeração a 4 °C e submetidas aos ensaios em menos de 48 horas após as coletas.

Análises dos dados ecotoxicológicos

Para análise dos dados de ecotoxicidade aguda, foram considerados os valores de mortalidade. Para interpretação dos resultados dos ensaios de ecotoxicidade crônica, foi empregada a metodologia sugerida pela agência ambiental

norte-americana²⁸, com o auxílio do programa computacional "TOXSTAT 3.3"²⁹.

Tríade de Qualidade do Sedimento

Com os dados ecotoxicológicos (reprodução de cladóceros e mortalidade de quironomídeos); de contaminação da água e sedimento, e os valores de densidade e riqueza da comunidade bentônica, todos obtidos para setembro de 2006, foi feita uma análise integrativa, a partir da interpretação independente de dados entre as estações, para cada uma das componentes da TQS, seguida da combinação dos resultados qualitativos obtidos para cada componente.

Os dados de contaminação química obtidos para cada amostra foram comparados com os guias de qualidade de sedimento (*Sediment Quality Guidelines*) adotados pela legislação Canadense³⁰. Foram considerados os critérios de comparação dos resultados de acordo com estudos anteriores realizados por Abessa, et al³¹. Para os dados ecotoxicológicos, os critérios de análise seguiram aqueles propostos por CETESB³² para a mortalidade de *Chironomus xanthus*: Não tóxico: 0 a 20% de mortalidade; Ecotoxicidade Moderada: 20 a 50% de mortalidade; Ecotoxicidade forte: mortalidade > 50%. Em relação aos descritores ecológicos, a classificação dos valores obtidos, como indicadores do grau de degradação ambiental, baseou-se no índice desenvolvido para rios²⁴. Os critérios estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Critérios para classificação da degradação de sedimentos baseada na comunidade bentônica²⁴

ÍNDICES	Nível de degradação		
	Mínima	Moderada	Forte
S	> 14	6 -13	< 5
T/DT	> 0,50	0,50 - < 0,75	> 0,75

T/DT: Tolerantes sobre densidade total.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A alta pluviosidade da região propicia lixiviação e erosão do solo, principalmente em São Lourenço da Serra, área crítica quanto aos processos erosivos³¹. Em 2006, a precipitação anual foi de 1.317 mm. O período mais chuvoso foi de outubro a março, sendo janeiro o mês de maior pluviosidade. Entre os meses de abril e setembro, período de seca, a precipitação média foi de 43 mm, sendo que o mês de julho foi o mês que choveu menos. Neste trabalho, foram observadas nas duas coletas, situações isoladas durante o período de estudo. Na coleta de março, apesar do período de verão caracterizado por ser chuvoso em regiões tropicais, o dia da coleta estava frio, e na coleta de setembro, apesar de inverno e período de seca, estava quente e o nível do rio alto pelas chuvas anteriores.

O sedimento foi caracterizado como mineral pelas características granulométricas observadas, com baixa quantidade de matéria orgânica e houve predomínio de silte nos sedimentos provenientes dos pontos SLS 002, SLS 004 e SLS 006, nos meses de março e setembro de 2006 (Figuras 2 e 3). Na Tabela 3 estão apresentados os resultados dos elementos químicos analisados no sedimento. Nos pontos à montante da ETA e da ETE, as concentrações dos metais analisados foram maiores que as encontradas à jusante. Os valores de NTK e nitrato apresentaram concentrações elevadas no ponto à jusante da ETE, sendo na escala de cinco vezes maiores que nos pontos à montante e as concentrações de nitrito foram menores que o limite de quantificação do equipamento.

Figura 2. Distribuição granulométrica das amostras de sedimento do rio São Lourenço, em São Lourenço da Serra-SP, nos meses de março e setembro de 2006, em (%) de areia, silte e argila, segundo escala de Wentworth

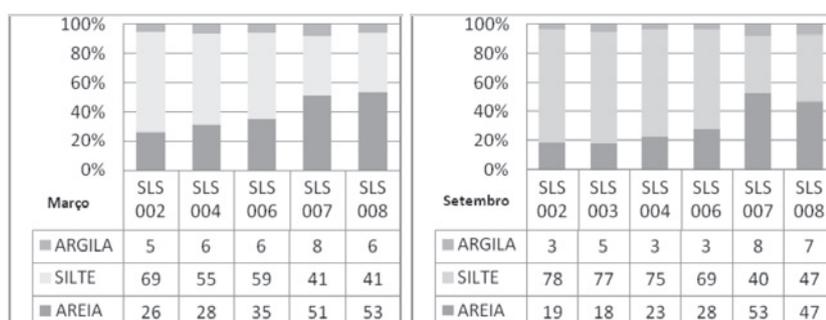


Figura 3. Matéria Orgânica (%) nas amostras de sedimento do rio São Lourenço, em São Lourenço da Serra-SP, em março e setembro de 2006

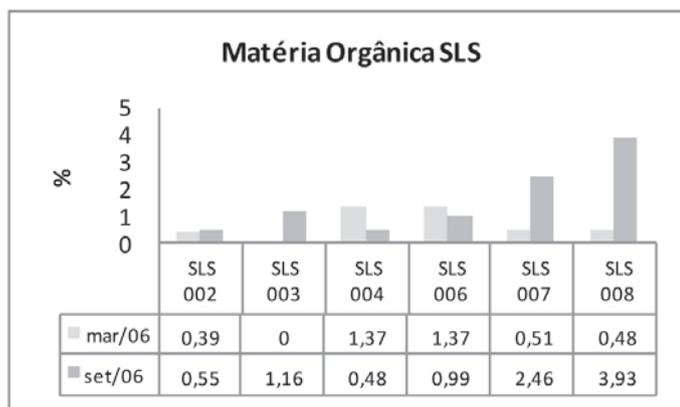


Tabela 3. Concentrações em mg/kg dos elementos analisados no sedimento do rio São Lourenço, em São Lourenço da Serra-SP, à montante e jusante da ETA e ETE em setembro de 2006

Ponto de coleta	Cd	Cr	Cu	Mg	Ni	Pb	Zn	Al	COT (%)	Nitrogênio amoniacal	NTK	Nitrato	Nitrato
ETA													
SLS 002	<LQ	32	21	<LQ	14	29	59	35499	4,2	439	1649	1,7	<LQ
SLS 004	<LQ	13	10	<LQ	6,3	16	39	10672	4,1	211	1995	1,7	<LQ
ETE													
SLS 006	<LQ	12	8,6	<LQ	6,1	9,4	25	15813	4,0	178	1589	1,8	<LQ
SLS 008	<LQ	<LQ	2,1	<LQ	<LQ	0,5	<LQ	463	4,0	224	10887	5,4	<LQ

<LQ: menor que limite de quantificação.

A toxicidade aguda do sedimento do ponto SLS 003 (jusante 10 m da ETA) aponta uma forte influência do descarte da ETA no sedimento (Figura 4), onde foi observado efeito tóxico crônico para a espécie *C. silvestrii*. Os pontos à jusante da ETE (SLS 007 e SLS 008, 10 e 100 m, respectivamente, à

jusante da ETE) provocaram indícios de toxicidade e toxicidade aguda para o organismo *C. xanthus*, na maior parte dos meses amostrados, o que indica a influência do descarte da ETE no sedimento do rio. Nesses pontos também foram observados efeitos crônicos aos organismos testados (Figura 5).

Figura 4. Ecotoxicidade aguda do sedimento para *C. xanthus* (Cx) e *H. azteca* (Ha). < 20% de mortalidade: não tóxico; de 20 a 50% de mortalidade: toxicidade moderada; > 50% de mortalidade: amostra tóxica (CETESB, 2002)

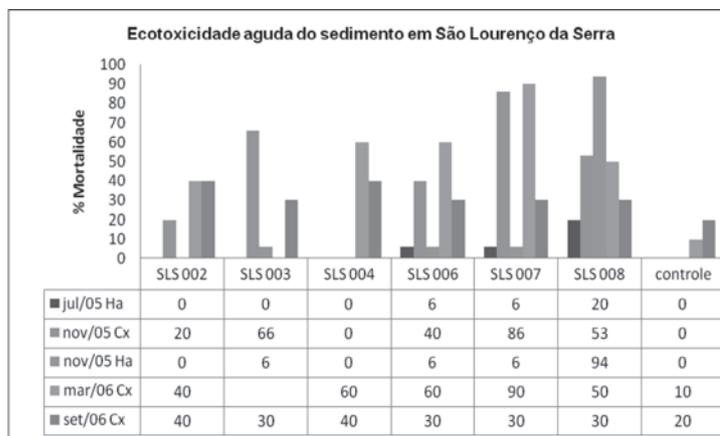
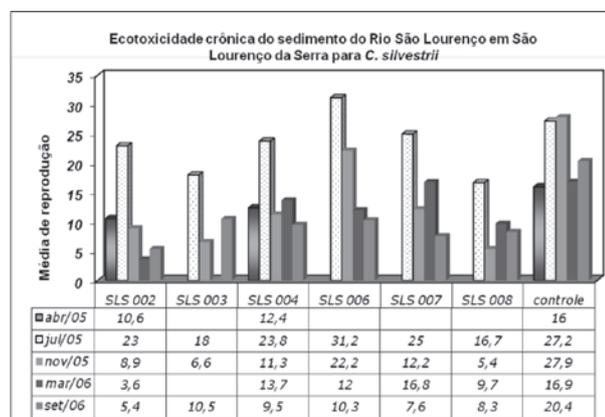


Figura 5. Ecotoxicidade crônica do sedimento para *C. silvestrii* em 2006. A linha no gráfico representa a média de reprodução esperada por fêmea (15 neonatas em 3 posturas)



Com relação à qualidade da água do rio, a partir de medidas pontuais, foi observado que os teores de oxigênio dissolvido da água do rio São Lourenço não apresentaram grandes variações durante os meses de coleta, principalmente em relação aos efluentes das estações de tratamento de esgoto, permanecendo dentro dos valores estabelecidos para proteção da vida aquática¹. Essa condição é favorecida por uma das características de ambientes lóticos, onde a correnteza e as corredeiras favorecem a oxigenação do rio^{33,34}, o que

favorece as condições fisiológicas de sobrevivência dos organismos aquáticos que são sensíveis a falta de oxigênio. Não foi verificada influência do descarte das estações de tratamento na temperatura do rio para esse parâmetro, comparando-se as amostras à montante e jusante do efluente.

Segundo Wetzel e Likens³⁵, a condutividade elétrica é a medida da capacidade de condução de corrente elétrica no ambiente aquoso, sendo proporcional à concentração de certos íons, principalmente cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonatos, sulfatos e os cloretos. Quando a lagoa da ETE de São Lourenço da Serra apresenta odor desagradável, devido à intensa atividade de decomposição biológica, e conseqüentemente acidificação, é lançada cal na estação de tratamento, aumentando o nível de carbonatos no efluente. Os valores de pH do rio no mês de setembro de 2006 apresentaram maiores variações comparados com o mês de março e apenas após o lançamento da ETE o pH se elevou alcançando o valor de 6,0. Pode ser observado o comportamento das variáveis condutividade e oxigênio dissolvido, em setembro, nos pontos à jusante da ETE, indicando uma possível consequência do aporte de matéria orgânica, quando se observa o aumento das concentrações de fósforo na coluna d'água (Tabela 4).

Tabela 4. Temperatura, oxigênio dissolvido e pH, condutividade e dureza das águas do rio São Lourenço (São Lourenço da Serra-SP), em março e setembro de 2006

ETA	Temperatura (°C)		OD (mg.L ⁻¹)		pH		Condutividade (µS.cm ⁻¹)		Dureza (média)	
	mar	set	mar	set	mar	set	mar	set		
SLS 002	15	18,4	8,4	8,0	6,4	5,9	34	45	5	
SLS 003	15	18,8	8,2	7,8	6,4	5,7	36	50	8	
SLS 004	15	18,9	8,2	7,5	6,6	5,6	37	50	7	
ETE										
SLS 006	16	19,0	8,0	7,1	6,7	5,8	40	53	<5	
SLS 007	15	19,3	7,8	7,0	6,2	6,1	45	57	5	
SLS 008	15	19,1	7,8	6,6	6,4	6,0	42	67	5	
CONAMA	357/05		> 6 mg.L ⁻¹ O ₂		6,0 a 9,0					

Foi observada toxicidade aguda nas amostras de água coletadas à jusante da ETA (Figuras 6 e 7) em ago/04 e set/06. Já os pontos imediatamente à montante e jusante da ETE não apresentaram toxicidade. Os efluentes das ETA possuem características instáveis advindas dos fenômenos naturais, como por exemplo, o aporte de material alóctone nos rios. Logo, a toxicidade do corpo d'água pode variar ao longo de um mesmo dia ou

ter influência sazonal, principalmente por se tratar de ambiente lótico. De acordo com Cornwell, et al³⁶, os resíduos de estações de tratamento de água (ETA) são potencialmente tóxicos e deletérios aos microcrustáceos (*Daphnia similis*) e quironomídeos (*Chironomus xanthus*), componentes significativos das comunidades bentônicas e planctônicas, importantes na alimentação de peixes.

Figura 6. Ecotoxicidade aguda da água para *C. dubia* (Cd); *Daphnia laevis* (DI); *C. silvestrii* (Cs) e *Daphnia similis* (Ds), expressa em porcentagem de mortalidade por amostra

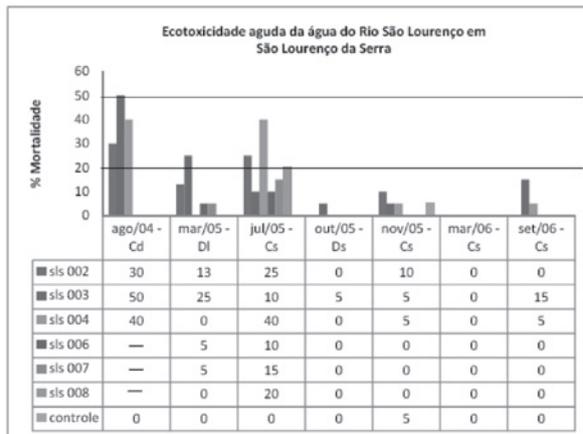
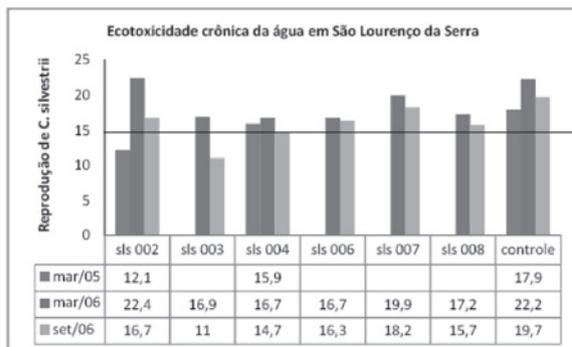


Figura 7. Ecotoxicidade crônica da água para *C. silvestrii* expressa em média de neonatas por amostra. A linha no gráfico representa a média de fecundidade esperada por fêmea (15 neonatas e 3 posturas)



Em relação às assembleias da macrofauna bentônica, foi observada a relação da presença das espécies principalmente com o substrato, a temperatura e pH. O período que apresentou menor densidade de organismos, setembro de 2006, foi também o período mais frio (não no momento da coleta, mas nos períodos anteriores), além de ter apresentado os menores valores de pH (abaixo de 6), condições limitantes para o desenvolvimento dos organismos. Em setembro, como detectado, o substrato apresentava algumas características alteradas se comparadas com as verificadas em março.

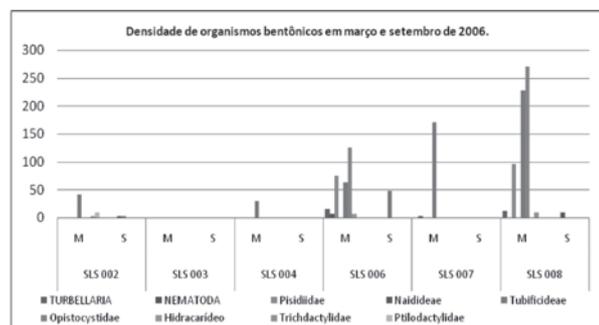
A riqueza de organismos bentônicos encontrados no sedimento do rio São Lourenço foi baixa, com exceção do ponto SLS 006 em março,

onde foram encontrados seis *taxas*, o que, pelos critérios para avaliação da degradação em rios propostos pela CETESB²⁴, indicam degradação moderada. Outro ponto que teve maior valor de riqueza, também em março, foi o ponto SLS 008, com cinco *taxas*, indicando degradação forte, assim como todos os outros pontos nos dois meses de coleta.

Os Tubificídeos foram os mais abundantes neste trabalho, em todos os pontos coletados nos dois períodos (Figura 8). A dominância dessa família também foi evidenciada por Reis, et al³⁷, ao estudar a comunidade bentônica no rio Ribeira de Iguape-SP, e Henrique³⁸, que avaliou a macrofauna bentônica do mesmo rio, ambiente com sedimentos finos e com fortes evidências de contaminação antrópica. Esses organismos também foram encontrados por no rio Paraná³⁹ e em ambientes lóticos com forte correnteza, arenosos e com pouca matéria orgânica⁴⁰, evidenciando a forte capacidade de adaptação do grupo. Nos resultados obtidos neste trabalho, com relação à distribuição e densidade dos organismos, à montante e jusante da ETA de São Lourenço da Serra, observa-se uma possível influência na comunidade bentônica, pois à jusante, a presença de indivíduos foi a metade encontrada à montante, em março, e, em setembro, nenhum organismo foi encontrado à jusante da ETA. Logo, isso pode ser ocasionado provavelmente às características desinfetantes do efluente da ETA e compostos não detectados pelas análises químicas, pois foi verificada toxicidade do sedimento no ponto SLS 003 (10 m jusante). Nos resultados de Reis, et al³⁷, foi evidenciado alteração no bentos à jusante do descarte da ETA de Registro, com menores densidades e riquezas de organismos, corroborando os resultados obtidos, evidenciando que o efluente da ETA causa impacto na comunidade bentônica. Já nos pontos à jusante da ETE, em março, observa-se um decréscimo na densidade dos macroinvertebrados no ponto logo após o descarte (ponto 007). No ponto à jusante (100 metros) observa-se um aumento considerável no número de organismos encontrados. O acúmulo de nutrientes no ponto à jusante da ETE pode ser responsável pelo aumento da densidade dos organismos devido às maiores contrações de compostos orgânicos. Cabe lembrar que a ETE também faz a cloração

do efluente final, antes de ser lançado ao rio, promovendo a eliminação dos organismos no ponto jusante imediatamente após o lançamento. Esse fato é esperado devido à proximidade dos pontos de amostragem com a fonte de poluição.

Figura 8. Densidade de organismos bentônicos (org/m²) nos pontos ao longo do rio São Lourenço, em São Lourenço da Serra em março e setembro de 2006



O mês de março apresentou as maiores densidades de organismos. Esse resultado, evidenciado no verão, provavelmente está relacionado às

temperaturas mais altas, pois como já discutido, a temperatura acelera o metabolismo dos organismos e contribui para o desenvolvimento destes.

Em geral, a densidade de organismos foi baixa, corroborando a indicação de condição ambiental alterada no rio São Lourenço. Long, et al⁴¹, observaram que a toxicidade do sedimento esteve diretamente relacionada à menor riqueza e à baixa abundância das comunidades bentônicas.

Na aplicação da Tríade da Qualidade de Sedimentos (Tabela 5), segundo a interpretação das tabelas de decisão propostas por Chapman⁴², as alterações encontradas no rio São Lourenço não são devidas à presença de tóxicos no meio, já que não foi apresentada toxicidade aguda do sedimento em setembro de 2006, mas por outro lado, a caracterização da comunidade bentônica apresentou índices de ambiente degradado, podendo ser efeito de interações entre espécies e ou outros fatores não medidos (inclusive contaminantes). Nesse caso, pode-se atribuir a falta de organismos pela perturbação antrópica do ambiente.

Tabela 5. Tabela de decisão integrando informações sobre qualidade de sedimentos no rio São Lourenço (São Lourenço da Serra-SP), em setembro de 2006

Ponto de coleta	Contaminação química	Toxicidade	Alteração na comunidade bentônica	Possível conclusão
SLS 002	-	-	+	Alterações não são devidas à presença de tóxicos no meio, podendo ser efeito de interações entre espécies e ou outros fatores.
SLS 004	-	-	+	Idem
SLS 006	-	-	+	Idem
SLS 008	-	-	+	Idem

CONCLUSÃO

A partir da integração dos resultados de cada componente da SQT, sugere-se que o ponto SLS 008 é o mais degradado no ponto de vista ambiental, e que os pontos SLS 002 e 006 (montante da ETA e ETE respectivamente) são os pontos com menor degradação. O uso combinado de métodos de integração de dados facilita a interpretação dos resultados, pois uti-

liza o conceito de "peso de evidência", que é o pilar fundamental da tríade de qualidade de sedimentos⁴³.

No caso do rio São Lourenço, já se observa melhoras devido à transposição do descarte da ETA para a ETE de São Lourenço da Serra, o que é justificado pela capacidade natural de autodepuração dos rios, tornando possível uma recuperação do rio nesse trecho, após o controle (pelo menos parcial) das fontes poluidoras.

REFERÊNCIAS

1. CONAMA. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. DOU 18 de março de 2005, 53: 58-63.
2. Mozeto AA, Umbuzeiro GA, Jardim WF. Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce. São Carlos (SP): Ed. Cubo; 2006.
3. Sperling MV. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2a ed. Belo Horizonte: SEGRAC; 1996. 243 p.
4. PROSAB. Noções gerais de tratamento e disposição final de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES; 1999.
5. USEPA. United States Environmental Protection Agency. Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites. Ohio: USEPA; 2005. (EPA-540-R-05-012)
6. Burton GA. Assessing contaminated aquatic sediments. Environ Sci Technol. 1992;26(10):1862-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/es00034a613>
7. CETESB. Relatório de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo 2000. São Paulo: CETESB; 2001.
8. USEPA. United States Environmental Protection Agency. Using Biological Criteria to Assess and Classify Urban Streams and Develop Improved Landscape Indicators. Yoder CO, Miltner RJ, editors. Ohio: USEPA; 2000. (EPA/625/R-00/001)
9. ASTM. American Society for Testing and Materials. Test Method for Measuring the Toxicity of Sediment-Associated Contaminants with Fresh Water Invertebrates, E1706-00. West Conshohocken (PA): Annual Book of ASTM Standards; 2000.
10. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15470. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade em sedimento – Método de ensaio com *Hyalella spp.* (Amphipoda). Rio de Janeiro; 2007. 20 p.
11. Edmondson WT. Fresh-Water Biology. 2nd ed. New York: John Wiley; 1959. p. 1248.
12. Righi G. Manual de identificação de invertebrados límnicos do Brasil. Brasília: CNPq / Coordenação Editorial; 1984. 48 p.
13. Pennak RW. Fresh-water invertebrates of the United States: protozoa to Mollusca. 3rd ed. California: Wiley-Interscience Publication; 1989. 628 p.
14. Trivinho-Strixino S, Strixino G. Larvas de Chironomidae (Diptera) do Estado de São Paulo: guia de identificação e diagnose dos gêneros. São Carlos (SP): PPG-ERN/UFSCar; 1995. 229 p.
15. Brinkhurst RO, Marchese MR. Guía para la identificación de oligoquetos acuáticos continentales de sud y Centro América. Santo Tomé: Asociación de Ciencias Naturales del Litoral; 1991. 207 p.
16. Simone LRL. Land and freshwater molluscs of Brazil: an illustrated inventory on the Brazilian Malacofauna, including neighbor regions of the South America, respect to the terrestrial and freshwater ecosystems. São Paulo: FAPESP; 2006. 390 p.
17. CETESB (São Paulo). Norma Técnica L6.160 – Sedimentos: determinação da distribuição granulométrica – método de ensaio. São Paulo: CETESB; 1995. 15 p.
18. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR 13600. Determinação de teor de matéria orgânica por queima a 440 °C. Norma Técnica. (NBR 13600). Rio de Janeiro: ABNT; 1996.
19. Camargo OA, Moniz AC, Jorge JA, Valadares JMAS. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas (SP): Instituto Agrônomo; 2009. 77 p.
20. USEPA. United States Environmental Protection Agency. Method 300.1, Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography, Revision 1.0; National Exposure Research Laboratory. Ohio: USEPA; 1997.
21. USEPA. United States Environmental Protection Agency. Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy Method 6010, SW-846 Test Methods for Evaluating Solid Waste, 3rd Edition. Ohio: USEPA; 1986.
22. USEPA. United States Environmental Protection Agency. Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry. EPA-821-R-05-001. Washington (DC): USEPA; 2005.
23. APHA. American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environment Federation (APHA/AWWA/WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 4500. Washington (DC): APHA; 1999.
24. CETESB (São Paulo). Sedimentos em redes de monitoramento. Relatório Técnico. São Paulo: CETESB; 2007. 178 p.
25. Laxen DPH, Harrison RM. Cleaning methods for polythene containers prior to the determination of trace metals in fresh water samples. Anal Chem. 1981;53(2):345-50. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ac00225a051>
26. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12713. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio *Daphnia spp.* (Cladocera, Crustacea). Rio de Janeiro: ABNT; 2009.
27. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13373. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com *Ceriodaphnia spp.* (Cladocera, Crustacea). Rio de Janeiro: ABNT; 2010.
28. USEPA. United States Environmental Protection Agency. Short-term Methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms. 4th ed. EPA- 821-R-02-013. Washington (DC): USEPA; 2002.
29. Gulley DD, Boelter AM, Bergman HL. Toxstat 3.3. Computer Program. Laramie (WY): University of Wyoming; 1991.
30. CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables. In: CCME. Canadian environmental quality guidelines. Winnipeg (CA): Canadian Council of Ministers of the Environment; 1999.

31. Abessa DMS, Carr RS, Souza ECPM, Rachid BR, Zaroni LP, Gasparro M, et al. Integrative ecotoxicological assessment of contaminated sediments in a complex tropical estuarine system. In: Hoffer TN, editor. Marine Pollution: New Research. New York: Nova Science Publishers Inc; 2008. p. 125-59.
32. CETESB (São Paulo). Relatório de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo 2001. São Paulo: CETESB; 2002.
33. CETEC. Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação. Relatório zero: relatório de situação dos recursos hídricos da UGRHI-11. São Paulo: CETEC; 2002.
34. Shaefer A. Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das águas continentais. Porto Alegre: EDURGS; 1985. 532 p.
35. Wetzel RA, Likens GE. Limnological Analyses. 2nd ed. New York: Springer-Verlag; 1991. 391 p.
36. Cornwell DA, Bishop MM, Gould GR, Vandermeiden C. Handbook of Practice – Water Treatment Plant Waste Management. Denver (US): American Water Works Association; 1987.
37. Reis ELT, Cotrim MEB, Rodrigues C, Pires MAF, Beltrame Filho O, Rocha SM, Cutolo SA. Identificação da influência do descarte de lodo de estações de tratamento de água. Quím Nova. 2007;30(4):865-72. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000400020>
38. Henrique RM. Avaliação da qualidade ambiental do rio Ribeira de Iguape (SP, Brasil) através do estudo de macrofauna bentônica [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências; 1998.
39. Takeda AM. Oligochaeta community of alluvial Upper Paraná River, Brazil: spatial and temporal distribution (1987-1988). Hydrobiologia. 1999;412:35-42.
40. Marchese M. Population dynamics of *Narapa bonettoi* Righi and Varela, 1983 (Oligochaeta, Narapidae) from the main channel of the Middle Paraná River, Argentina. Hydrobiologia. 1994;278(1-3):303-8.
41. Long ER, Hong CB, Severn CG. Relationships between acute sediment toxicity in laboratory tests and abundance and diversity of benthic infauna in marine sediments: a review. Environ Toxicol Chem. 2001;20(1):46-60. DOI: [http://dx.doi.org/10.1897/1551-5028\(2001\)020<0046:rbasti>2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1897/1551-5028(2001)020<0046:rbasti>2.0.co;2)
42. Chapman PM. The sediment quality triad approach to determining pollution-induced degradation. Sci Total Environ. 1990;97-98:815-25. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697\(90\)90277-2](http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697(90)90277-2)
43. Damato M, Barbieri E. Estudo da Toxicidade aguda e alterações metabólicas provocadas pela exposição do Cádmiu sobre o peixe *Hyphessobrycon callistus* utilizado como indicador de saúde ambiental. Mundo Saúde. 2012;36(4):574-81.