

## AValiação Toxicológica de Ambientes Aquáticos: Importância da Análise em Sedimento

THAÍS VILELA SILVA<sup>1</sup> , CAROLINA SAMPAIO MACHADO<sup>1</sup> , GUILHERME SGOBBI ZAGUI<sup>1</sup> , GABRIEL PINHEIRO MACHADO<sup>1</sup> ,  
ANDRÉ FERNANDO DITONDO MICAS<sup>2</sup> , EDUARDO ANGELINO SAVAZZI<sup>2</sup> , SUSANA INÉS SEGURA-MUÑOZ<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Laboratório de Ecotoxicologia e Parasitologia Ambiental, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.

<sup>2</sup>Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Divisão de Laboratório. Av. Presidente Kennedy, 1760, Nova Ribeirânia, 14096-350, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. Participou da realização de análises e da revisão do manuscrito.

\* Autor para correspondência: [susis@erp.usp.br](mailto:susis@erp.usp.br)

Recebido em 12 de janeiro de 2020. Aceito em 06 de março de 2020. Publicado em 31 de março de 2020.

**RESUMO** - A contaminação dos recursos hídricos pode afetar a saúde humana e ambiental. Em ambientes aquáticos, os sedimentos são relevantes para a sobrevivência da biota. No entanto, a maioria dos contaminantes se encontra armazenada nessa matriz, representando riscos para os organismos. A toxicidade aguda de sedimento e água superficial foi avaliada utilizando a bactéria *Vibrio fischeri*, por meio do sistema Microtox®. As amostras foram coletadas ao longo do Rio Pardo, São Paulo, Brasil, durante as estações chuvosa e seca. Nos sedimentos, foram detectadas significativas porcentagens de CE<sub>20</sub>, com predominância de concentração Tóxica e Muito Tóxica. Não foi verificada toxicidade aguda à bactéria nas análises realizadas com as amostras de água. Em conclusão, a presença de compostos tóxicos no sedimento do Rio Pardo indica que há impacto ambiental iminente e o acúmulo desses contaminantes nessa matriz é mais significativo quando comparado à água. Portanto, as amostras de sedimento analisadas mostraram que essa matriz retrata de maneira mais confiável a qualidade do ecossistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Testes de toxicidade; *Vibrio fischeri*; sedimento; água superficial.

### TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF AQUATIC ENVIRONMENTS: THE IMPORTANCE OF SEDIMENT ANALYSIS

**ABSTRACT** - Water resources contamination can affect human and environmental health. In aquatic environments, sediment is relevant to biota survival. However, most contaminants are stored in this matrix, posing risks to organisms. Acute sediment and surface water toxicity was evaluated using the *Vibrio fischeri* bacteria, using the Microtox® system. Samples were collected along the Pardo River, São Paulo, Brazil, during the rainy and dry seasons. In sediments, significant percentages of CE<sub>20</sub> were detected, with predominance of Toxic and Very Toxic concentration. Acute bacterial toxicity was not found in the analysis performed with the water samples. In conclusion, the presence of toxic compounds in the Pardo River sediment indicates that there is an imminent environmental impact and the accumulation of these contaminants in this matrix is more significant when compared to water. Therefore, the sediment samples analyzed showed that this matrix more accurately portrays the quality of the ecosystem.

**KEY WORDS:** Toxicity tests; *Vibrio fischeri*; sediment; surface water.

### EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA DE AMBIENTES ACUÁTICOS: IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

**RESUMEN** - La contaminación de los recursos hídricos puede afectar la salud humana y ambiental. En ambientes acuáticos, los sedimentos son relevantes para la supervivencia de la biota. Sin embargo, la mayoría de los contaminantes se almacenan en esta matriz, lo que plantea riesgos para los organismos. Se evaluó la toxicidad aguda de sedimento y agua superficiales

utilizando la bacteria *Vibrio fischeri* por medio del sistema Microtox®. Se recolectaron muestras a lo largo del Río Pardo, São Paulo, Brasil, durante las estaciones lluviosas y secas. En los sedimentos, se detectaron porcentajes significativos de CE20, con predominio de la concentración tóxica y muy tóxica. No se verificó toxicidad aguda para la bacteria en los análisis realizados con las muestras de agua. En conclusión, la presencia de compuestos tóxicos en el sedimento de Río Pardo indica que existe un impacto ambiental inminente y la acumulación de estos contaminantes en esta matriz es más significativa en comparación con el agua. Por lo tanto, las muestras de sedimento analizadas mostraron que esta matriz retrata con mayor precisión la calidad del ecosistema.

**PALABRAS CLAVE:** Pruebas de toxicidad; *Vibrio fischeri*; sedimentos; aguas superficiales.

## INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional e a expansão agrícola e industrial nas últimas décadas demandaram maior utilização dos recursos hídricos, o que também causou a degradação dos ambientes aquáticos (Bertoldo et al. 2016). Ações antrópicas, como: (a) o lançamento de efluentes; (b) a disposição de resíduos sólidos e (c) a infiltração de lixiviados, contribuem para a contaminação dos corpos de água com agentes patogênicos e resíduos químicos, o que compromete a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, afetando a saúde e a segurança da população (Clavijo et al. 2016; Lenart-Boroń et al. 2017).

Nos ambientes aquáticos, os sedimentos desempenham um importante papel como fonte de alimento e habitat para diversas espécies. Ocorre que grande parte dos compostos tóxicos se encontra também armazenada nessa matriz, representando riscos aos organismos presentes na microfauna aquática (Schepis et al. 2016; Eraso et al. 2017). O sedimento pode atingir concentrações de poluentes superiores quando comparadas às da coluna de água, representando uma matriz essencial para a avaliação da contaminação (Tarnawski and Baran 2018).

Na busca por ferramentas eficientes para avaliação de toxicidade no meio aquático, diversas técnicas de análise têm sido utilizadas nos últimos anos, tais como cromatografia líquida e gasosa e bioensaios com crustáceos, peixes e bactérias (Boehler et al. 2017; Blanco et al. 2018). Os bioensaios apresentam maior facilidade de execução, menor tempo de operação e custo, e foram, portanto, introduzidos para superar as limitações associadas a outros métodos de análises. Os bioensaios são utilizados para analisar o efeito tóxico de resíduos químicos, bem como a qualidade das matrizes ambientais quanto à toxicidade para organismos bioindicadores (Albinati et al. 2016). Entre esses se destaca o bioensaio com a bactéria *Vibrio fischeri*, com boa reprodutibilidade, rapidez e simplicidade de execução, que levaram vários países do mundo a adotar o seu uso como bioindicador no monitoramento de sedimentos e águas (Rosa et al. 2016).

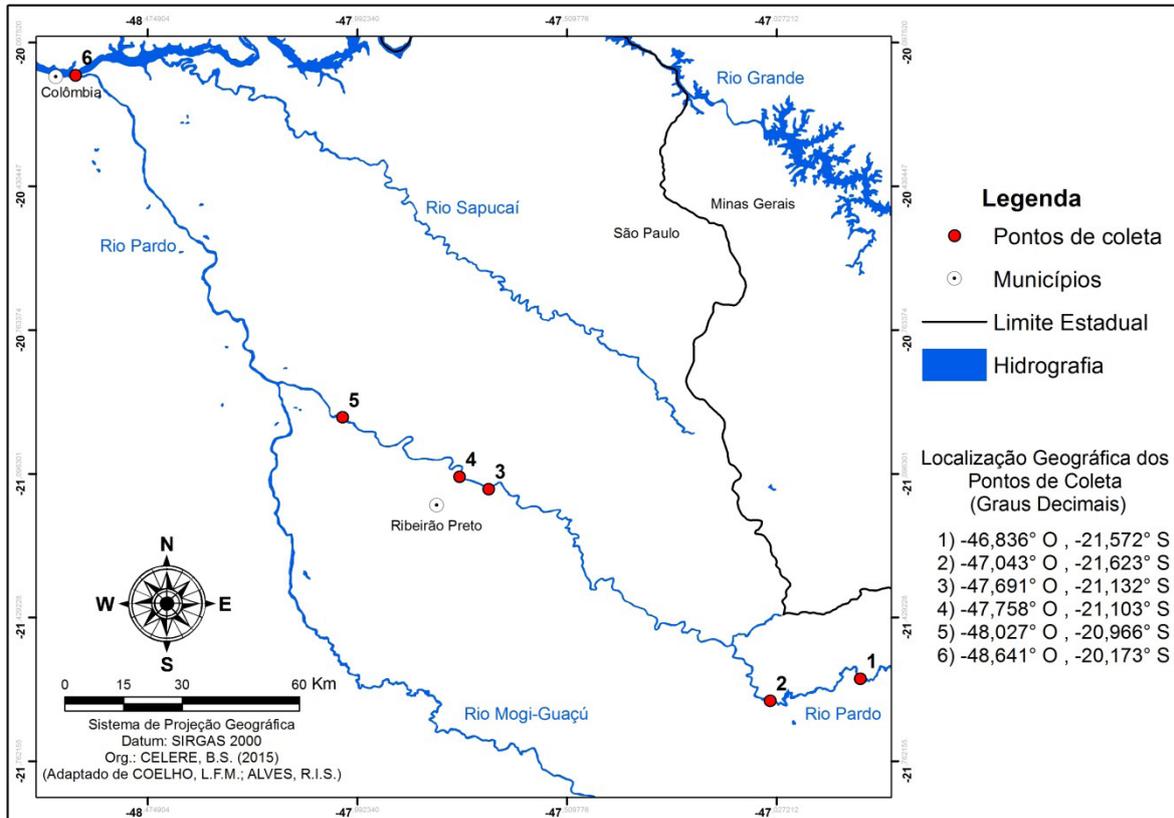
A avaliação toxicológica de sedimentos e de água superficial tem se destacado como um importante instrumento para identificação de poluentes nos corpos hídricos, principalmente em territórios de intensivo cultivo agrícola e alta densidade populacional, cuja execução deve preceder a tomada de decisões voltadas ao combate à poluição (Schreiber et al. 2018). Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a toxicidade de amostras de sedimento e de água superficial para a espécie *Vibrio fischeri*, e comparar a sensibilidade dessas duas matrizes ambientais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O Rio Pardo, São Paulo, Brasil, está inserido na Bacia Hidrográfica do Pardo (UGRHI 04), que abrange 27 municípios, possui área de drenagem de 8.993 km<sup>2</sup> e população de 1.092.477 habitantes (SIGRH 2019). A região se destaca pela alta produtividade de cana-de-açúcar, destinada à produção de etanol e açúcar, em especial para

o mercado externo (Machado et al. 2017). A maior extensão desse recurso hídrico (84%) localiza-se no Estado de São Paulo, onde cidades o utilizam para abastecimento público, recreação de contato primário, atividades de pesca e navegação (Machado et al. 2017). Foram selecionados seis pontos de amostragem no Rio Pardo, próximos a propriedades rurais e alguns frequentemente utilizados para abastecimento público e recreação. Os pontos de amostragem, no Rio Pardo, estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Pontos de amostragem no Rio Pardo, São Paulo, Brasil.



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2016).

As amostras de sedimento e de água superficial foram coletadas na estação chuvosa, em fevereiro (índice pluviométrico: 226,7 mm mensal e 54,1 mm na semana de amostragem), e na estação seca, em agosto (índice pluviométrico: 35,7 mm mensal e 5,1 mm na semana de amostragem), no ano de 2016 (CIIAGRO, 2020). A coleta e preservação das amostras ocorreram de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA 1998),

As amostras de sedimento foram armazenadas a  $-18^{\circ}\text{C}$  e enviadas, sob refrigeração, para o *Laboratorio de Salud Medio Ambiental y Toxicología* da *Universidad Rovira i Virgili*, Tarragona, Espanha. O ensaio de toxicidade aguda de extrato aquoso do sedimento com *Vibrio fischeri* foi realizado seguindo metodologia padronizada pela ISO 11348-1:2007 (ISO 2007). O extrato aquoso do sedimento foi obtido por sistema de filtração a vácuo (200 g), utilizando filtros 0,45  $\mu\text{m}$  (Millipore) (Roig et al. 2011). Para o teste foi utilizado uma solução de 1800  $\mu\text{L}$  de extrato aquoso e 200  $\mu\text{L}$  de NaCl 22%. O efeito inibitório da emissão de luminescência de *Vibrio fischeri* foi medido no momento inicial (0 min) e após 15 minutos de exposição.

As amostras de água foram congeladas a  $-10^{\circ}\text{C}$  até o momento da análise (ABNT 2007; ABNT 2012). O ensaio de toxicidade aguda de água superficial com *Vibrio fischeri* foi realizado na Divisão de Laboratório de Ribeirão Preto, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, seguindo metodologia padronizada pela ABNT NBR 15411-3/2012 (ABNT 2012). As bactérias liofilizadas (Acute Reagent, Microtox - Modern Water) foram reidratadas com 1000  $\mu\text{L}$  da solução de reconstituição (Azur Environmental, EUA) e uma alíquota de 100

$\mu\text{L}$  da suspensão bacteriana foi avaliada quanto à emissão de bioluminescência antes de ser exposta às amostras (0 min). As amostras foram submetidas a ajuste osmótico, com 200  $\mu\text{L}$  de NaCl 22%, obtendo concentração final de 81,90%, e 900  $\mu\text{L}$  das amostras foram adicionados à suspensão bacteriana. Transcorridos 15 min de exposição da bactéria à amostra, foi realizada a releitura para avaliar o potencial toxicológico.

Os dados obtidos no ensaio de toxicidade aguda com *Vibrio fischeri* foram analisados no software Microtox Omni Windows Software®. Em casos de toxicidade inicial (perda da luminescência), diluíram-se as amostras em concentrações de 45%, 22,5%, 11,25% e 5,625% para determinação da Concentração Efetiva média 20% ( $\text{CE}_{20}$ ) do agente tóxico que causa redução da bioluminescência em 20%. Os resultados foram expressos em  $\text{CE}_{20}$  (15 min.) e classificados em quatro categorias, de acordo com Coleman and Qureshi (1985).

Como controle de qualidade, foram utilizados 100  $\mu\text{L}$  da bactéria liofilizada e diluições seriadas de sulfato de zinco heptahidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). A luminescência foi mensurada antes e após 15 min de contato entre a bactéria e as diluições no Analisador de Toxicidade Sistema Microtox Modelo 500, Software Microtox Omni (Azur Environmental, USA). Os resultados expressos em Concentração Efetiva (CE) apresentaram-se dentro da faixa de aceitação de 3,000 e 10,000 mg/L (estação chuvosa: 5,913 mg/L,  $\text{IC}_{95\%}$  [4,529 - 7,720]; estação seca: 5,059 mg/L,  $\text{IC}_{95\%}$  [3,629 - 7,052]).

Para a avaliação entre os efeitos inibitórios das estações chuvosa e seca foi utilizado o teste estatístico não-paramétrico Mann-Whitney no programa estatístico SPSS 25.0, considerando  $p < 0,05$  como diferença estatisticamente significativa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está apresentada a luminescência emitida pela bactéria *Vibrio fischeri*, antes e após a exposição ao extrato aquoso do sedimento do Rio Pardo, bem como o respectivo efeito inibitório nas estações chuvosa e seca.

**Tabela 1. Luminescência emitida pela bactéria *V. fischeri*, antes e após a exposição ao extrato aquoso do sedimento do Rio Pardo e o efeito inibitório nas estações chuvosa e seca.**

Ponto amostral	Concentração amostra (%)	Estação chuvosa			Estação seca			p-valor
		L. 0 min (%)	L. 15 min (%)	E.I. (%)	L. 0 min (%)	L. 15 min (%)	E.I. (%)	
1	5,625	82	69	3,42	96	77	13,34	< 0,05
	11,25	82	68	4,82	92	64	24,84	
	22,50	89	69	11,02	108	58	41,98	
	45,00	98	64	25,05	91	38	54,88	
2	5,625	68	52	17,38	98	80	7,41	> 0,05
	11,25	70	49	24,37	100	71	19,48	
	22,50	67	42	32,27	94	60	27,61	
	45,00	94	44	49,43	94	46	44,50	
3	5,625	96	84	5,46	119	105	1,26	> 0,05
	11,25	92	72	15,44	108	82	15,04	
	22,50	108	68	31,97	86	56	27,13	
	45,00	91	47	44,20	104	52	44,05	

Ponto amostral	Concentração amostra (%)	Estação chuvosa			Estação seca			p-valor
		L. 0 min (%)	L. 15 min (%)	E.I. (%)	L. 0 min (%)	L. 15 min (%)	E.I. (%)	
4	5,625	93	83	8,70	105	97	2,86	> 0,05
	11,25	90	72	18,16	103	89	9,14	
	22,50	107	71	32,12	102	73	24,74	
	45,00	119	63	45,84	102	58	40,21	
5	5,625	86	54	9,81	83	80	6,66	> 0,05
	11,25	93	42	35,13	96	89	10,22	
	22,50	93	36	44,40	90	72	22,53	
	45,00	77	29	45,90	120	80	35,44	
6	5,625	89	82	8,92	94	93	7,00	> 0,05
	11,25	78	67	15,09	96	83	18,73	
	22,50	95	65	32,37	99	73	30,69	
	45,00	92	43	53,80	102	55	49,31	

L. 0 min. = Luminescência Inicial. L. 15 min. = Luminescência Final. E.I. = Efeito Inibitório

Os dados permitem observar diferença estatisticamente significante ( $p < 0,05$ ) entre os efeitos inibitórios (E.I.) no ponto 1, em que a perda da luminescência na estação seca foi superior quando comparada à estação chuvosa. No entanto, observou-se que, nos demais pontos, o efeito inibitório na estação seca foi inferior em relação à estação chuvosa, fato este que pode ser explicado pelo processo de lixiviação de poluentes em consequência das chuvas. É possível observar que à medida que aumentou a concentração do extrato aquoso do sedimento (amostra), aumentaram também os efeitos inibitórios (%) da luminescência da população bacteriana exposta.

A partir dos resultados do efeito inibitório, foi calculada a  $CE_{20}$  e realizada a classificação de toxicidade do extrato aquoso do sedimento, de acordo com Coleman and Qureshi (1985) (Tabela 2).

**Tabela 2. Concentração Efetiva Média ( $CE_{20}$ ), após 15 min de exposição da bactéria *V. fischeri* ao extrato aquoso do sedimento do Rio Pardo, coletado na estação chuvosa e seca.**

Período amostral	Ponto amostral	$CE_{20}$ (%)	Intervalo de Confiança 95%	Classificação do teste de toxicidade *
Estação Chuvosa	1	36,79	27,56 - 49,10	Tóxico
	2	7,836	4,877 - 12,59	Muito Tóxico
	3	15,89	10,91 - 23,17	Muito Tóxico
	4	13,26	10,89 - 16,14	Muito Tóxico
	5	9,902	2,506 - 39,13	Muito Tóxico
	6	13,22	10,43 - 16,74	Muito Tóxico

Estação Seca	1	8,729	6,716 - 11,35	Muito Tóxico
	2	14,46	9,754 - 21,45	Muito Tóxico
	3	15,52	15,27 - 15,70	Muito Tóxico
	4	20,69	7,416 - 57,70	Muito Tóxico
	5	20,78	15,37 - 28,09	Muito Tóxico
	6	13,93	10,61 - 18,29	Muito Tóxico

\*Classificação do teste de toxicidade de acordo com Coleman and Qureshi (1985).

O extrato aquoso do sedimento do Rio Pardo foi classificado como Tóxico e Muito Tóxico em ambas as estações do ano. A toxicidade detectada pode estar relacionada com o processo de expansão industrial, com a extensiva atividade agrícola e com a existência de importantes centros urbanos no nordeste do estado de São Paulo, cujos efluentes drenam para os cursos de água que compõem a bacia hidrográfica (SIGRH 2019).

O extrato aquoso da maioria dos pontos de amostragem foi classificado como Muito Tóxico, em ambas as estações do ano (Tabela 2). Próximo a esses pontos há usinas de açúcar e álcool, com extensa produção de cana-de-açúcar (DOSP 2015), o que é relevante considerando que o Brasil é o país que mais utiliza pesticidas em seus processos de produção (Miorin et al. 2016).

Entre os pesticidas de maior uso canavieiro no Brasil, destacam-se o acetocloro, ametrina, amicarbazona, atrazina, carbofurano, clomazona, diuron, glifosato, hexazinona, imazapique, imazapir, imidacloprido, metribuzim, MSMA, paraquate, picloran, simazina, s-metolaclo, sulfentrazone, tebuthiuron, tiametoxam, trifloxissulfurom sódico, trifluralina, e 2,4-D (Beda 2014). Esses compostos apresentam elevada toxicidade, persistência no ambiente e alta mobilidade, evidenciando a necessidade de monitoramento em águas superficiais e subterrâneas que podem ser impactadas pelas práticas agrícolas locais (Beda 2014; Carvalho et al. 2019). Determinados tipos de agrotóxicos, ao atingirem o meio ambiente aquático, oferecem riscos às espécies animais devido a sua toxicidade e capacidade de bioacumulação (Ismael e Rocha 2019).

Além disso, sabe-se que ao longo do Rio Pardo há degradação das Áreas de Preservação Permanente (APP), o que favorece a contaminação difusa, devido ao carreamento de lixiviados em estações com altos índices de precipitação (Machado et al. 2015). Cabe destacar que dentre os municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (UGRH 4), aproximadamente 20% não possuem nenhum tipo de tratamento de esgoto, e cerca de 10% possuem baixos índices (< 50%) de coleta de esgoto (CETESB 2017). O lançamento de esgoto *in natura* em corpos hídricos contribui para a perda de qualidade dos ambientes aquáticos, podendo concentrar cargas significativas de poluentes nos sedimentos, o que pode explicar os níveis de toxicidade dos extratos aquosos do sedimento, apresentados na Tabela 2.

Machado et al. (2016) detectaram, na estação seca, concentrações de alumínio (Al), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) que excederam os limites de referência estabelecidos pela *Environmental Protection Agency* (EPA) para sedimento de água doce. A ocorrência desses metais no sedimento pode estar relacionada à intensa atividade agrícola e industrial na região (DOSP 2011; DOSP 2012). Em estudo realizado na Polônia, também foram encontradas elevadas porcentagens de efeito inibitório para *Vibrio fischeri* (46% a 100%), correlacionando-as com as concentrações de zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni), cobre (Cu), cromo (Cr) e mercúrio (Hg) encontradas no sedimento de um rio situado em uma região com intensa industrialização, como metalúrgicas e mineradoras (Baran et al. 2016), semelhante à área do presente estudo, excetuando o impacto da atividade agrícola na área de abrangência da Bacia do Pardo.

Nas áreas de abrangência do Rio Pardo localizam-se fábricas de condutores elétricos (GEMG 2013), fundições metálicas (GEMG 2011) e curtumes (GEMG 2014). Em diversos processos produtivos são gerados efluentes líquidos que contêm metais pesados. O cobre (Cu) é utilizado como condutor para circuitos elétricos e quando lançado nos rios, sem tratamento prévio, pode atingir as estações de tratamento de água de municípios localizados à jusante, comprometendo o abastecimento público. A exposição da população a altas concentrações

de cobre pode causar inúmeros problemas à saúde como: dor de cabeça, náuseas, tonturas, vômito, taquicardia, entre outros (Santos et al. 2015). Com relação aos curtumes, os efluentes gerados podem conter concentrações elevadas de Cr, Cd, Pb e Ni caracterizados por sua alta toxicidade e carcinogenicidade, e, em decorrência das baixas precipitações durante a estação seca, pode haver o acúmulo desses metais (Lemos et al. 2015).

O sedimento é considerado um importante indicador de qualidade ambiental, uma vez que sua composição química retrata de maneira mais precisa os impactos humanos causados nos ambientes aquáticos (Roig et al. 2015; Urbaniak et al. 2015; Tarnawski e Baran 2018). No entanto, a despeito da relevância da avaliação da qualidade dos ecossistemas aquáticos, os testes ecotoxicológicos com sedimentos têm sido pouco utilizados pelas companhias de saneamento do Brasil, quando normalmente, prefere-se a aplicação de ensaios físico-químicos e microbiológicos com água superficial, visando atender às exigências da classificação de uso do rio (Rios 2013; Gomes 2017).

Na Tabela 3 está apresentada a luminescência emitida pela bactéria *Vibrio fischeri*, antes de entrar em contato com as amostras de água do Rio Pardo (0 min), e após 15 min de exposição, bem como o efeito inibitório (%), nas estações chuvosa e seca.

**Tabela 3. Luminescência emitida pela bactéria *V. fischeri*, antes e após entrar em contato com as amostras de água superficial, e o efeito inibitório, nas estações chuvosa e seca.**

Ponto amostral	Estação chuvosa			Estação seca		
	L. 0 min.(%)	L. 15 min.(%)	E.I. (%)	L. 0 min. (%)	L. 15 min.(%)	E.I. (%)
1	91	119	- 4,84	100	124	- 21,42
2	90	119	- 6,01	90	128	- 39,26
3	87	117	- 7,82	101	133	- 28,94
4	88	120	- 9,33	98	130	- 29,89
5	88	126	- 14,79	94	139	- 44,79
6	90	125	- 11,35	96	132	- 34,64

L. 0 min. = Luminescência Inicial. L. 15 min. = Luminescência Final. E.I. = Efeito Inibitório

No teste de toxicidade aguda nas amostras de água do Rio Pardo, com a concentração máxima de 81,90%, foi possível observar que não houve efeito inibitório da luminescência na população bacteriana exposta, em ambas as estações do ano (Tabela 3). Dessa maneira, todas as amostras de água coletadas no Rio Pardo foram consideradas como Não Tóxicas para *Vibrio fischeri*. Portanto, não foi necessária diluição das amostras coletadas nas estações chuvosa e seca e não foi preciso realizar o cálculo de  $CE_{20}$ .

Embora as amostras de água analisadas não tenham apresentado toxicidade, outros estudos identificaram a presença de metais na água do Rio Pardo (Machado et al. 2017; Alves et al. 2018). Machado et al. (2017) também detectaram herbicidas na água desse rio, indicando frequente aplicação destes nas áreas de cultivo agrícola que permeiam esse curso de água. Os autores também verificaram, a partir da avaliação quantitativa de risco químico, a probabilidade de ocorrência de câncer devido à exposição humana ao arsênio. Machado et al. (2018) também detectaram atrazina em amostras de água do Rio Pardo no período chuvoso. Os autores salientaram que a detecção desse herbicida nas amostras de água do rio indica que parte desse produto, ao ser aplicado à agricultura, está sendo perdida, causando danos ambientais e possíveis riscos às populações que fazem uso desse recurso.

Constatou-se que, para as amostras analisadas, o uso da matriz água não retrata os níveis de toxicidade identificados no sedimento, considerando que os resíduos químicos, após entrarem no ambiente aquático e dependendo das características físico-químicas, podem tanto se ligarem ao material particulado em suspensão quanto se depositarem no sedimento ou ainda serem absorvidos por organismos aquáticos (Silva e Santos

2007). Níveis elevados de metais pesados em espécies de peixes, por exemplo, podem ocasionar em processos de biomagnificação e bioacumulação desses. Por consequência, essas espécies com altas concentrações de metais podem ser consumidas por indivíduos acarretando riscos à saúde da população (Pereira et al. 2019). Nesse sentido, verificou-se que o sedimento representa um importante substrato de absorção e adsorção de substâncias contaminantes, considerado uma matriz confiável para avaliação de toxicidade (Schepis et al. 2016).

## CONCLUSÕES

Para o teste utilizando a bactéria *Vibrio fischeri*, a perda da luminescência está relacionada principalmente com o acúmulo de toxicantes no sedimento do Rio Pardo, demonstrando que essa matriz é relevante para a análise de toxicidade por meio do método descrito. A toxicidade aguda verificada no extrato aquoso do sedimento do Rio Pardo tem significância sanitária e social, considerando que os diversos usos desse recurso pode impactar a saúde das populações adjacentes, em decorrência das diversas vias de exposição, como fonte de água para abastecimento público, recreação de contato primário, pesca e uso para irrigação de hortaliças nas margens do rio.

A falta de estações de tratamento de esgoto nos municípios da área de influência da bacia, a intensa atividade agrícola da região e a degradação das APP podem resultar no aumento da toxicidade pelo potencial acúmulo de poluentes. Nesse sentido, os achados apontam para a necessidade de acompanhamento periódico quanto à evolução temporal da toxicidade aguda para a bactéria *Vibrio fischeri* nas matrizes sedimento e água superficial, nos corpos hídricos da região.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo 130234/2015-0; ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), processo SINFEHIDRO 105/2013 e à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (NBR 15411-3). **Ecotoxicologia aquática - Determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão da bioluminescência de *Vibrio Fischeri* (ensaio de bactéria luminescente) - Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas**. Norma ABNT - NBR 15411-3. 23 p., 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (NBR 15469). **Ecotoxicologia aquática - Preservação e preparo de amostras**. Norma ABNT - NBR 15469. 7 p., 2007.

Alves RIS, Machado CS, Beda CF, Fregonesi BM, Nadal M, Sierra J, Domingo JL, Segura-Muñoz, SI. 2018. Water Quality Assessment of the Pardo River Basin, Brazil: A Multivariate Approach Using Limnological Parameters, Metal Concentrations and Indicator Bacteria. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, 75:199-212. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0493-7>.

Albinati, ACL, Albinati, RCB, Lira, AD, Soares, PC. 2016. Toxicidade aguda e risco ecotoxicológico do inseticida tiametoxam para alevinos de tilápia-do-nilo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 68(5):1343-1350.

- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1998. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20 th ed. Washington.
- Baran A, Tarnawski M, Koniarz T. 2016. Spatial distribution of trace elements and ecotoxicity of bottom sediments in Rybnik reservoir, Silesian-Poland. **Environmental Science and Pollution Research**, 23:17255-17268. doi 10.1007/s11356-016-6678-1.
- Beda C. 2014. **Avaliação de agrotóxicos de uso canavieiro em águas subterrâneas: uma proposta para o Sistema Aquífero Guarani**. 2014. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Enfermagem Saúde Pública). Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- Bertoldo F, Righes AA, Mortari SR. 2016. Qualidade da água em um afluente do Arroio Cadena em Santa Maria - RS. **Disciplinarum Scientia-Ciências Naturais e Tecnológicas**, 5(1):51-65.
- Blanco M, Pérez-Albaladejo E, Piña B, Kušpilić G, Milun V, Lille-Langøy R, Karlsen OA, Goksøyr A, Porte C. 2018. Assessing the environmental quality of sediments from Split coastal area (Croatia) with a battery of cell-based bioassays. **Science of The Total Environment**, 624:1640-1648.
- Boehler S, Strecker R, Heinrich P, Prochazka E, Northcott GL, Ataria JM, Leusch FDL, Braunbeck T, Tremblay LA. 2017. Assessment of urban stream sediment pollutants entering estuaries using chemical analysis and multiple bioassays to characterise biological activities. **Science of The Total Environment**, 593:498-507.
- Carvalho APGC, Pereira D, Borges EA, Oliveira GP, Santos MCNP, Morais ROA, Maia AL, Poiaraes DA, Pinto LC, Guerra SFS. 2019. Detecção de pesticidas organoclorados na água e a associação da exposição humana à esses poluentes com o risco de diabetes mellitus tipo 2. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado, 11(3):71-83.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo**. Rel., 342, 2011.
- \_\_\_\_\_. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016**. CETESB, São Paulo: CETESB, 2017.
- CIIAGRO - CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. Balanço hídrico. Disponível em <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>. Acesso em 05 de março de 2020.
- Clavijo A, Kronberg MF, Rossen A, Moya A, Calvo D, Salatino SE, Pagano, EA, Morábito JA, Munarriz ER. 2016. The nematode *Caenorhabditis elegans* as an integrated toxicological tool to assess water quality and pollution. **Science of the Total Environment**, 569-570:252-261.
- Coleman RN, Qureshi AA. 1985. Microtox® and *Spirillum volutans* tests for assessing toxicity of environmental samples. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 35:443-451.
- DOSP - DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2011. Disponível em <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/29430037/pg-78-executivo-caderno-1-diario-oficial-do-estado-de-sao-paulo-dosp-de-09-08-2011>. Acesso em 27 de agosto de 2019.
- DOSP - DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2012. Disponível em <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/41750097/dosp-empresarial-25-10-2012-pg-22>. Acesso em 27 de agosto de 2019.

- DOSP - DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2015. Disponível em <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/88618279/dosp-empresarial-25-03-2015-pg-116>. Acesso em 27 de agosto de 2019.
- Eraso MAJ, Melo, JMB, Ortiz AYG. 2017. Estudio piloto de la toxicidad de los sedimentos del río Pasto en el tramo La Playita-Puente La Carolina, asociada al uso de pesticidas. **Avances Investigación en Ingeniería**, 14:2619-6581.
- GEMG - GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Superintendência Regional de Regularização Ambiental Sul de Minas. Protocolo nº 0931728/2012. Licenciamento Ambiental nº 12756/2011/001/2011.
- GEMG - GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Superintendência Regional de Regularização Ambiental Sul de Minas. Parecer único nº 2035495/2013. 22/03/2013. Licença de Operação - Ampliação.
- GEMG - GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Superintendência Regional de Regularização Ambiental Sul de Minas. Parecer único Nº 787671/2014 (SIAM)
- Gomes ASA. **Avaliação da qualidade da água e do sedimento no reservatório de abastecimento público do Ribeirão João Leite – GO**. 2017.184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Ismael LL, Rocha EMR. 2019. Estimativa de contaminação de águas subterrâneas e superficiais por agrotóxicos em área sucroalcooleira, Santa Rita/PB, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, 24(12):4665-4675.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION) ISO 11348-1:2007. **Water quality -- Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) -- Part 1: Method using freshly prepared bacteria**, 2007.
- Lemos DCS, Silva BC, Souza JM, Silva WAM, Estrela DC, Oliveira RF, Guimarães ATB, Malafaia G. 2015. Toxicidade aguda em camundongos BALB/c expostos a efluentes de curtume. **Multi-Science Journal**, 1(3):56-63.
- Lenart-Boroń A, Wolanin A, Jelonekiewicz E, Żelazny M. 2017. The effect of anthropogenic pressure shown by microbiological and chemical water quality indicators on the main rivers of Podhale, southern Poland. **Environmental Science and Pollution Research**, 24(14):12938-12948.
- Machado CS, Alves RIS, Fregonesi BM, Beda CF, Suzuki MN, Trevilato RB, Nadal M, Domingo JL, Segura-Muñoz SI. 2015. Integrating three tools for the environmental assessment of the Pardo River, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187-569. doi 10.1007/s10661-015-4788-8.
- Machado CS, Alves RIS, Fregonesi BM, Tonani KAA, Martinis BS, Sierra J, Nadal M, Domingo JL, Segura-Muñoz SI. 2016. Chemical Contamination of Water and Sediments in the Pardo River, São Paulo, Brazil. **Procedia Engineering**, 162:230-237.
- Machado CS, Fregonesi BM, Alves RIS, Tonani KAA, Sierra J, Martinis BS, Celere BS, Mari M, Schuhmacher M, Nadal M, Domingo JL, Segura-Muñoz SI. 2017. Health risks of environmental exposure to metals and herbicides in the Pardo River, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 24:20160-20172.
- Machado CS, Fregonesi BM, Zagui GS, Martinis BS, Segura-Muñoz SI. 2018. Atrazina na água fluvial: avaliação de risco à saúde humana pela exposição recreacional. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, 7(3):36-46.

Miorin JD, Camponogaram S, Dias GL, Silva NM, Viero CM. Percepções de agricultores sobre o impacto dos agrotóxicos para a saúde e o meio ambiente. 2016. **Revista Enfermagem Centro Oeste Mineiro**, 6(3):2410-2420. doi: 10.19175/recom.v6i3.1117.

Pereira FOP, Santos L, Sanches Filho PJ. 2019. Avaliação da contaminação ambiental por metais pesados, através da análise de peixes coletados da Lagoa Mangueira/RS. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, 10(1):180-194. doi: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0015>.

Rios KCRC. **Avaliação ecotoxicológica do sedimento a montante e a jusante da barragem do ribeirão João Leite-Goiânia-GO**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Roig N, Nadal M, Sierra J, Ginebreda A, Schuhmacher M, Domingo JL. 2011. Novel approach for assessing heavy metal pollution and ecotoxicological status of rivers by means of passive sampling methods. **Environment International**, 37(4):671-677.

Roig N, Sierra J, Nadal M, Moreno-Garrido I, Nieto E, Hampel M, Gallego EP, Schuhmacher M, Blascod J. 2015. Assessment of sediment ecotoxicology status as a complementary tool for the evaluation of surface water quality: the Ebro River Basin case study. **Science of the Total Environment**, 503-504:269-278.

Rosa DS, Da Silva LA, Waltrick SAM. 2016. *Vibrio fischeri*: Uma abordagem prática através da Biotecnologia. **Revista Maiêutica**, Indaial, 4(1):15-20.

Santos ICA, Monteiro LPC, Mainier FB. 2015. Tratamento de efluentes aquosos contendo cádmio, chumbo e cobre, a partir da técnica de eletrodeposição. **Revista Augustus**, Rio de Janeiro, 20(40): 143-154.

Schepis WR, Medeiros TV, Silva AS, Abessa DMS. 2016. Toxicidade aguda e contaminação por metais em sedimentos do Rio dos Bugres, Ilha de São Vicente, SP. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, 20(1):42-53.

Schreiber B, Fischer J, Schiwy S, Hollert H, Schulz R. 2018. Towards more ecological relevance in sediment toxicity testing with fish: evaluation of multiple bioassays with embryos of the benthic weatherfish (*Misgurnus fossilis*). **Science of the Total Environment**, 619:391-400.

SIGRH - SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Histórico CBH - Pardo**, 2019.

Silva JM, Santos JR. 2007. Toxicologia de agrotóxicos em ambientes aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, 11:565-573.

Tarnawski M, Baran A. 2018. Use of Chemical Indicators and Bioassays in Bottom Sediment Ecological Risk Assessment. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, 74:395-407. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0513-2>.

Urbaniak M, Zieliński M, Wagner I. 2015. Seasonal distribution of PCDDs/PCDFs in the small urban reservoirs. **Environmental Research**, 9(2):745-752.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Region III Btag Freshwater Screening Benchmarks, 2006.