



# A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA COMO AGENTE INDUTOR DE MODIFICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SEDIMENTO DO RIO JACUPIRANGUINHA, VALE DO RIBEIRA DE IGUAPE, SP

**Davi Gasparini Fernandes Cunha**

Graduando em Engenharia Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (SHS-EESC-USP) e bolsista de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), e-mail: davig@sc.usp.br

**Maria do Carmo Calijuri**

Professora Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (SHS-EESC-USP)

**Adriana Cristina Poli Miwa**

Doutoranda em Hidráulica e Saneamento, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (SHS-EESC-USP)

## Resumo

Ao longo das últimas décadas, a degradação da água e do sedimento de ecossistemas aquáticos atingiu níveis elevados. A preocupação com a qualidade ambiental é crescente e o grande desafio é incluir a dimensão ambiental nos valores dos indivíduos, além de incorporar, nos processos decisórios, as questões relativas ao meio ambiente. Os sedimentos de rios, especificamente, possuem notória importância e são caracterizados pela propriedade de acumular compostos, inclusive compostos tóxicos. A sua constante interação com a coluna aquática ratifica a interdependência entre estes dois compartimentos e confirma a importância de estudá-los conjuntamente. Desenvolvida na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, região mais pobre do estado de São Paulo, esta pesquisa teve por objetivo primordial avaliar a influência da precipitação pluviométrica nas concentrações de matéria orgânica, fósforo, manganês e cobre no sedimento do rio Jacupiranguinha. O aumento da precipitação pluviométrica durante a coleta de janeiro de 2005 interferiu definitivamente no comportamento dos metais estudados, do fósforo total e da matéria orgânica no sedimento. Assim, os eventos chuvosos foram reconhecidos como agentes causadores de distúrbios ao sistema aquático estudado, ocasionando intensificação das reações de adsorção e complexação entre matéria orgânica, fósforo e os metais pesados. Dessa forma, as concentrações de manganês e cobre no sedimento foram mais elevadas na coleta de janeiro, sendo  $551 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $22,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente, as máximas concentrações encontradas. O incremento nas concentrações dos metais foi associado, também, às fontes difusas de cargas poluidoras, representadas, sobretudo, pelas atividades agrícolas realizadas nas adjacências do rio Jacupiranguinha.

*Palavras-chave:* rios, sedimentos de rios, cobre, chumbo, Vale do Ribeira de Iguape.

## Introdução

A qualidade da água, assim como a sua quantidade, é afetada espacial e temporalmente por fatores naturais, como clima, geomorfologia, vegetação e condições geoquímicas da sua bacia de drenagem e do aquífero que a alimenta, bem como por intervenções antrópicas diversas. Como exemplos, podem-se citar: desmatamento de áreas adjacentes aos corpos de água, mudanças nos usos diversos do solo, irrigação, construção de barragens e despejo de efluentes ou poluentes.

Neste contexto, é importante destacar a grande influência dos sedimentos na qualidade da água. Os sedimentos são grandes reservatórios de nutrientes e contaminantes e, em razão de sua íntima e contínua relação com a coluna de água, estão predispostos a estabelecer trocas dessas substâncias com o compartimento água. O comportamento dos poluentes, ou seja, sua permanência na fase sólida ou na fase líquida do sistema aquático, é regulado por processos biogeoquímicos, por condições ambientais, pH, oxigênio dissolvido, temperatura e pela

hidrodinâmica, a qual é função, sobretudo, da intensidade e frequência das chuvas no local (Saulnier & Mucci, 2000; Cantwell *et al.*, 2002).

De acordo com Eggleton & Tomas (2004), os contaminantes apresentam diferentes afinidades com as diversas frações da fase sólida do sedimento. A maioria dos metais possui afinidade com materiais particulados, tais como argilas, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, substâncias orgânicas e material biológico, como algas e bactérias, por exemplo. Pesquisas recentes têm demonstrado a importância ímpar dos óxidos de manganês associados à matéria orgânica no processo de complexação de metais e sua imobilização no sedimento (Zoumis *et al.*, 2001; Fan *et al.*, 2002). A Figura 1 apresenta, de maneira esquemática, as possibilidades de distribuição de contaminantes em um rio, tanto na fase aquosa (água intersticial, água superficial) como na fase sólida (sedimento, material particulado suspenso e biota).

O manganês é um dos poluentes que pode ser acumulado no sedimento de um rio e, também, ser liberado para a coluna de água, dependendo das características físicas e químicas da água na interface água-sedimento, além da hidrodinâmica. O manganês é um elemento-traço e, portanto, necessário ao ser humano apenas em baixas concentrações. Elevadas concentrações de manganês podem ser danosas não apenas ao ser humano, mas a todo o ecossistema, conhecido o efeito cumulativo deste metal. Segundo Dobson *et al.* (2004), o manganês é particularmente tóxico ao cérebro, ocasionando doença neurodegenerativa conhecida como manganismo. Fraga (2005) associa esse acúmulo de manganês no cérebro a uma variação do Mal de Parkinson. Os sintomas ocasionados pela neurotoxicidade do manganês são, de acordo com Aschner (2005): fadiga, dores de cabeça, perda de apetite, apatia, desânimo, insônia, entre outros.

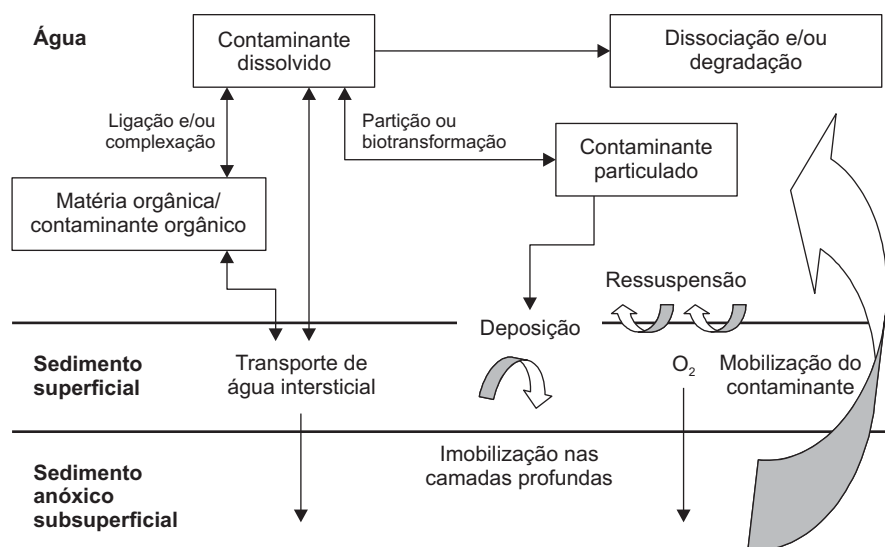
O cobre é outro elemento-traço que pode ocasionar danos à saúde humana acima de determinadas concentrações. Este elemento provoca efeitos variados ao organismo humano, ocasionando desde danos hepáticos, em caso de exposição crônica, até problemas gastrointestinais resultantes de exposição aguda (Fraga, 2005).

## Objetivos

O objetivo desta pesquisa foi verificar, em curto período de tempo, a variação espacial das concentrações de cobre, manganês, fósforo e matéria orgânica no sedimento do rio Jacupiranguinha, que se localiza na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, SP, buscando relacionar estas variáveis não apenas entre si, mas também com as características da coluna de água, como oxigênio dissolvido e pH, e com a precipitação pluviométrica, de forma a entender os processos envolvidos.

## Área de Estudo

Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (2002), a bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape e o Complexo Estuarino Lagunar de Iguape, Cananéia e Paranaguá, também conhecidos como Vale do Ribeira, possuem uma área de 2.830.666 hectares (28.306 km<sup>2</sup>), sendo 1.119.133 hectares no estado do Paraná e 1.711.533 hectares no estado de São Paulo. A região da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape tem como coordenadas geográficas: latitudes 23°30' e 25°30' S e longitudes 46°50' e 50°00' W. Ainda de acordo com a Fundação SOS Mata Atlântica (*op. cit.*), esta bacia divide-se em 13 sub-bacias e abrange 32 municípios, sendo 9 no estado do Paraná e 23 no estado de São Paulo. A sub-bacia onde esta pesquisa se desenvolveu é a do rio Jacupiranga, abrangendo os municípios de Jacupiranga, Cajati e Registro, localizada na região denominada Baixo Ribeira.



**Figura 1** Transporte e transformação de contaminantes em sedimentos (adaptado de Eggleton & Thomas, 2004).

Vale ressaltar a importância da mineração na economia dessa porção do Vale do Ribeira de Iguape. Ocorre, na região, grande variedade de minerais ferrosos, metálicos não ferrosos e preciosos, além de minerais industriais diversos e materiais naturais destinados à indústria de construção civil. O município de Cajati, que é cruzado especificamente pelo rio em estudo, o rio Jacupiranguinha, possui jazidas de apatita e carbonatito, no denominado Complexo Alcalino de Jacupiranga. Há produção de concentrados fosfáticos para fertilizantes, rações para animais e aplicações nas indústrias de cimento e de construção civil (CETEC, 2002).

É importante mencionar que a atividade mineral persistiu até a década de 1990 na região do Alto Vale do Ribeira (Cassiano, 2001). Essas áreas são fontes potenciais de contaminação dos rios do Baixo Ribeira de Iguape. Cassiano (*op. cit.*) confirma esse potencial poluidor das antigas áreas mineradoras do Alto Ribeira, citando que, durante o período de atuação das minas e usinas, cerca de 220.000 t de Pb-Zn-Ag foram produzidas de um total de 3.000.000 t de minério extraídas das principais minas, gerando cerca de 2.780.000 t de rejeitos, sem contar pilhas de estéril e minérios abandonadas. A pesquisadora ainda ressalta que, desde a desativação da atividade de mineração, em meados da década de 1990, o que se observa na área das minas é um cenário de total abandono, evidenciado tanto pela presença de resíduos sólidos com conteúdo metálico dispostos sem nenhum controle quanto pela presença de elevados teores de metais em água e sedimento de ecossistemas locais.

Tratando do rio Jacupiranguinha, destaca-se a presença de atividades agrícolas na região, em especial a bananicultura (Mocellin, 2006). As plantações de banana ocupam grande parte das margens do rio Jacupiranguinha, tomando o lugar da vegetação ciliar. O uso intenso de pesticidas promove

a contaminação do rio, já que são fontes de cobre, arsênio e cádmio, de acordo com Walker *et al.* (1999).

## Materiais e Métodos

Ao longo da área de estudo, foram determinados 8 pontos de amostragem, de acordo com a Tabela 1.

Houve duas coletas, uma em outubro de 2004, entre os dias 14 e 16, e outra em janeiro de 2005, no período compreendido entre os dias 26 e 28. Em cada um dos 8 pontos foi feita a medição de duas variáveis de água através da Multi-Sonda da marca Yellow Spring® (modelo 556): oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e pH. Amostras de sedimento também foram coletadas em cada um dos pontos, com auxílio de uma Draga de Van Veen, e houve quantificação dos teores de cobre e manganês, sob responsabilidade do Laboratório Bioagri Ambiental (SP), que seguiu a metodologia *SMEWW 3120B – Inductively Coupled Plasma (ICP)*. Além disso, foi realizada, no laboratório BIOTACE da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), a quantificação dos teores de fósforo total e matéria orgânica no sedimento, seguindo as metodologias descritas por Andersen (1976) e Trindade (1980), respectivamente.

Tendo em vista compreender melhor os processos envolvidos na interação entre os compartimentos água e sedimento, foram feitas matrizes correlacionais com as variáveis estudadas nesta pesquisa, através do software *Microsoft Excel® for Windows* (2002).

## Resultados e Discussão

As Figuras 2 e 3 apresentam os dados relativos à precipitação na área de estudo para os meses de outubro de 2004 e janeiro de 2005, segundo CIIAGRO/IAC (2006). São apresentados dados diários de precipitação.

**Tabela 1** Localização dos pontos de coleta de amostras de água e sedimento.

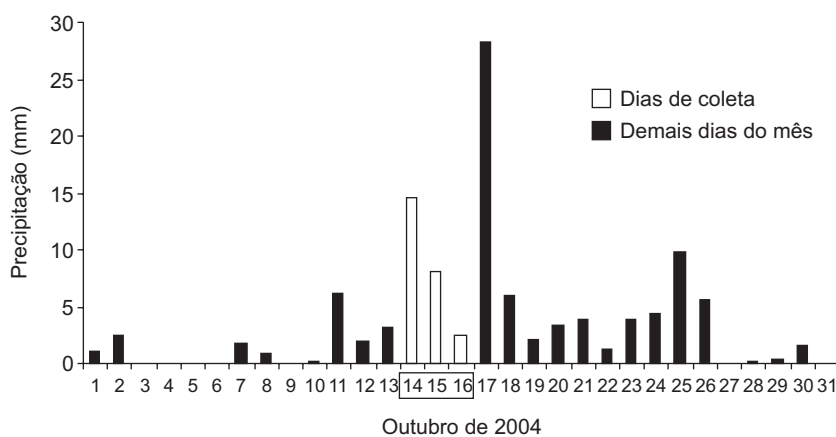
Pontos	Localização/Referência	Latitude	Longitude
1	1º ponto do rio Jacupiranguinha antes da cidade de Cajati	24°43'11"	48°10'26"
2	2º ponto do rio Jacupiranguinha, ainda antes da cidade de Cajati	24°43'56"	48°08'49"
3	Ponto de captação de água pela SABESP, ainda antes da cidade	24°43'51"	48°07'57"
4	Dentro da cidade de Cajati, próximo a uma ponte em construção	24°43'47"	48°06'44"
5	Ponte antes da Estação de Tratamento de Esgoto	24°43'38"	48°05'55"
6	Lançamento do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto	24°43'22"	48°05'37"
7	Lançamento do efluente de uma indústria de fertilizantes	24°43'05"	48°05'10"
8	Último ponto no rio Jacupiranguinha	24°43'02"	48°03'00"

É possível notar que a quantidade de chuvas em janeiro de 2005 foi maior, atingindo 305,0 mm, dos quais 91,6 mm ocorreram somente nos dias de coleta. Já em outubro de 2004, a precipitação foi menor, atingindo 201,0 mm. Deste total, 24,9 mm de chuva ocorreram nos dias de amostragem. É fundamental levar em conta a precipitação nos estudos sobre seqüestro de metais da coluna de água ou sua liberação para a água, uma vez que, como lembrado por Eggleton & Tomas (2004), eventos que ocasionem distúrbio ao sistema aquático, como o fenômeno natural das chuvas, por exemplo, afetam a afinidade entre os contaminantes e o sedimento. Dessa forma, as chuvas intensas de janeiro provavelmente ocasionaram um grau mais elevado de distúrbios no rio Jacupiranguinha em comparação aos gerados pelas chuvas de outubro, isto é, provocaram mudança maior nos processos envolvidos na interação água-sedimento,

com rompimento do estado de equilíbrio anterior à precipitação.

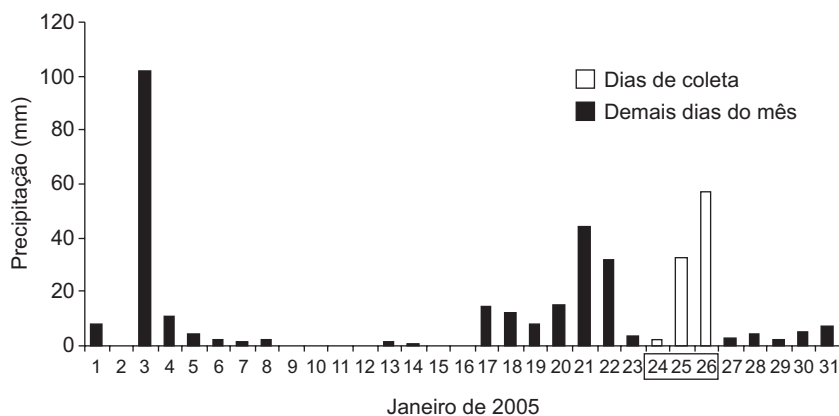
A Figura 4 mostra os valores de pH nos 8 pontos de amostragem, para cada uma das coletas. É possível perceber que os maiores valores de pH foram observados na coleta de janeiro, ocasião em que o valor máximo encontrado foi de 10,71 e o mínimo foi de 8,79. Já em outubro, os valores de pH foram inferiores em todos os pontos, variando entre 7,04 e 9,06.

O potencial hidrogeniônico é reconhecido como uma variável de extrema importância no estudo da imobilização de metais em sedimentos de rios ou de sua liberação para a água (Evans *et al.*, 2004; Cappuyns & Swennen, 2005). Segundo Eggleton & Thomas (2004), amplas variações de pH podem acelerar a adsorção, a partição ou a transformação de contaminantes presentes no sedimento dos rios.



**Figura 2** Precipitação diária em outubro de 2004 (coleta entre os dias 14 e 16).

Fonte: CIIAGRO/IAC (2006) – Posto de Coleta de Jacupiranga. Latitude: 24°41'; longitude: 48°00'; altitude: 59 m).



**Figura 3** Precipitação diária em janeiro de 2005 (coleta entre os dias 24 e 26).

Fonte: CIIAGRO/IAC (2006) – Posto de Coleta de Jacupiranga. Latitude: 24°41'; longitude: 48°00'; altitude: 59 m).

Vale ressaltar que, segundo a Resolução Conama 357/05 (Brasil, 2005), os critérios de proteção à vida aquática, de acordo com a legislação, fixam o pH entre 6 e 9 para rios de classe 2. Vale lembrar que os valores de pH elevados obtidos na presente pesquisa podem ser associados às características naturais da água do rio Jacupiranguinha, uma vez que a região onde o sistema se localiza é caracterizada por rochas fosfatadas, que conferem alcalinidade às águas, como destaca Moccellini (2006).

As concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), mostradas na Figura 5, variaram entre  $4,75 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $7,27 \text{ mg.L}^{-1}$  em outubro e entre  $3,59 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $4,53 \text{ mg.L}^{-1}$  em janeiro. As menores concentrações de oxigênio dissolvido, obtidas no período chuvoso, estão provavelmente relacionadas ao aumento na concentração de sólidos em suspensão. As chuvas intensas de janeiro, reconhecidas nesta pesquisa como o principal agente causador de distúrbios ao sistema aquático, provocaram não apenas a ressuspensão dos sedimentos do fundo do rio, em razão do aumento da

vazão, como também o aporte de material alóctone no corpo de água, proveniente de áreas-fonte adjacentes que sofreram erosão pelo escoamento superficial da água.

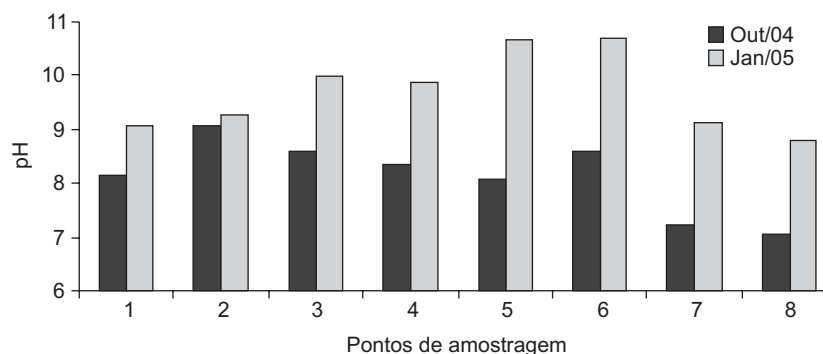
A Figura 6 apresenta os teores de matéria orgânica (%) e a Tabela 2 traz as concentrações de fósforo total no sedimento do rio Jacupiranguinha para as duas coletas efetuadas.

Os teores de matéria orgânica variaram entre 0,52% e 5,36%. Todas as porcentagens de matéria orgânica foram inferiores a 10%, o que caracteriza sedimento mineral ou inorgânico, como os estudados por Cotta (2003). Segundo Cotta (*op. cit.*), de acordo com o tempo de residência da água no rio, pode ocorrer maior ou menor sedimentação dos materiais orgânicos e inorgânicos que chegam via entradas pontuais ou difusas.

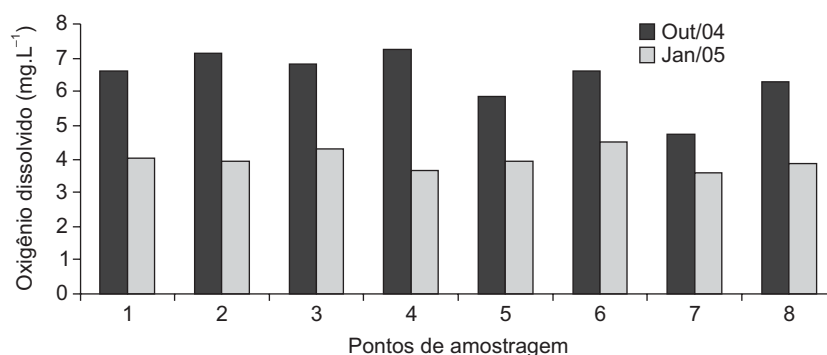
Já as concentrações de fósforo total variaram entre  $0,12 \mu\text{g.g}^{-1}$  e  $10,50 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Estes valores são inferiores à maioria das concentrações obtidas por Lemes (2001) nos sedimentos dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, nos quais a maior concentração encontrada foi de  $63,3 \mu\text{g.g}^{-1}$ .

**Tabela 2** Fósforo total ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) no sedimento do rio Jacupiranguinha em todos os pontos de amostragem em outubro de 2004 e janeiro de 2005.

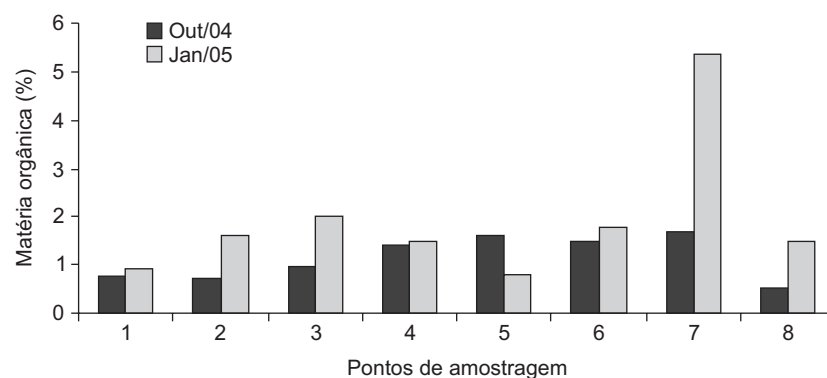
Pontos	Outubro de 2004	Janeiro de 2005
1	0,14	0,12
2	0,12	0,13
3	0,12	0,32
4	2,00	0,30
5	3,50	0,17
6	2,50	0,50
7	3,80	10,50
8	1,40	0,83



**Figura 4** Valores de pH da água do rio Jacupiranguinha para os 8 pontos de amostragem em outubro de 2004 e janeiro de 2005.



**Figura 5** Oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) na água do rio Jacupiranguinha em todos os pontos de amostragem em outubro de 2004 e janeiro de 2005.



**Figura 6** Matéria orgânica (%) no sedimento do rio Jacupiranguinha em todos os pontos de amostragem em outubro de 2004 e janeiro de 2005.

A Figura 7 apresenta as concentrações de cobre e manganês no sedimento do rio Jacupiranguinha. As concentrações de cobre no sedimento do rio variaram entre 3,08 mg.kg<sup>-1</sup> (outubro de 2004) e 22,00 mg.kg<sup>-1</sup> (janeiro de 2005). Pôde-se notar que a maioria das concentrações encontradas na segunda amostragem foi superior às obtidas na primeira. A mínima e a máxima concentração de manganês no sedimento foram de 154 mg.kg<sup>-1</sup> e 551 mg.kg<sup>-1</sup>. A máxima concentração foi obtida no Ponto 7, onde há lançamento do efluente da indústria de fertilizantes. O mesmo foi observado para fósforo total, matéria orgânica e cobre. O Ponto 7 se trata, portanto, de uma fonte pontual de poluição. Além disso, novamente pôde-se perceber que a maioria das concentrações dos metais foi superior em janeiro de 2005, correspondendo ao período chuvoso, em que ocorre escoamento superficial em áreas agrícolas adjacentes e em áreas urbanas, representadas pela cidade de Cajati. A poluição gerada pelo escoamento superficial da água

que passa pelo meio urbano e que chega ao sistema aquático é reconhecida por Walker *et al.* (1999) como uma das mais freqüentes causas de poluição das águas de um rio.

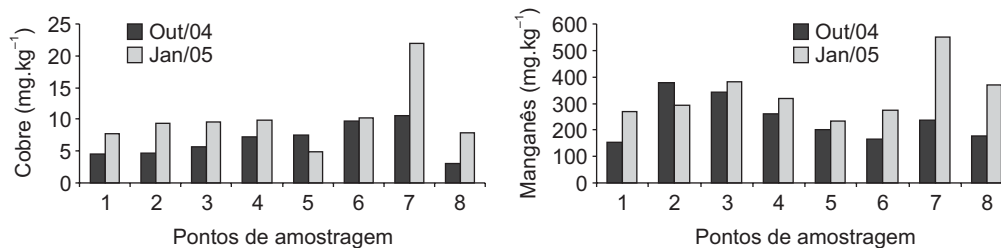
Segundo Pedrozo *et al.* (2001), em sedimentos o cobre liga-se primariamente à matéria orgânica, a menos que os sedimentos sejam pobres neste tipo de material. Quando o teor de matéria orgânica é baixo, a concentração de minerais ou de ferro, manganês e óxidos de alumínio torna-se importante na adsorção de cobre. As Tabelas 3 e 4 mostram as matrizes de correlação entre as variáveis do sedimento quantificadas nesta pesquisa nas duas épocas estudadas. Vale destacar a correlação significativa entre o cobre e a matéria orgânica no sedimento em ambas as coletas, assim como as correlações do metal com o teor de fósforo total. Isso reforça o observado por Evans *et al.* (2004), que ressaltam a importância do cobre e de outros metais na adsorção do fósforo associado ao material particulado e à matéria orgânica.

**Tabela 3** Matriz de correlação entre Mn, Cu, P e MO no sedimento do rio Jacupiranguinha para a coleta de outubro de 2004.

	Mn	Cu	P	MO
Mn	1			
Cu	-0,14831	1		
P	-0,40628	<b>0,774884</b>	1	
MO	-0,17412	<b>0,939894</b>	<b>0,849019</b>	1

**Tabela 4** Matriz de correlação entre Mg, Cu, P e MO no sedimento do rio Jacupiranguinha para a coleta de janeiro de 2005.

	Mn	Cu	P	MO
Mn	1			
Cu	<b>0,890055</b>	1		
P	<b>0,878558</b>	<b>0,940587</b>	1	
MO	<b>0,925316</b>	<b>0,98141</b>	<b>0,965279</b>	1

**Figura 7** Concentrações de cobre (mg.kg<sup>-1</sup>) e manganês (mg.kg<sup>-1</sup>) no sedimento do rio Jacupiranguinha em todos os pontos de amostragem em outubro de 2004 e janeiro de 2005.

Dessa forma, foi confirmada a correlação entre o metal cobre no sedimento e os teores de fósforo total e de matéria orgânica nesse compartimento. Na coleta de janeiro, essa correlação foi mais significativa em comparação à determinada em outubro de 2004.

O aumento da precipitação em janeiro deve ser entendido como um distúrbio ao sistema aquático, que ocasionou perturbações ao equilíbrio entre a coluna de água e o sedimento. Assim, a ressuspensão do sedimento, gerada pelo aumento da vazão, alterou a afinidade entre o cobre e fósforo e matéria orgânica particulados, servindo como elemento propulsor para a ocorrência de reações químicas (ligação/complexação) e/ou físicas (adsorção) entre os compostos. Além disso, vale lembrar que a ressuspensão do sedimento expõe suas camadas anóxicas mais profundas, que podem conter metais

até então imobilizados, a um ambiente oxigenado e mais reativo, como é enfatizado por diversos pesquisadores (Dong *et al.*, 2000; Caetano *et al.*, 2002; Eggleton & Tomas, 2004).

Quanto ao manganês, a influência das chuvas também foi decisiva. O aumento da vazão do rio em janeiro acarretou a ressuspensão do sedimento. O manganês temporariamente liberado para a coluna de água foi, então, rapidamente precipitado e depositado na forma de óxidos e hidróxidos insolúveis, aos quais o cobre deve ter sido adsorvido, como verificado por Saulnier & Mucci (2000) e por Caetano *et al.* (2002). As significativas correlações entre manganês e cobre, observadas na coleta de janeiro, confirmam essa hipótese (Tabela 4). Assim como foi observado para o cobre, houve correlações significativas entre o manganês, fósforo e matéria orgânica na coleta de janeiro.

## Conclusões

A quantificação de cobre, manganês, fósforo total e matéria orgânica no sedimento do rio Jacupiranguinha, Vale do Ribeira de Iguape, SP, bem como a determinação de algumas variáveis da água e a análise de dados de precipitação pluviométrica, realizadas em dois períodos amostrais, permitem concluir:

1. Dos três grandes grupos de fatores que governam a partição de um poluente e o seu comportamento em um sistema aquático, a citar: processos biogeoquímicos, elementos físicos do escoamento e condições ambientais, a **vazão do rio** mostrou-se preponderante. O aumento da precipitação, e conseqüente aumento da vazão do rio, foi o fator que interferiu definitivamente no comportamento dos metais estudados, do fósforo total e da matéria orgânica no sedimento.
2. A precipitação em janeiro de 2005 foi reconhecida, nesta pesquisa, como importante agente causador de **distúrbios** ao sistema aquático estudado. As perturbações ocasionadas pelo aumento da vazão geraram ressuspensão do sedimento superficial do rio e, provavelmente, exposição de camadas mais profundas a um ambiente oxigenado e altamente reativo. A exposição dessas camadas a um ambiente químico diferenciado potencializa as reações de adsorção entre os metais e as outras variáveis de sedimento, como, por exemplo, as determinadas nesta pesquisa. Isto pode ter levado à intensificação da interação entre os metais estudados, cobre e manganês, e a matéria orgânica e o fósforo.
3. As matrizes de correlação entre as variáveis de sedimento estudadas confirmaram a importância e **participação decisiva das chuvas** na dinâmica dos processos que envolvem coluna de água e sedimento, uma vez que as correlações mais significativas foram verificadas justamente na coleta de janeiro.
4. O aumento das concentrações de cobre e manganês no sedimento durante o período chuvoso também devem ser associado ao aporte de poluentes ao curso de água em razão do **aumento do escoamento superficial** e conseqüente carreamento de contaminantes ao rio. Em outras palavras, este aumento das concentrações dos metais observado no período das chuvas pode ser associado à inundação de áreas de plantação adjacentes ao rio, havendo carreamento de elementos-traço para o corpo de água, além de outras contribuições difusas (áreas agrícolas, urbanas e antigas áreas mineradoras, sobretudo do Alto Ribeira). Além disso, a ressuspensão do sedimento gerada pelo aumento da vazão do rio no período chuvoso e, conseqüentemente, o transporte dos metais da nascente à foz do rio não devem ser ignorados.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar sinceros agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica por dois anos para o primeiro autor, entre julho de 2004 e julho de 2006, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pelo suporte financeiro (Processo Fapesp nº 02/13449-1).

## Referências Bibliográficas

- ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water Resources*, v. 10, p. 329-31, 1976.
- ASCHNER, M.; LUKEY, B.; TREMBLAY, A. The Manganese Health Research Program (MHRP): Status report and future research needs and directions. *NeuroToxicology*, v. 27, p. 733-736, 2005.
- BRASIL. Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre os padrões de qualidade de cursos de água. 2005.
- CAETANO, M.; MADUREIRA, M-J.; VALE, C. Metal remobilisation during resuspension of anoxic contaminated sediment: short-term laboratory study. *Water Air Soil Pollution*, v. 143, p. 23-40, 2002.
- CAPPUYNS, V.; SWENNEN, R. Kinetics of element release during combined oxidation and  $\text{pH}_{\text{stat}}$  leaching of anoxic river sediments. *Applied Geochemistry*, v. 20, p. 1169-1179, 2005.
- CANTWELL, M. G.; BURGESS, R. M.; KESTER, D. R. Release and phase partitioning of metals from anoxic estuarine sediments during periods of simulated resuspension. *Environmental Science Technology*, v. 36, p. 5328-5334, 2002.
- CASSIANO, A. M. *Fontes de contaminação por elementos-traço na bacia do Rio Ribeira (SP-PR): estratégias para remediação de uma área de disposição de rejeitos de mineração de Pb-Ag*. 2001. 159 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP).
- CETEC (Centro Tecnológico) – *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 11 (2001)*. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 2/8/2006.
- CIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas). Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). *Balanço hídrico da região do Vale do Ribeira*. Disponível em: <http://ciiagro.iac.sp.gov.br/ciiagroonline/>. Acesso em: 15/7/2006.



- COTTA, J. A. O. *Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)*. 2003. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- DOBSON, A. W.; ERIKSON, K. M.; ASCHNER, M. *Manganese neurotoxicity*. Redox-Active Metals in Neurological disorders annals of the New York Academy of Sciences, 2004. v. 1012, p. 115-128.
- DONG, D.; NELSON, Y. M.; LION, L. W.; SHULER, M. L.; GHIORSE, W. C. Adsorption of Pb and Cd onto metal oxides and organic material in natural surface coatings as determined by selective extractions: new evidence for the importance of Mn and Fe oxides. *Water Research*, v. 34, p. 427-436, 2000.
- EGGLETON, J.; THOMAS, K. V. A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environmental International*, v. 30, p. 973-980, 2004.
- EVANS, D. J.; JOHNES, P. J.; LAWRENCE, D. S. Physico-chemical controls on phosphorus cycling in two lowland streams. Part 2 – The sediment phase. *Science of Total Environment*, v. 329, p. 165-182, 2004.
- FAN, W.; WANG, W.-X.; CHEN, J.; LI, X.; YEN, Y.-F. Cu, Ni and Pb speciation in surface sediments from a contaminated bay of northern China. *Mar Pollution Bulletin*, v. 44, p. 816-832, 2002.
- FRAGA, C. G. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, v. 26, p. 235-244, 2005.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Disponível em: <http://www.sosmatatlantica.org.br/>. Acesso em: 10/7/2006.
- LEMES, M. J. L. *Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, São Paulo*. 2001. 215 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MOCCELLIN, J. *A microbacia do rio Jacupiranguinha como unidade de estudo para a sustentabilidade dos recursos hídricos no Baixo Ribeira de Iguape*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP).
- PEDROZO, M. F. M.; LIMA, I. V. *Ecotoxicologia do cobre e seus compostos*. Cadernos de Referência Ambiental. Salvador, 2001. v. 2, 128 p.
- SAULNIER, I.; MUCCI, A. Trace metal remobilization following the resuspension of estuarine sediments: Saguenay Fjord, Canada. *Applied Geochemistry*, v. 15, p. 191-210, 2000.
- TRINDADE, M. *Nutrientes em sedimento da represa do Lobo (Brotas-Itirapina/SP)*. 1980. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- WALKER, W. J.; McNUTT, R. P.; MASLANKA, C. K. The potential contribution of urban runoff to surface sediments of the Passaic river: sources and chemical characteristics. *Chemosphere*, v. 38, p. 363-377, 1999.
- ZOUMIS, T.; SCHMIDT, A.; GRIGOROVA, L.; CALMANO, W. Contaminants in sediments: remobilisation and demobilisation. *Science of Total Environment*, v. 266, p. 195- 202, 2001.