
A INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE E GENOTOXICIDADE DA ÁGUA NO RESERVATÓRIO DE ITUPARARANGA, SÃO PAULO, BRASIL

RICARDO HIDEO TANIWAKI, ANDRÉ HENRIQUE ROSA, RENATA DE LIMA, CÍNTIA RODRIGUES MARUYAMA, LORENA FERRARI SECCHIN, MARIA DO CARMO CALIJURI e VIVIANE MOSCHINI-CARLOS

RESUMO

Os reservatórios brasileiros vêm sofrendo grandes pressões antrópicas devido ao contínuo aumento populacional, que por sua vez, exerce grandes pressões sobre o meio ambiente. Diante dessa problemática, este estudo objetivou analisar a influência do uso do solo sobre a qualidade e genotoxicidade da água no reservatório de Itupararanga, São Paulo, Brasil. Para isso, coletas de água e sedimento foram analisadas em relação à sua qualidade, genotoxicidade e diversidade bentônica, assim como sua inter-relação com a paisagem. O reservatório mostrou-se eutrofizado na maioria das estações amostrais e foram encontradas alterações genéticas nas células do meristema radicu-

lar de *Allium cepa* expostas em algumas estações amostrais, além de apresentar baixa diversidade de organismos bentônicos. Dentre as variáveis que mais contribuíram para as alterações genéticas e para a qualidade da água estão a presença de vegetação ripária, o solo exposto e a ocupação urbana. Com os resultados obtidos através deste estudo foi possível concluir que o reservatório de Itupararanga está comprometido em relação à qualidade da água e do sedimento, necessitando de manejo emergências para garantir a sustentabilidade desse recurso hídrico.



o Brasil, os reservatórios representam grande importância devido aos diversos serviços que esses ecossistemas prestam à população, sendo a hidroeletricidade a principal fonte de energia do país,

possuindo cerca de 433 usinas hidrelétricas em operação (Goldemberg e Lucon, 2007). Devido a este fator, também representa importância com relação aos impactos que são gerados depois da sua construção, como perda da biodiversidade, da

qualidade da água e mudanças socioeconômicas regionais (Tundisi *et al.*, 2008).

As mudanças no uso e ocupação do solo permitiram que os seres humanos se apropriassem de forma crescente dos recursos naturais; porém, essas

PALAVRAS-CHAVE / Eutrofização / Genotoxicidade / Qualidade da Água / Uso do Solo /

Recebido: 23/07/2012. Modificado: 11/03/2013. Aceito: 13/03/2012.

Ricardo Hideo Taniwaki. Biólogo, Universidade Paulista (UNIP), Brasil. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP), Brasil. Doutorando em Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo (USP/ESALQ/CENA), Brasil. Endereço: Laboratório de Hidrologia Florestal ESALQ/USP. Avenida Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9. Piracicaba, SP, Brasil. CEP 13418-900. e-mail: rht.bio@gmail.com

André Henrique Rosa. Bacharel em Química, Mestre e Doutor em Química Analítica, UNESP, Brasil. Professor, UNESP, Brasil. e-mail: ahrosa@sorocaba.unesp.br.

Renata de Lima. Bióloga e Mestre em Genética e Evolução, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil. Doutorado em Ciências Médicas, Unicamp, Brasil. Professora, Universidade de Sorocaba (UNISO), Brasil. e-mail: renata.lima@prof.uniso.br.

Cíntia Rodrigues Maruyama. Graduanda em Biotecnologia, UNISO, Brasil. e-mail: cintia-maruyama@hotmail.com

Lorena Ferrari Secchin. Engenheira Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento, USP, Brasil. e-mail: lora_fs@hotmail.com.

Maria do Carmo Calijuri. Bióloga e Mestre em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar, Brasil. Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento, USP, Brasil. Professora, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, Brasil. e-mail: calijuri@sc.usp.br

Viviane Moschini-Carlos. Bióloga, Mestre em Ecologia e Recursos Naturais e Doutora em Ciências, UFSCar, Brasil. Professora, UNESP, Brasil. e-mail: viviane@sorocaba.unesp.br.

mudanças colocaram em risco a capacidade dos ecossistemas em relação à produção de alimentos, à manutenção da qualidade da água e dos recursos florestais, e o equilíbrio do clima e da qualidade do ar (Foley *et al.*, 2005).

Diversos estudos têm demonstrado a importância do gerenciamento do uso e ocupação do solo na qualidade da água (Carey *et al.*, 2011; Uriarte *et al.*, 2011; Wilson e Weng, 2011), tendo como importantes fatores a serem considerados o uso urbano, a ocupação agrícola e as pastagens. Todos esses fatores em conjunto podem contribuir para que os usos múltiplos dos reservatórios sejam prejudicados.

Dentre os diversos impactos gerados, a eutrofização e os tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica são as variáveis que frequentemente têm sido associadas com a perda da qualidade da água e da biodiversidade, como já demonstrado em diversos estudos (Pusceddu *et al.*, 2007; Cunha *et al.*, 2010). Os tipos de usos e a ocupação do solo na bacia hidrográfica possuem relações significativas no que diz respeito às diversas substâncias químicas lançadas nos corpos d'água, como efluentes domésticos, industriais e agrícolas, expondo diversos organismos a uma grande variedade de compostos mutagênicos e citotóxicos (Amaral *et al.*, 2007).

Em relação à análise de genotoxicidade das águas, Moraes e Jordão (2002) consideram os estudos realizados com *Allium cepa* de grande importância na avaliação da qualidade da água sendo relevantes à saúde humana, pois em resultados provenientes de bioensaios genéticos, o alvo toxicológico é o DNA, existente em todos os seres vivos.

O rápido desenvolvimento urbano e a intensiva atividade agrícola na bacia hidrográfica do Alto Sorocaba, São Paulo, Brasil, têm degradado continuamente a qualidade da água no reservatório de Itupararanga. O programa de monitoramento das águas superficiais realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) vem relatando uma contínua deterioração da qualidade da água desse reservatório, colocando em risco o abastecimento de água para uma população de cerca de 800000 habitantes (Cunha e Calijuri, 2011).

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo analisar a influência dos usos e ocupação do solo na qualidade da água no reservatório de Itupararanga e seus efeitos genotóxicos.

Material e Métodos

O reservatório de Itupararanga foi construído em 1912, pela

Companhia de Energia Elétrica - Light, com a finalidade de geração de energia elétrica e é responsável por 63% da água fornecida após tratamento convencional, abastecendo cerca de 800000 pessoas de várias cidades, entre elas Mairinque, Alumínio, Piedade, Votorantim e Sorocaba (Pereira, 2008). Com queda bruta de 206m, a barragem situa-se no município de Votorantim, com área de drenagem de 851km², vazão máxima de 39,12m³.s⁻¹ e com volume útil de 286×10⁶m³ (Smith e Petrere, 2001). Possui uma área de drenagem de 936,51km², com 26km de canal principal e 192,88km de margens, ocupando parcialmente os municípios de Ibiúna, Piedade, São Roque, Mairinque, Alumínio e Votorantim no estado de São Paulo. Atualmente, a represa está compreendida na Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga. A APA foi criada pela Lei Estadual N° 10.100/1998 por uma demanda do Comitê da Bacia Hidrográfica do Sorocaba e Médio Tietê, para assegurar a manutenção da qualidade das águas do manancial da represa. Porém, a APA de Itupararanga não incluía três municípios (Alumínio, Cotia e Vargem Grande Paulista) formadores da represa, o que representou um entrave para sua regulamentação, uma vez que essa situação se estendeu por um longo período e que trouxe como consequência, o crescimento sem planejamento no entorno da represa, prejudicando o gerenciamento de suas águas (SMA, 2007). A APA de Itupararanga foi regulamentada no ano de 2003, através da Lei Estadual N° 11.579/2003.

Queiroz e Imai (2007) mapearam os tipos de cobertura do solo que influenciam a qualidade da água no entorno do reservatório de Itupararanga e chegaram às seguintes conclusões: a cobertura do solo predominante é de floresta, com 49,87% da área total analisada, pastagem (21,98%), culturas perenes (9,81%), áreas construídas (4,96%), culturas temporárias (2,18%) e solo exposto (1,5%). Com base nesses dados, Pereira (2008) verificou que um dos principais problemas ambientais decorrentes da alteração da cobertura do solo, é o avanço das áreas agrícolas, pastagens e áreas construídas sobre a vegetação natural, incluindo as próximas à vegetação ripária, cuja função ecológica é fundamental para a qualidade da água dos afluentes e do próprio reservatório.

Em um trabalho mais recente, Conceição *et al.* (2011) demonstraram que os principais tipos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica em que o reservatório de Itupararanga se encontra (bacia do Alto Sorocaba e médio Tietê) são caracterizados principalmente por intensa atividade agrícola

(393km²) e chácaras (35km²), sendo a maior área cultivada por olerícolas.

Foi realizada coleta em setembro do ano de 2010 em seis estações amostrais ao longo do reservatório de Itupararanga. As estações amostrais 1 e 2 estão localizadas à montante do reservatório, na zona fluvial. A estação amostral 3 está localizada na zona transicional do reservatório. As estações amostrais 4 e 5 estão localizadas na zona lacustre e a estação amostral 6 está localizada próxima à barragem do reservatório.

Foram medidas *in situ* a transparência da água através do disco de Secchi, a temperatura, o pH e a condutividade elétrica da água com auxílio da sonda YSI modelo 63-50, e oxigênio dissolvido através da sonda YSI modelo 55-12.

Em cada estação amostral foram coletadas amostras de água para quantificação de fósforo total (PT; APHA, 2005), fosfato total dissolvido (PDT; APHA, 2005), nitrito (N-NO₂; Mackereth *et al.*, 1978), nitrato (N-NO₃; APHA, 2005) e clorofila-a (Chl-a; Nush, 1980). O sedimento para análise granulométrica e para a análise de macroinvertebrados bentônicos foi coletado com auxílio de uma draga de Petersen. A análise granulométrica do sedimento foi realizada seguindo o método de béqueres proposto por Piper (1947) e modificado por Meguro (2000).

A delimitação das classes de uso e ocupação foi realizado no software ArcGIS®, em que aplicou-se um buffer de 300m sobre o mapa de Secchin e Calijuri (2012) com a finalidade de identificar os usos do solo que poderiam se relacionar com a genotoxicidade dos pontos amostrados.

Para análise de genotoxicidade das águas foi realizado bioensaio citogenético com sementes de *Allium cepa* (Fiskejő, 1985), que mede e classifica as alterações cromossômicas ocorridas, indicando maior ou menor toxicidade do material exposto as amostras coletadas. Os testes foram realizados colocando-se sementes para germinar em água ultra-pura, ao atingirem 2cm as raízes foram expostas as diferentes tratamentos (amostras de águas das estações coletadas) por 24h, seguidamente foi realizada a fixação do material utilizando metanol e ácido acético, este permaneceu em fixação por 24h e foi seguido de tratamento com HCl 0,1M em banho-maria 60°C por 9min. A coloração foi realizada pelo período de 2h utilizando reagente de Schiff. Na montagem da lâmina pela técnica de esmagamento, foi utilizado uma gota de carmim acético. O material pronto foi conservado em temperatura em torno de -8°C, onde

TABELA I
COORDENADAS E PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS
OBTIDOS DURANTE O ESTUDO

Estação amostral	Coordenadas (UTM 23K)	Secchi (m)	Prof. (m)	Temp. água (°C)	pH	OD (mg·l ⁻¹)	Cond. elétrica (μS·cm ⁻¹)
1	272261/7385990	0,80	6,3	18,9	6,1	8,9	*
2	268684/7388890	1,20	5,0	19,6	6,6	8,7	*
3	266997/7385061	0,48	0,5	20,2	6,9	8,3	31,8
4	261411/7386441	1,40	16,0	19,0	7,3	8,6	62,0
5	259465/7383798	1,00	5,4	20,9	7,3	9,0	62,1
6	255738/7385353	1,30	4,3	19,5	7,6	9,2	60,0

Prof.: profundidade, OD: oxigênio dissolvido, * variáveis não obtidas.

foram mantidas até o momento da análise em microscópio. Algumas lâminas depois de analisadas foram preservadas utilizando-se Entellan.

Para análise das irregularidades celulares, foram confeccionadas de 3 a 5 lâminas de cada tratamento, sendo utilizado para a leitura apenas três (triplicata). Em cada uma das lâminas foram analisadas ~500 células (Grillo *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2012), totalizando 1500 células por tratamento. Para análise dos resultados de citotoxicidade foram calculados o índice mitótico (IM: total de células em divisão/total de células analisadas) e a genotoxicidade através do índice de alteração (IALT: total de células com danos/total de células em divisão).

O índice do estado trófico (IET) foi calculado segundo Lamparelli (2004): $IET(Chl) = 10(6 - ((0,92 - 0,34(\ln CL)/\ln 2))$; $IET(TP) = 10(6 - ((1,77 - 0,42(\ln TP)/\ln 2))$, onde: Chl: clorofila-a (μg·l⁻¹); e TP: fósforo total (μg·l⁻¹). Os limites definidos foram ultra-oligotrófico: $IET \leq 47$, oligotrófico: $47 < IET \leq 52$, mesotrófico: $52 < IET \leq 59$, eutrófico: $59 < IET \leq 63$, supereutrófico: $63 < IET \leq 67$ e hipereutrófico: $IET > 67$.

A diversidade bentônica foi calculada através do índice de Shannon-Wiener (Pielou, 1975). A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada para reduzir a dimensionalidade dos dados abióticos e bióticos com o intuito de encontrar possíveis padrões espaciais no reservatório de Ituparanga. Para análise dos dados do teste de *A. cepa* foi realizada ANOVA. Todas as análises foram realizadas com ajuda do software PAST (Hammer *et al.*, 2001).

Resultados e Discussão

As profundidades das estações amostrais variaram de 4,3 a 16m, sendo a estação amostral 4 a mais profunda e com maior transparência da água, e a estação amostral 3 a mais rasa e com menor transparência da água. A temperatura da água variou de 18,9 a 20,9°C e a condutividade elétrica de

31,8μS·cm⁻¹ (estação 3) a 62,1μS·cm⁻¹ (estação 5) (Tabela I).

Foi possível observar um aumento contínuo do pH da água no sentido montante-jusante, sendo as estações amostrais próximas à desembocadura dos rios formadores com suas águas mais ácidas, e as estações mais próximas à barragem com suas águas mais básicas (Tabela I). Isso provavelmente se deve à maior atividade fotossintética do fitoplâncton próximo à barragem.

Todas as estações amostrais apresentaram elevados valores de oxigênio dissolvido (variando entre 8,3 a 9,2mg·l⁻¹), sendo os maiores valores na zona lacustre do reservatório (Tabela I). Cunha e Calijuri (2011) encontraram concentrações semelhantes de oxigênio dissolvido em um estudo nos braços do reservatório durante os meses de agosto e outubro de 2009.

As concentrações de fósforo total variaram de 12,1μg·l⁻¹ (estação 2)

a 68,5μg·l⁻¹ (estação 6), sendo as estações amostrais 4, 5 e 6 apresentando concentrações acima do recomendado pela legislação ambiental vigente no Brasil (CONAMA 357/2005), onde o máximo permitido para ambientes lênticos classe II é de 30μg·l⁻¹. De acordo com Oliveira *et al.* (2011), concentrações excedentes aos padrões estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 podem ser um predicatorio de anomalias mitóticas em sementes de *A. cepa*. Em um estudo no mesmo reservatório, Cunha e Calijuri (2011) encontraram concentrações de fósforo próximas às determinadas nesse trabalho e concluíram a partir de observações de dados de 16 reservatórios brasileiros que há correlação positiva entre as concentrações de fósforo total e clorofila-a em bacias hidrográficas com uso do solo predominantemente agrícola. A estação amostral 6 apresentou maiores concentrações de fósforo total e foi caracterizada por uma grande porção de solo exposto no seu entorno (3,4% da área total analisada) (Figura 1). Com base nesses dados, podemos sugerir que essa maior disponibilidade de fósforo na estação amostral 6 foi ocasionada, provavelmente, pelo processo de escoamento superficial da água nos eventos de chuva e irrigação, carreando esse nutriente para o reservatório. As concentrações de nutrientes dissolvidos variaram de 0,03 a 0,505mg·l⁻¹ para o fósforo total dissolvido, de 0,35 a 0,770mg·l⁻¹ para nitrato e abaixo do limite de detecção do método a 0,0036mg·l⁻¹ para o nitrito (Tabela II).

As concentrações de clorofila-a (Chl-a) variaram de 14,2μg·l⁻¹ (es-

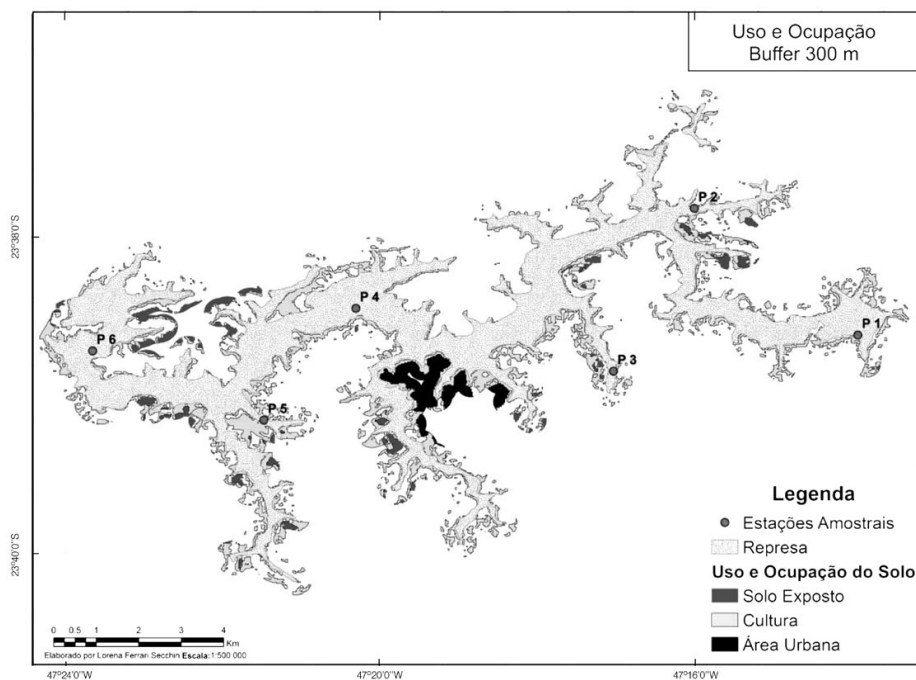


Figura 1: Uso e ocupação do solo do entorno do reservatório e localização das estações amostrais (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) no reservatório de Ituparanga.

TABELA II
CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES E CLOROFILA-A QUANTIFICADAS NAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS DURANTE O ESTUDO

Estação amostral	Chl-a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	PT ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	PDT ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	N-NO ₃ ⁻ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	N-NO ₂ ⁻ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	IET
1	37,4	*	0,033	0,770	0,0036	
2	20,0	12,1	0,150	0,360	0,0008	61
3	21,4	*	0,498	0,410	0,0001	
4	15,6	56,1	0,266	0,440	0,0001	65
5	14,2	31,7	0,505	0,350	*	61
6	15,4	68,5	0,299	0,350	*	62

* Abaixo do limite de detecção pelo método empregado.

tação 5) a $37,4\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (estação 1). A estação 1 está localizada à montante do reservatório, próximo à entrada dos principais rios formadores do reservatório (rio Sorocabaçu e Sorocamirim) (Figura 1). Cunha e Calijuri (2011) também encontraram maiores concentrações de clorofila-a ($31,8\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ no mês de agosto de 2009) em estações amostrais localizadas próximas à entrada dos rios formadores. Este fato pode estar associado às elevadas concentrações de nutrientes trazidos pelos rios Sorocabaçu e Sorocamirim.

Através do cálculo do índice do estado trófico segundo Lamparelli (2004), as estações 2, 5 e 6 são classificadas como eutróficas e a estação 4 como supereutrótica. No estudo de Cunha e Calijuri (2011), foi observada uma variação entre estados mesotróficos e eutróficos segundo o mesmo índice no reservatório de Itupararanga. No relatório anual da qualidade das águas superficiais de 2011 elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb, 2012), foi destacado o contínuo aumento do grau de trofia e da biomassa fitoplancônica nesse reservatório. Segundo esse relatório, o número de células de cianobactérias era de ~2000 cél/ml no ano de 2006, 15000 cél/ml no ano de 2010 e ~65000 cél/ml no ano de 2011, e também apresentou degradação da qualidade da água e o aumento do grau de trofia ao longo do tempo, destacando a importância do manejo emergencial desse reservatório.

Em relação à análise granulométrica do sedimento, houve uma grande variação entre as estações amostrais, porém todas as estações apresentaram-se com altas concentrações de matéria orgânica. As maiores concentrações de matéria orgânica foram encontradas

TABELA III
PORCENTAGENS DAS FRAÇÕES DE ARGILA, SILTE, AREIA E MATÉRIA ORGÂNICA NAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS

Estações amostrais	Granulometria (%)			
	Areia	Argila	Silte	Mat. org.
1	58,4	23,7	5,1	89,29
2	54,7	40,7	9,2	89,24
3	37,1	28,5	13,3	88,04
4	39,5	21,2	21,6	82,99
5	28,4	47,7	12,2	85,87
6	81,5	4,9	9,0	87,44

próximo à entrada dos principais formadores do reservatório (estações 1 a 3) (Tabela III). De forma geral, as concentrações de areia no sedimento diminuíram no sentido longitudinal montante-jusante, exceto na estação amostral 6, que possui uma grande porção de solo exposto no seu entorno, o que pode ter favorecido o escoamento superficial da areia, assim como o fósforo. As concentrações de silte foram maiores nas zonas intermediárias do reservatório (estações 3, 4 e 5) devido à maior mobilidade deste elemento junto ao fluxo da água. De acordo com Henry *et al.* (1998) a sedimentação é decorrente da redução acentuada da velocidade na zona de transição entre rio e represa.

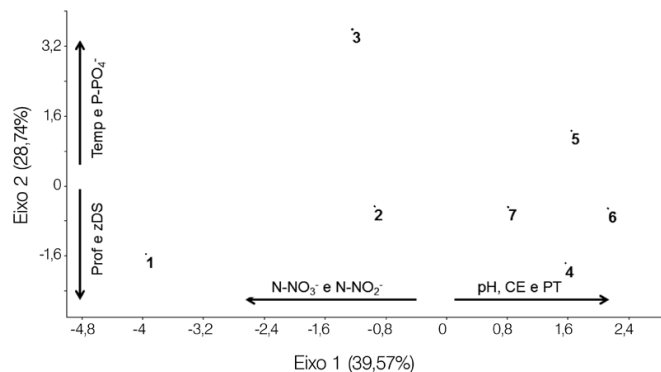


Figura 2: Posição das estações amostrais ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da análise de componentes principais. Prof: profundidade, zDS: disco de Secchi, Temp: temperatura da água, P-PO₄: fósforo, N-NO₃⁻: nitrato, N-NO₂⁻: nitrito, CE: condutividade elétrica da água, e PT: fósforo total.

Através da análise de componentes principais utilizando os dados físicos e químicos da água e os dados de matéria orgânica do sedimento, foi possível verificar um padrão espacial no reservatório de Itupararanga, explicando 68% da variabilidade dos dados. No eixo 1 foi possível observar a separação das estações amostrais em compartimentos, onde a estação amostral 1 separou-se da 2 e 3, que separaram-se das demais. As estações amostrais 1, 2 e 3 apresentaram as concentrações das formas de nitrogênio dissolvido como principais descritores e nas estações amostrais 4, 5 e 6 o pH, a condutividade elétrica e o fósforo total foram os principais descritores. O eixo 2 separou as estações amostrais 3 e 5 das demais tendo como seus principais descritores as concentrações de fósforo dissolvido e temperatura da água. As estações amostrais 1, 2, 4 e 6 tiveram como seus principais descritores a profundidade e a transparência da água (Figura 2). Estes resultados corroboram com a teoria de compartimentalização de reservatórios, fundamentada por Thornton *et al.*

(1990), como citado por Taniwaki *et al.* (2011). Segundo Kimmel *et al.* (1990), a produtividade primária é maior nas zonas de influência dos rios nos reservatórios, explicando a deposição de matéria orgânica no sedimento através da biomassa fitoplancônica, além da matéria orgânica trazida pelos cursos da água que também vão se depositando ao longo do reservatório.

Cunha e Calijuri (2011) em estudo realizado em agosto, outubro de 2009 e fevereiro de 2010 no mesmo reservatório, determinaram uma grande variabilidade ambiental nos braços do reservatório, devido às mudanças do uso e ocupação da bacia hidrográfica influenciando diretamente a qualidade da água.

Os autores encontraram uma comunidade fitoplancônica característica de ambientes eutrofizados, com presença de cianobactérias potencialmente tóxicas, e atribuem que o enriquecimento por nutrientes é realizado pela influência dos rios formadores do sistema.

Através da análise de organismos bentônicos, foram encontradas somente três famílias (Chironomidae, Chaoboridae e Naididae), todas pertencentes à ordem Diptera, porém foi possível detectar variações em relação à diversidade (índice de Shannon-Wiener) entre as estações amostrais. As estações amostrais que apresentaram

TABELA IV
VALORES DE RIQUEZA, ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE DOS ORGANISMOS BENTÔNICOS ENCONTRADOS NO RESERVATÓRIO DE ITUPARARANGA

Variáveis	Estações amostrais					
	1	2	3	4	5	6
Riqueza	2	3	2	3	3	2
Abundância	23	35	117	26	68	40
Diversidade (H')	0,7	0,9	0,4	0,3	0,7	0,1

maiores taxas de diversidade foram as estações 1 (0,6 bits/ind), 2 (0,9 bits/ind) e 5 (0,6 bits/ind). As que apresentaram menores taxas de diversidade foram as estações amostrais 4 (0,3 bits/ind), 3 (0,4 bits/ind) e 6 (0,1 bits/ind) (Tabela IV).

Molozzi *et al.* (2011) demonstraram que a comunidade bentônica em reservatórios no estado de Minas Gerais, Brasil, é diretamente afetada pelo uso e ocupação do solo, influências antrópicas e à presença de macrófitas aquáticas. Neste estudo foi encontrada baixa diversidade de macroinvertebrados bentônicos em todos os pontos amostrados, sendo as estações amostrais 4 e 6 as que apresentaram menores valores. A estação amostral 4 possui grande interferência da área urbana, e a estação amostral 6 possui grande porção de

do em Molozzi *et al.* (2011). Segundo o relatório das águas superficiais realizado pela Cetesb, o sedimento do reservatório de Itupararanga, onde os organismos bentônicos se localizam, apresenta péssima qualidade, devido às altas concentrações de arsênio, cobre e DDE, e apresenta alta toxicidade em teste realizado com a bactéria *Vibrio fischeri*, corroborando a baixa diversidade de organismos bentônicos encontrados (Cetesb, 2012).

Os resultados das análises de genotoxicidade mostraram que em todas as estações foram observados aumento no índice de alterações cromossômicas quando comparadas ao controle negativo (0,06), sendo a estação 4 a que apresentou o índice mais alto (0,68) indicando um número de quebras cromossômicas muito superior às

outras estações que tiveram uma variação 0,10 e 0,35 (Tabela V).

No presente estudo não foi observado efeito citotóxico nas células radiculares de *A. cepa* exceto na estação 3 onde se observou aumento do índice mitótico, cujo valor representou o dobro em relação ao controle negativo. O aumento do índice mitótico, como o ocorrido na estação 3 (P3) pode ser consequência do excesso de material orgânico (Figura 3), como dejetos ricos em fósforo e nitrogênio, que em geral são substâncias abundantes em esgotos domésticos, e pode ser a causa da eutrofização (Wang, 2006; Quiblier *et al.*, 2008). Esta estação amostral, que possui intensa atividade agrícola em suas margens, apresentou valores de fósforo dissolvido e de matéria orgânica relativamente altos em comparação às outras estações amostrais, sugerindo que o aumento do IM possa ser um indicativo passível de ser utilizado em estudos de observação dos possíveis efeitos da eutrofização. Desta forma, o aumento do IM pode refletir também em uma citotoxicidade tão relevante quanto o efeito mitodepressivo referido na literatura (Amaral *et al.*, 2007).

O índice mitótico dos pontos analisados em comparação ao controle negativo nos reflete ao índice mitótico relativo, baseados neste, podemos obter a citotoxicidade (Odeigah *et al.*, 1997), para a avaliação da genotoxicidade calcula-se o índice de alterações relativo dos pontos estudados. Um declínio do índice mitótico abaixo de 22% em relação ao controle pode causar efeito letal ao organismo (Antoniewicz, 1990). Neste estudo, não foram encontrados índices mitóticos abaixo de 22% (Figura 3), porém é observado um aumento do índice mitótico quando comparado ao controle negativo.

Com relação ao Índice de Alterações (total de Alterações/total de células em divisão), os resultados mostraram que a estação 4 (P4) foi a mais afetada (Figura 4), embora todos mostrem um número

TABELA V
RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CITOTOXICIDADE E GENOTOXICIDADE DE *Allium cepa* NOS DIFERENTES PONTOS DE COLETA

Estação amostral	Total ±DS.	IM	IALT	IMR	Alterações cromossômicas		
					Pontes	Frag.	Outras
Controle	741,67±127,19	0,02	0,06	1,0	0,00	0,00	0,67
P1	578,33±115,81	0,02	0,33	1,1	0,00	2,00	1,33
P2	583,67±10,26	0,02	0,27	1,2	0,33	1,00	2,00
P3	581,33±74,10	0,04	0,29	1,9	0,00	2,00	1,67
P4	535,33±35,39	0,02	0,68	1,0	1,67	4,33	0,33
P5	549,67±41,40	0,02	0,21	1,3	0,00	3,00	0,00
P6	576,00±76,62	0,02	0,35	1,4	1,67	4,00	0,00

IM: índice mitótico, IMR: índice mitótico relativo, IALT: índice de alterações.

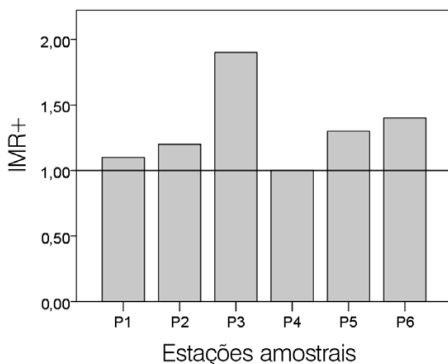


Figura 3: Resultados dos cálculos de índice mitótico relativo (IMR) das águas coletadas em seis diferentes estações na represa de Itupararanga (linha: valor controle).

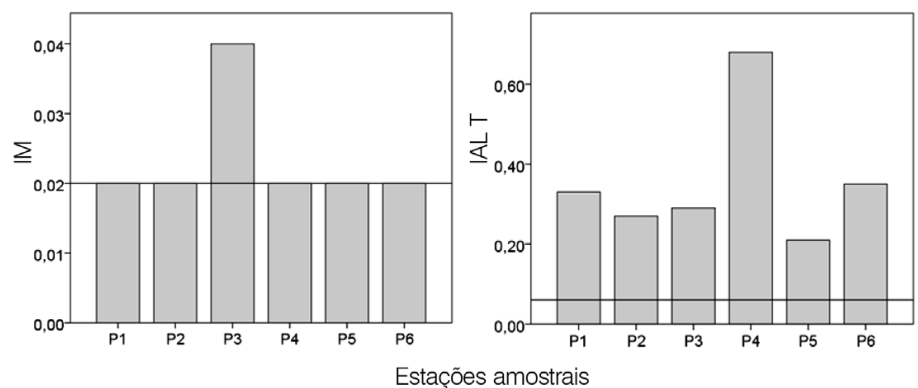


Figura 4: Cálculo de índice mitótico (IM) e índice de alterações cromossômicas (IALT) realizado a partir dos resultados das análises de água dos diferentes pontos de coleta. (linhas: valores controle).

de alterações superiores ao negativo. Esta estação amostral apresentou baixos valores de diversidade de organismos bentônicos e seu entorno é caracterizado por uma grande área de ocupação urbana (2,7% da área total analisada; Figura 1).

As principais alterações encontradas na estação 4 foram fragmentos cromossômicos, seguido de formação de pontes anafásicas, c-metáfases, perdas cromossômicas, anáfases multipolares e aderências cromossômicas (Tabela V), a alteração encontrada em P4 é 10x superior ao controle. Não foi observado neste ponto um aumento do IM que poderia justificar parte da alteração cromossômica encontrada, o que nos leva a sugerir a existência de algum fator que diretamente ou indiretamente esteja influenciando as divisões celulares levando a quebras, perdas e pontes cromossômicas. Um ponto que deve ser ressaltado é o fato de que esta estação foi classificada como supertrófico, reforçando a ligação entre eutrofização e alterações mitóticas. Essa estação amostral está localizada próxima à área urbana, podendo esta ser uma influência que deva ser considerada.

O aumento de mutações cromossômicas e alterações no índice de divisão celulares estatisticamente significativos foram verificados em plantas coletadas ao longo de rios contaminados, quando comparadas a plantas crescendo em regiões não contaminadas (Moraes e Jordão, 2002). No caso do reservatório de Itapararanga, como pode ser observado através da Figura 1 e através de observações realizadas no campo, possui intensa atividade agrícola em seu entorno, sendo que na maioria dos casos, não possui vegetação ripária protegendo as margens (22,8% de agricultura na área total analisada). Este fator pode estar favorecendo o aumento de alterações cromossômicas através da entrada contínua de agrotóxicos e nutrientes no corpo d'água.

De acordo com Peron *et al.* (2009), resultados que indicam alterações no índice mitótico e índice de alterações, despertam cada vez mais preocupação do ponto de vista ambiental em relação ao organismo humano, pois resultados provenientes de bioensaios genéticos são relevantes à saúde humana em função do alvo toxicológico ser o material genético e consequentemente a célula. Em geral, perturbações no índice de divisão celular e do material genético podem ser deletérias para o organismo e podem levar a consequências severas e irreversíveis à saúde.

Conclusões

Através deste estudo foi possível observar como o uso e ocupação do solo no entorno dos reservató-

rios interferem na qualidade da água e, consequentemente, nos seus usos múltiplos. Dentre os impactos advindos do uso e ocupação do solo que estiveram relacionados às características determinadas na água do reservatório de Itapararanga, podemos sugerir que o solo exposto, a agricultura sem a proteção de vegetação ripária e a ocupação urbana foram as mais significativas, e refletem grandes prejuízos ao ecossistema. Desta forma, este estudo salienta a importância da vegetação ripária, do manejo agrícola, da coleta e tratamento de efluentes, como importantes fatores a serem considerados no gerenciamento dos reservatórios, visando à sustentabilidade dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Proc. 08/55636-9) e à CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Amaral AM, Barbério A, Voltolini JC, Barros L (2007) Avaliação preliminar da citotoxicidade e genotoxicidade da água da bacia do rio Tapanhon (SP-Brasil) através do teste *Allium* (*Allium cepa*). *Rev. Bras. Toxicol.* 20: 65-72.
- Antonsiewicz D (1990) Analysis of the cell cycle in the root meristem of *Allium cepa* under the influence of Ledakrin. *Fol. Histochem. Cytochem.* 28: 79-96.
- APHA (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Waste-Water*. 21ª ed. American Public Health Association. Washington, DC, EEUU. 1268 pp.
- Carey RO, Migliaccio KW, Li YC, Schaffer B, Kiker GA, Brown MT (2011) Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida. *Ecolog. Indic.* 11: 1093-1104.
- Cetesb (2012) *Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2011*. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Brasil. 356 pp.
- Conceição FT, Sardinha DD, Navarro G RB, Antunes MLP, Angelucci VA (2011) Rainwater chemical composition and annual atmospheric deposition at Alto Sorocaba Basin (SP). *Quím. Nova* 34: 610-658.
- Cunha DGF, Calijuri MD (2011) Limiting factors for phytoplankton growth in subtropical reservoirs: the effect of light and nutrient availability in different longitudinal compartments. *Lake Reserv. Manag.* 27: 162-172.
- Cunha DGF, Bottino F, Callijuri MC (2010) Land use influence on eutrophication-related water variables: case study of tropical rivers with different degrees of anthropogenic interference. *Acta Limnol. Bras.* 22: 35-45.
- Fiskesjö G (1985) The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas* 102: 99-112.
- Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe

- MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz JA, Prentice IC, Ramanakutty N, Snyder PK (2005) Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
- Goldemberg J, Lucon O (2007) Energia e meio ambiente no Brasil. *Estud. Avanç.* 21: 7-20.
- Grillo R, Santos NZP, Maruyama CR, Rosa AH, Lima R, Fraceto LF (2012) Poly (ϵ -caprolactone) nanocapsules as carrier systems for herbicides: Physico-chemical characterization and genotoxicity evaluation. *J. Haz. Mat.* 231/232: 1-9.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) PAST: Palaeontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontol. Electr.* 4:9 http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Henry R, Nunes MA, Mitsuka PM, Lima N, Casanova SMC (1998) Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). *Rev. Brás. Biol.* 58: 571-590.
- Kimmel BL, Lind OT, Paulson LJ (1990) Reservoir primary production. Em Thornton KW, Payne FE, Kimmel BL (Eds.) *Reservoir Limnology, Ecological Perspectives*. Wiley. Nova Iorque, EEUU. pp. 246.
- Lamparelli MC (2004) *Graus de Trofia em Crpos d'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento*. Tese. Universidade de São Paulo. Brasil 235 pp.
- Lima R, Feitosa LO, Maruyama CR, Barga MA, Yamawaki PC, Vieira IJ, Teixeira EM, Corrêa AC, Mattoso LHC, Fraceto LF (2012) Evaluation of the genotoxicity of cellulose nanofibers. *Int. J. Nanomed.* 7: 3555-3565.
- Mackereth FJH, Heron J, Talling JF (1978) *Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists*. Freshwater Biological Association. Nº. 36. Cumbria, UK. 120 pp.
- Meguro M (2000) *Métodos em Ecologia*. Universidade de São Paulo. Brasil. 117 pp.
- Molozzi J, Franca JS, Araujo TLA, Viana TH, Hughes RM, Callisto M (2011) Diversity of physical habitat and its relationship with benthic macroinvertebrates in urban reservoirs in Minas Gerais. *Iheringia Ser. Zool.* 101: 191-199.
- Moraes DSL, Jordão BQ (2002) Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Rev. Saúd. Públ.* 36: 370-374.
- Nush EA (1980) Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Bech. Stuttgart.* 14: 14-36.
- Odeigah PG, Ijimakinwa J, Lawal B, Oyeniyi R (1997) Genotoxicity screening of leachates from solid industrial waste evaluated *Allium* test. *ATLA* 25: 311-321
- Oliveira LM, Voltolini JC, Barbério A (2011) Potencial mutagênico dos poluentes na água do rio Paraíba do Sul em Tremembé, SP, Brasil, utilizando o teste *Allium cepa*. *Ambi-Água* 6: 90-103.
- Pereira ACF (2008) *Desenvolvimento de método para Inferência de Características Físicas da Água Associadas às Variações Espectrais. Caso de Estudo: Reservatório de Itapararanga/SP*. Tese Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". São Paulo. Brasil. 206 pp.
- Peron AP, Canesin EA, Cardoso CMV (2009) Potencial mutagênico das águas do Rio Pi-

- rapó (Apucarana, Paraná, Brasil) em células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* L. *Rev. Bras. Biociênc.* 7:155-159.
- Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*. Wiley. Nova Iorque, EEUU. 286 pp.
- Piper CS (1947) *Soil and Plant Analysis*. Interscience. Nova York. 368 pp.
- Pusccheddu A, Gambi C, Manini E, Danovaro R (2007) Trophic state, ecosystem efficiency and biodiversity of transitional aquatic ecosystems: analysis of environmental quality based on different benthic indicators. *Chem. Ecol.* 23: 505-515.
- Queiroz RP, Imai NN (2007) Mapeamento das atividades antrópicas na área de entorno do reservatório de Itupararanga- SP: Uma abordagem baseada na diminuição gradativa do grau de complexidade da cena interpretada. Em *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, Florianópolis, SC, Brasil. pp. 1039-1045.
- Quiblier C, Leboulanger C, Sané S, Dufour P (2008) Phytoplankton growth control and risk of cyanobacterial blooms in the lower Senegal river delta region. *Water Res.* 42: 1023-1034.
- Secchin LF, Calijuri MC (2012) Caracterização morfológica e ambiental da área de drenagem da represa de Itupararanga (SP) como subsídio para a modelagem hidrológica. Em *XV SILU-BESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, MG, Brasil. pp. 1-7.
- SMA (2007) *Relatório de Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo 2006. Informações Referentes à 2005-2007*. Secretaria do Meio Ambiente. Brasil. www.ambiente.sp.gov.br. (Cons. 01/03/2010).
- Smith WS, Petrere MJr (2001) Peixes em represas: o caso de Itupararanga. *Ciência Hoje* 29: 74-77.
- Taniwaki RH, Rosa AH, Calijuri MC, Moschini-Carlos V (2011) Variação espacial do grau de trofia e da biomassa fitoplanctônica no reservatório de Itupararanga (São Paulo, Brasil). *Holos Env.* 11: 170-179.
- Thornton KW, Payne FE, Kimmel BL (Eds.) *Reservoir Limnology, Ecological Perspectives*. Nova Iorque, EEUU. 246 pp
- Tundisi JG, Matsumura-Tundisi T, Tundisi JEM (2008) Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. *Braz. J. Biol.* 68: 1133-1135.
- Uriarte M, Yackulic CB, Lim Y, Arce-Nazario JA (2011) Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis. *Landscape Ecol.* 26: 1151-1164.
- Wang B (2006) Cultural eutrophication in the Changjiang (Yangtze River) plume: History and perspective. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 69: 471-477.
- Wilson CO, Weng Q (2011) Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois. *Sci. Total Env.* 409: 4387-4405.

THE INFLUENCE OF LAND USE AND OCCUPATION ON THE QUALITY AND GENOTOXICITY OF WATER IN THE ITUPARARANGA RESERVOIR, SÃO PAULO, BRAZIL

Ricardo Hideo Taniwaki, André Henrique Rosa, Renata de Lima, Cíntia Rodrigues Maruyama, Lorena Ferrari Secchin, Maria do Carmo Calijuri and Viviane Moschini-Carlos

SUMMARY

The Brazilian reservoirs have been under great anthropogenic pressure due to continued population growth, which in turn places great pressures on the environment. Given this issue, this study aimed to analyze the influence of land use on the quality and genotoxicity of water in the Itupararanga reservoir, São Paulo, Brazil. Water and sediment samples were analyzed for their quality, genotoxicity and benthic diversity, as well as their interrelationship with the landscape. The reservoir was found to be eutrophic in most sampling stations, and genetic alterations were found in radicular cells of exposed Allium cepa in some sampling stations, besides a low diversity of benthic organisms. Among the variables that most contributed to the genetic alterations and water quality are the presence of riparian vegetation, the bare soil and urban occupation. With the results obtained in this study it was concluded that the quality of water and sediment at the Itupararanga reservoir is compromised, requiring emergency managements to ensure the sustainability of water resources.

terations were found in radicular cells of exposed Allium cepa in some sampling stations, besides a low diversity of benthic organisms. Among the variables that most contributed to the genetic alterations and water quality are the presence of riparian vegetation, the bare soil and urban occupation. With the results obtained in this study it was concluded that the quality of water and sediment at the Itupararanga reservoir is compromised, requiring emergency managements to ensure the sustainability of water resources.

LA INFLUENCIA DEL USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO EN LA CALIDAD Y LA GENOTOXICIDAD DEL AGUA EN EL RESERVOIRIO ITUPARARANGA, SÃO PAULO, BRASIL

Ricardo Hideo Taniwaki, André Henrique Rosa, Renata de Lima, Cíntia Rodrigues Maruyama, Lorena Ferrari Secchin, Maria do Carmo Calijuri y Viviane Moschini-Carlos

RESUMEN

Los reservorios brasileños han sido objeto de una gran presión antrópica debido al crecimiento continuo de la población, que a su vez ejerce una gran presión en el ambiente. Frente a esta problemática, este estudio tuvo como objetivo analizar la influencia del uso de la tierra en la calidad y la genotoxicidad del agua en el reservorio de Itupararanga, São Paulo, Brasil. Para ello, muestras de agua y sedimentos fueron analizadas en cuanto a su calidad, la genotoxicidad y su diversidad bentónica, así como su interrelación con el paisaje. El reservorio resultó ser eutrófico en la mayoría de las estaciones de muestreo, y se encontraron alteraciones genéticas en

meristemas radiculares de Allium cepa en algunas estaciones de muestreo, además de una baja diversidad de organismos bentónicos. Entre las variables que más contribuyeron a las alteraciones genéticas y la calidad del agua están la presencia de la vegetación ribereña, el suelo desnudo y la ocupación urbana. Con los resultados obtenidos en este estudio se concluyó que en el reservorio Itupararanga se ha comprometido la calidad del agua y de los sedimentos, lo que requiere un manejo de emergencia para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos.