# UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

## KARINE BALDO DE GÊNOVA CAMPOS

Elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos dos rios Jundiaí e Capivari: avaliação dos critérios de toxicidade e parâmetros de controle

> Piracicaba 2017

### **KARINE BALDO DE GÊNOVA CAMPOS**

### Elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos dos rios Jundiaí e Capivari: avaliação dos critérios de toxicidade e parâmetros de controle

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Mortatti

Piracicaba 2017 AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

> Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Campos, Karine Baldo de Gênova

Elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos dos rios Jundiaí e Capivari: avaliação dos critérios de toxicidade e parâmetros de controle / Karine Baldo de Gênova Campos; orientador Jefferson Mortatti. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

257 p. : il.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Bacia hidrográfica 2.Biodisponibilidade 3. Efluentes 4. Isótopos estáveis 5. Poluição de rios 6. Química ambiental 7. Sedimentologia fluvial I. Título

CDU 550.4+(502.51:504.5)

Ao meu companheiro de vida, de jornadas e de sonhos, Júlio César de Campos, que com amor, respeito e paciência me ensina a ser uma pessoa melhor a cada dia. Á ele, minha gratidão e amor!

#### Dedico

À nossa filha, Larissa, que nos ensinou o significado do amor infinito. Amor que transborda!

Ofereço

#### AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jefferson Mortatti, orientador e professor, pela confiança depositada na realização deste trabalho, pela ótima convivência, paciência, amizade, dedicação e ensinamentos para minha formação profissional e pessoal.

Ao Prof. Dr. Helder de Oliveira, pela amizade, dedicação e colaboração na realização dos trabalhos.

Aos amigos do Laboratório de Hidrogeoquímica, Graziela Meneghel de Moraes, Diego Vendramini, Karen Crivellani e Leonardo Fernandez Oliveira pelo valoroso apoio nos trabalhos de campos e laboratório, além do ótimo convívio e apoio nos trabalhos científicos e acadêmicos.

Aos amigos e funcionários, Ana Paula Moraes de Moraes, Miguel Luiz Baldessin José Aurélio Bonassi, Hugo Henrique Batagello, Magda Bartolamei, Bento Moraes, pelo ótimo convívio e amizade.

À Marilia Ribeiro Garcia Henyei, pela normatização do trabalho, à minha irmã Mariana, pelas horas despendidas na correção do mesmo, e ao professor de inglês Gabriel Falco.

Às amigas Aline Franco Soares, Beatriz Nastaro e Patrícia Dias, companheiras de pensionato, pelos momentos compartilhados, conselhos e boas conversas.

À Anna Lúcia Izzo, por sua receptividade em sua casa, caronas e principalmente pela amizade.

À minha família e amigos mais próximos, pela atenção, apoio e paciência em momentos difíceis.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), principalmente seu corpo docente pelo ensino de qualidade, que possibilitou a realização do curso de doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de estudos concedida e apoio financeiro ao projeto de pesquisa (Processo Nº: 2012/13602-6).

A todos aqueles que, embora não citados, participaram dessa importante etapa de minha vida.

### "DA ANÁLISE

Eis um problema! E cada sábio nele aplica As suas lentes abismais. Mas quem com isso ganha é o problema, que fica Sempre com um *x* a mais..."

> Mario Quintana Prosa &Verso

#### RESUMO

CAMPOS, K. B. G. Elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos dos rios **Jundiaí e Capivari:** avaliação dos critérios de toxicidade e parâmetros de controle. 2017. 257 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

O presente trabalho teve por objetivo estudar a especiação química dos principais elementos potencialmente tóxicos (Co, Cr, Cu, Zn, Cd, Ni e Pb), presentes nos sedimentos fluviais das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (SP) da nascente até à foz, identificando as ocorrências de origem naturais e antrópicas, utilizando diversos critérios de toxicidade e parâmetros de controle. A determinação da concentração total dos elementos, obtidas a partir do método da fusão alcalina, permitiu avaliar os critérios de toxicidade considerando os valores-guia de gualidade de sedimentos (VGQS), bem como os fatores de enriquecimento (EF) e índices de geo-acumulação (l<sub>aeo</sub>) tendo como base o fundo geoquímico natural regional (FGNR). A biodisponibilidade foi analisada para os elementos potencialmente tóxicos, de acordo com o processo da extração seguencial seletiva bem como pela relação entre sulfetos volatilizados após ataque ácido a frio (AVS) e extração simultânea de metais (SEM). A origem da matéria orgânica presente nos sedimentos fluviais foi identificada através da comparação com parâmetros de referência em base isotópica ( $\delta^{13}$ C). Em termos de toxicidade dos elementos estudados, o uso de referências globais (médias mundiais) indicaram valores superestimados para Cd e subestimados para Cu (JM) em relação ao FGNR, mostrando a importância da ponderação da formação geogênica na avaliação de classes de contribuição antrópica em sedimentos de fundo fluvial. Foi possível observar coerência entre os critérios de toxicicidade utilizados (EF e laeo), destacando na bacia do rio Jundiaí, contribuição antrópica de Cu e Zn, principalmente em JM. Já na bacia do rio Capivari foi constatado contribuição antrópica Pb em CF. Os resultados obtidos empregando método AVS e SEM na avaliação da biodisponibilidade dos elementos 0 potencialmente tóxicos utilizando o critério (SEM - AVS) / Corg > 130, mostraram não haver biodisponibilidade dos elementos nos sedimentos de fundo amostrados. Quando utilizando a extração seguencial seletiva, resultados apresentaram a biodisponibilidade de Cu, Zn e Pb na maioria das estações de amostragem estudadas, sendo o Cu ligado à fração da matéria orgânica (S4), Zn e Pb à fração de óxidos de ferro e manganês (S3). Quanto à origem da matéria orgânica nos sedimentos finos em suspensão (FSS) dessas bacias, revelaram-se associada ao material erosivo (solos da bacia) nos períodos chuvosos e aos efluentes domésticos no período de estiagem, e nos sedimentos de fundo a origem da matéria orgânica apresentou-se relacionada principalmente aos efluentes domésticos.

**Palavras-chave**: Sedimentos fluviais. Elementos potencialmente tóxicos. Toxicidade. Biodisponibilidade. Origem da matéria orgânica.

#### ABSTRACT

CAMPOS, K. B. G. **Potentially toxic elements in sediments from Jundiaí River and Capivari River:** toxicity criterions evaluation and control parameter. 2017. 257 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

The aim of the current work was to study the chemical speciation of the main potentially toxic elements (Co, Cr, Cu, Zn, Cd, Ni e Pb) present in fluvial sediments from the drainage basins in the Jundiaí and Capivarí Rivers (São Paulo State), from their headwaters until the river mouth, identifying the natural causes and anthropic occurrences using various toxicity criterions and control parameters. The purpose of total concentration of the elements, acquired from the alkaline fusion method, permitted to evaluate the toxicity criterions considering the values of sediment quality guidelines (SQGs) as well as the enrichment factors (EF) and geo-accumulation index (I<sub>geo</sub>) based on the natural regional chemical fund (FGNR). The bioavailability evaluation was analyzed for the potentially toxic elements, according to the selective sequel extraction as well as for the relation among volatilized sulfide after a cold attack with acid (AVS) and the simultaneous metal extraction (SEM). The organic matter origin present in the river sediments was identified through the comparison between the reference parameters in isotopic basis ( $\delta^{13}$ C). In terms of toxicity of the studied elements, the use of global references (world averages) shows overestimated values to Cd and underestimated to Cu (JM) according to FGNR. showing the importance of ponderation of geogenic formation in the evaluation of anthropic contribution classes in river bottom sediments. It was possible to note the coherence among the criterions of toxicity used (EF e  $I_{qeo}$ ), highlighting in the basin of Jundiaí River, anthropic contribution of Cu and Zn, mainly in JM. In the basin of Capivari River, it was possible to verify the anthropic contribution Pb in CF. The results obtained using the AVS and SEM methods in the evaluation of bioavailability of the potentially toxic elements using the criterion (SEM - AVS) / Corg > 130, showed that there isn't bioavailability of the elements in the sediments of sampled river bottoms. On the other hand, using the sequel selective extraction, the results present bioavailability of Cu, Zn and Pb in most of the studied monitoring stations, the Cu linked to the organic matter fraction (S4), Zn and Pb linked to the iron oxide and manganese fraction (S3). In addition, the origin of organic matter in the fine sediments of suspension (FSS) in Jundiaí and Capivarí Rivers turned out to be associated to the erosive material (soil of basin) in the rainy periods and to the domestic effluents in the dry periods, and in the bottom sediments, the origin of the organic matter turned out to be related mainly to the domestic effluents

**Palavras-chave**: Fluvial sediments. Potentially toxic elements. Toxicity. Bioavailability. Origin of the organic matter.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	.17
2. REVISÃO DE LITERATURA	.20
2.1. Critérios de toxicidade	.24
2.2. Critérios de biodisponibilidade	.30
2.3. Origem da matéria orgânica nos sedimentos	.37
3. ÁREA DE ESTUDO	.40
3.1. Bacia do rio Jundiaí	.40
3.2. Bacia do rio Capivari	.41
3.3. Aspectos geológicos e unidades estratigráficas	.41
3.4. Aspectos geomorfológicos	.45
3.5. Solos	.47
3.6. Uso e ocupação do solo	.49
3.7. Aspectos hidroclimáticos	.51
3.8. Estações de amostragem	.52
3.8.1. Sedimentos Fluviais	.52
3.8.2. Solos	.60
4. MATERIAIS E MÉTODOS	.61
4.2. Desenvolvimento metodológico	.62
4.2.1. Protocolo de amostragem e preparo das amostras	.62
4.2.1.1. Sedimentos finos em suspensão (FSS)	.62
4.2.1.2. Sedimento de fundo em perfil de profundidade	.64
4.2.1.3. Solos	.66
4.2.2. Composição mineralógica e granulométrica dos sedimentos fluviais e solos	.67
4.2.3. Concentrações totais das principais espécies químicas e elementos potencialmente tóxicos dos sedimentos fluviais e solos	.69
4.2.4. Caracterização química dos sedimentos fluviais e solos	.70
4.2.5. Índice de maturidade química (ChM) e grau de alteração de rochas (R) dos sedimentos finos em suspensão	.70
4.2.6. Mobilidade geoquímica das principais espécies químicas dos sedimentos finos em suspensão	.71
4.2.7. Critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em função da concentração total	.71

4.2.7.1. Valores-guia de referência: VP, VI, PEL e TEL	71
4.2.7.2. Fundo geoquímico natural: globais e regionais	73
4.2.7.3. Fator de enriquecimento (EF)	74
4.2.7.4. Índice de geoacumulação (I <sub>geo</sub> )	75
4.2.8. Critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em função da biodisponibilidade	75
4.2.8.1. Sulfetos volatilizáveis por ataque ácido (AVS) e extração simultânea de metais (SEM) dos sedimentos fluviais de fundo em perfil de profundidade	75
4.2.8.2. Extração sequencial seletiva: distribuição dos elementos potencialmente tóxicos entre as principais frações e fases geoquímicas dos sedimentos fluviais de fundo	76
4.2.9. Biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos equivalentes à extração sequencial seletiva x AVS	81
4.2.10. Análise de carbono e nitrogênio orgânico particulado e assinaturas isotópicas dos sedimentos fluviais e solos: aplicação de parâmetros de referência isotópica	81
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
5.1. Composição mineralógica e granulométrica dos sedimentos fluviais e solos	83
5.2. Concentrações totais das principais espécies químicas e elementos potencialmente tóxicos dos sedimentos fluviais e solos	87
5.2.1. Solos	88
5.2.2. Sedimentos finos em suspensão (FSS)	94
5.2.3. Sedimento de fundo em perfil de profundidade 1	02
5.3. Caracterização química dos sedimentos fluviais e solos 1	26
5.3.1. Solos 1	26
5.3.2. Sedimentos finos em suspensão (FSS) 1	28
5.3.3. Sedimento de fundo em perfil de profundidade 1	32
5.4. Índice de maturidade química (ChM) e grau de alteração de rochas (R) dos sedimentos finos em suspensão 1	140
5.5. Mobilidade geoquímica das principais espécies químicas dos sedimentos fluviais1	41
5.6. Critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em função da concentração total	145
5.6.1. Valores-guia de referência: VP, VI, PEL e TEL 1	45
5.6.1.1. Solos 1	45
5.6.1.2. Sedimentos finos em suspensão (FSS) 1	48
5.6.1.3. Sedimento de fundo em perfil de profundidade 1	54
5.6.2. Fundo geoquímico natural: globais e regionais 1	59

5.6.3. Fator de enriquecimento (EF)161
5.6.4. Índice de geoacumulação (I <sub>geo</sub> )169
5.7. Critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em função da biodisponibilidade176
5.7.1. Sulfetos volatilizáveis por ataque ácido (AVS) e extração simultânea de metais (SEM) dos sedimentos fluviais de fundo176
5.7.1.1. Bacia do rio Jundiaí
5.7.1.2. Bacia do rio Capivari183
5.7.2. Extração sequencial seletiva: distribuição dos elementos potencialmente tóxicos entre as principais frações e fases geoquímicas dos sedimentos fluviais de fundo
5.7.2.1. Bacia do rio Jundiaí190
5.7.2.2. Bacia do rio Capivari193
5.7.3. Biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos equivalente à extração sequencial seletiva x AVS
5.8. Análise de carbono e nitrogênio orgânico particulado e assinaturas isotópicas dos sedimentos fluviais e solos: aplicação de parâmetros de referência isotópica
5.8.1. Sedimentos finos em suspensão (FSS)205
5.8.2. Sedimento de fundo em perfil de profundidade206
6. CONCLUSÕES210
REFERÊNCIAS214
APÊNDICES

#### 1. INTRODUÇÃO

A água é essencial para vida e uma das mais importantes riquezas naturais do planeta. Parte fundamental de um sistema aquático, ela é extremamente indispensável para o desenvolvimento de uma região, contribuindo com a expansão da agricultura e o progresso das indústrias, fazendo desse recurso uma questão ecológica, política, econômica e social (TUNDISI, 2003).

O Brasil é um país privilegiado por possuir uma das maiores redes hídricas e reservas de água doce do mundo. Contudo, com o crescimento populacional e econômico acentuado das últimas décadas, houve maior necessidade tanto por água quanto por serviços ligados à ela. O aumento no volume de efluentes lançados nos rios também é reflexo desse crescimento, comprometendo a qualidade ambiental dos recursos hídricos do país (ANA, 2009).

Não somente o lançamento de efluentes sem prévio tratamento nos ambientes aquáticos contribui na degradação de um corpo d'água, mas também a má gestão do uso e conservação do solo de uma bacia de drenagem, associados à falta de áreas de preservação permanente, tornam cada vez mais difícil encontrar corpos d'água ainda não impactados.

No Estado de São Paulo, os recursos hídricos se apresentam em situação crítica de qualidade e quantidade, consequência da má gestão governamental desse recurso associada às estiagens prolongadas e à falta de tratamento de efluentes adequado em diversos municípios.

O modelo de desenvolvimento econômico vigente, os índices de crescimento populacional atual e as perspectivas para o futuro se apresentam preocupantes. Na última década, o baixo índice de água nos reservatórios de abastecimento de água no Estado se agravou, tornando a crise da água um tema em constante discussão nos órgãos e comitês gestores de recursos hídricos.

As bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, importantes afluentes do rio Tietê, se encontram em pleno desenvolvimento econômico no Estado de São Paulo. Inicialmente, a região foi ocupada no século XVII para implantação do ciclo de cana-de-açúcar e posteriormente do ciclo do café. Atualmente, ambas as bacias de drenagem continuam sobre constantes intervenções antrópicas que colaboram para a degradação do ambiente, principalmente pela insuficiente quantidade de estações de tratamento de efluentes nos municípios que abrangem as bacias, pela não utilização de técnicas de uso e conservação do solo em áreas de práticas agropecuárias; e pela existência de um extenso parque industrial nos municípios de Campinas, Capivari, Indaiatuba, Jundiaí, Atibaia e Santa Barbara d'Oeste.

Dentro deste contexto, os últimos relatórios de Situação dos Recursos Hídricos apresentado pelo Comitê de Bacias Hidrográficas – Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ) relataram que, as bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari apresentaram situação crítica tanto em termos quantitativos quanto em termos qualitativos, apresentando classificação no índice de qualidade das águas (IQA) para os rios Jundiaí e Capivari, ruim e regular, respectivamente (CBH-PCJ, 2014).

Além da água, os sedimentos fluviais são extremamente importantes dentro de um sistema hídrico; desempenham papel fundamental na dinâmica de transporte, acumulação e biodisponibilização de elementos potencialmente tóxicos, como Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb, Cr, entre outros (ALMEIDA et al., 2006). Sendo assim, os sedimentos têm obtido destaque em diversos estudos que abrangem qualidade hídrica em bacias de drenagem, não mais como um ambiente de deposição de espécies químicas, mas como um compartimento ativo que desempenha papel fundamental na redistribuição de elementos à biota aquática (MOZETO et al., 2003).

Os compostos químicos de natureza inorgânica em sedimentos de sistemas aquáticos podem estar associados à fonte natural, resultante dos processos geoquímicos das rochas e da formação dos solos; e/ou por fontes artificiais, sobretudo por meio de práticas antropogênicas via atividades industriais, agrícolas e urbanas (MOUNTOURIS et al., 2002).

Áreas dominadas por rochas naturalmente enriquecidas de metais refletem suas características em níveis também elevados nas águas e nos sedimentos dos corpos hídricos, o que ressalta a importância de se estabelecer um fundo geoquímico regional para estudos de toxicidade, biodisponibilidade e mobilidade de elementos potencialmente tóxicos em sedimentos fluviais (REIMANN; CARITAT, 2005).

Em determinadas situações que envolvam processos hidrogeoquímicos os elementos potencialmente tóxicos quando ligados aos sedimentos podem ser liberados para o meio aquático através das alterações nas condições ambientais e físico-químicas (pH, potencial redox e ação microbiana, entre outros), podendo afetar a qualidade da água e outros compartimentos ambientais, levando à bioacumulação e transferência para a cadeia trófica (COTTA et al., 2006; LIMA et al., 2001; HOWOWITZ, 1991). Por esse motivo, estudos que envolvam toxicidade, biodisponibilidade e mobilidade dos elementos em sedimentos fluviais são extremamente necessários em ambientes aquáticos impactados por atividades antrópicas, auxiliando estrategicamente em futuras tomadas de decisões.

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo um detalhamento sobre a especiação química dos principais elementos potencialmente tóxicos (Co, Cr, Cu, Zn, Cd, Ni e Pb) presentes nos sedimentos fluviais das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (SP), da nascente até a foz, identificando as ocorrências de origem natural e antrópica, utilizando diversos critérios de toxicidade e parâmetros de controle.

Diante do exposto, as seguintes hipóteses de trabalho foram formuladas:

 A amostragem e a análise química dos sedimentos de fundo fluvial em perfil de profundidade permite avaliar o comportamento dos elementos potencialmente tóxicos na bacia de drenagem;

- A utilização de valores-guia de qualidade de sedimentos para solos (CETESB, 2005) e sedimentos (CCME, 1995) é suficiente para avaliar de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em sedimentos fluviais.

- A determinação e definição do fundo geoquímico natural regional em bacias de drenagem são de fundamental importância para a avaliação da toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em sedimentos de fundo fluvial;

- A relação entre  $\delta C^{13}$  e razão C/N, empregando *end-members* como parâmetros de referência, nos sedimentos fluviais, determinam os principais contribuintes (naturais e antrópicos) de uma bacia de drenagem;

 A avaliação de diferentes critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em sedimentos de fundo permite uma melhor definição sobre a poluição local;

 A utilização de diferentes critérios que avaliam a biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos em sedimentos de fundo fluvial podem indicar quais os elementos preocupantes na bacia de drenagem.

#### 2. REVISÃO DE LITERATURA

São definidos como *metais pesados* aqueles elementos com massa atômica maior que a do ferro (55,8 g/mol) ou densidade superior a 5,0 g/cm<sup>3</sup> (PIERZYNSKI, 2000). No entanto, somente alguns elementos desse grupo apresentam relevância no contexto de poluição ambiental e outros dificilmente ocorrem em concentrações suficientemente consideráveis para causarem efeitos prejudiciais ao ambiente e à saúde humana (SWEDISH EPA, 2001). Apesar de o termo *metal pesado* ser muito utilizado, alguns elementos como tal nem sequer são metais, como arsênio, mesmo assim fazem parte do grupo devido ao seu alto potencial tóxico (ESTEVES, 1988).

Considerando que metais pesados são elementos associados à poluição e toxicidade, foi utilizado no presente estudo o termo elementos potencialmente tóxicos para definir elementos que provocam danos ao ambiente e aos seres vivos, incluindo aqueles que em baixas concentrações são essenciais e se tornam tóxicos com o aumento dela.

Os elementos químicos são componentes oriundos da crosta terrestre e quando lançados no meio aquático, via atividades antrópicas, somam-se aos de origem natural, podendo causar efeitos adversos à biota, provocando a acumulação nos sistemas biológicos, desde as formas mais rudimentares de desenvolvimento até o topo da cadeia alimentar (BAIRD; CANN, 2011).

Alguns elementos são vitais para a saúde humana, como o zinco (Zn), cromo (Cr), cobalto (Co) e o cobre (Cu); são conhecidos como bioenergéticos, uma vez que são essenciais para o funcionamento adequado de algumas rotas metabólicas (AZEVEDO et al., 2003). Porém, tanto a ausência quanto à exposição excessiva podem trazer efeitos nocivos à saúde, causando anomalias em órgãos vitais, e sintomas como vômito, diarréia, anemia e taquicardia (OMS, 1998).

Outros elementos como o chumbo (Pb), o cádmio (Cd) e o níquel (Ni) não desempenham nenhuma função nutricional ou bioquímica conhecida nos organismos (CARVALHO, 2006). Devido sua alta toxicidade podem causar danos irreversíveis à saúde humana por se acumularem nos tecidos, apresentando variações nos sintomas, de acordo com o tempo de exposição, sendo os mais conhecidos: vômitos, diarreias, danos a órgãos, infertilidade, distúrbio mental, câncer, podendo levar a óbito (OMS, 1998).

O processamento desses elementos nas indústrias, em áreas agrícolas e urbanas, através do descarte inadequado de rejeitos gerados durante seus processos, tem provocado um acúmulo de resíduos potencialmente tóxicos no ambiente, principalmente por se concentrarem nos sedimentos fluviais, onde se encontra a maior porcentagem de partículas finas (<63µm), a qual apresenta forte interação com a maioria dos elementos potencialmente tóxicos (ESTEVES, 1988).

Os sedimentos fluviais são compartimentos extremamente complexos que podem ser definidos como material não consolidado distribuído ao longo de um sistema hídrico, sendo formados a partir da interação natural e constante dos fragmentos de rochas e de solos desagregados pelo processo de intemperismo e erosão (LICHT, 1998; EDWARDS, 2007).

O intemperismo químico causa o empobrecimento dos minerais instáveis originalmente presentes na rocha geradora, principalmente por processos de hidrólise e dissolução, resultando na mobilização ou transporte químico dessas espécies em função do escoamento absoluto fluvial em bacias de drenagem. A duração do intemperismo químico se mostra diretamente relacionado ao relevo da área da bacia estudada e à disponibilidade de água, sendo estes, fatores importantes na determinação dos produtos gerados.

A composição de espécies químicas nos sedimentos fluviais pode fornecer informações sobre o ambiente de alteração de rochas onde essas cargas particuladas foram formadas. Assim, a composição química dos sedimentos finos em suspensão (FSS) pode ser indicativo da mobilidade dos principais elementos durante o processo de intemperismo em bacias de drenagem (MARTIN; MEYBECK, 1979; DREVER, 1995).

As alterações de silicatos liberam em solução os elementos Mg, Ca e Na nas águas de percolação, o mesmo observado para as alterações de carbonatos e evaporitos, que são facilmente intemperizados. Desta forma, essas espécies químicas apresentam maior mobilidade durante o processo de alteração de rochas. Normalmente, o elemento K apresenta baixa mobilidade nesse processo, pois além de integrar a composição dos minerais secundários (caso da ilita) integra também minerais muito resistentes à alteração. De acordo com a literatura, o Al é considerado conservativo durante a alteração química, enquanto Fe e Mn, embora mais móveis que o AI, também fazem parte de fases minerais insolúveis, CANFIELD, óxidos (GARRELS; MACKENZIE, 1971; como 1997).

No entanto, embora o Si seja o elemento de maior importância nas rochas silicatadas de baixa taxa de intemperização, sua alteração compreende cerca de 60% (na forma de óxido) em peso referente à crosta terrestre (EDMOND et al., 1995).

As interferências antrópicas que ocorrem na bacia também contribuem para a entrada de substâncias potencialmente tóxicas no corpo d'água e na formação dos sedimentos fluviais, provenientes principalmente do lançamento de efluentes sem prévio tratamento e de processos de lixiviação de áreas degradadas; tornando os sedimentos parte importante de estudos que objetivam o monitoramento e gerenciamento de controle das fontes poluidoras, e de processos que ocorrem nos sistemas aquáticos como um todo, visto que são fontes de acumulação e transporte de contaminantes (MOREIRA; BOAVENTURA, 2003; FÖRSTNER, 2004).

Elementos potencialmente tóxicos podem ser liberados para biota através de atividades microbianas e mudanças nos fatores físico-químicos que afetam o meio, como pH, salinidade e condições de oxido-redução (MOREIRA et al., 2004).

O elemento Zn encontrado principalmente nos minérios como a esfarelita (ZnFeS), blenda (ZnS), zincita (ZnO) e esmitsonita (ZnCO<sub>3</sub>), pode ser adsorvido nos sedimentos em partículas contendo ferro, óxido de manganês, argila ou matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 1996). Ele é proveniente de atividades antrópicas como mineração, manufatura de metais galvanizados, fabricação de baterias, cerâmicas, tintas, efluentes domésticos, agroquímicos e dejetos de produção de aves e porcos (ALLOWAY; AYRES, 1997).

O minério cromita (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) é a fonte mais abundante na natureza do elemento Cr, sendo que a maior parte desse metal em um sistema aquáticoa presente nos sedimentos (MANAHAN, 2000). Segundo Azevedo e Chasin (2003), as principais fontes de contaminação estão associadas aos esgotos domésticos, apresentando uma emissão estimada de Cr no meio aquático de 14,1 a 78 T.ano<sup>-1</sup>.

A maioria do elemento Co presente no sistema aquático são adsorvidos nas partículas dos sedimentos, podendo ser removido em meio ácido (AZEVEDO; CHASIN, 2003). Os minérios mais relevantes de Co são a cobaltita (CoAsS), a esmaltita (CoAs<sub>2</sub>) e a lineita (Co<sub>3</sub>S<sub>4</sub>). Por ação antrópica o Co é resultante principalmente de atividades que produzem ligas, reagentes, tintas e pigmentos (VAITSMAN et al., 2001).

O elemento Cu pode precipitar nas formas de sulfetos ou carbonatos, dependendo respectivamente, do pH e do potencial de oxirredução ( $E_H$ ) do meio aquático. Assim como o cromo, o Cu apresenta associação com efluentes domésticos e agrícolas como fonte de contaminação antrópica em sistemas aquáticos (OLIVEIRA et al., 1996; é encontrado principalmente na forma de sulfetos como calcocita (CuS<sub>2</sub>), covelita (CuS) e calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>); na forma de óxidos como cuprita (Cu<sub>2</sub>O) e na forma de carbonatos como malaquita (Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>CO<sub>30</sub>).

O principal minério de Pb é a galena (PbS), amplamente distribuído na crosta terrestre, ocorre em baixas concentrações nas águas, sofrendo precipitação na forma de carbonatos, sulfetos ou hidróxidos, dependendo do pH e do potencial de oxirredução das concentrações de sais do meio (BAIRD; CANN, 2011). O Pb é um elemento fundamental nas fabricação de baterias, ligas metálicas, pigmentos e tintas, pesticidas, fertilizantes, entre outros (ALLOWAY; AYRES, 1997).

O elemento Cd ocorre naturalmente na forma bivalente Cd<sup>+2</sup>, se ligando aos óxidos, carbonatos e sulfetos constituídos a partir da variação de pH (neutro a básico) ou sob condições redutoras (MANAHAN, 2000). Na água, ele apresenta significativa mobilidade, sendo mais solúvel em condições ácidas; nos sedimentos, é adsorvido por ácidos húmicos e argilominerais. O principal minério desse elemento é a greenockite (CdS). As principais fontes antrópicas de Cd são provenientes das fábricas de baterias, ligas metálicas e indústrias de tintas, sendo também fonte de impurezas de fertilizantes (ALLOWAY; AYRES, 1997).

As principais formas minerais de Ni encontrados são o pentlandite ((Fe, Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>) e pentlandite (Ni<sub>3</sub>Fe), geralmente amalgamados em rochas ígneas. A maioria dos compostos de níquel é relativamente solúvel em pH<6,5, sendo facilmente remobilizado durante a alteração e coprecipitação com óxidos de ferro e manganês; em pH>6,7 ocorre a precipitação deste metal como Ni(OH)<sub>2</sub> (MANAHAN, 2000). Em ambientes aquáticos, os ácidos húmicos modificam o grau de solubilidade e de precipitação do níquel e seus compostos são adsorvidos pela matéria orgânica. Os óleos combustíveis e os resíduos de incineradores contribuem com mais de 70% de níquel como fonte antrópica para o meio aquático, tendo contribuições efetivas também relacionadas às atividades de mineração e refino do metal (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

Uma das principais atividades que contribuem com a entrada de elementos potencialmente tóxicos em um sistema hídrico, caracterizada como fontes pontuais, são os lançamentos de efluentes domésticos/industriais sem prévio tratamento nos corpos d'água. Os elementos Zn e Cu são encontrados com frequência em efluentes urbanos (MIYAZAWA, 1996).

Em se tratando de fontes de poluição difusa, as atividades agropecuárias são as mais relevantes, pois contribuem com as impurezas de agroquímicos e defensivos agrícolas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Pb), além de dejetos da produção de aves e suínos (Cu, Zn) (ALLOWAY; AYRES, 1997; JIAO et al., 2015; TORO et al., 2016).

Outra fonte difusa de poluição amplamente estudada atualmente são os escoamentos pluviais em grandes áreas urbanas. Diversos estudos têm identificado locais de intenso tráfego veicular como principias fontes de contaminação de elementos potencialmente tóxicos em recursos hídricos, provenientes principalmente dos desgastes de pneus, fuligem de veículos, vazamento de óleos lubrificantes e corrosão das partes galvanizadas dos veículos, atingindo o leito do rio através das galerias urbanas de água pluvial (BOLLER, 1997; BANERJEE, 2003; CHARLESWORTH et al., 2003; JEFFÉ et al., 2003; PATROLECCO et al., 2010; WIJAYA et al., 2013; LEGALLEY; KREKELER, 2013; LIU et al., 2016; SINDERN et al., 2016).

Tendo em vista que a existência de inúmeras entradas de elementos com potencial de risco de contaminação contribui para a degradação de um sistema hídrico, comprometendo a qualidade de todos os compartimentos que integram este recurso, tornam-se necessários estudos mais detalhados sobre a dinâmica dos elementos em sedimentos fluviais, a fim de avaliar e investigar o nível de toxicidade, biodisponibilidade e a origem desses agentes contaminantes.

#### 2.1. Critérios de toxicidade

A avaliação da toxicidade dos elementos potencialmente tóxicos, em sedimentos fluviais de rios e reservatórios, tem sido alvo de diversos estudos, abrangendo diferentes critérios e parâmetros de controle, sendo comumente utilizados os Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos (VGQS), o Fundo

Geoquímico Natural Regional (FGNR), o Fator de Enriquecimento (EF) e o Índice de Geoacumulação (I<sub>geo</sub>).

Os VGQS surgiram a partir da necessidade em orientar e gerenciar o destino de materiais originados de dragagem, e se estendeu aplicando-se em uma variedade de causas, incluindo a interpretação de dados históricos, pesquisas científicas, planejamento de programas de monitoramento, mapeamento de áreas de risco, avaliação de risco ecológico e conduções de medidas remediadoras, entre outros, sendo comum a utilização de VGQS, delineados por órgãos federais, estaduais ou comitês reguladores para indicar a existência de contaminação de sedimentos em organismos bentônicos de um determinado local, através de metodologias analíticas de ataque total ou pseudototal para obtenção das concentrações dos elementos potencialmente tóxicos (MACDONALD et al., 2000; COTTA et al., 2006, YAMADA, 2006).

Duas categorias distintas dividem os VGQS existentes atualmente, os probabilísticos e os mecanísticos, sendo o primeiro derivado de base de dados químicos e biológicos, verificando a associação da concentração de contaminantes específicos, observando os efeitos adversos à biota por meio de testes toxicológicos e avaliação da estrutura da comunidade bentônica; e o segundo proveniente do entendimento teórico de fatores que conduzem à biodisponibilidade de contaminantes, e do conhecimento das relações entre exposição a contaminantes, assimilação da biota e toxicidade (WENNING; INGERSOLL, 2002).

O mais comumente utilizado são os VGQS Canadenses, baseados em um banco de dados químicos e biológicos obtidos na América do Norte, e elaborados mediante patrocínio do Conselho Canadense de Ministérios do Meio Ambiente (CCME), o qual originou o Protocolo de Derivação dos Princípios Canadenses para a qualidade dos sedimentos e para a proteção da vida aquática, que teve por objetivo estabelecer critérios para avaliação dos sedimentos e do significado toxicológico das substâncias associadas aos mesmos para os organismos aquáticos (ENVIRONMENT CANADA, 1995).

O Protocolo Canadense de VGQS estabelece dois valores-guia: o TEL (*Threshold Effect Level*), que representa a concentração abaixo do qual raramente são esperados efeitos adversos à biota; e o PEL (*Probable Effect Level*), que representa a concentração acima da qual são frequentemente esperadas ocorrência de efeitos adversos à biota. Desta maneira, a faixa que compreende TEL e PEL

situa-se valores que ocasionalmente podem ocorrer tais efeitos na comunidade aquática (CCME, 1995; SILVÉRIO, 2003).

No Brasil, por não existir valores-guia de qualidade de sedimentos, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) tem caracterizado somente de forma quantitativa os sedimentos fluviais, uma vez que considera somente material a ser dragado. Desta forma, a CETESB, em Decisão de Diretoria n°045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014, propôs utilizar a Resolução 344 de 25 de março de 2004 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que classifica esse material qualitativamente segundo valores orientadores e estabelecidos para solos e águas subterrâneas do Estado de São Paulo.

Atualmente, os valores-guia de qualidade de solos estabelecidos pelo CONAMA vêm sendo amplamente utilizados no Brasil como critério qualitativo de sedimentos fluviais, sendo divididos em três valores limites: valor de referência de qualidade (VRQ), em que a concentração de determinada substância no solo define ele como limpo ou de qualidade natural; valor de prevenção (VP), em que a concentração de determinado elemento pode apresentar risco de toxicidade, provocando alterações prejudiciais à qualidade do solo; valor de intervenção (VI), em que a concentração de determinada substância no solo ou sedimento possui toxicidade suficiente para provocar riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana.

Os valores-guia VP e VI não são similares aos valores-guia TEL e PEL estabelecidos como VGQS proposta pela CCME, pois o banco de dados e as abordagens na determinação de tais valores-guia não são os mesmos, apresentando variações consideravelmente elevadas na concentração limite para determinados elementos (MACDONALD et al., 2000).

Baggio e Horn (2008) estudaram os sedimentos fluviais do fundo do rio Formoso, localizado no oeste do Estado de Minas Gerais, e observaram uma séria de interferências antrópicas advindas de atividades agropecuárias e urbanas. As amostras de sedimentos de fundo foram comparadas com os valores-guia de solo estabelecido pela resolução CONAMA 344/2004, indicando que os elementos Cd e Cr ultrapassaram os valores de referência da legislação vigente, comprometendo os compartimentos água e sedimentos daquele ambiente. Semelhante resultado foi observado nos sedimentos fluviais do rio Mvudi em Thohoyandou, localizado no nordeste da Áfica do Sul, para os mesmos elementos e, incluindo Cu, utilizando valores-guia de qualidade de sedimentos canadenses (EDOKPAYI et al., 2016).

No estudo realizado por Mancuso (2016), no reservatório do rio Lajeado Pardo, na bacia hidrográfica do rio da Várzea, Estado do Rio Grande do Sul, os sedimentos amostrados apresentaram concentrações dos elementos Cr e Cu acima do VI e PEL, indicando a possibilidade de ocorrência de efeitos adversos à biota aquática naquele ambiente para esses elementos.

Visto que as diretrizes de qualidade de sedimentos canadenses vêm sendo amplamente aplicado para sinalizar efeitos potencialmente adversos para a saúde ecológica, as amostras de sedimentos da Lagoa Saipan, localizada na Espanha, revelaram valores entre TEL e PEL para a maioria dos elementos estudados (Co, Cd, Ni, Cr, Zn e Cr), exceto para Cu e Pb, que apresentaram concentrações maiores que PEL, estando associados a um antigo depósito de rejeitos domésticos próximo ao local (DENTON et al., 2014).

Apesar dos VGQS serem ferramentas de orientação na interpretação das concentrações de contaminantes em sedimentos fluviais, não são integralmente adequados se aplicados sozinhos para fins de regulamentação, pois apresentam diversas limitações (SILVÉRIO, 2003). A maior objeção imposta pelos valores-guia é sua falta de universalização, pois estes são completamente específicos ao local de sua origem.

Segundo Moraes (2011), a utilização de valores-guia apenas dá uma ideia da toxicidade dos elementos em sedimentos fluviais, pois não leva em consideração o fundo geoquímico natural local ou regional. Portanto, o conhecimento dos elementos característicos de um ambiente geoquímico natural de uma área investigada, ou seja, da rocha geradora, é de fundamental importância para a avaliação da poluição local, auxiliando na tomada de decisões para remediação de áreas potencialmente contaminadas.

Os valores de fundo geoquímico natural podem ser obtidos através de método direto e indireto; sendo o primeiro conhecido como método geoquímico, no qual são representados por amostras compostas de áreas sem ocorrência de impactos antrópicos, como florestas e fundos de ambientes aquáticos, que preservam suas características originais naturais, e que dificilmente tenham sido afetadas por descargas de contaminantes (HOCKMANS et al., 2005); e o segundo

conhecido como método estatístico, que através da média de um determinado banco de dados são definidos valores globais de fundo geoquímico natural.

Pesquisadores da Academia Chinesa de Ciências Geológicas investigaram amostras de sedimentos de fundo em seis sistemas fluviais localizados no leste da China, utilizando os últimos centímetros do perfil amostrado como fundo geoquímico natural regional, e concluíram que as elevadas concentrações dos elementos As, Cd, Hg, Mn, Mo, Pb e Zn na maioria das amostras coletadas se apresentaram fortemente correlacionadas com o ambiente geológico natural (ZHOU et al., 2014).

Sindern et al. (2016) estudaram elementos potencialmente tóxicos em sedimentos de rios da região costeira da Baía de Jacarta, na Indonésia, utilizando como fundo geoquímico natural regional um ambiente não impactado próximo ao local de estudo, e constataram que, o intemperismo vulcânico próximo à área da nascente do rio controla a composição integralmente dos elementos As e Cr. Já os elementos Zn, Ni, Pb e Cu se mostraram provenientes de fontes antropogênicas provenientes de atividades industriais e urbanas.

Os valores médios de fundos geoquímicos naturais mundiais mais conhecidos e citados na literatura são os determinados por Turekian e Wedephol (1961), que utilizaram a média das concentrações das rochas sedimentares, conhecidos como folhelhos médios (shale); por Taylor e Maclennan (1981), determinados a partir da abundância média dos elementos na crosta terrestre; e por Martin e Meybeck (1979), que empregaram valores médios globais de sedimentos fluviais superficiais.

Os fundos geoquímicos naturais mundiais são amplamente utilizados no cálculo do fator de enriquecimento (EF), que avalia a contribuição antrópica de elementos em sedimentos de fundo fluviais, onde a concentração do elemento de interesse é relacionada ao fundo geoquímico, minimizando as heterogeneidades litogênicas utilizando o escândio (Sc) como agente normalizador (GRESENS, 1967). O índice de geoacumulação (I<sub>geo</sub>), proposto por Müller (1979), é outro critério que emprega os valores médios de fundos geoquímicos naturais globais, avaliando as classes da poluição dos ambientes aquáticos utilizando a concentração total dos elementos.

Estudo realizado no rio Huaihe, o terceiro maior da China, se valeu da concentração média dos folhelhos no cálculo de I<sub>geo</sub> para definição de classes de poluição local e mostrou que para os elementos potencialmente tóxicos Cr, Zn e Pb

não foram evidenciados poluição, enquanto que para os metais Cu e Cd a poluição foi considerada moderada (YAN et al., 2007).

Outro estudo realizado na China, no estuário do rio Luanhe, utilizando os critérios EF e I<sub>geo</sub> para avaliar a poluição dos sedimentos superficiais de fundo deste ambiente, mostraram resultados indicando poluição fraca para os elementos Zn, Ni, Cd, Pb, Hg e Cr na maioria das estações amostradas, com exceção do Hg que apresentou poluição moderada a forte próximo à foz do rio e em áreas da região sul do estuário. Os autores indicam a descarga de efluentes no leito do rio como a principal fonte desses elementos em áreas costeiras, e correlaciona o enriquecimento dos elementos Cu e Pb nos sedimentos estudados com a queima e as emissões de combustíveis fósseis em áreas de grande fluxo de veículos (LIU et al., 2016).

Hanif et al. (2016) estudaram e avaliaram os sedimentos do rio Chenab, no Paquistão, com auxílio do fator de enriquecimento (EF) e do índice de geoacumulação (I<sub>geo</sub>). Os valores encontrados para os sedimentos, aplicando tais critérios, revelaram-se consideravelmente poluídos por Cd e Pb e moderadamente poluídos pelos elementos Mn, Zn, Co e Cu. Os resultados mostraram também uma distribuição espacial dos elementos e revelaram que a rápida industrialização e urbanização nas proximidades da área de estudo eram as prováveis fontes de poluição de elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos.

Apesar dos fundos geoquímicos naturais globais serem empregados na maioria dos estudos que utilizam EF e I<sub>geo</sub>, a aplicação de valores de referências locais e/ou regionais para tais critérios tem sido amplamente discutida em estudos recentes, uma vez que oferece resultados mais confiáveis, tornando utópico o uso do fundo geoquímico global nesse contexto (RODRIGUES; NALINI JUNIOR, 2009; MORAES, 2011; REIMANN; CARITAT, 2005; SHAFIE et al., 2014; MORTATTI et al., 2010; HERNÁNDEZ-CRESPO; MARTÍN, 2015; BORGHESI et al., 2016).

Pesquisa realizada em sedimentos do sistema estuarino fluvial de Daliao, na China, utilizando o Sb para desenvolver uma linha base para o fundo geoquímico regional, mostrou que o mesmo se apresentou enriquecido em relação às concentrações da crosta terrestre, mas não enriquecido em função do fundo geoquímico natural regional (LIN et al., 2012).

Mortatti et al. (2010) utilizaram o fator de enriquecimento para investigar a classe de contribuição dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade ao longo

da bacia do rio Tietê, localizada no Estado de São Paulo, aplicando os últimos centímetros do perfil amostrado e os valores da crosta terrestre como fundo geoquímico. Os resultados obtidos de EF foram semelhantes para ambos os fundos geoquímicos sugeridos na maioria dos elementos estudados, com exceção do Zn, que apresentou concentração na crosta terrestre superior ao fundo geoquímico natural regional, causando diminuição no EF.

#### 2.2. Critérios de biodisponibilidade

Os sedimentos vêm sendo caracterizados como um compartimento ativo que não somente acumula material oriundo da coluna d'água como também reprocessa esse material, podendo torná-lo novamente biodisponível em solução, por efeito de determinadas modificações nas condições ambientais (BEVILACQUA et al, 2009).

Determinados elementos são conhecidos como bioacumulativos, e em alguns casos, a ocorrência destes não representa ameaça para os organismos da cadeia trófica, pois para que ocorra o efeito tóxico necessário é de fundamental importância que estejam biodisponíveis (JESUS et al., 2004). Sendo assim, a biodisponibilidade pode ser definida como a fração de espécie química que está disponível, mediante processos físico-químicos ou biológicos, capazes de serem capturadas pelos organismos vivos passando a fazer parte de seus processos metabólicos (SOUZA et al., 2015).

Os elementos potencialmente tóxicos interagem com os sedimentos através dos mecanismos de adsorção, complexação, precipitação e/ou assimilação biológica, sendo predominante o processo de adsorção entre os elementos com hidróxidos de Fe e Mn, matéria orgânica particulada ou argilominerais, em sedimentos fluviais (SOUZA et al., 2015). Um fator que auxilia na ocorrência desses mecanismos é o tamanho da partícula. As frações finas, menor do que 63 µm, possuem áreas eletricamente ativas responsáveis pela alta capacidade em adsorver os elementos em função da maior relação entre a área superficial da partícula e a dimensão do grão (FÖRSTNER, 2004; MORAES, 2011; SOUZA et al., 2015; XU et al., 2016).

A presença de matéria orgânica (MO) nos sedimentos também auxilia na complexação ou adsorção de íons potencialmente tóxicos, resultando na

imobilização e redução de seus estados de valência com mudanças nas suas propriedades químicas. A MO é composta basicamente por substâncias húmicas, que são formadas pela degradação química e enzimática dos restos de plantas e animais e pela ação sintética de microorganismos (SOUZA et al., 2015).

Já os óxidos e hidróxidos, geralmente derivados do intemperismo químico dos minerais ou de resíduos de atividades antrópicas, apresentam alta superfície específica, podendo adsorver ânions, como os fosfatos, que possuem relevante importância agrícola; e cátions (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, entre outros) que são importantes em estudos de proteção ao meio ambiente (SOUZA et al., 2015), uma vez que, os óxidos hidratados de Fe e Mn em solos, sedimentos e água são os principais controladores da fixação de elementos (LICHT, 1998).

Estudos apontam que a contaminação de ambientes aquáticos por elementos potencialmente tóxicos é vulnerável, tendo em vista a instável imobilização de alguns elementos nos sedimentos, podendo ocorrer remobilização para o sistema (água e biota) em virtude de condições específicas do meio (LEITE, 2006; COXON et al., 2016; MORTATTI et al., 2010; MORAES, 2011). Desta forma, um elemento pode apresentar a mesma concentração em diferentes sedimentos e exibir toxicidade em apenas um deles, sendo assim, a toxicidade depende da biodisponibilidade do contaminante (BEVILACQUA et al, 2009). De modo que, para alguns elementos a toxicidade dos sedimentos varia não em função da concentração, mas da forma química como eles estão fixados ao sedimento.

Viets (1962) foi um dos pioneiros em estudos relacionados à distribuição de elementos potencialmente tóxicos em diferentes compartimentos geoquímicos, classificando o solo em cinco compartimentos/frações que influenciavam a disponibilidade de elementos, propagando a ideia de extração sequencial.

O método de extração sequencial consiste em submeter uma determinada amostra de sedimento ou solo em diferentes etapas energéticas, iniciando com um extrator fraco (pH próximo da neutralidade) e terminando com um extrator mais forte (pH ácido), diminuindo gradativamente o pH nas etapas da extração, variando os reagentes, as concentrações, o tempo e a temperatura (BEVILACQUA et al., 2009; MORAES, 2011; COSTA, 2005).

A primeira fração a ser atacada em amostras de sedimentos fluviais ou solos são as solúveis, pois contêm espécies metálicas mais móveis e mais solúveis em água, sendo potencialmente a mais biodisponível (HE et al., 1995). Já na fração trocável, os elementos apresentam fraca interação eletrostática com a superfície sólida, podendo ser facilmente biodisponibilizados para o meio ambiente por processos de troca iônica, principalmente em soluções de sais de cátions (AHNSTROM; PARKER, 2001). As mudanças na forma iônica, reações de adsorção dessorção ou alteração do pH podem causar a remobilização dos elementos na coluna de sedimentos (SUTHERLAND et al., 2000).

Os elementos ligados às frações ácidos solúveis se apresentam precipitados ou co-precipitados com os carbonatos (CLEVENGER, 1990). Em ambientes fluviais de baixas concentrações de óxidos de ferro e manganês, os carbonatos geralmente realizam a função de adsorventes de elementos metálicos e matéria orgânica (STONE; DROPPO, 1996). Portanto, segundo Tessier et al. (1979) e Lee et al. (1984), o tempo de 5 horas é suficiente para extrair 99,9% dos metais associados aos carbonatos dos sedimentos, quando utilizado acetado de sódio 1 M como agente extrator.

Para se extrair os elementos ligados à fração de óxidos de ferro e manganês é indicada a utilização do reagente cloridrato de hidroxilamina em meio de ácido acético, atacando assim até metais ligados aos óxidos de ferro amorfo, evitando o ataque de silicatos e matéria orgânica (GOUWS; COETZEE, 1997). Segundo Stone & Droppo (1996) essa fração é conhecida como depositante de metais.

Em ambientes fluviais a matéria orgânica apresenta maior afinidade com íons divalentes, podendo permanecer complexados por um longo período, mas podem ser mobilizados com o processo de decomposição (KENNEDY et al., 1997). A utilização do peróxido de hidrogênio para a lixiviação dos elementos dessa fração auxilia no processo oxidativo (TESSIER et al., 1979). No entanto, pode acontecer a readsorção dos metais na fração residual, por isso, recomenda-se utilizar acetato de amônia (pH 2), impedindo assim a readsorção dos metais extraídos para o substrato oxidado (KRISHNAMURTI et al., 1995).

Desde então, diversos estudos envolvendo o método de extração sequencial, que se baseia na técnica de lixiviação seletiva, tem sido proposto para verificar a fração em que o elemento se encontra ligado, distinguindo a origem e especiação em solos e sedimentos (CALVET et al., 1990; URE et al., 1993; KENNEDY et al., 1997; LELEYTER; GLEYSES et al., 2002; FILGUEIRAS et al., 2004; HLAVAY et al., 2004; CHANG et al., 2009; NEMATI et al., 2009; MITTERMÜLLER et al., 2016).

O método de extração sequencial desenvolvido por Kersten e Förstner (1987) constitui basicamente na dispersão dos elementos nas frações: trocáveis, ligados a carbonatos, associados aos óxidos facilmente redutíveis, associados aos óxidos moderadamente redutíveis e residuais. Os mesmos autores aplicaram essa metodologia em sedimentos do rio Elba (Alemanha), impactado por alta carga antrópica de esgoto doméstico, e os resultados demonstraram que os elementos Cr, Cd, Co e Pb estavam associados às frações menos lábeis, ligadas aos óxidos, à matéria orgânica e à residual.

Um trabalho desenvolvido por Bevilacqua et al. (2009) no rio Tietê, aplicando a metodologia desenvolvida por Kersten e Förstner nos sedimentos de fundo, para verificar a biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxico, nas estações de amostragem de Pirapora e Barra Bonita, mostraram que somente Ni e Zn estiveram presentes em todas as frações, principalmente na trocável e na ligada a carbonatos, enquanto que os elementos Cr, Cd, Pb e Cu estavam associados preferencialmente à fração redutível, à matéria orgânica e à residual.

Os dois métodos de extração química sequencial dos elementos mais citados na literatura são os desenvolvidos por Tessier et al. (1979) e pela *Community Bureau of Reference* (BCR) da *European Standards, Measurements and Testing Programme* (URE et al., 1993), sendo o primeiro mais utilizado em estudos de especiação química em matrizes sólidas, envolvendo a extração das seguintes frações geoquímicas: à trocável, à ligada a carbonatos, à ligada à oxi-hidróxidos de Fe e Mn, à ligada a matéria orgânica e à residual.

No entanto, ambas as metodologias apresentam-se semelhantes, embora existam características peculiares entre elas. Estudos têm demonstrado que os resultados obtidos utilizando os dois métodos são praticamente concordantes (NEMATI et al., 2009; PORTILLO, 2011; SOUZA et al., 2015).

Lima et al. (2001) estudaram a especiação química dos sedimentos no rio Tubarão, em Santa Catarina, utilizando metodologia proposta por Tessier, e os resultados apresentaram maiores concentrações de Cu e Pb ligados à óxidos de Fe e Mn e à matéria orgânica, respectivamente, podendo estar vinculado à forte pressão de atividades antrópicas como extração de carvão e minérios, até mesmo próxima às nascentes do rio. O autor ainda conclui que, apesar das vantagens positivas significativas utilizando o processo de extrações sequenciais, propõe estudos mais detalhados sobre processos de mobilização dos elementos e uma seleção de esquema de especiação adequado para cada problemática ambiental.

A avaliação da biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos, fazendo uso de metodologia desenvolvida por Tessier, em um dos maiores e mais importantes lagos do México, o Lago Cuitzeo, mostraram que as concentrações do elemento Zn se apresentaram em quantidades significativas nas fases biodisponíveis, e que poderiam ser liberados para o ecossistema do lago, dependendo das condições ambientais, representando um risco em potencial à biota (CASTAÑEDA et al., 2010).

Estudos da estabilidade e imobilização dos elementos em sedimentos de fundo do rio San Pedro, no México, utilizando os métodos de Tessier e BCR, mostraram que os elementos AI, Fe e Ni se encontram predominantemente na fração residual (litológica), em ambos os métodos aplicados. Já os elementos Cu e Cr se apresentaram fortemente ligados à fração residual e à matéria orgânica. No entanto, o maior risco ambiente foi observado para Pb e Zn, ligados às frações trocáveis, de carbonatos e de óxidos de Fe e Mn, respectivamente, não havendo diferenças significativas em ambas as metodologias utilizadas (PORTILLO, 2011).

O fracionamento geoquímico proposto por Tessier e BCR para estudar os sedimentos de fundo do rio Bento Gomes, localizado no bioma Pantanal, Mato Grosso, mostraram que para todos os elementos estudados (Zn, Cr, Cu, Ni, Mn e Fe) foram observados concentrações expressivas nas frações potencialmente mobilizáveis, associadas aos óxidos de ferro e á matéria orgânica do sedimento, em ambos os protocolos de extração sequencial (CORINGA, 2016).

Leleyter e Probst (1999) desenvolveram um método de extração sequencial compreendendo as seguintes frações: dissolvidos em água, trocáveis, ácidos solúveis: óxido de manganês, óxidos de ferro amorfo, óxido de ferro cristalino e matéria orgânica. Tal metodologia foi utilizada por Mortatti et al. (2002), em sedimentos de corrente da bacia do rio Piracicaba, São Paulo, ficando constatado a não ocorrência de poluição das principais espécies químicas (Fe, Co, Sb, Mn, Pb, Th e U), mas sim um acúmulo ou enriquecimento natural dessas espécies nas frações mais biodisponíveis (óxido de Fe), sendo justificado pela presença de solos lateríticos.

Estudo desempenhado por Mortatti et al. (2010), em sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê, São Paulo, utilizando a metodologia de extração
sequencial seletiva proposta por Leleyter e Probst, confirmou o cenário preocupante da poluição dos sedimentos de fundo desse rio, apresentando cerca de 60% e 40%, respectivamente, do Zn e Cr extraído, ligado à fração biodisponível, principalmente à fração de óxidos de ferro.

Além do método de extração sequencial, outra técnica comumente utilizada para avaliação da biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos em sedimentos é a determinação de sulfetos volatilizados por ataque ácido (AVS), com a extração simultânea de metais pesados (SEM), proposto inicialmente por Di Toro et al. (1992). Essa técnica é adotada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e se baseia na Teoria do Equilíbrio de Partição, na qual o critério de qualidade dos sedimentos é estabelecido através do equilíbrio entre a partição de metais extraídos e os sulfetos volatilizáveis por acidificação (USEPA, 2000).

Em ambientes anóxicos, o sulfeto age nos sedimentos como um controlador na concentração dos elementos, ou seja, a matéria orgânica ligada aos sedimentos, normalmente é oxidada por bactérias que usam sulfato como receptores de elétrons; essa redução bacteriana do sulfato produz sulfetos de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e outros componentes de enxofre reduzidos. Nessas condições, os óxidos de ferro são reduzidos a formas iônicas ferrosas, que por sua vez reagem com H<sub>2</sub>S, formando uma grande variedade de minerais de sulfetos de ferro (DI TORO et al., 1992; ALLEN et al., 1993). Assim, a não biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos pode ser avaliada estudando a concentração de sulfetos presentes nos sedimentos em relação à concentração de elementos existentes (SILVÉRIO et al., 2006).

Estudos realizados por Di Toro et al. (1992) mostraram que a concentração tóxica dos elementos em relação aos organismos vivos, apresentaram resultados que obedecem às seguintes condições: a razão SEM/AVS>1 indica um potencial de disponibilidade dos elementos, podendo causar toxicidade aos organismos vivos, enquanto que SEM/AVS<1 indica que existem sulfetos suficientes para total complexação dos elementos existentes, não havendo potencial tóxico biodisponível para biota.

Hansen et al. (1996) sugerem que para baixas concentrações de elementos ligados ao AVS seja utilizada a diferença de SEM-AVS, considerando o valor-guia de 1,7 para sedimento fluvial, SEM-AVS>1,7 indica potencial de biodisponibilidade de

elementos e valores em que a diferença entre SEM e AVS seja abaixo de 1,7 aponta não biodisponibilidade.

Outra possibilidade de aplicação do AVS é o uso do método SEM-AVS normalizado pelo carbono orgânico total (COT), promovendo uma correção na estimativa de biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos em sedimentos de fundo (USEPA, 2000). Sendo assim, (SEM-AVS)/COT>130 indica potencial de biodisponibilidade dos elementos, enquanto que (SEM-AVS)/COT<130 aponta a não existência de potencial de biodisponibilidade, havendo sulfetos suficientes para total complexação dos elementos.

Moraes et al. (2011) apresentaram os critérios descritos acima em sedimentos de fundo da bacia do alto rio Tietê, constatando que o critério mais adequado a ser utilizado seria o AVS-SEM/C<sub>org</sub>, uma vez que pondera a complexação associada à matéria orgânica.

Mortatti et al. (2008) avaliaram os sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê, desde a região de nascentes até o reservatório de Barra Bonita, utilizando o método SEM/AVS e verificaram que nos locais próximos às nascentes não apresentavam biodisponibilidade. Na estação de amostragem localizada em Santana do Parnaíba, localizada após a região metropolitana de São Paulo, as concentrações de AVS e SEM foram elevadas, sem apresentar biodisponibilidade dos elementos. Fato similar foi observado por Moraes (2011) na estação de amostragem Pirapora, próximo à represa de Rasgão, também inserida na bacia do rio Tietê. Tal ocorrência pode ser justificada devido às altas concentrações de enxofre provenientes de esgoto doméstico, principalmente da cidade de São Paulo, que auxiliam na complexação de elementos potencialmente tóxicos e na formação de sulfetos metálicos insolúveis nos sedimentos de fundo.

A avaliação da biodisponibilidade dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade dos principais mananciais da bacia do rio Jundiaí, São Paulo, utilizando AVS e SEM, mostrou que a concentração média da fase ligante dos sulfetos lábeis superou numericamente a somatória da concentração média dos metais extraídos simultaneamente, portanto, havendo sulfetos suficientes para a complexação dos elementos na maioria das amostras analisadas. No entanto, os valores médios de SEM na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Jundiaí, foram próximos ou até superiores aos de AVS em outras coletas, resultando na presença de elementos biodisponíveis neste local (FAGNANI, 2009).

A distribuição espacial de AVS e SEM (Cd, Cu, Pb, Ni e Zn) em substrato lamoso de manguezal na porção norte da Baía de Todos os Santos (Bahia), áreas caracterizadas por influência urbana, industrial e portuária, mostrou que os resultados da relação AVS/SEM foram menores que 1 para todas as estações de amostragem, sugerindo que os elementos estudados estariam sendo controlados pelos sulfetos nesses sedimentos, não estando biodisponíveis (GARCIA et al., 2014).

## 2.3. Origem da matéria orgânica nos sedimentos

Os ciclos biogeoquímicos promovem a ciclagem dos elementos químicos garantindo que um ecossistema funcione adequadamente. Os ambientes aquáticos apresentam papel importante na ciclagem do carbono e nitrogênio, realizando processos de exportação das diversas composições formadas, dissolvidas e particuladas, se caracterizando em agente transportador de importância na ciclagem.

A matéria orgânica é considerada parte fundamental dos ciclos biogeoquímicos do carbono e nitrogênio, e o conhecimento da composição molecular e isotópica desse material podem fornecer importantes informações da sua origem e natureza litológica, além de fontes antrópicas em ambientes aquáticos (CORDEIRO et al., 2008).

A assinatura isotópica  $\delta^{13}$ C e a razão carbono/nitrogênio (C/N) são considerados marcadores extremamente confiáveis na indicação da origem de matéria orgânica em ecossistemas (MEYERS; ISHIWATARY, 1993; MEYERS, 1994).

O uso de técnicas que empregam traçadores isotópicos (principalmente <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N) comparados com os parâmetros de referências, conhecidos como *end*-*members*, podem fornecer indícios de contaminações antrópicas em sedimentos fluviais. A assinatura isotópica  $\delta^{13}$ C da matéria orgânica produzida por organismos fotossintéticos reflete a dinâmica da assimilação de carbono e a composição isotópica da fonte de carbono (MORAES, 2011). Assim, a diferença de  $\delta^{13}$ C e a matéria orgânica formada por plantas terrestres e aquáticas (algas) tem sido utilizada para traçar fontes de distribuição da matéria orgânica em sedimentos (GARCETTE-LEPECQ et al., 2000).

A utilização de parâmetros de referência de plantas C3 e C4 permite estabelecer a discriminação isotópica que ocorre nas plantas durante o processo de fotossíntese e CO<sub>2</sub>. A maior parte das plantas fotossintéticas utilizam o mecanismo de Calvin (C3), mecanismo fotossintético que produz um composto com 3 átomos de carbono (ácido 3 – fosfoglicérico) após a reação de fixação do dióxido de carbono, tornando a planta empobrecida no isótopo <sup>13</sup>C (PORTELA, 2013). De todas as espécies de plantas conhecidas, 85% apresentam este caminho de fixação de CO<sub>2</sub> (ciclo C3), sendo as mais conhecidas: arroz, feijão, matas ciliares, árvores, entre outras (FARQUHAR et al., 1989). As plantas com ciclo C3 têm valores de  $\delta^{13}$ C de aproximadamente -32

a -22‰, com uma média de -27‰ (KRUSCHE et al., 2002; KENDALL et al., 2001).

Por outro lado, as espécies de plantas C4 favorecem o mecanismo de Slack, que produz ácido málico (ácido aspártico), composto por 4 átomos de carbono e compreende apenas 5% de todas as espécies de plantas conhecidas (FARQUHAR et al., 1989; PORTELA, 2013), sendo a maioria gramíneas de origem tropical e subtropical, como por exemplo as pastagens e savanas. Plantas C4 apresentam valores de  $\delta^{13}$ C de aproximadamente -17 a -9‰, com uma média de -13‰ (KRUSCHE et al., 2002; KENDALL et al., 2001).

Outra referência comumente utilizada é a matéria orgânica autóctone presente na água, produzida por fitoplâncton; possui razão molar C/N entre 6 e 8, e valores isotópicos de  $\delta^{13}$ C por volta de -29‰ (MEYERS, 1994; MEYERS; ISHIWATARI, 1993).

Evangelista (2003) realizou a caracterização química e isotópica do carbono e nitrogênio presentes em efluentes urbanos brutos do município de Piracicaba (SP), provenientes de cinco estações de amostragem de descarga direta de efluentes no rio Piracicaba e uma em condomínio residencial, sendo o último para estabelecer uma referência de assinatura isotópica para efluentes de origem essencialmente domésticos. Resultados mostraram que, para cada estação de amostragem, as características isotópica permitiam diferenciá-las, e os valores médios da composição isotópica da principal forma de carbono e nitrogênio orgânico particulado (COP e NOP) presentes nos efluentes domésticos do condomínio residencial foram de  $\delta^{13}COP = -23,3 \pm 7\%$  e  $\delta^{15}NOP = -6,5 \pm 1,3\%$ .

A composição isotópica da matéria orgânica dissolvida e particulada presente no rio Piracicaba (SP) foi avaliada por Krusche et al. (2002) em função do

uso e ocupação do solo da bacia. Os resultados mais relevantes apontaram aumento nas concentrações percentuais de COP, NOP e carbono orgânico dissolvido (COD) sobre a matéria orgânica, possivelmente associada à mudança do uso e ocupação do solo, onde a vegetação natural foi substituída por áreas agropecuárias (pastagens e cultura de cana-de-açúcar). A composição do nitrogênio na matéria orgânica particulada foi relacionada aos efluentes urbanos e industriais, enquanto que os maiores enriquecimentos do carbono presente na matéria orgânica foram observados em áreas agrícolas.

Com o objetivo de identificar as principais fontes de poluição dos rios Piracicaba e Tietê (SP), Mortatti et al. (2004) utilizaram <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N como traçadores de poluição fluvial em matérias particulados e dissolvidos. Evidenciando forte influência antrópica em ambos os rios, principalmente em relação à poluição doméstica, a qual representou mais de 95% nas bacias estudadas.

No município de Alta Floresta (MT) Bosco-Santos et al. (2013) avaliaram a composição da matéria orgânica em sedimentos amostrados de uma barragem artificial impactada por mudanças ambientais. Ao longo do perfil amostrado (80 cm), a origem da matéria orgânica não foi alterada significativamente, apresentando valores muito negativos de  $\delta^{13}$ C e grande amplitude para razão C/N, resultados caraterísticos de plantas C3. No entanto, eventos de queimadas foram registrados no testemunho de solo a 20 cm de profundidade ao topo do perfil, indicados pelo aumento do número de partículas de carvão, justificando, assim, a concentração elevada de carbono e nitrogênio a 15 cm de profundidade do sedimento, podendo estar diretamente relacionada à deposição de carvão e resíduos de combustão, provenientes de um período de queimada na região.

# 3. ÁREA DE ESTUDO

As bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, localizadas no Estado de São Paulo, fazem parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 5 (UGRHI 5), que corresponde a Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), as quais estão interligadas devido a reversões dos recursos hídricos visando abastecimento urbano (SHS, 2006).

Ambas as bacias de drenagem apresentam problemas de disponibilidade hídrica de qualidade causada principalmente pela degradação ambiental (OLIVEIRA et al., 2014). É importante salientar que para abastecer a população do município de Jundiaí o rio Atibaia fornece 1,2 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> para o seu principal afluente, o Jundiaí-Mirim. Outra reversão de água acorre no município de Campinas, que capta 4,0 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> do rio Atibaia e reverte 1,2 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> em esgoto para o rio Capivari (CBH-PCJ, 2012).

## 3.1. Bacia do rio Jundiaí

O rio Jundiaí, com sua nascente a 1.000 metros de altitude na Serra da Pedra Vermelha (Mairiporã), apresenta desnível topográfico total em torno de 500 metros, em uma extensão aproximada de 123 km onde desagua no rio Tietê, no município de Salto. A bacia do rio Jundiaí representa 7,3 % da Unidade PCJ, apresenta uma área de drenagem de 1.114 km<sup>2</sup> entre as coordenadas 23°12 e 23°09' de latitude sul, 47°18' e 46°33' de longitude oeste, e tem como principais afluentes os rios Jundiaí Mirim e o Ribeirão Piraí.

O período chuvoso ocorre entre os meses de outubro e abril, enquanto que o de período de estiagem compreendem os meses entre maio a setembro. O clima é do tipo Cwa de acordo com a classificação de Köppen, com inverno seco e verão quente. A precipitação média anual para esta bacia de drenagem na última década foi de 1.449 mm (BRUNINI, 2013).

Os municípios pertencentes a esta unidade hidrográfica são: Campo Limpo Paulista, Várzea Paulista, Jundiaí, Itupeva, Indaiatuba, Salto, Cabreúva, Jarinu e Atibaia, cidades que vem se destacando na economia brasileira devido à expansão urbana, agrícola e industrial ocorrida nesta região do Brasil (CETEC, 2000).

## 3.2. Bacia do rio Capivari

O rio Capivari, com sua nascente a 750 metros acima do nível do mar, na Serra do Jardim, no município de Jundiaí, apresenta extensão aproximada de 213 metros com desnível topográfico total em torno de 250 metros, indo desaguar no rio Tietê. A bacia do rio Capivari possui uma área de 1.621 km<sup>2</sup> localizada entre as coordenadas 22 °48' a 23 °09' de latitude sul e 47 °51' a 46 °48' de longitude oeste, tendo os principais afluentes o Ribeirão Sapezal, Picarrão, Areia Branca, Capivari Mirim e Água Doce.

O tipo climático predominante é Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, e a precipitação média anual foi de 1.239 mm nos últimos dez anos (BRUNINI, 2013).

Os municípios de Elias Fausto, Louveira, Mombuca, Monte Mor, Capivari e Rafard são municípios integrantes da bacia do rio Capivari e os municípios de Campinas, Hortolândia, Itupeva, Indaiatuba, Rio das Pedras, Jundiaí, Santa Bárbara d'Oeste, Tietê, Valinhos e Vinhedo integram parcialmente a bacia de drenagem (CBH-PCJ, 2012).

## 3.3. Aspectos geológicos e unidades estratigráficas

Foram utilizados mapas geológicos apresentados inicialmente por Perrota et al. (2005), CBH-PCJ (2013) e UNESP (1986), e modificados para elaboração do mapa geológico das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (Figura 1).

Figura 1 - Mapa geológico das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, com suas respectivas unidades litoestratigráficas (Modificado a partir de Perrota et al., 2005), com a demarcação das estações de amostragem (JN-Jundiaí Nascente, JM-Jundiaí Meio, JF-Jundiaí Foz, CN-Capivari Nascente, CM-Capivari Meio e CF-Capivari Foz)



A bacia de drenagem do rio Jundiaí ocorre predominantemente sobre Embasamento Cristalino ou Embasamento Pré-Cambriano, visto que na região oeste da bacia de drenagem apresentam rochas sedimentares paleozóicas que formam as camadas basais da Bacia Sedimentar do Paraná e, compondo corpos descontínuos, existem ainda depósitos sedimentares cenozoicos inconsolidados (NEVES, 2005).

Perrota et al. (2005) caracteriza a bacia do rio Jundiaí como sendo composta por estruturas geológicas com períodos de formação na Mesoproterozóico (Super Grupo Açugui), Neoproterozóico-Criogeniano (Complexo Varginha Gaxupé), Neoproterozóico-Edicadiano (Magmatismo relacionado ao Orógeno Socorro-Guaxupé e Grupo São Roque), Paleozóico-Carbonífero (Grupo Itararé) e Cenozóico-Holoceno (Depósitos aluvionares). Segundo Collares (2000) a bacia de drenagem do rio Capivari encontra-se sobre Embasamento Cristalino, com predomínio de gnaisses e rochas milonitizadas do Complexo Itapira, além de Granitos indiferenciados na porção leste. A porção central e oeste é constituída de rochas intrusivas básicas e sedimentares da Bacia do Paraná.

A bacia de drenagem do rio Capivari é composta pelos seguintes períodos de formação de estruturas geológicas: Neoproterozóico-Criogeniano (Complexo Varginha Gaxupé), Neoproterozóico-Edicadiano (Magmatismo relacionado ao Orógeno Socorro-Guaxupé), Paleozóico-Triássico (Grupo Passa Dois), Paleozóico-Carbonífero (Grupo Itararé), Paleozóico-Perminiano (Grupo Guatá), Mesozóico-Triássico (Grupo Passa Dois), Mesozóico-Cretácio (Grupo São Bento), Cenozóico-Pleistoceno (Depósitos colúvio-eluvionares) e Cenozóico-Holoceno (Depósitos aluvionares) (PERROTA et al., 2005).

A Tabela 1 apresenta a descrição da Era e o Período de formação, Agrupamento, Simbologia e Litologia das Unidades Litoestratigráficas presentes nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (PERROTA et al., 2005).

Tabela 1 - Unidades litoestratigráficas nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (PERROTA et al., 2005)

ERA (PERÍODO)	AGRUPAMENTO	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO	UNIDADE GEOTECTÔNICA	LITOLOGIA
CENOZÓICO (HOLOCENO)		DEPÓSITOS ALUVIONARES	Q2a Rio Jundiaí e Capivari		areia, areia quartzosa, cascalheira, silte, argila
CENOZÓICO (PLEISTOCENO)		DEPÓSITOS COLÚVIO- ELUVIONARES	Qce Rio Capivari		areia, silte e argila
MESOZÓICO (CRETÁCEO)	GRUPO SÃO BENTO	BACIA SERRA GERAL	K1γsg Rio Capivari	PROVÍNCIA PARANÁ	basalto e andesito basáltico tholeitico, riodacito, intercala camadas de arenito, litarenito e arenito vulcânico
MESOZÓICO (TRIÁSSICO)	GRUPO PASSA DOIS	BACIA DO PARANÁ	P2i Rio Capivari	Formação Irati	folhelho, silitito e argilito cinza escuro, calcário, marga e folhelho betuminoso com fósseis de répteis mesossaurídeos, ambiente marinho, com decantação em profundidades abaixo do nível das ondas, períodos de esttratificação da coluna de água ou com influência de tempestades
PALEOZÓICO (PERMIANO)	GRUPO GUATÁ	BACIA DO PARANÁ	P1tt Rio Capivari	FORMAÇÃO TATUÍ	silitito e silitito arenoso de cor cinza, arenito fino quartzoso, arenito cinza-esverdeado médio a grosso e imaturo, calcário e silexito, ocasionais fragmentos e níveis de carvão, nódulos de pirita, ambiente marinho raso
PALEOZÓICO (CARBONÍFERO)	GRUPO ITARARÉ	BACIA DO PARANÁ	C2P1i Rio Jundiaí e Capivari	GRUPO ITARARÉ INDIVISO	arenito, tilito, silitito, folhelho, ritmitito, conglomerado e raras camadas de carvão, ambiente glácio-marinho
PALEOZÓICO (TRIÁSSICO)	GRUPO PASSA DOIS	BACIA DO PARANÁ	P3T1c Rio Capivari	FORMAÇÃO CORUMBATAÍ	siltito argiloso, folhelho siltico e raro arenito, calcário micrítico e microesparitico, maciço ou laminado, sucedidos por arenito, interlaminação entre arenito, siltito e argilito, siltito, silitito e siltito arenoso, calcário micritico e marga, ambiente marinho de costa-afora a transicional entre costa-afora e face de praia.
NEOPROTEROZÓICO (EDICARIANO) NEOPROTEROZÓICO (EDICARIANO)	MAGMATISMO RELACIONADO AO ORÓGENO SOCORRO- GUAXUPÉ	PROVÍNCIA TOCANTINS (TERRENO SOCORRO- GUAXUPÉ)	NP3sγ3Aca Rio Jundiaí	GRANITOS PERALCALINOS, TIPO A (NP3sγ3A): Itu (it), Cachoeira (ca), Terra Nova (tn), Morungaba (mo)	
			NP3sγ3Amo Rio Jundiaí e Capivari		
			NP3sγ1po Rio Jundiaí	GRANITOS FOLIADOS, QUIMICAMENTE INDIFERENCIADO S (NP3sγ1C): portão ( <b>po</b> )	
	GRUPO SÃO ROQUE	PROVÍNCIA MANTIQUEIRA (TERRENO APIAÍ)	NP3srer Rio Jundiaí	FORMAÇÃO ESTRADA DOS ROMEIROS	biota-sericita filito, metacóseo, quartzito, calcissilicática, anfibolito, metabásica e quartzilito fino, metarritmito, metarenito e metagrauvaca
NEOPROTEROZÓICO (CRIOGENIANO)	COMPLEXO VARGINHA GUAXUPÉ	PROVÍNCIA TOCANTINS (TERRENO SOCORRO- GUAXUPÉ)	NPvm Rio Jundiaí e Capivari	UNIDADE PARAGNÁISSICA MIGMATICA SUPERIOR	(cordierita)-granada-(sillimanita)- biotita-gnaisse, micaxisto, nebulito gnaissico-granítico e ortognaisses intrusivos, metapsamito com metacarbonato e gnaisse calciossilicático, gnaisse básico
			NPvog Rio Jundiaí e Capivari	UNIDADE ORTOGNÁSSICA MIGMATITICA INTERMEDIÁRIA	biotita-hornblenda nebulito de composição granodioritica, granitica, sienitica e monzonitica, granito gnássico anatético metaluminoso
MESOPROTEROZÓIC O (ECTASIANO)	SUPER GRUPO AÇUNGUI (SUBGRUPO LAGEADO)	PROVÍNCIA MANTIQUEIRA	MP2si Rio Jundiaí	GRUPO SERRA DO ITABERABA	xisto, rocha calcissilicática, metapelito, metabasito, metandesito, metatufo, metamáfica

## 3.4. Aspectos geomorfológicos

A Figura 2 apresenta os principais aspectos geomorfológicos da bacia de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, elaborada a partir de mapas disponibilizados pelo CBH-PCJ, em relatório anual de situação dos recursos hídricos do ano de 2013.

Figura 2 - Principais aspectos geomorfológicos da bacia de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (Modificado a partir de CBH-PCJ, 2013)



Próxima às nascentes do rio Jundiaí, destaca-se a presença de relevo de degradação do tipo montanhoso, denominado de serras alongadas devido às características de topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. É considerada uma área de drenagem de alta densidade, pois há vales fechados, com predomínio de declividades médias e altas (acima de 15%), com amplitudes locais acima de 300 m.

Na área intermediária da bacia de drenagem do rio Jundiaí é predominantemente o relevo de degradação do tipo morros; a amplitude local é de 100 a 200 m com presença de declividade alta a média. É uma região que apresenta três unidades denominadas: Morro de Topos Achatados, característico por haver topos achatados e extensos, apresentando vertentes com perfis convexos e retilíneos; Mar de Morros, apresentando topos arredondados e vertentes com perfis convexos e retilíneos, a drenagem é de alta densidade com padrão dentítrico ou retangular, variando entre vales abertos e fechados, apresentando planícies aluvionares interiores desenvolvidas; e Morros e Serras restritas, apresentando topos arredondados, vertentes com perfiz retilíneos, por vezes abruptos, com drenagem de alta densidade e planícies aluvionares interiores restritas.

Ainda no interior da bacia de drenagem, junto às margens do rio Jundiaí, encontra-se Planícies Aluviais e Terraços Fluviais, caracterizados por relevos de agradação ou acumulação, apresentando terrenos horizontais ou levemente inclinados, alçados de poucos metros em relação às margens.

Próximo à foz do rio Jundiaí o relevo se apresenta colinoso com baixa declividade (0 a 15%) e amplitudes inferiores a 100 m. É uma região com presença da unidade de Colinas Amplas, com predomínio de interflúvios com áreas de 1 a 4 km<sup>2</sup>, com topos aplainados de perfis retilíneos e convexos. A drenagem é de média a baixa densidade, com presença de vales abertos e fechados, com planícies aluviais interiores restritas.

Na área próxima às nascentes do rio Capivari a declividade varia entre média e alta (acima de 15%), apresentando amplitudes de 100 a 200 m, classificada como Relevo de Morros do tipo Mar de Morros e Morros de Serras Restritas.

Seguindo o leito do rio, após área de nascente, é observado Relevo de Encostas de Transição do tipo Montanhoso, onde as amplitudes são maiores que 100 m, apresentando altas declividades (acima de 30%), denominadas Escarpas Festonadas caracterizadas por escarpas desfeitas em anfiteados separados por espigões, vertentes com perfis retilíneos e topos angulosos.

A área central da bacia do rio Capivari apresenta Relevo de Degradação do tipo Colinoso e de Morrotes, com predomínio de baixa declividade (0 a 15%) e amplitudes inferiores a 100 m, é denominada de Colinas Médias por apresentar características de topos aplainados, vertentes com perfis retilíneos e convexos, com

drenagem de média a baixa densidade, vales abertos com planícies aluvionares interiores restritas.

A bacia do rio Capivari, próxima à área de desague no rio Tietê, apresenta relevo de Morrotes Alongados e Espigões, com predomínio de interflúvios sem orientação preferencial, vertentes ravinadas com perfis retilíneos e topos angulados. Apresenta drenagem de classificação média a alta densidade com vales fechados.

# 3.5. Solos

A Figura 3 ilustra as principais classes de solos evidenciadas nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari; tendo como base o mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999), e utiliza as atuais nomenclaturas do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006).

Figura 3 - Mapa Pedológico das principais classes de solos determinadas nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (Modificado a partir de Oliveira et al., 1999)



Próxima às nascentes do rio Jundiaí é possível notar solos do tipo Cambissolo Háplico, representando 20% da bacia de drenagem, e do Latossolo Vermelho-Amarelo em menor extensão (cerca de 6%). No interior da bacia até a foz há predominância de solo Argissolo Vermelho-Amarelo, representando aproximadamente 74% da área da bacia de drenagem (OLIVEIRA et al., 1999).

Na bacia de drenagem do rio Capivari, próxima às nascentes e foz, é verificada influência de solo Argissolo Vermelho-Amarelo, representando 76% da área da bacia. Na área central da bacia, seguindo para foz, são observadas manchas de solo Latossolo Vermelho (17%), Latossolo Vermelho-Amarelo (4%) e Neossolo Litólico (3%) (OLIVEIRA et al., 1999).

Os Argissolos compreendem grande parte das áreas das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, e são solos minerais com nítida diferenciação entre as camadas ou horizontes, reconhecida em campo especialmente pelo aumento nos teores de argila em profundidade, apresentando cores mais fortes e amarelada, brunada ou avermelhada (EMBRAPA, 2006). Tais solos são originários de rochas básicas ou ricas em minerais ferromagnesianos e apresentam valores elevados de cátions trocáveis, o que explica a cor avermelhada (OLIVEIRA et al., 1999).

Já os Latossolos, característico principalmente na bacia do rio Capivari, são compostos por materiais minerais homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas, reconhecidos facilmente pela cor quase homogênea do solo com a profundidade (OLIVEIRA et al., 1999). São solos profundos, bem intemperizados, com textura média ou mais fina (argilosa, muito argilosa), bem drenados e com baixa capacidade de troca de cátions. Apresentam baixa saturação por bases, distróficos e com presença de óxidos de ferro e de alumínio, minerais de argila 1:1, quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo (EMBRAPA, 2006).

A ordem dos Cambissolos, predominantemente próxima às nascentes do rio Jundiaí, abrange solos minerais que apresentam textura média ou mais fina e ausência de grande desenvolvimento pedogenético (OLIVEIRA et al., 1999). São solos com pequena profundidade que possuem elevado teor de minerais primários (minerais herdados da rocha), de cor bruna ou bruno-amarelada, e de alta a baixa saturação por bases em atividade química da fração coloidal (EMBRAPA, 2006).

Os Neossolos Litólicos, presentes a noroeste da bacia do rio Capivari, são típicos das regiões de relevo mais dissecado ou íngreme; estão principalmente

associados às montanhas e escarpas nas regiões das grandes serras do estado, e também podem ser encontrados por condições locais de dissecamento do relevo (OLIVEIRA et al., 1999). São caracterizados como solos com horizonte A, dispostos sobre a rocha geradora ou material constituído por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm, tendo ausência, em alguns casos, da ocorrência do horizonte B (EMBRAPA, 2006).

# 3.6. Uso e ocupação do solo

A Figura 4 ilustra as principais classes de usos e ocupações dos solos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, elaborado a partir de mapas disponibilizados pelo CBH-PCJ em relatório anual de situação dos recursos hídricos do ano de 2013 (CBH-PCJ, 2013).

Figura 4 - Mapa das principais classes de usos e ocupações dos solos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (Modificado a partir de CBH-PCJ, 2013)



Pode ser observado que, em ambas as bacias estudadas, há predomínio da pastagem como uso e ocupação do solo. Na bacia de drenagem do rio Jundiaí essa atividade é representada por 63% da área da bacia, seguida de cobertura vegetal natural (13%), áreas urbanas e industriais (10%), agricultura (8%) e áreas de reflorestamento (6%) (NEVES, 2005).

A alta porcentagem de áreas de cobertura vegetal natural e de reflorestamento na bacia do rio Jundiaí, comparada às bacias vizinhas, grande parte é decorrente da criação da Área Natural Tombada Serras do Japi, Guaxinduva e Jaguacoara e das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) de Jundiaí e Cabreúva. Juntas, estas APAs somam 69.300 hectares e ocupa parte da região sul da bacia do rio Jundiaí. São áreas formadas por remanescentes da Mata Atlântica incluindo Copeira, Cerrado, Campo Serrado e Vegetação Natural de Várzea. As áreas onde ocorre reflorestamento são compostas por espécies exóticas (eucalipto e *pinus*) (SÃO PAULO, 2007).

Apesar da porcentagem expressiva de áreas vegetadas, a bacia do rio Jundiaí se apresenta em pleno desenvolvimento urbano-industrial, com constante parcelamento do solo para instalação de chácaras próximas ao leito do rio, além de crescente atividade extratora de areia, brita (construção civil) e argila (cerâmica), que por muitas vezes atuam sem licença do órgão competente (MORAES, 2015).

Em termos de uso do solo na bacia de drenagem do rio Capivari, a cana-deaçúcar ocupa 45% da área total da bacia, concentrada no setor central até a foz, seguida de 31% correspondente à pastagem, com 11% referente ao uso agrícola, 6% de áreas urbanas e apenas 3% de vegetação nativa (CBH-PCJ, 2013).

Na região próxima à cabeceira da bacia do rio Capivari há o cultivo de hortaliças e a criação de animais, principalmente no município de Louveira e regiões adjacentes aos municípios de Jundiaí, Campinas e Elias Fausto. Também apresentam elevado desenvolvimento urbano-industrial, sendo mais representativo no entorno do município de Campinas ao longo dos eixos das rodovias Bandeirantes, Santos Dumont e Anhanguera (MORAES, 2015).

O adensamento urbano dos municípios inseridos nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari e seus respectivos números de habitantes estão apresentados na Tabela 2, conforme levantamento do IBGE (2014).

Bacia do rio Ju	ndiaí	Bacia do rio Capivari		
Municípios	Número de Habitantes	Municípios	Número de Habitantes	
Atibaia	130.606	Louveira	40.668	
Campo Limpo Paulista	76.729	Monte Mor*	52.039	
Várzea Paulista	111.336	Elias Fausto*	16.265	
Jundiaí*	382.363	Capivari	50.252	
Itupeva	49.061	Rafard*	8.705	
Salto*	108.450	Mombuca	3.285	
Indaiatuba*	215.670	Indaiatuba*	215.670	
Jarinu*	25.640	Campinas*	1.112.050	

Tabela 2 - Principais municípios inseridos nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari e seus respectivos números de habitantes (IBGE, 2014)

\*municípios inseridos parcialmente na bacia.

Pode ser observado que o município de Campinas, inserido parcialmente na bacia do rio Capivari, apresenta a maior taxa de urbanização e um grande adensamento populacional, seguido do município de Jundiaí, inserido em ambas as bacias estudadas.

### 3.7. Aspectos hidroclimáticos

Ambas as bacias de drenagem estudadas apresentam influências das massas de ar Tropical Continental, Tropical Atlântica e Polar Atlântica, provocando diferenças regionais dos fatores topoclimáticos, como ocorre nas Serras da Mantiqueira, em relação à distância do mar (NEVES, 2006; SÃO PAULO, 2000).

Segundo classificação climática do Estado de São Paulo, fornecida pelo sistema internacional de Köppen (1948), o clima é do tipo Cwa, Cfa e Cfb. O tipo Cwa é caracterizado por um clima subtropical de inverno seco, com temperaturas inferiores a 18°C, e verão quente, com temperaturas superiores a 22°C. O tipo Cfa também apresenta clima subtropical, mas há influência de verão seco. Já o tipo Cfb pode ser considerado um clima temperado, apresentando verão brando e inverno mais frio.

Segundo Pellegrino (1995), as temperaturas são superiores a 22 °C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco, sendo que o período de chuva se concentra entre os meses de outubro a abril e a estiagem entre maio a setembro. A precipitação média total anual, no período de 1936 a 2000, representativa de cinco postos pluviométricos do DAAE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) do Estado de São Paulo, distribuídos nas áreas próximas às nascentes, meio e foz da bacia de drenagem do rio Jundiaí, foi de 1.200 a 1.800 mm. A média mensal pluviométrica nos meses mais secos (julho e agosto) ficou entre 25 a 40 mm, e nos meses mais chuvosos (dezembro e janeiro), entre 190 a 215 mm, (OLIVEIRA et al., 2014; MORAES, 2015).

Na bacia de drenagem do rio Capivari, segundo dados compilados do banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo, em três postos pluviométricos, localizados nas cidades de Capivari, Monte Mor e Rio das Pedras, a pluviosidade média total anual foi de 1.140 a 1.248 mm, no período de 1947 a 2006 sendo os períodos mais secos de julho a agosto com médias pluviométricas de 30 mm e os mais chuvosos de dezembro a fevereiro apresentando médias pluviométricas mensais de 193 mm (OLIVEIRA et al., 2014; MORAES, 2015).

### 3.8. Estações de amostragem

#### 3.8.1. Sedimentos Fluviais

As estações de amostragens dos sedimentos fluviais, ao longo das duas bacias de drenagem estudadas, foram definidas e estabelecidas com base em estudo cartográfico e visitação prévia de áreas de interesse. Vale ressaltar que os locais foram cuidadosamente escolhidos e as estações de amostragem foram georreferenciados utilizando navegador GPS MIO C320.

As estações de amostragem definidas para coleta de sedimentos finos em suspensão (FSS) e de fundo em perfil de profundidade na bacia do rio Jundiaí estão localizadas na região dos municípios de Campo Limpo Paulista e Salto, respectivamente, próxima às nascentes (JN) e à foz (JF) do rio. Na bacia de drenagem do rio Capivari as estações de amostragens para FSS e de sedimento de fundo em perfil de profundidade se encontraram situados nos municípios de Jundiaí e Tietê, respectivamente, próximo às nascentes (CN) e à foz (CF) do rio estudado.

Outras duas estações de amostragens de sedimento de fundo em perfil de profundidade foram adicionadas no decorrer do estudo, complementando o projeto inicial, determinadas a partir do tipo do uso e ocupação do solo de cada bacia, caracterizada como estação de amostragem intermediária entre a nascente e a foz

para ambos os rios estudados. Para a bacia do rio Jundiaí a estação de amostragem se localiza na cidade de Itupeva (JM), cuja área recebe grande parte de esgoto urbano da cidade, que é despejada no canal principal do rio. Na bacia do rio Capivari, que apresenta uma grande área de uso e ocupação do solo agrícola, a coleta foi realizada em área rural no município de Monte Mor (CM).

A Figura 5 ilustra a localização das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, com os principais cursos d'água presentes na sua rede de drenagem e a localização das estações de amostragem definidas para os sedimentos fluviais.

Figura 5 - Localização das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, com os canais principais dos rios, sua rede de drenagem e a localização das estações de amostragem definidas para os sedimentos fluviais



A estação de amostragem JN localizada na Estrada Municipal de Bragantina, no município de Campo Limpo Paulista, SP (Latitude 23º12'22"S e Longitude 46º43'32"O), drena cerca de 18,96% da área total da bacia do rio Jundiaí, segundo calculo de levantamento cartográfico. Tal estação foi definida através de condições favoráveis para execução das amostragens de sedimentos fluviais, condições essas não observadas em áreas mais próximas às nascentes. A Figura 6 (A, B e C) ilustra o rio Jundiaí na estação de amostragem JN (próxima às nascentes do rio Jundiaí) e a área do entorno.

Figura 6 - Rio Jundiaí na estação de amostragem JN (A e B); uso e ocupação do solo no entorno próxima às nascentes do rio Jundiaí (C). (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso em outubro de 2013)



No entorno da nascente do rio Jundiaí podem ser observadas Áreas de Preservação Permanente (APP), compostas de vegetação nativa (Figura 6C), representada pela cor verde escura, no entanto, há ocorrência de pequenas propriedades que não possuem sistemas de coleta e/ou tratamento de efluentes domésticos.

A estação de amostragem JM (área intermediária à bacia de drenagem do rio Jundiaí) se encontra localizada na Estrada Municipal da Miná, no município de Itupeva (SP), sob coordenadas geográficas de Latitude 23°8'59.44"S e

Longitude 47°3'22.88"O (Figura 7). O entorno da estação de amostragem intermediária da bacia do rio Jundiaí (JM) apresenta significativa pressão da área urbana do município de Itupeva, como pode ser verificada na Figura 7 C.

Figura 7 - Rio Jundiaí na estação de amostragem JM (A e B); uso e ocupação do solo no entorno da área de amostragem (C). (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso em outubro de 2013)



A localização da estação de amostragem JF (próxima à foz do rio Jundiaí), situa-se na Rua Japão, no município de Salto (SP) (Latitude 23°11'42.53"S e Longitude 47°16'8.24"O) (Figura 8). Com uma área de drenagem de 114,13 km<sup>2</sup>, calculados através de levantamento cartográfico, esta estação de amostragem foi definida devido às condições favoráveis para execução das coletas de sedimentos fluviais, evitando assim possíveis interferências do rio Tietê na desembocadura do rio Jundiaí.

Na Figura 8C, entorno da estação de amostragem JF, é possível observar pequenas porções de APP, bem como a presença significativa de área urbana do município de Salto (SP) até a foz do rio Jundiaí, que deságua no corpo hídrico do rio Tietê.

Figura 8 - Rio Jundiaí na estação de amostragem JF (A e B); uso e ocupação do solo no entorno próximo à foz do rio (C). (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso em outubro de 2013)



Localizada em propriedade particular da Fazenda Bela Vista, no município de Jundiaí (SP), próximo á Rodovia Estadual SP-360, a estação de amostragem CN (região próxima às nascentes do rio Capivari) (Figura 9), se encontra posicionada nas coordenadas: Latitude 23° 6'41.22"S e Longitude 46°50'7.10"O, e drena

aproximadamente 5% da área total da bacia do rio Capivari, cerca de 85,1 km<sup>2</sup>. Foi possível observar na área do entorno dessa estação de amostragem (Figura 9C) matas ciliares degradas, com presença expressiva de pastagens e culturas perenes, além de um conjunto de casas próximas ao leito do rio.

Figura 9 - Rio Capivari na estação de amostragem CN (A e B); uso e ocupação do solo no entorno próxima às nascentes do rio (C). (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso em outubro de 2013)



A estação de amostragem CM (área intermediário à da bacia do rio Capivari), está localizada na Rodovia Jornalista Francisco Aguirre Proença, trecho da Rodovia Estadual SP-101, situada nas coordenadas Latitude 22°59'13.62"S e

Longitude 47°23'0.58"O, entre os municípios de Monte Mor e Capivari (SP). A Figura 10 ilustra o rio Capivari na estação de amostragem CN, assim como o uso e ocupação do solo na área do entorno.

Figura 10 - Rio Capivari na estação de amostragem CM (A e B); uso e ocupação do solo no entorno da área de amostragem (C). (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso em outubro de 2013).



Pode-se observadar na Figura 10, na estação de amostragem CM, a existência de uma pequena faixa de vegetação nativa no entorno do rio Capivari, no entanto, é possível verificar também pequenas propriedades (condomínios

residenciais) que não possuem sistemas de coleta e/ou tratamento de efluentes domésticos.

A estação de amostragem CF (próxima à foz do rio Capivari) fica localizada na Estrada Municipal Frederico Zambianco (não pavimentada), próxima ao município de Tietê (SP), sob coordenadas geográficas de Latitude 22°59'22.00"S e Longitude 47°45'17.50"O. Na Figura 11, é possível observar que a mata ciliar do entorno do rio Capivari, na estação de amostragem CF, se apresentou altamente degradada, com presença marcante da cultura cana-de-açúcar e de pequenas áreas ocupadas por culturas anuais e pastagens, o que caracteriza-a como uma região essencialmente agrícola.

Figura 11 - Rio Capivari na estação de amostragem CF (A e B); uso e ocupação do solo no entorno próximo à foz do rio (C). (Modificado a partir de imagem obtida no Google Earth. Acesso em outubro de 2013)



## 3.8.2. Solos

Foram amostrados solos mais representativos nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, sendo eles: Cambissolo, Argissolo e Latossolo. Os cinco pontos de amostragem foram georreferenciados no momento da amostragem, por meio de um GPS modelo Etrex da Garmin, podendo ser observado na Tabela 3, o exato posicionamento das estações de amostragem.

Tabela 3 - Localização das estações de amostragem dos principais solos das bacias dos rios Jundiaí e Capivari

Solo	Lat.	Long.
CX1	23°10'16,54"	46°46'20,10"
LV41	23° 3'35,21"	47°24'31,60"
PVA52	23°11'36,05"	47°15'32,20"
PVA22	23°7'7,61"	46°50'32,21"
PVA102	22°57'43,43"	47°43'48,06"

# 4. MATERIAIS E MÉTODOS

# 4.1. Materiais e equipamentos utilizados

Foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais listados abaixo para o desenvolvimento metodológico do presente estudo:

- Amostrador pontual de sedimento em perfil de profundidade (sedimento de fundo);
- Tubos de PVC para perfis de sedimento de fundo com 40 mm de diâmetro e 80 cm de comprimento;
- Amostrador pontual de estágio simples (sedimento em suspensão);
- Corda de 40 m;
- Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente ICP-OES;
- Espectrômetro de Massa acoplado a um cromatógrato Analisador Automático de Carbono e Nitrogênio ANCA-GLS Hidra 20-20;
- Difração de Raio X Philips PW 1877;
- Estufa de secagem com circulação forçada de ar Marconi MA 120;
- Freezer horizontal Reubly CHDA 41;
- Sistema de extração de sulfetos de borosilicato;
- pH-metro Marconi Digimed DM2;
- Centrífuga IECCempra GP8;
- Mufla Marconi MA037;
- Agitadores magnéticos com chapa aquecedora Marconi MA085;
- Balança analítica;
- Almofariz e pistilo de ágata;
- Cápsulas de estanho;
- Cadinhos de platina dopados com ouro;
- Buretas automáticas de diversos volumes;
- Sistema de filtração a vácuo manual;
- N<sub>2</sub> e Ar, gás inerte;
- Vidraria convencional de laboratório;

Placas de petri de polipropileno;

 Reagentes químicos p. a. utilizados: nitrato de magnésio, acetato de sódio, cloreto de hidróxilamônio, oxalato de amônio, ácido oxálico, ácido ascórbico, peróxido de hidrogênio, acetato de amônio, tetraborato de lítio e metaborato de lítio, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorídrico, cloreto vanadoso, ftalato de ácido de potássio, acido clorídrico, nitrato de parta, sulfeto de sódio, entre outros.

## 4.2. Desenvolvimento metodológico

O presente estudo fez parte do projeto de pesquisa: "Hidrogeoquímica dos rios Jundiaí e Capivari, SP: aspectos de influência antrópica nas cargas dissolvidas e particuladas", coordenado pelos professores Dr. Helder de Oliveira e Dr. Jefferson Mortatti (FAPESP – Processo n° 2010/19263-3), no qual os protocolos de amostragem e determinações químicas foram previamente especificados, modificados e ampliados para atender o objetivo do presente estudo.

## 4.2.1. Protocolo de amostragem e preparo das amostras

## 4.2.1.1. Sedimentos finos em suspensão (FSS)

As amostragens de sedimentos finos em suspensão (FSS) foram realizadas no período de 19/04/2011 a 16/12/2012, totalizando 15 excursões que variaram entre época seca e chuvosa, nas quatro estações de amostragem definidas para as bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, próximas às nascentes (JN e CN) e à foz (JF e CF).

Para obtenção de material de massa suficiente para a realização das determinações químicas de elementos potencialmente tóxicos no FSS, assim como carbono orgânico particulado (COP), nitrogênio orgânico particulado (NOP) e assinaturas isotópicas, foram coletadas 30 L de amostras brutas de águas fluviais, utilizando balde graduado de polipropileno, armazenadas em bombonas de polipropileno com capacidade de 30 L. Sendo tal procedimento realizado nas

estações de amostragem descritas anteriormente nas excursões realizadas (Figura 12).

Figura 12 - Amostragem do FSS (A), içamento da amostra em balde de polipropileno (B) e transferência da amostra para a bombona de 30 L (C)



As bombonas de 30 L contendo água fluvial e sedimentos em suspensão dos rios Jundiaí e Capivari foram armazenadas em laboratório sob isenta perturbação para eficiência do processo de decantação dos FSS. Após decantação em bombonas, a água (sobrenadante) foi retirada através de sifonamento, e os sedimentos finos em suspensão foram transferidos em béqueres e após completa decantação dos FSS, novo sifonamento foi efetuado, acondicionando as amostras em placas de petri, secos em estufa à 60 °C, até peso constante, macerados em almofariz de ágata e peneiras com malha de nylon, específicas para obtenção da parte fina dos sedimentos (< 63  $\mu$ m) (Figura 13). Figura 13 - Etapa de decantação dos sedimentos finos em suspensão em béqueres (A), transferência das amostras para placas de petri (B), amostras após secagem (C), almofariz e pistilo de ágata utilizados na moagem (D), peneira de naylon (E) e amostras utilizadas para análise (F)



# 4.2.1.2. Sedimento de fundo em perfil de profundidade

As amostragens dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, nas estações de amostragem próxima às nascentes, meio e foz das bacias, foram realizadas em triplicatas, no meio do canal do rio, no eixo da corrente, a fim de obter uma melhor representatividade amostral, utilizando um amostrador de perfil de sedimento de fundo, tipo torpedo (MORTATTI et al., 2010; BONASSI et al., 2012), , ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Amostrador tipo torpedo para coleta pontual de sedimentos de fundo fluvial em perfil de profundidade, (A) detalhe da amostragem com o equipamento (B e C)



Tal amostrador permite coletar perfis de sedimentos de fundo fluvial até cerca de 90 cm de profundidade em tubos de PVC acoplados no interior do corpo do torpedo. Uma válvula de retenção colocada na parte anterior do torpedo garantiu a retirada da amostragem perfilada evitando perturbação e/ou descompactação.

Os perfis de sedimentos de fundo amostrados tiveram os respectivos tubos de PVC fechados em suas extremidades, devidamente identificados e acondicionados na posição vertical em suportes próprios, e mantidos em ambiente refrigerado. No laboratório, os sedimentos amostrados foram fatiados a cada 3 cm visando melhor representatividade do perfil amostrado para processamento analítico (Figura 15).

Figura 15 - Detalhes do processo de fatiamento do perfil amostrado de sedimento de fundo em laboratório



Após o fatiamento dos sedimentos e a correta identificação, as amostras foram mantidas em placas de petri de polietileno e armazenadas em freezer até o início dos procedimentos analíticos.

O primeiro procedimento analítico realizado nos sedimentos de fundo fluviais foi a determinação de sulfetos volatilizáveis por ataque ácido (AVS) e extração simultânea de metais (SEM), por apresentar necessidade de sedimentos úmidos. Após realização do AVS e SEM, os sedimentos foram secos ao ar, moídos em almofariz de ágata e submetidos a peneiramento, para a obtenção de partículas menores que 63 µm, e, posteriormente, armazenados em placas de petri de polietileno para demais aplicações analíticas.

# 4.2.1.3. Solos

A amostragem de solos representativos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari foi realizada em triplicata utilizando um trado manual com 5 cm de diâmetros, em aço inox, em diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm) (Figura 16). Também foram amostrados solos para determinação das densidades, segundo metodologia *core* (BLAKE; HARTGE, 1986), a uma profundidade de 20 cm, utilizando cilindros metálicos com 75 mm de diâmetro e 50 mm de altura (Figura 16).

Figura 16 - Amostragem dos principais solos das bacias dos rios Jundiaí e Capivari utilizando trado manual (A e B); amostragem de solo para determinação de densidade (C e D)



As amostras de solo coletado foram devidamente identificadas e armazenadas em sacos de polietileno e transportadas ao laboratório, onde foram secas ao ar livre, por cerca de 10 dias, homogeneizadas e posteriormente moídas utilizando o almofariz de ágata. As frações finas resultantes foram separadas, utilizando-se peneiras de nylon (malha de 63 µm), e armazenadas em placas de petri de polietileno para posterior etapa de análise. Já os cilindros com as amostras de solo, para a determinação de densidade, foram envoltos em plástico filme, identificados e armazenados, para posterior determinação da densidade em laboratório.

# 4.2.2. Composição mineralógica e granulométrica dos sedimentos fluviais e solos

A análise mineralógica dos sedimentos de fundo e solos da bacia dos rios Jundiaí e Capivari foi realizada por difração de raios-X (DRX), junto ao Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL – ESALQ/USP), utilizando amostra composta para todo o perfil de sedimento de fundo e amostras em perfil de profundidade para solo (0 a 50 cm), de fração fina (< 63  $\mu$ m), previamente secos a 60 °C (Figura 17).

A granulometria dos solos e sedimentos de fundo foi determinada através de peneiramento à úmido, método embasado em Dourado et al. (2012) e Gee et al. (2002). Foram utilizadas peneiras de malhas de 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,10 mm, e 0,05 mm, a fim de se ter a separação dos teores de areia, silte

e argila. Após o peneiramento, o que restou em cada bandeja foi separado e pesado, possibilitando a determinação da porcentagem das principais frações granulométricas em cada amostra (Figura 17).

Figura 17 - Etapa parcial dos procedimentos de análise mineralógicas e granulométricas dos solos e sedimentos de fundo amostrados nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari



Amostrados com auxílio de cilindros metálicos (75 x 50 mm) em uma trincheira a 20 cm de profundidade, em triplicata, os solos se mantiveram preservados até a chegada ao laboratório. Seguiram para secagem em estufa a 105ºC (24 h), e, após constatação de peso constante do cilindro contendo o solo, foi determinada a densidade em função do volume interno do cilindro (Figura 18).

Figura 18 - Preparo das amostras de solo em laboratório para determinação de densidade



# 4.2.3. Concentrações totais das principais espécies químicas e elementos potencialmente tóxicos dos sedimentos fluviais e solos

A extração total das principais espécies químicas e dos elementos potencialmente tóxicos dos sedimentos fluviais e solos do presente estudo foi realizada pelo método de fusão alcalina, proposto por Samuel et al. (1985), foram empregados 100 mg da amostra seca (< 63 μm), e os fundentes tetraborato de lítio (400 mg) e metaborato de lítio (200 mg), em cadinhos de platina dopados com 5% de ouro. A mistura foi homogeneizada e colocada em mufla a 1000 °C por 30 minutos. Após esfriamento, a amostra fundida foi solubilizada em ácido clorídrico, sob agitação e aquecimento (40 °C) constantes. A solução foi avolumada, com água deionizada, até atingir 50 mL, e armazenados em frascos de polipropileno, mantidos sob refrigeração até a análise das espécies químicas por espectrometria de emissão ótica com plasma induzido de argônio acoplado indutivamente (ICP-OES), como ilustra a Figura 19.

Figura 19 - Cadinhos de platina (A), amostra fundida (B), solubilização da amostra (C) e armazenamento de amostras em frascos de polipropileno (D)



Para controle de qualidade analítica e do processo de extração, visando à correção do branco analítico, as amostras e os brancos foram determinados em triplicata. Também foi utilizado material de referência internacional Soil-7 International Atomic Energy Agency (IAEA).

### 4.2.4. Caracterização química dos sedimentos fluviais e solos

A caracterização química das amostras de sedimentos fluviais e solos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari foi obtida a partir da extração total descrita no item 4.2.3, expressa em termos percentuais de óxidos totais, sendo os principais: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O.

A matéria orgânica das amostras foi calculada a partir das concentrações de carbono orgânico particulado (COP), determinada por Espectrofotômetro de Massas Acoplado com Cromatografia Gasosa ANCA-GSL (PDZ-Europa), o valor encontrado foi multiplicado pelo fator de correção de 1,72, uma vez que o carbono participa com 58% na composição média do húmus (SANTOS; CAMARGO, 1999).

# 4.2.5. Índice de maturidade química (ChM) e grau de alteração de rochas (R) dos sedimentos finos em suspensão

A caracterização química dos sedimentos finos em suspensão (FSS), nas estações de amostragem das bacias estudadas, em termos de Si, Al, Fe, Mn, Cu, Co, Cr, Zn, Ni, Pb, Sr, Sc, Ca, Mg, Na e K, permitiu avaliar e investigar o índice de maturidade química (ChM) e o grau de alteração de rochas (R) nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.

Em bacias de drenagem, durante o processo de alteração de rochas, a evolução de minerais primários para minerais secundários está associada a um enriquecimento correspondente em Al e Fe e um empobrecimento em Si (LELEYTER, 1998). Sendo assim, o aumento nas concentrações de  $Al_2O_3$  e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em detrimento de SiO<sub>2</sub> fornece uma informação importante do grau de alteração das rochas em uma bacia de drenagem, expressa pelo índice *R*, de acordo com a Equação 1:

$$R = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \tag{1}$$
O índice de maturidade química (ChM), estabelecido por Konta (1985), foi outro parâmetro importante que expressou o processo de alteração de rochas nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, relacionando o alumínio com as bases catiônicas, de acordo com a Equação 2:

$$ChM = \frac{Al_2O_3(\%)}{(Na_2O + MgO + CaO)(\%)}$$
(2)

### 4.2.6. Mobilidade geoquímica das principais espécies químicas dos sedimentos finos em suspensão

O cálculo estimativo da mobilidade das principais espécies químicas durante os processos de alteração de rochas das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari teve como base a comparação química dos sedimentos fluviais com a composição média das rochas superficiais da crosta terrestre (MARTIN & MEYBECK, 1979), normalizados pelo AI, de acordo com a Equação 3:

$$\{[(C_i/Al)_{sed}/(C_i/Al)_{crosta}]. 100\} - 100$$
(3)

onde: (Ci/Al)<sub>sed</sub> é a razão entre a concentração média da espécie química de interesse e a concentração média de Al no sedimento fluvial, e (Ci/Al)<sub>crosta</sub> é a razão entre a concentração média da espécie química de interesse e a concentração média da crosta terrestre.

### 4.2.7. Critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em função da concentração total

#### 4.2.7.1. Valores-guia de referência: VP, VI, PEL e TEL

As concentrações médias dos elementos potencialmente tóxicos obtidas na extração total descrita no item 4.2.3, dos sedimentos fluviais e solos, amostradas nas bacias de estudo foram comparadas aos valores-guia de referência VP, VI, PEL e TEL.

No Brasil, os valores-guia de prevenção (VP) e intervenção (VI) foram estabelecidos pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo (CETESB, 2005), sendo classificados como:

- Valor-guia de prevenção (VP): é a concentração de determinado elemento ou substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea.
- Valor-guia de intervenção (VI): é a concentração de determinado elemento ou substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico.

Para sedimentos, o Brasil ainda não possui valores de referência consolidados, sendo assim, diversos países que apresentam a mesma carência que o Brasil adotam os valores-guia de qualidade de sedimentos estabelecidos pelo Conselho Canadense de Ministérios do Meio Ambiente (CCME, 1995), gerados a partir de um banco de dados (químico e toxicológicos) disponível na América do Norte (CUNHA et al., 2008), classificados como:

- TEL (*Threhold Effect Level*), nível efeito limiar abaixo do qual não ocorre efeito adverso à comunidade biológica.
- PEL (*Probable Effect Level*), nível de efeito provável à ocorrência de efeitos adversos à biota.

As concentrações limites dos principais elementos potencialmente tóxicos estabelecidos pelos valores-guia de referência de qualidade de solos (VP e VI) e sedimentos (TEL e PEL) podem ser observadas na Tabela 4.

Valores de	Cu	Со	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb
Referência				µg.g⁻¹			
VP solos*	60,0	25,0	75,0	300,0	1,3	30,0	72,0
VI solos*	200,0	35,0	150,0	450,0	3,0	70,0	180,0
TEL**	35,7	10,0	37,3	123,1	0,6	18,0	35,0
PEL**	197,0	-	90,0	315,0	3,5	35,9	91,3

Tabela 4 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicosestabelecidos pelos valores-guia de referência de qualidade de solos e sedimentos

\*CETESB (2005)

\*\*CCME (1995)

#### 4.2.7.2. Fundo geoquímico natural: globais e regionais

As concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos de fundo geoquímico natural global utilizadas no presente estudo foram as médias dos folhelhos, proposto por Turekian & Wedepohl (1961); dos sedimentos fluviais, proposto por Martin & Meybeck (1979); e da crosta terrestre, indicado por Taylor & McLennan (1981). Tais elementos e suas respectivas concentrações podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos dos valores de referências globais de fundo geoquímico

Critério	Valores de Referência	Cu	Со	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sc
					μg	.g-1			
	Folhelho <sup>a</sup>	45,0	19,0	90,0	95,0	0,3	68,0	20,0	13,0
Global	Sedimentos Fluviais <sup>b</sup>	40,0	16,0	74,0	65,0	0,1	40,0	17,0	14,0
	Crosta Terrestre <sup>c</sup>	25,0	10,0	35,0	71,0	0,1	20,0	20,0	11,0

<sup>a</sup>Turekian & Wedepohl, 1961; <sup>b</sup>Martin & Meybeck, 1979 e <sup>c</sup>Taylor & McLennan, 1981

Foi observado que tais valores de referência variam globalmente quando adotados para os elementos potencialmente tóxicos, não representando de forma consistente uma determinada área de estudo (MATSCHULLAT et al., 2000; MOZETO et al., 2001; MARINS et al., 2004; ROBAINA et al., 2002; RODRIGUES; NALINI JUNIOR, 2009). Sendo assim, visando identificar e definir o fundo geoquímico natural regional e/ou local das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, foram consideradas as concentrações dos principais elementos químicos de interesse dos últimos 6 cm de profundidade dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade amostrados, sendo normalizados quando necessário, a fim de representar o fundo geoquímico natural regional (FGNR) das bacias de drenagem estudadas.

#### 4.2.7.3. Fator de enriquecimento (EF)

A partir da concentração de elementos potencialmente tóxicos, obtida através de extração total descrita no item 4.2.3, nas amostras de sedimentos de fundo em perfil de profundidade foi possível determinar os valores de enriquecimento dos principais elementos nas estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari. O método utilizado foi o desenvolvido por Gresens (1967), empregando o escândio (Sc) como agente normalizador, uma vez que ele possui um comportamento conservativo durante o processo de alteração de rochas. Por esse motivo, o Sc tem sido amplamente utilizado para estudar o enriquecimento de outros elementos (MORTATTI et al., 2008).

O fator de enriquecimento (EF) de um elemento potencialmente tóxico qualquer é definido pela relação entre sua abundância na amostra e sua abundância natural global e/ou regional, fornecida pela Equação 4:

$$EF = (X_1/Y_1)/(X_2/Y_2)$$
(4)

onde, X<sub>1</sub> é a concentração do elemento na amostra ( $\mu$ g.g<sup>-1</sup>); Y<sub>1</sub> é a concentração do Sc na amostra ( $\mu$ g.g<sup>-1</sup>); X<sub>2</sub> é a concentração do elemento ( $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) de referência global ou regional; Y<sub>2</sub> é a concentração de Sc ( $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) de referência global ou regional.

Tais fatores de enriquecimento foram calculados valendo-se da composição elementar média dos folhelhos (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961) dos sedimentos fluviais (MARTIN; MEYBECK, 1979), da crosta terrestre (TAYLOR; MCLENNAN, 1981), e, por fim, utilizando o fundo geoquímico natural regional determinados para as bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.

Os fatores de enriquecimento foram classificados em cinco intervalos: natural, moderado, severo, forte e muito forte, que variam entre 0 a >8, e estão relacionados com o grau crescente de contribuição antrópica do ambiente.

### 4.2.7.4. Índice de geoacumulação (Igeo)

Outro método utilizado para avaliar o grau de impacto por fontes antropogênicas nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari foi a determinação do índice de geoacumulação em sedimentos de fundo fluvial, proposto de Müller (1979). Este índice estabelece uma relação entre os teores de elementos encontrados na região em análise e um valor referencial equivalente à média mundial para elementos associados às argilas, que corresponde à Equação 5:

$$I_{geo} = log_2[Me]_{sed}/1,5[Me]_{back}$$
<sup>(5)</sup>

onde, [Me]<sub>sed</sub> representa a concentração do elemento no sedimento; [Me]<sub>back</sub> a concentração do elemento relativo ao fundo geoquímico natural; e 1,5 o fator de correção utilizado para minimizar variações do background causadas por diferenças litológicas.

O índice de geoacumulação foi associado a uma escala de qualidade de intensidade de degradação do ambiente estudado, que reflete as condições de poluição, dividida em degraus variando entre <0 à >5, classificado como: ausente, moderada, forte e muito forte.

### 4.2.8. Critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em função da biodisponibilidade

### 4.2.8.1. Sulfetos volatilizáveis por ataque ácido (AVS) e extração simultânea de metais (SEM) dos sedimentos fluviais de fundo em perfil de profundidade

A extração dos sulfetos volatilizados por ataque ácido (AVS) e extração dos elementos associados aos enxofres, dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari ocorreu conforme procedimento descrito por Di Toro et al. (1992) e Allen et al. (1993), considerando as

modificações propostas por Mortatti et al. (2008), que inclui a determinação de AVS por condutimetria. A análise química dos elementos potencialmente tóxicos extraídos simultaneamente (SEM) (Cu, Co, Cr, Zn, Cd, Ni e Pb) foi determinada por ICP-OES no Laboratório de Química Analítica do CENA/USP.

A Figura 20 ilustra detalhes dos procedimentos realizados em laboratório na determinação de AVS e SEM nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade amostrados nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.

Figura 20 - Sistema de extração dos AVS e SEM (A); medição da condutividade final, após reação (B) e filtração dos elementos extraídos (C)



Com os resultados obtidos de AVS e SEM dos sedimentos fluviais em perfil de profundidade das estações de amostragem das bacias dos rios Jundiaí e Capivari foi possível estimar a biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos nesse ambiente, embasando-se na evolução científica dos critérios dispostos na literatura por Di Toro et al. (1992) ([SEM]/[AVS]>1), Hansen et al. (1996) ([SEM]-[AVS]>1,7) e USEPA (2000) ([SEM-AVS]/Corg>130).

## 4.2.8.2. Extração sequencial seletiva: distribuição dos elementos potencialmente tóxicos entre as principais frações e fases geoquímicas dos sedimentos fluviais de fundo

A extração sequencial seletiva dos elementos potencialmente tóxicos dos sedimentos fluviais em perfis de profundidade ao longo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari foi realizada de acordo com os métodos propostos por Tessier et al. (1979) e Leleyter e Probst (1999), com algumas modificações nas etapas do processo, descritas e utilizadas por Moraes (2011) e Lopes (2010).

O método utilizado envolveu quatro etapas de extração da fase biodisponível, sendo elas: fração S1: solúvel + trocável, fração S2: ácido solúvel ou carbonatos, fração S3: óxidos de ferro e manganês e fração S4: matéria orgânica. Dessa forma, o sedimento fluvial sofreu extrações sequenciais respeitando o seguinte protocolo: pesou-se 1 g de sedimento seco em frascos de polipropileno de 50 mL, juntamente com o agitador magnético; para cada etapa de extração foram adicionadas as soluções extratoras específicas de cada fase; após cada etapa as amostras seguiram para centrífuga à 4000 rpm por 30 minutos; a parte líquida foi armazenada em frascos de polipropileno de 50 mL e na parte residual (sólida) foram adicionados 10 mL de água milli-Q, sofrendo agitação por 15 minutos. Posteriormente, foi centrifugada e a parte sobrenadante foi adicionada a alíquota retirada anteriormente, e, por fim, completando seu volume até 50 mL com água milli-Q. A fração dissolvida de cada fase foi armazenada sob refrigeração para posterior análise em ICP-OES. Já a amostra residual foi seca à vácuo, em temperatura controlada de 40°C, e após este procedimento, outra etapa de extração foi iniciada. Um fluxograma e etapas do procedimento do protocolo analítico de extração sequencial realizadas em laboratório podem ser visualizados nas Figuras 21 e 22.



Figura 21 - Fluxograma sucinto do protocolo de extração sequencial utilizado no presente estudo

Figura 22 - Amostra com extrator sob temperatura e agitação (A). Amostras acondicionadas em centrífuga (B). Sistema a vácuo para secagem das amostras (C)



Para cada etapa de extração foi realizada análise de um branco, composto pelos reagentes químicos utilizados, visando correção analítica. As concentrações dos elementos potencialmente tóxicos nas frações biodisponíveis e nos brancos foram determinadas por espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) no Laboratório de Química Analítica do CENA/USP.

A soma das frações biodisponíveis (S1+S2+S3+S4) representou a fase lábil do sedimento fluvial, e a fase residual foi obtida através da diferença entre a fase biodisponível e a concentração total obtida por fusão alcalina, descrita no item 4.2.3. Todas as frações e seus respectivos extratores, assim como as condições das reações de cada etapa, estão descritas na Tabela 6.

	Fração	Extrator	Tempo (h)	T (℃)	рΗ
S1	solúvel + trocável	10 mL de Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,5M	2	25	5,0
S2	ácido solúvel ou carbonatos	10 mL NaOAc 1M	5	25	4,5
S3	óxidos de ferro e manganês	10 mL NH₂OH.HCl 0,04M em 25% de HOAc	5	85	2,5 a 3,0
		Fase 1 - 3 mL HNO <sub>3</sub> 0,02M + 8 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35%	5	85	
S4	matéria orgânica	Fase 2 – Após 30 minutos á temperatura ambiente + 20 mL de NH₄OAc 0,85M em 5% HNO <sub>3</sub>	0.5	25	2,0

Tabela 6 - Condições das reações para a extração sequencial seletiva em sedimentos fluviais da bacia de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari

Preparação das soluções extratoras:

Fração S1 - solúvel + trocável:

Solução de Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0,5 M: pesou-se 128,21 g de nitrato de magnésio (Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), completando o volume a 1L (pH 5,0).

Fração S2 - ácido solúvel ou carbonatos:

 Solução de NaOAc 1,0 M: pesou-se 82,03 g de acetato de sódio (NaOAc), dilui-se com água milli-Q, adicionou-se 100 mL de ácido acético (HOAc) e foi completado o volume a 1L com água milli-Q (pH 4,5). Fração S3 – óxidos de ferro e manganês:

 Solução de NH<sub>2</sub>OH.HCl 0,04 M: pesou-se 2,78 g de cloridrato de hidroxilamônio (NH<sub>2</sub>OH.HCl), dissolveu-se em água milli-Q, em seguida foi adicionado 250 mL de ácido acético (HOAc) e completado o volume a 1L com água milli-Q (pH 2,5 a 3,0).

Fração S4 – matéria orgânica:

- Solução de HNO<sub>3</sub> 0,02 M: dilui-se 1,5 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado p.a. em 1 L de água milli-Q.
- Reagente  $H_2O_2$  35% p.a.
- Solução de NH<sub>4</sub>OAc 0,85 M: dilui-se 65,52 g de acetato de amônio (NH<sub>4</sub>OAc) em água milli-Q, adicionou-se 50 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado p.a. e completou-se o volume a 1L com água milli-Q (pH 2,0).

A distribuição dos elementos potencialmente tóxicos nas frações S1, S2, S3 e S4 e nas fases geoquímicas (biodisponível e residual) foi efetuada a partir das concentrações médias obtidas dos perfis estudados em cada estação de amostragem das bacias dos rios Jundiaí e Capivari.

Para melhor compreensão dos resultados obtidos nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade nas fases biodisponíveis, os elementos potencialmente tóxicos de interesse foram normalizados utilizando a média dos perfis, expressa pela Equação 6.

$$\Delta M = \frac{\left[M_p\right] - \left[M_{mp}\right]}{\left[M_{mp}\right]} \tag{6}$$

onde:  $\Delta M$  representa a variabilidade do elemento na fração biodisponível ao longo do perfil de sedimento amostrado;  $[M_p]$  a porcentagem biodisponível do elemento em cada profundidade do perfil de sedimento amostrado; e  $[M_{mp}]$  a porcentagem média do elemento para todo o perfil estudado.

### 4.2.9. Biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos equivalentes à extração sequencial seletiva x AVS

São descritos na literatura diferentes métodos de extração química parcial de elementos potencialmente tóxicos em sedimentos fluviais, que classificam a fração comolábil ou biodisponível. Os métodos tradicionais envolvem extração seletiva de elementos potencialmente tóxicos tendo como base o aumento da força de ataque em função da diminuição do pH da solução extratora e ainda mesmo a própria solução extratora. Dentre esses métodos, o proposto por Tessier et al. (1979) é o mais aplicado em estudos de biodisponível se dá através da soma das frações solúvel, trocável, carbonatos, óxidos de Fe e Mn e matéria orgânica.

A vantagem desses métodos de extração seletiva está relacionada com a possibilidade de se verificar o comportamento e distribuição dos elementos nas fases biodisponíveis. No entanto, outros métodos também propõem a extração química parcial, utilizando ataque ácido a frio com HCl 2M, que é a base do método da extração simultânea de elementos potencialmente tóxicos do método que também envolve a determinação de AVS (sulfetos volatilizados).

A comparação entre as forças de ataque químico entre métodos que visam à determinação da biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos dificilmente é encontrada na literatura. Sendo assim, após inúmeras extrações e análises realizadas nos sedimentos de fundo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, foi possível comparar as forças de ataque químico parcial entre os métodos de extração sequencial seletiva e extração ácida a frio (HCI 2M) utilizados no presente trabalho.

# 4.2.10. Análise de carbono e nitrogênio orgânico particulado e assinaturas isotópicas dos sedimentos fluviais e solos: aplicação de parâmetros de referência isotópica

A possível origem natural litológica e antrópica a matéria orgânica em sedimentos e solos pode ser medidas através da composição molecular e isotópica desta (HEDGES et al., 1996; MEYERS, 1994). Os valores da razão carbono/nitrogênio (C/N) e de  $\delta^{13}$ C nos sedimentos fluviais e solos do presente

estudo foram determinados utilizando 20 mg de amostras de solos e sedimentos fluviais finos (< 63 μm), acondicionados em cápsulas de estanho e conduzidos para análise em espectrofotômetro de massas com analisador automático de Carbono e Nitrogênio modelo ANCA-GSL, acoplado com um sistema de cromatografia gasosa, no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP.

Os resultados obtidos das análises isotópicas foram expressos em  $\delta(\infty)$  em relação ao padrão PeeDee Belemnite (PDP) para a razão <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C e o padrão de N<sub>2</sub> atmosférico para razão <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N, de acordo com a Equação 7:

$$\delta X(\%_0) = \left[\frac{(R)_{amostra} - (R)_{padrão}}{(R)_{padrão}}\right] \times 1000$$
(7)

onde, X representa o <sup>13</sup>C ou <sup>15</sup>N, e R a relação <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ou <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N na amostra e no padrão.

Para a investigação das possíveis origens da matéria orgânica presentes nos sedimentos fluviais amostrados nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, foram determinados valores de  $\delta^{13}$ C e a razão carbono/nitrogênio (C/N) para os principais solos amostrados nas bacias estudadas, que serviram de parâmetros de referências. Foram empregados também como parâmetros de referências os e*nd-members*, utilizando os valores de  $\delta^{13}$ C e a razão C/N dos fitoplânctons, plantas C3 e C4, e esgotos domésticos, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros de referências de carbono orgânico particulado (COP),  $\delta^{13}$ C (‰), nitrogênio orgânico particulado (NOP) e razão C/N para plantas C3 e C4, fitoplâncton e esgotos domésticos, assim como para os principais solos das bacias de drenagem estudada

Parâmetros de Referência	COP %	δ <sup>13</sup> C ‰	NOP %	C/N
Plantas C3 <sup>1</sup>		-27,50		26,30
Plantas C4 <sup>1</sup>		-13,30		37,10
Fitoplâncton <sup>2</sup>		-29,30		5,40
Esgotos Domésticos <sup>3</sup>		-23,30		9,80
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA52)	1,34	-15,60	0,16	8,60
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA102)	1,12	-14,60	0,03	34,00
Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	1,77	-19,80	0,12	14,80
Latossolo Vermelho (LV)	5,80	-13,00	6,10	27,60
Cambissolo (CX1)	2,14	-17,80	0,12	18,30

<sup>1</sup>Krusche et al. (2002), <sup>2</sup>Meyers; Ishiwatari, (1993) e <sup>3</sup>Evangelista, (2003)

#### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Composição mineralógica e granulométrica dos sedimentos fluviais e solos

A matéria mineral sólida do solo pode conter, em quantidades bastante variáveis, fragmentos de rocha, minerais primários e minerais de origem secundária, que resultam da alteração dos primeiros, nomeadamente os minerais da argila, óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, e em alguns casos, carbonatos de cálcio, magnésio, entre outros (COSTA, 2005).

A Tabela 8 apresenta os principais minerais identificados nos difratogramas analisados para os cinco solos mais representativos e amostrados nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.

Tabela 8 - Principais minerais encontrados nos solos amostrado das bacias dos rios Jundiaí e Capivari

Solos	Minerais
CX1	caulinita, gibsita, quartzo e hematita.
LV41	caulinita, gibsita, quartzo e hematita.
PVA52	caulinita, gibsita e quartzo.
PVA22	caulinita, gibsita e quartzo.
PVA102	caulinita e quartzo.

A análise mineralógica dos cinco solos representativos amostrados nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari foi realizada por difração de raios-X, não mostrando diferenças significativas em sua composição mineral nos perfis de profundidade analisados (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm). Apresentando em comum a todos os solos os minerais: caulinita e quartzo.

Na realização da análise mineralógica dos sedimentos finos em suspensão (FSS), foi utilizada uma amostra homogênea composta das excursões efetuadas, e o resultado da análise de difração de raios-X apresentou os mesmos minerais para a nascente e foz de ambos os rios estudados, sendo eles: caulinita, gibsita e quartzo.

Os principais minerais identificados nos sedimentos de fundo (amostra composta do perfil) analisados das estações de amostragem das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari estão apresentados na Tabela 9.

Bacia	Estações de Amostragem	Minerais
	JN	caulinita, gibsita, quartzo, hematita.
Rio Jundiaí	JM	caulinita, gibsita, quartzo.
	JF	caulinita, gibsita, quartzo.
	CN	caulinita, gibsita e quartzo.
Rio Capivari	CM	caulinita, gibsita e quartzo.
	CF	caulinita e quartzo.

Tabela 9 - Principais minerais encontrados nos sedimentos de fundo amostrados nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari

A análise mineralógica das amostras compostas de sedimentos de fundo em perfil de profundidade, nas estações de amostragem do rio Jundiaí (JN, JM e JF), realizada por difração de raios-X, apresentarou em comum os seguintes minerais: caulinita, gibsita e quartzo. A hematita foi constatada apenas em JN.

Já nas estações de amostragem do rio Capivari (CN, CM e CF), a análise mineralógica, utilizando a média dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, apresentou em comum os seguintes minerais: caulinita e quartzo. Nas estações próximas às nascentes (CN) e meio (JM) da bacia foi verificada também a presença de gibsita.

Os resultados da análise mineralógica para ambas as bacias de drenagem estudadas foram correspondentes aos minerais encontrados nos principais solos representativos amostrados nas bacias.

A Figura 23 apresenta, em termos percentuais, as frações granulométricas determinadas para os solos amostrados das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.



Figura 23 - Percentual das frações granulométricas dos solos amostrados nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari

Os principais solos amostrados nas bacias de estudo apresentaram valores elevados e predominantes da fração silte e argila, quando comparados às demais frações obtidas, sendo 52,2% o maior valor encontrado, referente ao solo LV41.

O solo CX1 apresentou a maior porcentagem de areia muito grossa em relação aos demais solos, por volta de 15,7%, ao contrário do solo LV41 que apresentou apenas 1,2% desta fração.

Após a primeira fração mais abundante nos solos amostrados (silte e argila), foi possível verificar que a segunda fração predominante para os solos CX1 (20,3%), LV41 (19,55), PVA52 (20,9%) e PVA102 (27,3%) foi a areia fina. No entanto, para o solo PVA22 a segunda fração com maior porcentagem foi areia média, com 19,9%.

Os resultados da análise granulométrica, das amostras homogêneas de sedimentos de fundo em perfil de profundidade das estações de amostragens das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, podem ser observados na Figura 24.



Figura 24 - Percentual das frações granulométricas dos sedimentos de fundo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari

Na estação próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN) foi observada maior porcentagem da fração silte e argila, com valor de 25,8%, seguido de areia fina (18,5%) e areia muito grossa (17,5%). Já na estação JM, entre as frações granulométricas determinadas, as frações areia fina (34,0%) e areia muito fina (26,7%) se apresentaram mais representativas na média do perfil de sedimento amostrado. O mesmo foi observado para foz da bacia (JF), que apresentou valores elevados dessas frações, somando mais de 70% do sedimento médio analisado.

O percentual granulométrico mais representativo na estação de amostragem CN foi da fração silte e argila (32%), seguido de areia grossa e muito grossa, ambas com valores de 18,5%. Os resultados das frações de areia fina e de silte e argila foram mais elevados na estação de amostragem CM, apresentando valores de 28,2 e 25,3%, respectivamente. Resultado análogo foi observado na estação de amostragem próxima à foz da bacia do rio Capivari (CF), onde o valor percentual da fração de areia fina se mostrou elevado, representando mais de 50% do valor do perfil médio analisado.

A Tabela 10 apresenta os valores de densidade (g.cm<sup>-3</sup>) encontrados para os cinco distintos solos representativos e amostrados, em triplicatas, nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.

 Tipo de Solo	Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )
 CX1	1,56±0,10
LV41	1,50±0,04
PVA52	1,60±0,11
PVA22	1,65±0,02
 PVA102	1,67±0,06

Tabela 10. Densidade dos cinco principais solos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Cap<u>ivari.</u>

Foi possível verificar que não houve variações significativas de densidade entre os solos analisados. A amplitude entre o valor mínimo e máximo foi encontrada para os solos LV41 e PVA102, com valores de 1,50±0,04 e 1,67±0,06, respectivamente.

A partir dos resultados obtidos, foi possível estimar a densidade média dos solos para as bacias dos rios Jundiaí e Capivari, sendo de 1,43±0,30 g.cm<sup>-3</sup> e 1,49±0,20 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Tais valores foram similares aos encontrados por Brasil (1983), para a densidade média de saprólio na bacia do médio rio Tietê (1,47 g.cm<sup>-3</sup>), por Bortoletto Junior (2004), para a densidade média de solos da bacia de drenagem do rio Piracicaba (1,5 g.cm<sup>-3</sup>), e por Fernandes (2012) que encontrou valor de 1,47 g.cm<sup>-3</sup> para a densidade média dos solos da bacia do rio Sorocaba.

### 5.2. Concentrações totais das principais espécies químicas e elementos potencialmente tóxicos dos sedimentos fluviais e solos

Através do protocolo analítico proposto de fusão alcalina para extração total dos elementos potencialmente tóxicos e outras espécies químicas de interesse foi possível avaliar o perfil das concentrações totais para as cinco estações de amostragens de solos, e para as seis estações de sedimentos fluviais das bacias dos rios Jundiaí e Capivari.

Os resultados dos percentuais médios de recuperação do material de referência internacional Soil-7 (IAEA), utilizado para controle da qualidade analítica e do processo de extração, em triplicata, foram de: 91,1% (Si), 91,7% (Al), 101,0% (Fe), 99,4% (Mn), 92,9% (Cu), 98,2% (Co), 93,3% (Cr), 100,2% (Zn), 98,8% (Ni), 104,7% (Pb), 102,5% (Sr), 94,2% (Sc), 91,7% (Ca), 92,1% (Mg), 88,5% (Na) e 89,7% (K).

#### 5.2.1. Solos

As concentrações totais em  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), em perfil de profundidade (0 a 50 cm) nos solos CX1 e PVA52, amostradas na bacia de drenagem do rio Jundiaí, podem ser observadas na Tabela 11.

Foi verificadas que, no solo CX1, a média das concentrações dos elementos Cu, Co, Ni e Pb foi respectivamente de 18,77±4,37, 2,03±1,47, 14,09±3,78 e 20,38±5,62 µg.g<sup>-1</sup>. Já os elementos Zn e Cr apresentaram concentrações mais elevadas que os demais elementos potencialmente tóxicos estudados, possuindo valores de concentração média, respectivamente, de 174,17±35,41 e 86,17±14,77 µg.g<sup>-1</sup>, apresentando as maiores concentrações entre as profundidades de 10 a 20 cm para Zn e entre 30 a 40 cm para o Cr. Os elementos Sr e Sc apresentaram valores médios de concentração de 11,16±2,15 8,91±0,77 е μg.g<sup>-</sup>1, respectivamente.

Foi possível observar que as espécies químicas Si, Al, Fe e Mn, no solo CX1 apresentaram concentrações médias de 347714,98±30304,00, 83802,16±28206,02, 38284,80±8597,31 e 74,52±55,43  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Foram verificadas concentrações médias de 143,67±150,35  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para Ca, 452,64±92,19  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para Mg, 7845,34±1878,18  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para K e 1150,30±150,53  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para Na.

No perfil do solo PVA52, entre os elementos potencialmente tóxicos estudados, a maior concentração média total no solo PVA52 foi de  $176,21\pm53,57$   $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para o elemento Zn, evidenciando alta concentração (218,25  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) no intervalo de 10 a 20 cm de profundidade, semelhante ao resultado do CX1. Para Pb, a concentração média verificada foi de 7,31±8,69  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, enquanto que para Cr,

a concentração média ao longo do perfil de profundidade foi de 31,60±2,96  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>. As concentrações médias totais de Cu, Co e Ni, em perfil de profundidade amostrado de solos próximos à foz do rio Jundiaí, apresentou valores de 10,12±3,58, 4,15±1,83 e 9,34±3,24  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Os elementos Sr e Sc apresentaram valores médios de 14,50±2,46 e 5,98±0,77  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Dentre as espécies maiores determinadas no solo PVA52, foi possível observar expressivas concentrações de Si ( $390593,84\pm10591,59\mu g.g^{-1}$ ) e Al ( $63930,03\pm7525,49\ \mu g.g^{-1}$ ). O Fe apresentou concentração cinco vezes menor que no solo CX1, com valor de 7830,75±2871,53  $\mu g.g^{-1}$ , enquanto que Mn apresentou concentração semelhante ao solo característico das nascentes da bacia do rio rio Jundiaí (CX1), com 78,55±17,33  $\mu g.g^{-1}$ , com valor elevado na camada superficial (0 a 10 cm).

Os elementos Ca, Mg, K e Na, no solo PVA52, apresentaram concentrações médias de 506,34±333,56, 762,23±94,22, 5153,90±368,40 e 824,81±53,31 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. O elemento Cd apresentou concentração menor que o limite de determinação (< LD) em todo o perfil analisado no CX1 e PVA52 amostrados da bacia de drenagem do rio Jundiaí.

		Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	К	Na
Solo	Profundidade (cm)									µg.g⁻¹								
	0-10	364065,29	60181,66	26801,72	186,73	18,27	2,04	< LD	14,09	123,29	22,87	67,73	11,20	7,48	416,18	452,61	5921,71	1373,34
	10-20	347714,98	92175,94	40245,19	94,69	23,98	1,77	< LD	8,65	221,50	20,38	86,17	11,16	9,55	335,39	568,07	9336,27	1410,84
CX1	20-30	340385,50	83802,16	38284,80	60,65	18,77	1,65	< LD	17,89	174,17	22,10	82,94	8,01	8,93	143,67	452,64	7845,34	1150,30
	30-40	374199,51	73946,57	34773,77	47,05	17,52	2,03	< LD	10,92	179,72	10,57	105,85	6,94	8,36	84,54	373,72	6835,98	1081,13
	40-50	295702,05	134695,94	50441,18	74,52	27,59	5,15	< LD	16,24	160,68	12,97	98,70	11,63	8,91	99,43	597,67	10584,86	1135,82
	C <sub>M</sub>	347714,98	83802,16	38284,80	74,52	18,77	2,03	-	14,09	174,17	20,38	86,17	11,16	8,91	143,67	452,64	7845,34	1150,30
	SD	30304,00	28206,02	8597,31	55,43	4,37	1,47	-	3,78	35,41	5,62	14,77	2,15	0,77	150,35	92,19	1878,18	150,53
	0-10	408627,82	62533,58	7150,14	116,03	10,26	8,11	< LD	9,34	176,21	7,31	29,19	19,51	5,53	1121,05	941,51	5435,02	824,81
	10-20	390593,84	63930,03	7830,75	78,55	16,22	3,95	< LD	12,00	218,25	15,86	30,08	15,72	5,73	686,79	810,80	5057,72	826,98
PVA52	20-30	400903,91	62565,80	7692,62	77,64	7,53	4,15	< LD	4,08	83,75	6,70	31,60	13,61	5,98	506,34	731,85	4847,15	800,74
	30-40	386206,16	75391,00	11906,39	76,98	7,39	3,64	< LD	9,90	116,67	6,80	34,40	13,60	7,01	299,54	700,73	5153,90	717,07
	40-50	383286,79	77846,63	13459,20	78,81	10,12	4,74	< LD	5,69	177,06	6,57	36,24	14,50	7,22	340,38	762,23	5798,18	857,36
	C <sub>M</sub>	390593,84	63930,03	7830,75	78,55	10,12	4,15	-	9,34	176,21	6,80	31,60	14,50	5,98	506,34	762,23	5153,90	824,81
	SD	10591,59	7525,49	2871,53	17,03	3,58	1,83	-	3,24	53,57	4,04	2,96	2,46	0,77	333,56	94,22	368,40	53,31

Tabela 11 - Concentrações totais (μg.g<sup>-1</sup>), médias (C<sub>M</sub>) e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse dos solos representativos amostrados na bacia de drenagem do rio Jundiaí

LD = Limite de determinação

As concentrações totais em  $\mu g.g^{-1}$  dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), em perfil de profundidade (0 a 50 cm) nos solos LV41, PVA22 e PVA102, amostrados na bacia de drenagem do rio Capivari, podem ser observadas na Tabela 12.

		Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Са	Mg	к	Na
Solos	Profundidade (cm)									µg.g⁻¹								
	0-10	369406,98	76487,72	29562,60	139,22	39,49	2,74	< LD	9,37	187,96	7,90	56,45	37,11	5,57	1689,12	615,33	4627,08	852,81
	10-20	329286,73	115052,71	39341,07	150,94	34,50	7,57	< LD	11,19	163,54	20,19	72,46	54,93	7,82	1477,30	670,16	6909,33	983,16
PVA22	20-30	297293,33	147376,54	46733,29	216,38	39,69	14,63	< LD	18,45	184,66	21,07	68,15	84,81	10,11	2637,72	862,13	8315,69	1054,87
	30-40	331373,16	112452,33	38779,11	187,36	28,10	7,63	< LD	16,45	147,03	35,46	60,91	73,59	6,87	1782,46	782,43	10012,98	1108,56
	40-50	322390,30	100287,93	36724,91	252,25	26,54	13,57	< LD	10,18	161,09	25,46	49,73	59,56	6,91	1684,09	537,16	5446,94	842,45
	C <sub>M</sub>	329286,73	112452,33	38779,11	187,36	34,50	7,63	-	11,19	163,54	21,07	60,91	59,56	6,91	1689,12	670,16	6909,33	983,16
	SD	25898,48	25716,72	6148,80	46,58	6,18	4,88	-	4,06	17,17	9,95	9,06	18,24	1,69	452,02	129,85	2170,29	118,92
	0-10	266154,66	150676,70	62357,32	150,91	42,22	26,65	0,67	21,41	165,15	20,74	124,60	20,17	20,31	822,39	985,89	2073,85	1262,59
	10-20	238049,01	157084,46	68196,45	149,08	43,98	34,29	0,79	20,48	139,19	24,06	108,18	16,54	23,29	436,07	858,63	1809,60	968,11
LV41	20-30	222077,15	163530,51	72106,70	127,56	44,86	32,67	0,75	18,87	228,90	18,60	111,34	15,80	24,48	311,44	829,96	1885,20	920,29
	30-40	256918,31	144494,56	65321,19	105,83	41,05	26,65	0,51	18,42	258,53	14,44	98,44	13,52	20,71	231,35	662,58	1413,30	880,24
	40-50	268865,45	147227,86	62053,15	108,57	42,16	26,38	0,01	25,70	298,17	26,70	114,94	14,24	19,99	289,24	719,46	1754,10	850,93
	C <sub>M</sub>	256918,31	150676,70	65321,19	127,56	42,22	26,65	0,67	20,48	228,90	20,74	111,34	15,80	20,71	311,44	829,96	1809,60	920,29
	SD	19914,82	7711,09	4225,62	21,44	1,53	3,84	0,32	2,90	65,56	4,76	9,56	2,59	2,00	238,03	126,12	241,44	165,92
	0-10	458139,27	20987,00	4824,08	75,90	4,75	0,57	< LD	9,95	91,10	7,39	23,25	36,35	1,78	515,11	606,79	18732,46	2214,24
	10-20	449335,86	19825,56	4749,43	52,00	5,66	0,75	< LD	4,43	143,50	9,98	16,75	34,33	1,71	349,15	453,14	18381,01	2040,69
PVA102	20-30	451764,72	27190,19	6576,55	45,72	2,82	0,71	< LD	5,45	61,62	6,63	21,51	40,76	2,46	446,15	641,23	21507,40	2250,99
	30-40	420918,13	35117,90	8235,60	39,21	4,95	1,00	< LD	12,76	137,82	9,80	28,29	42,00	3,35	697,63	871,72	18735,01	1831,43
	40-50	426949,25	32023,02	7899,86	27,89	7,33	1,36	< LD	5,58	151,07	17,73	26,24	39,24	2,92	517,77	838,98	18349,77	1756,19
	См	449335,86	27190,19	6576,55	45,72	4,95	2,03	-	5,58	137,82	9,80	23,25	39,24	2,46	515,11	641,23	18732,46	2040,69
	SD	16423,59	6685,65	1646,34	17,90	1,63	0,31	-	3,57	38,84	4,40	4,46	3,16	0,71	127,60	173,44	1335,59	221,73
LD = Lim	ite de determinação																	

Tabela 12 - Concentrações totais (µg.g<sup>-1</sup>), médias (C<sub>M</sub>) e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse dos solos representativos amostrados na bacia de drenagem do rio Capivari

No Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA22), amostrado na bacia do rio Capivari, a concentração média total obtida para o elemento Cu foi de  $34,50\pm6,18 \ \mu g.g^{-1}$ , destacando os maiores valores nos trinta primeiros centímetros analisados no perfil. Para os elementos Co e Ni as concentrações médias determinadas em perfil de profundidade foram de 7,63±4,88 e 11,19±4,06  $\mu g.g^{-1}$ , respectivamente. As concentrações médias totais mais elevadas para este solo, em termos de elementos potencialmente tóxicos, foram de 163,54±17,17 e 60,91±9,06  $\mu g.g^{-1}$  para Zn e Cr, respectivamente, apresentando as maiores concentrações em amostras mais superficiais do solo, sendo para Zn, entre 0 a 10 cm (187,96  $\mu g.g^{-1}$ ), e para Cr, entre 10 a 20 cm de profundidade (72,46  $\mu g.g^{-1}$ ).

As concentrações médias totais de Sr e Sc no solo PVA22, em perfil de profundidade, foram de 59,56 $\pm$ 18,24 e 6,91 $\pm$ 1,69  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Dentre as espécies maiores foi possível observar expressiva concentração média de Si (329286,73±25898,48 μg.g<sup>-1</sup>), AI (112452,33±25716,72 μg.g<sup>-1</sup>) е Fe (38779,11±6148,80 µg.g<sup>-1</sup>). Os elementos Mn, Ca, Mg, K e Na apresentaram concentracões médias de 187±46,58, 1689,12±452,02, 670,16±129,85, 6909,33±2170,29 e 983,16±118,92 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

As concentrações médias totais de Cu, Co, Cd, Ni e Pb no solo LV41, em perfil de profundidade, foram de 42,22±1,53, 26,65±3,84, 0,67±0,32, 20,48±2,90 e 20,74±4,76  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que as maiores concentrações foram encontradas para os elementos Zn (228,90±65,56  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) e Cr (111,34±9,56  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), dentre os elementos potencialmente tóxicos estudados. Os metais Ni, Zn e Pb apresentaram as maiores concentrações nos últimos centímetros amostrados (40 a 50 cm) com valores de 25,70, 298,17 e 26,70  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, e o elemento Cr apresentou a maior concentração nos primeiros 10 cm de profundidade, com concentração de 124,60  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>.

Os elementos Sr e Sc no solo LV41 apresentaram concentrações médias de 15,80±2,59 e 20,71±2,00  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Foram verificadas concentrações médias totais de 256918,31±19914,82  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para o Si, 150676,70±7711,09  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para o Al, 65321,19±4225,62  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para o Fe e 127,56±21,44  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para o Mn. Em termos dos alcalinos e alcalinos terrosos, verificou-se o predomínio de K, com concentração média de 1809±241,44  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, seguido por Na (920,29±165,92  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), Mg (829,96±126,12  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) e Ca (311,44±238,03  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), com maiores concentrações observadas entre as profundidades de 0 a 10 cm.

Foi possível verificar que as concentrações médias totais de Cu, Co e Ni no solo amostrado PVA102, nos perfis de profundidade, foram de 4,95±1,63; 0,75±0,31 e 5,58±3,57  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente, e a concentração média total mais elevada dentre os elementos potencialmente tóxicos analisados, foi obtida para Zn, com valor de 137,82±38,84  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, tendo como valor máximo 151,07  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (40 a 50 cm) e valor mínimo de 61,62  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (20 a 30 cm). Para os elementos Pb e Cr a concentração média ao longo do perfil foi respectivamente de 9,80±4,40  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> e 23,25±4,46  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

As espécies químicas Si, K e Na, no solo PVA102 apresentaram as maiores concentrações médias determinadas entre os demais solos amostrados da bacia de drenagem do rio Capivari, com valores de 449335,86±16423,59, 18732,43±1335,59 e 2040,69±221,73  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente; o oposto foi observado para Al, Fe e Mn, que apresentaram valor médio de 27190,19±6685,65, 6576,55±1646,34 e 45,72±17,90  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, no perfil amostrado. Foram verificadas concentrações médias de 515,11±127,60  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para Ca e 641,23±173,44  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para Mg.

O elemento Cd nos Argissolos Vemelho-Amarelo amostrados na bacia de drenagem do rio Capivari (PVA22 e PVA102) apresentaram valores menores que o limite de determinação (< LD) em todo o perfil analisado.

#### 5.2.2. Sedimentos finos em suspensão (FSS)

As concentrações totais dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), nas amostras de FSS, para as estações de amostragem localizadas na bacia de drenagem do rio Jundiaí (JN e JF), podem ser observadas nas Tabelas 13 e 14, assim como as vazões instantâneas (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) referentes as excursões realizadas, determinadas por Moraes (2015).

Tabela 13 - Resultados das vazões instantâneas (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) para as águas da nascente do rio Jundiaí (MORAES, 2015), concentrações totais (μg.g<sup>-1</sup>), médias e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse nos FSS, amostrados na estação JN

								J	undiaí	Nascen	ite								
<b>F</b> wayna Ĩaa	American	Q	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	К	Na
Excursoes	Amostras	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>									µg.g <sup>-1</sup>								
19/04/2011	JN-1	2,10	221817,71	152978,64	61469,07	1803,01	34,50	23,98	6,08	46,12	251,11	37,72	93,71	60,44	15,98	2449,29	3427,07	23450,47	1478,40
17/05/2011	JN-2	3,50	207754,12	167536,57	76161,53	2715,98	51,68	25,11	4,46	45,20	212,81	24,30	98,23	68,11	17,22	2809,58	3657,19	23291,27	1564,11
14/06/2011	JN-3	2,30	222271,61	155100,12	69724,83	2440,31	39,06	21,62	1,68	42,26	332,30	35,59	94,49	64,07	16,62	2616,27	3472,42	21158,58	1376,74
19/07/2011	JN-4	1,90	240496,07	142836,29	77184,34	3467,43	31,62	24,04	2,16	48,55	315,48	41,03	91,33	67,95	15,01	3433,58	3601,42	27233,83	2148,67
30/08/2011	JN-5	1,30	243374,69	134087,57	73731,95	3778,49	30,90	25,66	1,37	67,37	279,60	19,25	89,35	66,24	14,02	3171,86	3408,04	21205,91	1830,31
20/09/2011	JN-6	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/11/2011	JN-7	1,50	204822,36	148833,62	80653,25	4421,19	46,75	30,46	3,53	55,65	379,93	18,97	179,48	71,78	15,31	3447,43	3448,08	25100,95	1747,23
11/12/2011	JN-8	2,60	214518,92	160679,25	64465,13	1620,51	38,54	22,70	5,86	44,19	204,27	32,18	120,53	62,53	16,19	2326,13	3185,16	27003,61	1708,93
17/01/2012	JN-9	4,30	224194,66	152164,04	57915,13	1304,57	37,52	20,78	3,04	55,16	212,72	25,98	90,12	59,90	14,74	2174,19	3420,13	27409,94	1668,28
18/01/2012	JN-10	13,50	210403,37	167986,24	60986,89	657,95	32,59	21,32	1,11	61,30	165,08	30,57	114,26	60,62	17,14	1583,58	2666,65	24204,72	1393,17
16/02/2012	JN-11	1,60	201903,08	152328,39	71538,47	2671,01	48,43	31,03	4,73	58,00	239,37	48,47	101,98	63,52	15,14	2575,92	3504,57	25298,11	1992,16
20/06/2012	JN-12	6,60	222275,99	149338,59	55709,03	1089,87	33,59	22,20	0,90	42,33	182,77	39,62	79,18	61,71	14,65	1870,10	3582,58	30392,80	1533,47
28/08/2012	JN-13	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/11/2012	JN-14	1,50	201302,48	155332,19	80494,21	3484,16	41,28	28,95	5,79	62,47	431,25	58,18	104,25	80,51	15,63	4095,90	3651,73	24293,49	2009,37
16/12/2012	JN-15	9,50	262464,86	145350,55	49235,87	412,63	52,77	20,92	0,85	61,43	246,12	30,69	122,95	60,17	17,22	2103,32	3277,78	27759,74	1961,70
	Média	3,64	221353,84	152657,85	67636,13	2297,47	39,94	24,52	3,20	53,08	265,60	34,04	106,14	65,20	15,76	2665,93	3407,91	25215,65	1724,04
	SD	3,58	18158,33	9374,65	10095,38	1265,02	7,67	3,58	2,00	8,70	79,18	11,25	25,48	5,88	1,07	710,49	261,60	2686,53	251,26

- material insuficiente para a determinação analítica dos elementos

Tabela 14 - Resultados das vazões instantâneas (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) para as águas da foz do rio Jundiaí (MORAES, 2015), concentrações totais (µg.g<sup>-1</sup>), médias e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse nos FSS, amostrados na estação JF

									Jundia	aí Foz									
<b>F</b> waywa ĩ a a	A	Q	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	К	Na
Excursoes	Amostras	<b>m<sup>3</sup>.s</b> <sup>-1</sup>									µg.g <sup>-1</sup>								
19/04/2011	JF-1	21,00	212376,49	147834,19	62632,47	1237,90	66,46	20,96	3,06	55,86	441,58	36,14	125,36	68,54	16,05	3094,03	3155,90	27066,26	2398,38
17/05/2011	JF-2	29,30	213958,20	152101,82	74988,05	1370,25	94,45	22,13	4,77	89,99	814,43	57,18	172,65	82,10	16,44	4038,24	3205,12	25859,99	2308,69
14/06/2011	JF-3	26,90	237968,82	138525,38	57376,66	1103,12	68,66	21,66	2,70	167,51	417,11	36,12	176,34	66,17	14,66	3062,84	2932,94	25944,95	2041,56
19/07/2011	JF-4	21,00	198609,40	124121,02	87032,64	874,71	160,08	17,02	6,19	126,57	813,89	64,18	128,36	126,15	12,97	7380,09	4057,40	19684,60	3050,05
30/08/2011	JF-5	18,00	200566,99	146406,62	66703,37	496,33	119,40	15,23	7,41	76,12	871,69	63,63	175,61	108,97	15,55	6761,91	3872,48	24312,23	2656,01
20/09/2011	JF-6	14,10	204225,38	131324,17	75066,05	752,15	121,66	23,91	4,46	76,61	683,15	84,72	194,58	144,50	13,63	7690,65	3755,82	23442,71	2528,64
01/11/2011	JF-7	23,80	206831,05	156346,45	64493,43	726,12	68,06	23,06	5,61	60,37	444,77	47,57	133,30	73,69	16,20	3963,52	3193,89	26212,83	2160,27
11/12/2011	JF-8	64,40	222331,17	148303,57	50269,09	520,11	49,46	18,80	7,24	72,24	205,22	27,44	117,99	55,56	16,19	2261,50	2999,48	31360,14	1685,26
17/01/2012	JF-9	76,40	229797,58	141604,76	48956,41	642,87	49,53	19,20	3,32	67,98	205,22	26,46	112,11	57,32	15,37	2176,52	2911,76	30236,00	1649,65
18/01/2012	JF-10	71,30	229882,06	149758,03	56364,34	819,02	47,48	22,15	1,39	62,14	277,72	24,19	124,50	62,81	16,48	2841,85	3143,85	29453,02	2062,51
16/02/2012	JF-11	41,20	234258,26	130451,91	49397,37	623,33	77,00	15,55	1,28	68,69	242,02	36,76	129,65	60,99	14,56	2613,41	2993,39	29327,11	2145,47
20/06/2012	JF-12	75,70	262242,10	131054,05	43425,81	499,88	45,40	15,58	4,59	38,71	249,89	28,86	98,25	73,05	14,53	2578,36	3444,10	28635,48	1780,30
28/08/2012	JF-13	26,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/11/2012	JF-14	27,80	214206,09	151966,78	65840,74	1153,39	84,55	24,08	3,86	82,32	400,76	30,17	152,78	81,37	16,97	3655,82	3367,27	27523,23	1519,20
16/12/2012	JF-15	150,00	208166,01	161310,74	58885,65	949,79	32,57	22,25	3,42	46,13	114,21	41,94	100,24	65,42	16,91	2397,12	3144,87	26326,44	1751,49
	Média	45,85	219672,83	143650,68	61530,86	840,64	77,48	20,11	4,24	77,95	441,55	43,24	138,70	80,47	15,46	3893,99	3298,45	26813,21	2124,11
	SD	36,36	17615,22	11074,48	12028,38	285,99	35,81	3,19	1,91	33,25	255,04	17,98	30,51	27,07	1,23	1932,29	360,95	3041,50	435,56

- material insuficiente para a determinação analítica dos elementos

As concentrações médias totais de Cu, Co, Cd e Pb, nos sedimentos finos em suspensão, na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN), foram de 39,94 $\pm$ 7,69, 24,52 $\pm$ 3,58, 3,20 $\pm$ 2,00 e 34,04 $\pm$ 11,25 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que as maiores concentrações médias foram observadas para Zn (265,60 $\pm$ 79,18 µg.g<sup>-1</sup>) e Cr (106,14 $\pm$ 25,48 µg.g<sup>-1</sup>). Cabe salientar que nessa região foi verificada uma crescente urbanização, com ocupação de loteamentos de pequenas chácaras e condomínios residenciais. Já o elemento Ni, apresentou concentração média total nos FSS foi de 53,08 $\pm$ 8,70 µg.g<sup>-1</sup>, para o Sr foi de 65,20 $\pm$ 5,88 µg.g<sup>-1</sup> e para o Sc foi de 15,76 $\pm$ 1,07 µg.g<sup>-1</sup>.

As espécies químicas Si, Al, Fe e Mn apresentaram concentrações médias totais, nos FSS da estação de amostragem JN, de 221353,84±18158,33, 152657,85±9374,65, 67636,13±10095,38 e 2297,47±1265,02 $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre os alcalinos e alcalinos terrosos estudados, verificou-se o predomínio de K, com uma concentração média de 25215,65±2686,53  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, seguido por Mg (3407,91±261,60  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), Ca (2665,93±710,49 $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) e Na (1724,04±251,26  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>).

A vazão média das águas na estação de amostragem JN, no período estudado, foi de 3,64±3,58 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, sendo possível verificar a menor vazão instantânea (1,10 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) na excursão do dia 20/09/2011, e a maior vazão instantânea (13,50 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) na excursão do dia 18/01/2012, referentes a um período de estiagem e chuvoso, respectivamente (MORAES, 2015).

Na estação de amostragem próxima à foz do rio Jundiaí (JF), as concentrações médias dos elementos Co, Cd e Pb, para os FSS, apresentaram valores de 20,11±3,19, 4,24±1,91 e 43,24±17,98  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o valor médio para os elementos Ni e Cu, se mostraram bem próximos, de 77,95±33,25 e 77,48±35,81  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. A concentração média do Sr foi de 80,47±27,07  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> e de Sc foi de 15,46±1,23  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>.

Os elementos Cr e Zn, na estação JF, foram os que apresentaram as maiores concentrações médias entre os elementos potencialmente tóxicos estudados, de 138,70±30,51 e 441,55±255,02 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, o mesmo observado para a estação de amostragem JN.

As concentrações médias das espécies químicas Si, Al, Fe, Mg e K foram de 219672,83 $\pm$ 17615,22, 143650,68 $\pm$ 11074,48, 61530,86 $\pm$ 12028,38, 3298,45 $\pm$ 360,95 e 26813,21 $\pm$ 3041,50 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, semelhantes às concentrações

determinadas na estação de amostragem JN para esses elementos. No entanto, a concentração média de Mn (840,64±285,99 µg.g<sup>-1</sup>) na estação de amostragem JF foi duas vezes e meia menor que na estação JN. Para as espécies químicas Ca e Na, as concentrações médias foram de 3893,99±1932,29 e 2124,11±435,56 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

A vazão média das águas na estação de amostragem JF, no período estudado, foi de  $45,85\pm36,36 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , sendo observado menor (14,10 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) e maior (75,70 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) vazão instantânea nas excursões dos dias 20/09/2011 (período de estiagem) e 20/06/2012 (período chuvoso), respectivamente (MORAES, 2015).

As concentrações totais em  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), nas amostras de FSS, para as estações de amostragem localizadas na bacia de drenagem do rio Capivari (CN e CF), podem ser observadas nas Tabelas 15 e 16.

		Capivari Nascente																	
<b>F</b> waywa 2 a a	A	Q	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	К	Na
Excursoes	Amostras -	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>								μ	lg.g⁻¹								
19/04/2011	CN-1	0,07	161575,63	124348,14	85317,38	4693,13	45,37	23,41	5,92	32,09	441,58	18,87	95,51	51,13	13,43	2174,00	1743,82	16194,22	1301,38
17/05/2011	CN-2	0,06	200066,43	132977,06	128634,54	10142,65	22,96	47,08	15,01	42,41	316,90	21,48	112,20	82,16	16,00	3428,19	2402,71	18566,37	1752,60
14/06/2011	CN-3	0,09	208509,56	149836,18	106984,82	5801,54	32,12	32,43	9,69	40,58	330,19	24,67	110,01	68,88	16,89	3064,46	2239,04	16561,79	1577,14
19/07/2011	CN-4	0,05	194042,88	134176,09	135603,18	3242,50	26,66	35,12	8,60	39,57	516,77	9,39	104,52	45,89	13,98	2039,24	1738,35	18350,17	1586,91
30/08/2011	CN-5	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20/09/2011	CN-6	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/11/2011	CN-7	0,04	143891,55	114563,49	206401,43	9512,48	76,39	37,44	10,87	21,24	441,74	24,84	101,31	106,61	13,52	5227,40	2243,30	15559,10	1623,64
11/12/2011	CN-8	0,15	211044,72	178052,45	66585,63	1869,01	42,44	22,07	8,01	55,41	136,21	8,39	124,83	62,53	18,80	2410,00	2214,49	25004,72	1458,26
17/01/2012	CN-9	0,08	235302,03	139112,43	89172,16	4579,18	31,07	20,21	4,87	37,92	170,86	17,49	96,94	52,23	15,01	2419,26	1891,65	15625,33	1343,95
18/01/2012	CN-10	0,08	207634,88	152494,33	110404,93	6517,17	72,00	28,60	11,51	68,24	304,84	23,14	111,55	83,97	17,08	4545,22	2606,34	18167,30	1510,43
16/02/2012	CN-11	0,06	208169,22	141165,66	123903,87	6706,21	29,60	31,46	14,73	69,84	241,95	22,30	109,78	83,57	16,10	4103,77	2587,77	17946,46	1525,62
20/06/2012	CN-12	0,32	283846,26	119386,16	44951,55	837,81	36,96	13,47	3,37	38,34	157,60	11,52	98,36	45,50	13,59	1855,80	2099,72	24646,78	3587,10
28/08/2012	CN-13	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/11/2012	CN-14	0,05	228719,55	113954,03	127770,08	8634,63	23,73	26,26	9,35	49,74	263,49	31,56	88,23	70,74	13,02	5398,17	2686,42	16808,64	3075,96
16/12/2012	CN-15	0,18	223651,66	150678,35	80848,85	2483,04	33,89	21,94	4,20	39,54	149,41	17,81	102,33	60,26	15,62	2597,84	2268,00	21875,77	2339,11
	Média	0,09	208871,20	137562,03	108881,53	5418,28	39,43	28,29	8,84	44,58	289,30	19,29	104,63	67,79	15,25	3271,95	2226,80	18775,55	1890,17
	SD	0,07	35285,55	18645,64	41350,24	3024,11	17,60	9,06	3,83	14,13	127,25	6,89	9,70	18,62	1,80	1256,99	318,97	3301,09	730,87

Tabela 15 - Resultados das vazões instantâneas (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) para as águas da nascente do rio Capivari (MORAES, 2015), concentrações totais (μg.g<sup>-1</sup>), médias e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse nos FSS, amostrados na estação CN

- material insuficiente para a determinação analítica dos elementos

Tabela 16 - Resultados das vazões instantâneas (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) para as águas da foz do rio Capivari (MORAES, 2015), concentrações totais (µg.g<sup>-1</sup>), médias e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse nos FSS, amostrados na estação CF

,		Capivari Foz																	
		Q	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	к	Na
Excursões	Amostras	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>									µg.g⁻¹								
19/04/2011	CF-1	23,30	263714,00	120039,96	72238,05	2391,96	44,84	29,46	5,23	241,29	492,05	44,74	109,28	86,31	13,98	4990,52	4332,23	15298,98	2503,68
17/05/2011	CF-2	20,90	266838,16	125740,92	60026,80	3044,60	48,31	24,46	7,52	55,03	234,04	21,03	66,42	67,41	14,42	3265,32	5138,05	17994,84	1843,97
14/06/2011	CF-3	32,40	268903,63	122524,75	60176,03	3145,38	38,03	26,02	6,87	113,14	268,81	33,34	73,92	76,06	13,82	3614,58	4169,62	13547,80	2283,57
19/07/2011	CF-4	14,04	273963,83	97207,02	75736,35	2880,91	36,15	35,64	5,47	289,62	282,45	45,98	82,54	117,66	13,06	6661,67	5146,16	16222,22	3290,88
30/08/2011	CF-5	15,99	241996,15	78981,06	54446,37	7415,35	32,70	29,14	5,80	46,49	206,63	30,84	56,46	81,12	10,65	4568,60	3617,03	13393,69	3073,65
20/09/2011	CF-6	10,36	286488,22	95842,48	54253,38	6516,70	47,19	32,02	7,76	27,95	256,47	34,25	74,48	70,03	12,88	3607,39	4583,96	23850,66	3333,03
01/11/2011	CF-7	45,30	275257,73	123115,22	49176,77	1529,80	40,31	19,96	6,06	184,62	154,35	24,35	79,04	62,86	14,94	2966,83	5413,00	28328,20	2468,51
11/12/2011	CF-8	117,83	295490,74	105883,69	41135,24	1015,19	37,90	19,95	4,74	32,49	152,62	21,84	65,79	59,40	13,43	2262,66	4316,90	25506,59	2837,58
17/01/2012	CF-9	105,10	282708,86	116951,36	43095,50	906,47	40,63	16,80	5,10	70,11	142,49	18,41	65,21	58,46	13,99	2143,88	4181,21	29047,43	2647,06
18/01/2012	CF-10	167,20	324903,63	90353,6	35998,80	766,52	36,91	14,79	5,99	24,90	139,90	12,14	59,45	56,09	12,56	2210,11	3600,24	20585,27	2940,32
16/02/2012	CF-11	131,48	327604,60	85298,30	33108,51	799,49	26,74	17,13	3,17	15,81	88,96	23,69	52,94	55,09	11,61	1956,63	3353,90	22046,55	3165,80
20/06/2012	CF-12	141,50	325438,20	80980,72	32584,57	803,09	28,89	14,08	3,81	17,33	82,97	20,90	46,35	51,28	11,13	2021,20	3893,05	23515,42	2881,21
28/08/2012	CF-13	16,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/11/2012	CF-14	18,80	282461,98	109530,98	51146,35	5199,44	32,71	33,89	6,85	43,03	266,52	39,55	71,01	83,04	14,10	4960,13	4922,34	23511,34	3298,39
16/12/2012	CF-15	280,00	317013,20	92313,35	39090,13	657,51	39,29	18,13	1,94	19,88	92,80	15,98	49,10	48,31	13,66	1820,18	3832,28	23044,67	2592,11
	Média	76,02	288055,92	103197,39	50158,06	2648,03	37,90	23,68	5,45	84,41	204,36	27,65	68,00	69,51	13,16	3360,69	4321,43	21135,26	2797,13
	SD	78,90	26557,40	16577,19	13673,15	2253,22	6,34	7,37	1,65	89,70	108,89	10,63	16,17	18,41	1,27	1467,82	643,71	5132,67	434,54

- material insuficiente para a determinação analítica dos elementos

As concentrações médias totais de Cu, Co, Cd e Pb, nos sedimentos finos em suspensão próximas às nascentes do rio Capivari, foram de  $39,43\pm17,60$ ,  $28,29\pm9,06$ ,  $8,84\pm3,83 e 19,29\pm6,89 \ \mu g.g^{-1}$ , respectivamente. Sendo que, as maiores concentrações médias observadas entre os elementos potencialmente tóxicos estudados foram para Zn ( $289,30\pm127,25 \ \mu g.g^{-1}$ ) e Cr ( $104,63\pm9,07 \ \mu g.g^{-1}$ ). Para Ni o valor da concentração média no FSS foi de  $44,58\pm14,13 \ \mu g.g^{-1}$ , para Sr foi de  $67,79\pm18,62$  e para o Sc foi de  $15,25\pm1,80 \ \mu g.g^{-1}$ .

Dentre as espécies químicas de interesse, na estação de amostragem CN, foi possível observar concentração média expressiva de Si (208871,20±35285,55  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), Al (137562,03±18645,64  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) e Fe (108881,53±41350,24  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), já a concentração média de Mn foi de 5418,28±3024,11  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>. Entre os alcalinos e alcalinos terrosos estudados, verificou-se o predomínio de K, com concentração média total de 18775,55±3301,09  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, seguido da espécie química Ca (3271,95±1256,99  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), Mg (2226,80±318,97  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) e Na (1890,17±730,87  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>).

As menores vazões instantâneas observadas para as águas da estação de amostragem CN foram determinadas nas excursões dos dias 20/09/2011 e 01/11/2011, apresentando valor igual a 0,04 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, caracterizado em período de estiagem. Já a maior vazão instantânea foi observada em período chuvoso, na excursão do dia 20/06/2012, com valor igual a 0,32 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, resultando em uma vazão média de 0,09±0,07 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, no período estudado para a estação de amostragem CN (MORAES, 2015).

Na estação de amostragem próxima à foz do rio Capivari (CF), as concentrações dos elementos Cu, Co, Cd, Pb e Cr, nos FSS, apresentaram valores de 37,90±6,34, 23,68±7,37, 5,45±1,65, 27,65±10,63 e 138,70±30,51  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o valor médio para o elemento Sc foi de 15,46±1,23  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> e para Sr foi de 69,51±18,41  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, valores semelhantes encontrados na estação de amostragem CN.

Os elementos Ni e Zn, na estação CF, foram os que apresentaram as maiores concentrações entre os elementos potencialmente tóxicos estudados, de 84,41±89,70 e 441,55±255,02 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo observado que a concentração de Ni na estação CF foi duas vezes maior que na estação CN.

As concentrações médias das espécies químicas Si, Al, Fe e Mn, para os FSS da estação de amostragem CF, foram de 288055,92±26557,40, 103197,39±16577,19, 50158,06±13673,15, 2648,03±2253,22 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, visto que os elementos Fe e Mn, na estação de amostragem CF, apresentaram concentrações duas vezes menores que na estação de amostragem JN. Estes resultados podem ter sofrido influência das características do solo local (PVA102), uma vez que a concentração desses elementos se apresentaram mais elevados no solo LV41 (característica da nascente do rio Capivari) e no solo PVA22 (meio da bacia).

Para as espécies químicas Ca, Mg, K e Na, na estação de amostragem CF, as concentrações médias determinadas nos FSS foram de 3360,69±1467,82, 4321,43±643,71, 21135,26±5132,67 e 2797,13±434,54 μg.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

A vazão média das águas na estação de amostragem CF, no período estudado, foi de 76,02±78,90 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, sendo observada menor vazão instantânea na excursão do dia 20/09/2011, com valor de 10,36 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, referente ao período de estiagem; e maior vazão instantânea, de 280,00 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, na excursão do dia 16/12/2012, referente a um período chuvoso (MORAES, 2015).

Cabe salientar que, a região da foz do rio Capivari, além de apresentar áreas de proteção permanente degradadas no seu entorno, possui grande parte de suas áreas ocupadas por atividades agrícolas, principalmente pela cultura da cana-de-açúcar.

### 5.2.3. Sedimento de fundo em perfil de profundidade

As concentrações totais em µg.g<sup>-1</sup>, médias e desvios-padrão dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, amostrados próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN), podem ser observadas na Tabela 17.

<b>S 7</b>	Jundiaí Nascente																	
Estação de amostragem	Profundidade _ (cm)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	к	Na
			μg.g <sup>-1</sup>															
JN	0-3	311544,59	95761,15	30979,48	174,81	15,22	14,86	1,42	24,42	94,25	40,69	71,48	32,91	8,85	1382,87	2023,35	15448,69	922,86
JN	3-6	280520,00	121204,26	38141,70	227,66	26,38	19,15	1,70	33,62	93,81	39,57	88,51	48,51	11,06	1571,91	2743,40	20231,49	911,49
JN	6-9	274335,62	119822,77	37610,87	259,85	21,40	19,69	1,71	30,82	118,62	37,24	83,48	44,09	11,13	1414,81	2622,86	19194,78	791,10
JN	9-12	275468,93	113480,12	32257,66	176,88	18,64	16,98	1,66	106,46	67,56	34,80	103,98	46,81	9,94	1154,93	2579,54	20970,17	838,03
JN	12-15	271154,70	116994,02	31452,56	127,35	25,64	15,81	1,28	70,51	59,99	32,48	88,89	38,46	10,68	907,69	2338,46	20109,40	811,97
JN	15-18	263269,87	107523,05	27921,30	115,26	17,09	14,31	1,19	25,04	68,28	31,80	70,35	36,57	10,33	769,87	2078,70	18872,02	732,51
JN	18-21	263752,12	108280,88	31837,99	112,10	30,88	16,92	1,69	27,07	65,56	27,92	74,87	36,38	11,00	426,40	2166,24	19665,40	688,66
JN	21-24	239097,17	103838,46	28668,83	109,72	21,86	15,79	1,62	23,48	129,21	26,72	67,61	39,27	10,12	384,21	2097,98	20114,57	752,63
JN	24-27	236132,19	100795,28	25421,89	92,27	17,60	14,16	1,29	27,47	61,01	27,04	61,80	41,20	9,44	338,20	2099,57	21444,64	780,69
JN	27-30	251866,13	95744,51	26437,50	101,77	27,03	14,78	1,27	50,68	60,05	30,41	69,26	44,34	10,14	407,52	2288,43	22687,50	892,31
JN	30-33	275406,03	106087,93	30495,69	100,43	15,95	16,81	1,72	26,29	61,49	36,64	70,26	40,52	11,21	238,36	2591,38	20821,12	740,95
JN	33-36	269167,48	95121,36	28099,92	94,66	22,65	16,59	1,62	45,71	63,34	33,98	70,79	36,81	10,92	248,79	2320,39	19604,37	701,05
JN	36-39	251875,63	92454,62	28912,61	114,29	13,87	15,97	1,26	25,21	68,72	29,41	65,97	42,44	10,92	395,80	2590,34	20335,29	653,78
JN	39-42	242409,52	84396,83	25673,41	107,94	16,67	14,29	1,59	24,60	120,95	32,94	59,52	45,24	9,92	387,30	2433,33	20575,40	659,92
	C <sub>M</sub>	264714,28	104393,23	30279,39	136,78	20,78	16,15	1,50	38,67	80,92	32,97	74,77	40,97	10,41	716,33	2355,28	20005,35	777,00
	SD	19865,60	10625,89	3762,27	50,70	4,99	1,65	0,20	22,84	24,46	4,31	11,78	4,35	0,68	461,89	231,39	1566,40	86,25

Tabela 17. Concentrações totais ( $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), médias (C<sub>M</sub>) e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse no sedimento de fundo em perfil de profundidade, amostrado próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN).

Foi possível verificar que as concentrações médias totais de Cu, Co, Cd, Ni e Pb nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem JN, foram de 20,78±4,99, 16,15±1,65, 1,50±0,20, 38,67±22,84 e 32,97±4,31  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Já os elementos Zn e Cr, nesta estação de amostragem, apresentaram as concentrações médias totais mais elevadas entre os elementos potencialmente tóxicos estudados, apresentando valores, respectivamente, de 80,92±24,46 e 74,77±11,78  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>.

O elemento Sc utilizado para normalizações químicas, apresentou uma distribuição homogênea ao longo do perfil amostrado, com média de 10,41±0,68 µg.g<sup>-1</sup>.

As concentrações médias observadas para as espécies químicas de interesse, Ca, Mg, K e Na, nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem JN, se mostraram dentro do padrão esperado, com valores de 716,33±461,89, 2355,28±231,39, 20005,35±1566,40 e 777,00±86,25  $\mu$ g g<sup>-1</sup>, respectivamente. As demais espécies químicas estudadas Si, AI, Fe, Mn e Sr, apresentaram concentrações médias de 264714,28±19865,60, 104393,23±10625,89, 30279,39±3762,27, 136,78±50,70 e 40,97±4,97  $\mu$ g g<sup>-1</sup>, respectivamente.

A Figura 25 ilustra a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc ao longo dos perfis de profundidade, nos sedimentos de fundo para a estação de amostragem próxima às nascentes da bacia de drenagem do rio Jundiaí (JN).

Figura 25 - Concentrações totais dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc, determinados dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, para a estação de amostragem JN, próximas às nascentes do rio Jundiaí



Ao longo do perfil amostrado, os elementos Cu, Co, Cd, Pb, Cr e Sc apresentaram distribuição homogênea, enquanto que o Ni se mostrou mais concentrado nos sedimentos superficiais, apresentando um valor máximo de 106,46 µg.g<sup>-1</sup> na profundidade de 9-12 cm, sendo que após os primeiros 18 cm de profundidade do sedimento, a distribuição se mostrou homogênea.

O Zn apresentou variabilidade nas profundidades de 6-9, 21-24 e 39-42 cm do perfil de sedimento de fundo amostrado, apresentando concentrações de 118,62, 129,21 e 120,95 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, demonstrando que este elemento foi mais suscetível aos possíveis processos de remobilização de fundo.

As concentrações totais em µg.g<sup>-1</sup>, médias e desvios-padrão dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, amostrados na estação intermediária da bacia do rio Jundiaí (JM), podem ser observadas na Tabela 18.
Tabela 18 - Concentrações totais ( $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), médias (C<sub>M</sub>) e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse no sedimento de fundo em perfil de profundidade, amostrado em ponto intermediário da bacia do rio Jundiaí (JM)

		Jundiaí Meio																
Estação	Profundidade	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	к	Na
de amostragem	(cm)									µg.g <sup>-1</sup>								
JM	0-3	237692,45	112235,09	24081,51	84,15	21,89	7,17	1,89	20,00	130,88	32,83	64,15	37,74	7,92	1378,11	1844,91	19694,34	1400,00
JM	3-6	237805,36	131285,94	29447,94	94,02	38,07	12,04	2,33	31,86	154,72	24,48	81,97	39,63	9,71	1773,12	2173,27	20634,81	1492,23
JM	6-9	249375,72	128351,78	26232,45	82,58	26,42	9,91	2,48	31,79	144,42	31,38	85,47	40,05	8,67	1576,38	2054,50	20955,82	1383,98
JM	9-12	241346,00	125105,70	25396,37	80,10	35,92	10,73	2,89	24,36	174,07	36,33	74,32	37,16	8,67	1573,08	1861,68	19129,23	1277,04
JM	12-15	262557,72	105664,76	20616,97	70,72	22,55	5,35	2,68	20,26	195,15	32,87	59,63	35,55	6,88	1237,00	1610,09	18799,31	1200,69
JM	15-18	274444,92	106020,42	19770,42	72,42	16,18	10,02	2,31	17,72	182,94	41,99	57,01	38,52	6,93	1117,49	1621,73	19784,28	1302,77
JM	18-21	244603,79	107154,76	19670,39	69,20	15,25	7,07	2,23	15,25	108,87	34,60	53,57	37,95	7,07	1068,08	1527,90	19696,80	1221,35
JM	21-24	277764,88	76127,00	11366,47	51,52	10,16	3,63	1,81	11,25	114,49	38,46	37,37	36,28	4,72	587,08	1179,25	18489,84	1037,74
JM	24-27	251731,74	100364,89	17060,09	68,74	18,85	4,32	1,96	27,10	188,12	27,89	55,77	37,31	6,68	904,16	1509,82	19798,11	1313,43
JM	27-30	214025,06	129360,38	27986,48	78,36	30,63	7,56	2,39	22,67	193,78	29,04	75,58	35,40	9,55	1297,14	2049,32	20423,63	1344,47
JM	30-33	172153,76	131181,25	31391,56	75,14	52,67	10,46	2,71	34,47	278,82	26,72	87,92	36,79	10,07	1561,97	2103,41	19603,80	1386,52
JM	33-36	190598,86	139137,52	35155,54	95,78	77,77	8,79	3,51	27,68	352,04	36,91	98,42	52,28	10,98	2402,90	2422,23	21445,96	1727,15
JM	36-39	181857,72	150028,00	37356,82	109,76	90,79	12,20	3,16	36,13	441,68	45,17	101,17	58,27	11,29	2885,28	2560,52	22257,45	1767,84
JM	39-42	178084,83	142197,49	35903,50	105,48	89,32	11,67	3,14	34,11	470,85	42,64	94,70	61,49	9,87	3069,12	2558,80	21206,46	1733,84
JM	42-45	178807,23	140564,41	37026,41	104,26	98,24	11,58	3,71	74,61	494,01	55,61	101,95	67,19	10,19	4068,58	2996,76	21881,84	1647,82
JM	45-48	196646,61	125370,12	30483,67	101,59	61,35	9,16	1,99	22,31	167,05	30,28	76,49	34,26	9,96	1590,04	2035,06	20643,82	1334,26
JM	48-51	192592,43	126629,08	26791,63	70,52	104,78	9,96	1,99	49,40	152,03	19,92	73,31	34,26	9,56	1006,77	2058,17	21351,00	1644,62
JM	51-54	195839,23	113650,94	21549,92	64,07	69,58	8,65	2,36	20,83	164,89	25,55	66,43	36,95	7,47	915,09	1886,01	20435,93	1500,39
JM	54-57	195192,16	115217,66	21607,69	71,92	62,02	7,61	1,52	18,65	188,28	25,49	60,50	33,49	8,37	2610,73	1815,83	19266,36	1329,91
	См	219637,92	121349,85	26257,67	81,60	49,60	8,84	2,48	28,45	226,16	33,59	73,99	41,61	8,66	1716,95	1993,12	20289,41	1423,48
	SD	35169,64	17728,39	7233,95	16,06	31,35	2,54	0,59	14,31	121,56	8,60	18,05	10,13	1,71	896,38	432,70	1053,21	201,50

Pode-se observar que as concentrações médias totais de Cu, Co, Cd, Ni e Pb nos sedimentos de fundo, na estação intermediária da bacia de drenagem do rio Jundiaí (JM), foram de 49,60 $\pm$ 31,35, 8,84 $\pm$ 2,54, 2,48 $\pm$ 0,59, 28,45 $\pm$ 14,31 e 33,59 $\pm$ 8,60 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Na estação JM, assim como verificado na estação de amostragem JN, os elementos Zn e Cr apresentaram concentrações médias totais mais elevadas entre os elementos potencialmente tóxicos estudados, com valores de 226,16±121,56 e 73,99±18,05  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o elemento normalizador Sc, a concentração média do perfil amostrado foi de 8,66±1,71  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>.

As concentrações médias observadas para as espécies químicas Ca, Mg, K e Na foram de 1716,95±896,38, 1993,12±432,70, 20289,41±1053,21 e 1423,48±201,48  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente, para a média dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem JM. As demais espécies químicas estudadas, Si, Al, Fe, Mn e Sr, apresentaram concentrações médias de 219637,92±35169,64, 121349,85±17728,39, 26257,67±7233,95, 81,60±16,06 e 41,61±10,13  $\mu$ g g<sup>-1</sup>, respectivamente.

A Figura 26 ilustra a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc ao longo dos perfis de profundidade, nos sedimentos de fundo para a estação de amostragem intermediária da bacia de drenagem do rio Jundiaí (JM).

Figura 26 - Concentrações totais dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc, determinados dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, para a estação de amostragem JM, ponto intermediário da bacia do rio Jundiaí



A distribuição das concentrações totais, para os elementos Co e Sc, nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem JM, apresentou-se de forma homogênea. Para Cu, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr, as concentrações determnadas nos perfis amostrados se mostraram homogêneas até os 24 cm de profundidade, a partir daí houve um aumento da concentração desses elementos até 45 cm profundidade, sendo constatada, então, a diminuição gradativa da concentração desses elementos até a profundidade final do sedimento amostrado (57 cm). Esse fato, possivelmente, está ligado à dinâmica dos eventos ocorridos na bacia de drenagem estudada, que culminou no enriquecimento desses elementos em determinado período.

As concentrações totais em µg.g<sup>-1</sup>, médias e desvios-padrão dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, amostrados na estação próxima à foz da bacia do rio Jundiaí (JF), podem ser observadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Concentrações totais ( $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), médias (C<sub>M</sub>) e desvios-padrão (SD)dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse no sedimento de fundo em perfil de profundidade, amostrado na estação próxima à foz da bacia do rio Jundiaí (JF)

								J	undiaí F	oz								
Estação	Profundidade	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	К	Na
amostragem	(cm)									μg.g <sup>-1</sup>								
JF	0-3	249475,12	42294,45	21872,76	141,11	37,52	16,72	2,04	20,80	140,49	34,67	59,54	66,48	8,97	1920,88	1751,63	24334,83	1701,88
JF	3-6	313969,07	96446,91	33316,25	216,99	32,78	19,85	2,77	82,64	156,36	40,63	99,72	75,72	11,54	2805,63	2659,74	23241,00	1770,54
JF	6-9	299781,49	95629,29	36574,90	242,84	49,14	22,42	2,86	40,08	193,51	38,65	107,82	73,00	10,97	3229,48	2775,29	22248,57	1638,36
JF	9-12	307881,60	79489,35	30976,15	202,30	35,78	19,17	2,13	40,03	172,25	34,07	93,27	70,70	9,80	2624,36	2434,84	21557,07	1641,82
JF	12-15	325275,44	67084,21	24178,95	162,72	24,56	17,11	1,75	28,07	123,92	39,04	64,47	71,49	10,09	2002,19	2133,33	23235,09	1770,18
JF	15-18	340590,65	52848,51	18919,70	158,11	15,31	16,56	1,66	26,90	96,36	41,80	54,22	73,26	9,52	1961,51	1635,76	23635,35	1733,03
JF	18-21	325345,82	52414,73	19439,71	132,64	10,34	13,78	1,29	20,67	75,00	40,91	55,56	68,04	9,47	1557,71	1626,61	22136,09	1588,72
JF	21-24	297276,06	60950,97	23442,14	132,07	16,78	15,02	1,77	25,18	119,96	26,06	68,46	56,98	6,18	1830,39	1956,27	19622,35	1476,59
JF	24-27	295785,03	59451,56	21417,82	129,76	17,30	16,00	1,73	22,06	97,54	40,66	60,12	61,85	4,76	1717,13	1947,23	21770,33	1551,90
JF	27-30	293863,64	54914,24	20380,79	128,22	12,86	12,86	0,86	16,72	80,41	35,59	54,89	57,03	10,72	1571,61	1649,66	19714,84	1379,07
JF	30-33	276830,61	61170,35	23678,50	162,19	17,27	16,79	1,44	20,63	156,75	31,67	65,74	51,82	10,56	1721,69	1712,09	17769,19	2025,43
JF	33-36	290284,80	52201,61	20881,15	131,15	13,58	14,43	1,70	16,55	112,71	35,65	55,18	54,33	9,34	1619,69	1657,05	18805,18	1516,13
JF	36-39	285865,35	49932,23	21042,19	136,45	12,12	14,36	1,35	18,40	163,80	32,76	57,90	51,62	11,22	1605,03	1612,21	18679,98	1401,26
JF	39-42	289722,03	38992,69	16601,98	117,47	8,61	10,76	0,86	33,99	94,65	35,71	49,91	53,79	10,33	1302,50	1446,21	20621,34	1515,49
JF	42-45	282250,00	34894,13	14284,25	107,65	6,67	11,57	0,89	22,69	74,89	30,25	45,82	64,50	8,45	1056,05	1247,33	23579,18	1585,41
	C <sub>M</sub>	298279,78	59914,35	23133,82	153,44	20,71	15,83	1,67	29,03	123,91	35,87	66,18	63,37	9,46	1901,72	1883,02	21396,69	1619,72
	SD	22375,16	18346,13	6101,99	38,75	12,49	3,12	0,61	16,65	38,10	4,50	18,77	8,55	1,85	576,75	441,04	2078,11	165,80

Foi possível verificar que os elementos Cu, Co, Cd e Ni apresentaram concentrações de 20,71 $\pm$ 12,49; 15,83 $\pm$ 3,12; 1,67 $\pm$ 0,61 e 29,03 $\pm$ 16,65 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. A concentração média do perfil amostrado para Pb foi de 35,87 $\pm$ 4,50 µg.g<sup>-1</sup>.

Os elementos Cr e Zn, nesta estação de amostragem (JF), apresentaram as maiores concentrações médias do perfil, entre os elementos potencialmente tóxicos estudados, apresentando valores de  $66,18\pm18,77$  e  $123,91\pm38,10$  µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que o Sc, utilizado nas normalizações químicas, apresentou uma distribuição homogênea ao longo do perfil amostrado, com uma média de  $9,46\pm1,85$  µg.g<sup>-1</sup>.

As concentrações médias observadas para as espécies químicas Ca, Mg, K e Na, na estação de amostragem JF, se mostraram elevadas com valores de 1901,72± 576,75, 1883,02± 441,04, 21396,69± 2078,11e 1619,72± 165,80 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, apresentando similaridade com as concentrações encontradas na estação JM.

Para as demais espécies químicas de interesse, Si, Al, Fe, Mn e Sr, foi possível observar concentrações médias de 298279,78±22375,16, 59914,35±18346,13, 23133,82±6101,99, 153,44±38,75 e  $63,37\pm8,55$  µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

A Figura 27 ilustra a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc ao longo dos perfis de profundidade, nos sedimentos de fundo para a estação de amostragem próxima à foz da bacia de drenagem do rio Jundiaí (JF).

Figura 27 - Concentrações totais dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc, determinados dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, para a estação de amostragem JF, próxima à foz do rio Jundiaí



Os elementos Pb e Sc na estação de amostragem JF, da bacia de drenagem do rio Jundiaí, apresentaram concentrações ao longo do perfil amostrado com baixa variabilidade. O Sc, utilizado como agente normalizador químico, apresentou um baixo valor de concentração (4,76 µg.g<sup>-1</sup>) na profundidade de 24-27 cm, enquanto que para o elemento Pb essa anomalia foi observada entre 21-24 cm de profundidade (26,06 µg.g<sup>-1</sup>).

De maneira geral, os demais elementos estudados (Cu, Co, Cd, Ni, Zn e Cr) apresentaram padrões de distribuição similares até os primeiros 20 cm de profundidade, com as maiores concentrações observadas nesse intervalo do perfil amostrado. É importante ressaltar que abaixo dessa profundidade do perfil amostrado as distribuições das concentrações se mostraram mais homogêneas, indicando, desta forma, um padrão de fundo geoquímico natural nessa estação de amostragem.

As concentrações totais em µg.g<sup>-1</sup>, médias e desvios-padrão dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, amostrados próxima às nascentes do rio Capivari (CN), podem ser observadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Concentrações totais (µg.g<sup>-1</sup>), médias (C<sub>M</sub>) e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse no sedimento de fundo em perfil de profundidade, amostrado na estação próximas às nascente da bacia do rio Capivari (CN)

								Capiva	ari Nasc	ente								
Estação	Profundidade	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	К	Na
amostragem	(cm)									μg.g <sup>-1</sup>								
CN	0-3	265769,34	63411,17	35893,03	100,76	13,85	16,71	1,43	38,68	64,72	15,28	86,91	27,22	10,51	116,05	1530,09	23331,42	786,06
CN	3-6	208251,62	53056,43	35243,76	124,42	9,71	14,80	0,93	62,90	61,13	12,95	71,23	22,66	10,18	195,19	1285,38	20071,23	555,50
CN	6-9	220792,96	49271,48	24468,92	67,64	10,05	12,34	0,91	20,11	49,07	18,28	64,44	21,48	12,80	56,22	1172,30	19117,00	547,07
CN	9-12	164832,74	40929,97	26346,12	140,50	5,35	12,04	0,89	14,72	38,82	12,04	54,42	17,40	10,70	152,54	906,33	15480,82	325,60
CN	12-15	207930,23	45840,79	35333,63	229,43	12,08	14,76	1,34	21,91	51,84	11,63	68,43	22,36	12,97	287,57	1159,66	19301,88	510,29
CN	15-18	192761,15	49522,29	31719,29	193,81	8,19	14,56	1,36	21,38	50,85	10,92	70,06	21,38	11,37	197,00	1125,11	19279,80	435,85
CN	18-21	188514,05	48208,52	27658,66	109,25	7,71	10,88	0,45	15,87	49,02	15,87	66,64	19,49	11,79	99,27	995,92	17920,22	409,34
CN	21-24	193245,08	48843,49	29829,90	87,16	9,37	11,25	0,94	16,40	37,04	16,40	73,10	18,28	13,12	121,84	947,52	17861,76	394,56
CN	24-27	202624,20	43987,67	21124,20	53,88	1,37	9,59	0,46	17,35	34,37	14,61	63,01	18,72	12,79	20,09	947,03	19132,88	465,75
CN	27-30	200658,35	41817,56	18292,17	48,62	2,15	9,90	0,86	14,63	41,78	13,77	61,53	18,93	11,62	76,88	917,38	19058,52	447,93
CN	30-33	322441,36	133706,36	29490,91	114,55	4,55	15,00	2,73	34,09	43,41	5,00	103,64	30,45	11,82	244,09	1745,00	22127,73	1174,55
CN	33-36	312449,95	131000,91	27001,82	110,10	4,09	18,20	3,18	32,76	31,82	17,74	112,37	28,66	11,83	153,78	1687,44	21939,95	946,31
CN	36-39	289851,08	126141,13	26531,60	54,98	16,45	14,29	2,16	26,84	38,95	10,39	105,63	25,54	13,85	50,22	1547,62	19688,74	673,59
CN	39-42	313222,79	123928,51	27491,24	84,41	19,37	17,53	1,38	31,83	35,86	6,92	106,55	27,21	12,92	113,47	1588,56	19922,51	644,83
CN	42-45	309829,17	111681,02	30383,80	142,13	8,80	17,13	2,31	34,72	45,16	23,61	104,17	32,41	11,11	234,26	1665,74	21551,85	738,43
CN	45-48	305696,21	127906,16	29336,02	127,01	17,06	21,33	2,84	38,39	73,20	8,06	111,37	36,02	13,74	348,34	1804,74	20530,33	669,67
CN	48-51	320293,79	117382,30	23852,17	77,68	7,53	15,54	2,35	34,84	66,30	8,00	104,52	35,78	11,77	282,02	1892,66	20403,48	589,92
CN	51-54	320986,88	105441,42	21829,90	70,76	20,62	17,34	1,87	59,98	65,64	4,22	98,41	33,74	12,18	434,40	1777,88	19970,95	604,97
CN	54-57	280490,68	115623,95	27040,07	84,81	13,05	24,23	1,86	40,54	108,36	16,78	113,23	40,07	13,05	1109,04	2056,38	22616,50	620,69
CN	57-60	301793,02	99219,34	20506,39	72,83	7,24	16,61	0,43	31,52	54,85	18,31	103,49	34,92	11,93	255,11	1760,65	20507,24	580,92
CN	60-63	276463,17	102941,93	19240,32	68,93	3,78	13,22	1,89	27,38	55,73	14,16	93,48	33,52	11,33	207,27	1671,86	19681,30	1528,33
CN	63-66	278074,43	97234,70	19191,32	68,49	12,33	14,61	1,37	68,04	51,27	32,42	98,17	32,42	12,33	215,07	1633,79	19987,21	900,46
CN	66-69	273811,26	105008,04	21292,81	79,47	6,15	17,03	1,89	32,17	56,65	4,26	107,38	35,48	12,30	295,18	1875,59	21263,01	763,01
CN	69-72	235841,28	103434,22	23983,32	87,70	12,87	20,02	2,38	60,53	99,89	8,58	100,57	33,84	11,92	291,23	1827,45	20917,06	657,29
CN	72-75	273813,35	104454,55	20857,83	84,14	7,74	15,47	1,45	54,64	61,40	21,76	101,06	35,30	12,09	265,96	1831,24	21865,09	654,74
CN	75-78	255246,32	104265,63	22462,78	92,83	9,65	17,92	1,84	53,31	59,78	11,49	109,38	35,39	11,95	298,25	1798,25	21690,26	639,25
	C <sub>M</sub>	258295,56	88240,75	26015,46	99,09	9,66	15,47	1,60	34,83	54,88	13,59	90,51	28,41	12,07	235,40	1505,83	20200,72	664,04
	SD	50157,11	33614,85	5148,77	41,99	5,05	3,44	0,76	16,14	18,25	6,39	19,35	6,99	0,92	204,82	363,08	1673,61	255,47

As concentrações médias totais de Cu, Co, Cd, Ni e Pb nos sedimentos de fundo, da estação de amostragem próximas às nascentes do rio Capivari (CN), foram de 9,66±5,05, 15,47±3,44, 1,60±0,76, 34,83±16,14 e 13,59±6,39  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Foi possível verificar que, entre os elementos potencialmente tóxicos estudados, as concentrações médias totais mais elevadas foram observadas para Cr e Zn, com valores de 90,51±19,35 e 54,88±18,25  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o elemento conservativo Sc apresentou uma distribuição homogênea ao longo do perfil amostrado, com média de 12,07±0,92  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>.

As concentrações médias observadas para as espécies químicas Ca, Mg, K e Na foram de 235,40±204,82, 1505,83±363,08, 20200,72±1673,61 e  $664,04\pm255,47\mu g g^{-1}$ , respectivamente. Já as demais espécies químicas de interesse estudadas, Si, Al, Fe, Mn e Sr, apresentaram concentrações médias de 258295,56±50157,11, 88240,75±33614,85 e 26015,46±5148,77, respectivamente, enquanto que os elementos Mn e Sr apresentaram valores de 99,09±41,99 e 28,41±6,99 µg g^{-1}, respectivamente.

A Figura 28 ilustra a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc ao longo dos perfis de profundidade, nos sedimentos de fundo para a estação de amostragem próximas às nascentes do rio Capivari (CN).

Figura 28 - Concentrações totais dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc, determinados dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, para a estação de amostragem CN, próximas às nascentes do rio Capivari



As concentrações determinadas para os principais elementos potencialmente tóxicos estudados, ao longo do perfil amostrado de sedimento de fundo da estação CN, apresentaram padrões de distribuição similares com elevada variabilidade. Sendo possível observar um aumento gradativo da concentração desses elementos a partir de 30 cm de profundidade, apresentando assim, distribuição heterogênea até os centímetros finais do perfil amostrado (78 cm). Tal efeito pode ser resultante de processos erosivos e de impactos antrópicos decorrentes na região naquele período. No entanto, Ni se mostrou enriquecido nos

sedimentos superficiais e mais profundos, apresentando valor máximo de 62,90 µg.g<sup>-1</sup> no intervalo de 3-6 cm de profundidade do perfil amostrado. Já o elemento conservativo Sc apresentou uma homogeneidade no perfil amostrado.

As concentrações totais em µg.g<sup>-1</sup>, médias e desvios-padrão dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K), nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, amostrados na estação intermediária da bacia do rio Capivari (CM), podem ser observadas na Tabela 21.

Tabela 21 - Concentrações totais (µg.g<sup>-1</sup>), médias (C<sub>M</sub>) e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse no sedimento de fundo em perfil de profundidade, amostrado na estação intermediária da bacia do rio Capivari (CM)

								Capi	vari Me	io								
Estação	Profundidade	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	К	Na
amostragem	(cm)									µg.g⁻¹								
CM	0-3	259031,40	75022,76	23480,77	181,32	14,52	16,09	1,96	28,26	134,04	14,13	67,11	49,06	8,24	2201,73	2397,57	12799,06	1366,56
CM	3-6	282026,24	60351,68	18302,84	141,03	4,74	13,85	1,46	14,94	99,03	11,30	52,48	42,27	6,56	1685,50	1866,25	12456,27	1357,14
CM	6-9	266940,22	71448,16	23827,76	156,77	10,45	12,96	2,09	40,97	138,24	18,39	61,45	48,08	7,11	2171,40	2438,13	13258,36	1480,35
CM	9-12	257845,72	70435,78	23927,71	156,30	12,92	21,00	1,62	34,73	142,73	10,10	58,97	48,06	7,27	2160,74	2384,49	13064,22	1401,45
CM	12-15	242516,27	66915,79	24638,32	200,57	18,71	16,27	1,63	28,89	160,32	13,83	67,13	46,38	8,14	2242,47	2573,23	13119,20	1238,41
CM	15-18	279281,43	68806,16	26836,17	237,23	18,65	21,49	2,43	37,71	161,95	12,98	94,89	56,77	9,33	2582,73	2685,73	15230,33	1712,49
CM	18-21	279573,12	68505,14	27196,05	224,90	17,79	18,97	1,98	20,16	169,83	16,21	79,05	56,13	8,70	2417,79	2722,53	15313,44	1712,25
CM	21-24	285316,37	60259,80	24422,32	172,70	13,57	14,71	1,13	16,59	122,05	7,92	66,37	53,92	8,67	2200,60	2507,92	15144,42	1772,25
CM	24-27	257814,52	73927,82	32160,48	199,60	26,61	15,73	2,42	31,85	166,36	14,11	77,02	61,29	10,48	2797,98	3217,74	15851,61	1773,79
CM	27-30	289738,41	55723,33	23308,68	187,64	13,98	16,19	1,84	14,72	103,82	16,92	62,18	48,20	7,73	1907,65	2322,66	14887,79	1652,32
CM	30-33	270039,49	62913,90	28289,10	217,22	19,35	20,14	1,18	21,33	134,87	22,12	71,09	54,50	9,48	2281,20	2790,68	15496,45	1712,09
CM	33-36	332908,74	106769,11	28395,87	202,03	19,50	13,65	2,34	65,13	127,55	48,36	77,22	56,16	8,58	2230,11	2790,95	15699,30	2319,81
CM	36-39	313091,39	118410,66	32238,11	194,26	15,16	16,39	2,05	57,38	138,38	33,61	79,10	58,61	10,25	2477,46	3106,97	15613,93	2199,59
CM	39-42	322454,21	112138,98	30885,74	196,52	31,60	16,21	2,43	24,72	155,03	37,68	81,85	57,13	9,32	2505,67	2997,16	15846,03	2217,99
CM	42-45	322870,28	120783,25	31936,78	208,95	24,63	16,83	2,87	27,91	179,80	45,16	78,82	62,40	9,44	3224,55	3125,21	16181,86	2200,74
CM	45-48	324682,62	107684,61	27198,96	257,18	16,35	16,35	1,20	81,34	99,17	47,85	79,35	47,85	9,17	1914,67	2907,89	15490,03	1906,30
CM	48-51	320354,45	110311,84	28962,29	224,74	18,10	18,10	2,26	22,25	131,82	39,22	75,79	52,04	8,67	1955,51	2834,46	15895,93	1944,57
CM	51-54	313702,46	110303,49	26302,30	191,76	18,23	15,45	2,38	24,17	143,61	33,28	76,07	49,13	8,72	1783,28	2563,00	15123,61	1892,63
CM	54-57	344486,92	80799,33	17307,17	113,60	12,71	9,72	0,75	11,21	88,55	48,95	50,07	41,85	5,23	1055,68	1648,36	14508,97	1614,35
CM	57-60	346595,52	66921,62	14028,69	92,02	8,05	9,45	2,10	8,75	81,09	47,59	40,59	36,39	3,85	996,15	1278,17	13003,50	1398,88
CM	60-63	290253,41	127323,18	29434,64	184,04	21,65	13,63	2,41	22,45	170,02	36,09	73,38	49,72	9,62	1664,80	2753,81	14959,50	1898,56
CM	63-66	296170,26	113895,28	24752,20	143,88	17,59	13,59	2,40	19,58	157,56	43,57	68,35	46,36	7,59	1519,58	2385,69	14547,56	1829,74
CM	66-69	284435,67	112231,90	25973,81	148,31	20,42	14,64	1,93	21,96	192,30	46,22	69,72	46,22	8,09	1586,29	2420,65	14232,67	1799,31
CM	69-72	284548,68	120225,46	27646,85	150,84	13,57	12,37	2,00	37,91	208,12	29,93	72,23	45,09	8,38	1294,89	2386,27	14213,09	1730,65
	См	294444,91	89254,54	25893,90	182,64	17,04	15,57	1,95	29,79	141,93	28,98	70,01	50,57	8,28	2035,77	2546,06	14664,05	1755,51
	SD	29127,63	24641,01	4569,57	39,16	5,78	3,04	0,52	17,28	32,43	14,79	11,68	6,44	1,51	531,81	456,22	1137,47	293,11

Verificou-se que as concentrações médias totais de Cu, Co, Cd, Ni e Pb nos sedimentos de fundo, na estação intermediária da bacia de drenagem do rio Capivari (CM), foram de  $17,04\pm5,78$ ,  $15,57\pm3,04$ ,  $1,95\pm0,52$ ,  $29,79\pm17,28$  e  $28,98\pm14,79 \ \mu g.g^{-1}$ , respectivamente.

Na estação CM, entre os elementos potencialmente tóxicos analisados, os metais Zn e Cr apresentaram concentrações médias totais mais elevadas com valores de 141,93±32,43 e 70,01±11,68 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o elemento normalizador Sc, a concentração média do perfil amostrado foi de 8,28±1,51 µg.g<sup>-1</sup>.

As concentrações médias observadas, na estação CM, para as espécies químicas Ca e Mg foram de  $2035,77\pm531,81$  e  $2546,06\pm456,22 \ \mu g.g^{-1}$ , respectivamente. Já as espécies químicas K e Na as concentrações médias foram de  $14664,05\pm1137,47$  e  $1755,51\pm293,11 \ \mu g.g^{-1}$ , respectivamente. As demais espécies químicas de interesse, Si, Al, Fe, Mn e Sr, apresentaram concentrações médias de  $294444,91\pm29127,63$ ,  $89254,54\pm24641,01$ ,  $25893,90\pm4569,57$ ,  $182,64\pm39,16$  e  $50,57\pm6,44 \ \mu g.g^{-1}$ , respectivamente.

A Figura 29 ilustra a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc ao longo dos perfis de profundidade, nos sedimentos de fundo para a estação de amostragem intermediária da bacia de drenagem do rio Capivari (CM).

Figura 29 - Concentrações totais dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc, determinados dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, para a estação de amostragem CM, ponto intermediário da bacia do rio Capivari



Ao longo do perfil amostrado na estação CM, a distribuição das concentrações dos elementos Cu, Co, Cd e Zn, se apresentou heterogênea. Destaca-se o Ni, que apresentou elevadas concentrações nos intervalos de 33-36 e 45-48 cm de profundidade, apresentando valores de 65,13 e 81,34 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o elemento Pb apresentou uma homogeneidade no perfil amostrado até os 33 cm de profundidade, a partir dessa profundidade foi observada elevada concentração do elemento que se estendeu até os últimos centímetros do perfil amostrado (72 cm).

Foi possível observar uma distribuição homogênea nas concentrações determinadas nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem CM para os elementos Cr e Sc, sendo verificada uma anomalia na profundidade de 57-60 cm, apresentando a menor concentração do perfil para esses elementos, com valores de 40,59 e 3,85 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

A Tabela 22 apresenta as concentrações totais em µg.g<sup>-1</sup> dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K) nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem próxima à foz do rio Capivari (CF), incluindo os valores médios e os respectivos desvios-padrão.

Tabela 22 - Concentrações totais (µg.g<sup>-1</sup>), médias (C<sub>M</sub>) e desvios-padrão (SD) dos elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse no sedimento de fundo em perfil de profundidade, amostrado na estação próxima à foz da bacia do rio Capivari (CF)

								Capi	vari Foz									
Estação	Profundidade	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Sc	Ca	Mg	К	Na
amostragem	(cm)								μ	g.g <sup>-1</sup>								
CF	0-3	384611,69	33321,37	8908,06	83,06	4,03	10,48	0,81	6,85	91,55	50,00	28,63	28,63	2,42	774,60	706,45	12416,94	2006,85
CF	3-6	390784,13	24426,35	6601,90	58,73	4,44	7,30	0,95	4,13	15,78	44,76	23,81	23,81	1,90	416,51	498,41	10395,56	1474,60
CF	6-9	386289,47	23101,14	5762,84	47,24	4,44	6,98	0,63	5,71	7,38	51,05	17,76	21,24	1,90	325,94	464,81	9653,46	1257,13
CF	9-12	387472,22	23702,64	6147,79	47,01	8,90	6,77	0,71	36,32	5,83	45,23	18,52	21,72	1,42	303,06	472,58	10018,16	1311,61
CF	12-15	388074,70	30295,86	8566,57	63,98	20,34	9,62	1,48	70,27	5,68	51,41	40,68	25,52	2,96	421,60	630,92	11728,55	1700,44
CF	15-18	396566,74	30338,67	6856,22	47,29	6,10	6,48	1,14	17,54	7,45	54,16	22,88	25,17	1,91	344,01	595,35	11622,43	1600,69
CF	18-21	369817,61	37154,38	7855,56	50,85	11,79	8,47	1,47	5,90	11,39	40,16	22,84	25,79	2,21	407,52	714,08	11843,77	1752,76
CF	21-24	336323,32	72755,72	12330,11	52,93	8,58	10,01	1,07	8,23	13,90	37,55	32,55	21,82	5,01	139,48	1062,95	12116,60	871,60
CF	24-27	345880,06	79254,05	12781,60	47,41	1,62	10,13	0,81	5,27	9,76	41,73	33,23	25,53	6,08	102,92	1228,53	15931,12	694,08
CF	27-30	332146,11	72138,53	13198,14	113,71	13,09	11,03	1,03	7,58	8,30	48,59	29,98	24,12	5,17	117,51	1448,31	15567,88	631,98
CF	30-33	326132,59	86633,36	15687,93	115,68	4,61	13,45	1,92	10,38	20,36	45,73	35,74	24,60	5,38	265,18	1583,40	14421,21	838,59
CF	33-36	323240,68	86655,89	17787,45	103,04	10,27	13,69	1,14	13,31	22,44	42,97	43,35	24,71	6,08	299,62	1669,58	14415,21	840,68
CF	36-39	309885,80	92143,88	18437,64	102,93	6,76	10,52	1,50	9,77	28,51	37,94	46,96	24,04	6,76	321,56	1623,59	13753,57	865,89
CF	39-42	311568,31	85748,21	15091,74	96,90	18,27	10,72	1,59	21,05	22,57	39,71	36,54	24,23	5,56	372,12	1418,59	12911,44	1282,76
CF	42-45	310518,83	87717,96	16538,02	81,10	16,65	11,59	1,09	11,22	16,72	40,55	40,55	22,81	6,52	172,34	1435,55	13293,99	630,70
CF	45-48	309647,56	91250,19	17336,95	74,75	9,30	12,01	1,16	5,81	15,64	38,34	37,96	20,91	6,20	104,18	1417,89	12804,80	572,04
CF	48-51	331464,86	94582,67	17919,73	73,48	15,58	14,78	1,20	8,79	21,89	27,96	39,94	24,36	7,59	166,93	1582,27	15092,65	750,80
CF	51-54	322479,02	89908,31	19755,24	69,93	20,98	11,27	1,94	9,98	34,66	41,18	55,17	25,25	6,99	957,26	1609,17	14703,96	864,41
	C <sub>M</sub>	347939,10	63396,07	12642,42	73,89	10,32	10,29	1,20	14,34	19,99	43,28	33,73	24,13	4,56	334,02	1120,13	12927,29	1108,20
	SD	33165,82	29068,76	4877,08	24,07	5,98	2,41	0,38	15,92	19,62	6,36	10,15	1,90	2,13	224,41	467,08	1877,75	447,51

Os elementos Cu, Co, Cd e Ni apresentaram concentrações médias no perfil amostrado na estação CF de  $10,32\pm5,98$ ,  $10,29\pm2,41$ ,  $1,20\pm0,38$  e  $14,34\pm15,92$  µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. A concentração média do perfil amostrado para Zn foi de  $19,99\pm19,62$  µg.g<sup>-1</sup>.

Os elementos Cr e Pb apresentaram as maiores concentrações médias do perfil, entre os elementos potencialmente tóxicos estudados, apresentando valores de  $33,73\pm10,15$  e  $43,28\pm6,36$  µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o elemento Sc apresentou uma distribuição homogênea ao longo do perfil amostrado, com uma média de  $4,56\pm2,13$  µg.g<sup>-1</sup>.

As espécies químicas Ca, Mg, K e Na, para a estação de amostragem CF, apresentaram concentrações com valores de  $334,02\pm224,41$ ,  $1120,13\pm467,08$ ,  $12927,29\pm1877,75$  e  $1108,20\pm447,51$  µg.g<sup>-1</sup>. Já para as demais espécies de interesse, Si, Al e Fe, foi possível observar concentrações médias de  $347939,10\pm33165,82$ ,  $63396,07\pm29068,76$  e  $12642,42\pm4877,08$  µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Os elementos Mn e Sr apresentaram concentrações médias no perfil de  $73,89\pm24,07$  e  $24,13\pm1,90$  µg.g<sup>-1</sup>

A Figura 30 ilustra a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc ao longo dos perfis de profundidade, nos sedimentos de fundo para a estação de amostragem próxima à foz da bacia de drenagem do rio Capivari (CF).

Figura 30 - Concentrações totais dos principais elementos potencialmente tóxicos e Sc, determinados dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, para a estação de amostragem CF, próxima à foz do rio Capivari



As concentrações obtidas para elementos Co, Cd, Pb, Cr e Sc, ao longo do perfil de profundidade amostrado na estação de amostragem CF, apresentaram comportamento homogêneo. O mesmo não foi observado para o elemento Cu, que apresentou variabilidade ao longo do perfil.

Para os elementos Ni e Zn foram observadas concentrações elevadas nos primeiros centímetros do perfil amostrado (sedimentos recentes) com valores de 70,27 µg.g<sup>-1</sup> (12-15 cm) e 91,55 µg.g<sup>-1</sup> (0-3 cm), respectivamente. Após essa profundidade, os perfis se mantiveram homogêneos até a profundidade final (54 cm), indicando dessa forma, um padrão de fundo geoquímico natural nessa estação de amostragem para esses elementos. Já o elemento Cu apresentou concentrações ao longo do perfil amostrado.

#### 5.3. Caracterização química dos sedimentos fluviais e solos

## 5.3.1. Solos

Os resultados das composições químicas, expressos em termos percentuais dos principais óxidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>O), e da matéria orgânica (M. Org.) das amostras de solos em perfis de profundidade, características da bacia de drenagem do rio Jundiaí, podem ser observados na Tabela 23.

Tabela 23 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, nos solos amostrados em perfil de profundidade, característico da bacia do rio Jundiaí (CX1 e PVA52)

proraine		0:0	<u> </u>	<u> </u>				<u> </u>		
Solo	Prof.	SIO <sub>2</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	м. Org.
0010	(cm)					%				
	0-10	77,92	11,37	3,45	0,02	0,06	0,08	0,71	0,19	3,68
	10-20	74,43	17,42	5,18	0,01	0,05	0,09	1,12	0,19	2,38
	20-30	72,86	15,84	4,93	0,01	0,02	0,08	0,95	0,16	1,84
CX1	30-40	80,09	13,98	4,47	0,01	0,01	0,06	0,82	0,15	1,13
	40-50	63,29	25,46	6,49	0,01	0,01	0,10	1,28	0,15	1,20
	Média	74,43	15,84	4,93	0,01	0,02	0,08	0,95	0,16	1,84
	SD	6,49	5,33	1,11	0,01	0,02	0,02	0,23	0,02	1,05
	0-10	87,46	11,82	0,92	0,01	0,16	0,16	0,65	0,11	2,30
	10-20	83,60	12,08	1,01	0,01	0,10	0,13	0,61	0,11	1,27
	20-30	85,81	11,82	0,99	0,01	0,07	0,12	0,58	0,11	1,30
PVA52	30-40	82,66	14,25	1,53	0,01	0,04	0,12	0,62	0,10	1,12
	40-50	82,04	14,71	1,73	0,01	0,05	0,13	0,70	0,12	1,24
	Média	83,60	12,08	1,01	0,01	0,07	0,13	0,62	0,11	1,27
	SD	2,27	1,42	0,37	0,00	0,05	0,02	0,04	0,01	0,48

Foi possível observar que os dois tipos de solos amostrados, característicos da bacia de drenagem do rio Jundiaí, CX1 e PVA52, apresentaram predominância de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, com concentrações médias, respectivamente, de 74,43 $\pm$ 6,49 e 15,84 $\pm$ 5,33% (próxima às nascentes – CX1) e 83,60 $\pm$ 2,27 e 12,08 $\pm$ 1,42% (próximo à foz – PVA52).

Os elevados valores percentuais de SiO<sub>2</sub> nas amostras de solos já eram esperados, pois são compartimentos constituídos de material de origem mineral finamente dividido em grânulos, chamados de frações de areias, que são compostas basicamente pelo dióxido de silício (EMBRAPA, 2006).

Para o solo CX1, a média de concentração em porcentagem de  $Fe_2O_3$  obtida foi de 4,93±1,11%, e para o solo PVA52 foi de 1,01±0,37%. Sendo que, ambos os

solos, para este óxido, apresentaram os maiores resultados de concentração percentual nos últimos centímetros do perfil amostrado (40-50 cm).

Para os demais óxidos determinados, MnO, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O, nos solos CX1 e PVA52, a soma das médias percentuais foi de 1,22 e 0,94%, respectivamente, sendo o K<sub>2</sub>O o óxido majoritário, em ambos os solos.

A média total das concentrações percentuais de matéria orgânica nos solos CX1 e PVA52 foram de 1,84±1,05 e 1,27±0,48%, respectivamente. Contudo, ambos os solos, apresentaram as maiores concentrações percentuais na camada mais superficial amostrada (0-10 cm), evidenciando 3,68% para CX1 e 2,30% para PVA52.

Os resultados das composições químicas, expressos em termos percentuais dos principais óxidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>O), e da matéria orgânica (M. Org.) das amostras de solos em perfis de profundidade, características da bacia de drenagem do rio Capivari, podem ser observados na Tabela 24.

MnO CaO Prof. SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MgO K<sub>2</sub>O Na<sub>2</sub>O M. Org. Solo (cm) % 0-10 79,07 14,46 0,02 0,24 0,56 0,11 2,42 3,80 0,10 10-20 70,48 21,74 0.02 0.21 0.13 1.95 5.06 0,11 0,83 20-30 27,85 63,63 6,01 0,03 0,37 0,14 1,00 0,14 3,02 PVA22 30-40 2,94 70,93 21,25 4,99 0,02 0,25 0,13 1,21 0,15 40-50 69,00 18,95 4,72 0,03 0,24 0,09 0,66 0,11 2,40 Média 70,48 21,25 0,02 0,13 2,42 4,99 0,24 0,11 0,83 SD 5,54 4,86 0,79 0,01 0,06 0,02 0,26 0,02 0,44 0-10 0,02 0,17 4,13 56,97 28,48 8,02 0,12 0,16 0,25 10-20 50.95 29.69 0,02 0,06 0,14 0,22 0.13 3,21 8,77 20-30 47,53 0,02 0,14 3,05 30,91 9,28 0,04 0,23 0,12 LV41 30-40 54,99 27,31 8,40 0,01 0,03 0,11 0,17 0,12 2,86 2,95 40-50 57,55 27,82 7,98 0,01 0,04 0,12 0,21 0,11 Média 54,99 0,02 0,04 0,14 0,22 0,12 3,05 28,48 8,40 SD 4,26 1,46 0,54 0,00 0,03 0,02 0,03 0,02 0,52 1,93 0-10 98,06 3,97 0,01 0,07 0,10 2,26 0,30 0,62 10-20 96,18 3,75 0,61 0,01 0,05 0,08 2,21 0,28 0,94 20-30 96,70 5,14 0,01 0,06 0,11 2,59 0,30 0,79 0,85 PVA102 30-40 90,09 6,64 2,26 0,25 0,81 1,06 0,01 0,10 0,14 40-50 91,38 6,05 1,02 0,004 0,07 0,14 2,21 0,24 0,50 Média 96,18 5,14 0,85 0,01 0,07 0,11 2,26 0,28 0,81 SD 3,52 1,26 0,21 0,00 0,02 0,03 0,16 0,03 0,55

Tabela 24 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, nos solos amostrados em perfil de profundidade, característico da bacia do rio Capivari (PVA22, LV41 e PVA102)

Nas estações de amostragem do solo PVA22 e LV41, característicos da região próxima às nascentes e área intermediária da bacia de drenagem do rio Capivari, respectivamente, ocorreram o predomínio de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, apresentando concentrações médias, nesta ordem, de 70,48±5,54 e 21,25±4,86% para o solo PVA22 e de 54,99±4,26 e 28,48±1,46 para o solo LV41. Para o solo representativo da região próxima à foz da bacia estudada (PVA102) foi possível observar elevado teor percentual de SiO<sub>2</sub>, apresentando valor médio do perfil de 96,18±3,52%, e baixa concentração percentual de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,14±1,26%).

Foi possível verificar que as médias percentuais obtidas para  $Fe_2O_3$  e matéria orgânica no solo PVA22, foram de 4,99±0,79 e 2,42±0,44%, respectivamente, sendo que, as maiores concentrações percentuais determinadas, no perfil analisado, para ambas ( $Fe_2O_3$  e matéria orgânica), foram observadas na profundidade de 20-30 cm. Já nos solos LV41 e PVA102, as concentrações de  $Fe_2O_3$  foram, respectivamente, de 8,40±0,54 e 0,85±0,21%. As maiores concentrações de matéria orgânica foram verificadas nas camadas mais superficiais dos solos LV41 (4,13%) e PVA102 (1,93%), apresentando valores médios no perfil amostrado de 3,05±0,52 e 0,81±0,55%, respectivamente.

Para os demais óxidos determinados, MnO, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O, nos solos amostrados na bacia do rio Capivari, PVA22, LV41 e PVA102, foi possível observar médias percentuais de 1,33, 0,54 e 2,73%, respectivamente, sendo o K<sub>2</sub>O o óxido majoritário, nos solos estudados.

#### 5.3.2. Sedimentos finos em suspensão (FSS)

As concentrações dos principais óxidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, MgO, N<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) e matéria orgânica (M. Org.), com respectivas médias e desvios-padrão, expressos em termos percentuais, para a bacia de drenagem do rio Jundiaí, nas estações de amostragem próximas às nascentes (JN) e foz (JF), podem ser observadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, nos FSS amostrados nas estações JN e JF, da bacia de drenagem do rio Jundiaí

	Amostras -	SiO <sub>2</sub>	$AI_2O_3$	$Fe_2O_3$	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	M.Org.
	Amostras					%				
	JN-1	47,48	28,91	7,91	0,23	0,34	0,57	0,20	2,82	4,34
	JN-2	44,47	31,66	9,80	0,35	0,39	0,61	0,21	2,81	6,25
	JN-3	47,58	29,31	8,97	0,32	0,37	0,58	0,19	2,55	5,50
	JN-4	51,48	26,99	9,93	0,45	0,48	0,60	0,29	3,28	7,47
	JN-5	52,09	25,34	9,49	0,49	0,44	0,57	0,25	2,55	5,76
	JN-7	43,84	28,13	10,38	0,57	0,48	0,57	0,24	3,02	5,90
Jundiaí	JN-8	45,92	30,37	8,29	0,21	0,33	0,53	0,23	3,25	4,04
Nascente	JN-9	47,99	28,76	7,45	0,17	0,30	0,57	0,22	3,30	3,89
(JN)	JN-10	45,03	31,75	7,85	0,08	0,22	0,44	0,19	2,92	3,24
	JN-11	43,22	28,79	9,20	0,34	0,36	0,58	0,27	3,05	4,80
	JN-12	47,58	28,22	7,17	0,14	0,26	0,59	0,21	3,66	2,99
	JN-14	43,09	29,36	10,36	0,45	0,57	0,61	0,27	2,93	4,60
	JN-15	56,18	27,47	6,33	0,05	0,29	0,54	0,26	3,34	3,85
	Média	47,38	28,85	8,70	0,30	0,37	0,56	0,23	3,04	4,82
	SD	3,89	1,77	1,30	0,16	0,10	0,04	0,03	0,32	1,29
	JF-1	45,46	27,94	8,06	0,16	0,43	0,52	0,32	3,26	5,25
	JF-2	45,80	28,75	9,65	0,18	0,57	0,53	0,31	3,12	8,90
	JF-3	50,94	26,18	7,38	0,14	0,43	0,49	0,28	3,13	5,25
	JF-4	42,51	23,46	11,20	0,11	1,03	0,67	0,41	2,37	19,73
	JF-5	42,93	27,67	8,58	0,06	0,95	0,64	0,36	2,93	10,27
	JF-6	43,71	24,82	9,66	0,10	1,08	0,62	0,34	2,82	18,46
luus die (	JF-7	44,27	29,55	8,30	0,09	0,55	0,53	0,29	3,16	8,84
Jundiai	JF-8	47,59	28,03	6,47	0,07	0,32	0,50	0,23	3,78	3,15
(JE)	JF-9	49,19	26,76	6,30	0,08	0,30	0,48	0,22	3,64	3,61
(01)	JF-10	49,20	28,30	7,25	0,11	0,40	0,52	0,28	3,55	3,70
	JF-11	50,14	24,65	6,35	0,08	0,37	0,50	0,29	3,53	3,89
	JF-12	56,13	24,77	5,59	0,06	0,36	0,57	0,24	3,45	2,94
	JF-14	45,85	28,72	8,47	0,15	0,51	0,56	0,20	3,32	5,04
	JF-15	44,56	30,49	7,58	0,12	0,34	0,52	0,24	3,17	3,60
	Média	47,02	27,15	7,92	0,11	0,54	0,55	0,29	3,23	7,33
	SD	3,77	2,09	1,55	0,04	0,27	0,06	0,06	0,37	5,51

Foi possível observar que na estação de amostragem JN houve um predomínio de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, com concentrações médias percentuais de 47,38±3,89 e 28,85±1,77%, respectivamente. Concentrações semelhantes foram verificadas na estação JF, que apresentou valor de 47,02±3,77% para SiO<sub>2</sub> e 27,15±2,09% para Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

As concentrações de K<sub>2</sub>O apresentaram-se semelhantes nas estações de amostragem estudadas, com valores de 3,04±0,32% em JN e de 3,23±0,37% em JF, o mesmo ocorreu com Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, apresentando valores de 8,70±1,30% em JN e 7,92±1,55% em JF.

A presença dos demais óxidos estudados (MnO, CaO, MgO e Na<sub>2</sub>O) também foi verificada nos FSS amostrados nas estações JN e JF, apresentando valores de 1,46 e 1,49% na soma das médias percentuais, respectivamente.

A concentração média percentual de matéria orgânica para a estação de amostragem JN foi de 4,82±1,29%, sendo verificado o valor máximo de 5,76% na amostragem da sétima excursão realizada, correspondente à época de estiagem. Já a média percentual da matéria orgânica em JF foi de 7,33±5,51%, apresentando valor máximo de 19,73% na amostragem da quarta excursão realizada, também correspondente à época de estiagem.

Foi verificada baixa sazonalidade nas concentrações dos óxidos estudados para ambas as estações de amostragem do rio Capivari. Os desvios padrão observados na Tabela 25, no geral, em torno de 20% das concentrações médias, foram relacionados a uma possível variação de fontes de origem ao longo do período de amostragem, tais como partículas de solo, efluentes urbanos, erosão de margem e remobilização de sedimentos de fundo, entre outros. Cabe ainda destacar que os maiores desvios padrão foram observados para os óxidos que apresentaram concentrações baixas, como MnO e CaO.

As composições químicas das amostras de FSS para a bacia de drenagem do rio Capivari, nas estações de amostragem CN e CF, expressas em termos percentuais de óxidos totais (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, MgO, N<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) e da matéria orgânica (M. Org.) podem ser observadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, nos FSS amostrados nas estações CN e CF, na bacia de drenagem do rio Capivari

	Amootroo	SiO <sub>2</sub>	$AI_2O_3$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	M. Org.
	Amostras -					%				
	CN-1	34,58	23,50	10,98	0,61	0,30	0,29	0,18	1,95	7,84
	CN-2	42,82	25,13	16,55	1,31	0,48	0,40	0,24	2,24	5,96
	CN-3	44,63	28,32	13,76	0,75	0,43	0,37	0,21	2,00	10,19
	CN-4	41,53	25,36	17,45	0,42	0,29	0,29	0,21	2,21	3,71
	CN-7	30,80	21,65	26,55	1,23	0,73	0,37	0,22	1,87	12,72
Canivari	CN-8	45,17	33,65	8,57	0,24	0,34	0,37	0,20	3,01	5,15
Nascente	CN-9	50,36	26,29	11,47	0,59	0,34	0,31	0,18	1,88	5,28
(CN)	CN-10	44,44	28,82	14,20	0,84	0,64	0,43	0,20	2,19	7,03
(011)	CN-11	44,56	26,68	15,94	0,87	0,57	0,43	0,21	2,16	9,76
	CN-12	60,75	22,56	5,78	0,11	0,26	0,35	0,48	2,97	3,70
	CN-14	48,96	21,54	16,44	1,11	0,76	0,45	0,41	2,02	6,60
	CN-15	47,87	28,48	10,40	0,32	0,36	0,38	0,32	2,64	6,22
	Média	44,71	26,00	14,01	0,70	0,46	0,37	0,25	2,26	7,01
	SD	7,55	3,52	5,32	0,39	0,18	0,05	0,10	0,40	2,72
	CF-1	56,45	22,69	9,29	0,31	0,70	0,72	0,34	1,84	7,62
	CF-2	57,11	23,76	7,72	0,39	0,46	0,85	0,25	2,17	4,20
	CF-3	57,56	23,16	7,74	0,41	0,51	0,69	0,31	1,63	4,31
	CF-4	58,64	18,37	9,74	0,37	0,93	0,85	0,44	1,95	8,93
	CF-5	51,80	14,93	7,00	0,96	0,64	0,60	0,41	1,61	9,11
	CF-6	61,32	18,11	6,98	0,84	0,50	0,76	0,45	2,87	21,37
	CF-7	58,92	23,27	6,33	0,20	0,42	0,90	0,33	3,41	10,23
Capivari	CF-8	63.25	20.01	5,29	0.13	0.32	0.72	0.38	3.07	3,47
FOZ	CF-9	60,51	22,10	5,54	0,12	0.30	0.69	0.36	3,50	3,43
(CF)	CF-10	69.54	17.08	4.63	0.10	0.31	0.60	0.40	2.48	2.70
	CF-11	70.12	16.12	4.26	0.10	0.27	0.56	0.43	2.66	2.59
	CF-12	69.66	15 30	4 19	0.10	0.28	0.65	0.39	2.83	1 74
	CF-14	60.46	20.70	6 58	0.67	0,20	0.82	0.44	2.83	3 93
	CE-15	67.85	17/5	5.03	0,07	0,00	0.64	0,44	2,00	2 77
	Média	61.66	19.50	6 45	0.34	0.47	0.72	0.38	2 55	6.17
	SD	5.68	3.13	1.76	0.29	0.21	0.11	0.06	0.62	5.18

Nas estações de amostragens na bacia do rio Capivari ocorreu o predomínio de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ao longo do período estudado, com porcentagens médias respectivamente de 44,71±7,55, 26,0±3,52 e 14,01±5,32% para CN, e 61,66±5,68, 19,50±3,13 e 6,45±1,76% para CF. Os valores médios percentuais de K<sub>2</sub>O, nas estações de amostragens CN e CF foram similares, com valores de 2,26±0,40 e 2,55±0,62%, respectivamente.

A presença dos demais óxidos estudados (MnO, CaO, MgO e Na<sub>2</sub>O) também foi verificada nos FSS amostrados nas estações CN e CF, apresentando valores de 1,78 e 1,91%, na soma das médias percentuais, respectivamente.

A concentração média percentual de matéria orgânica para a estação de amostragem CN foi de 7,01±2,72%, apresentando valor máximo de 12,72% (CN-7), referente à época de estiagem. Já para a estação CF, a média percentual de matéria

orgânica foi de 6,17±5,18%, apresentando uma porcentagem máxima também em época de estiagem de 21,37% (CF-6).

Os desvios-padrão observados na Tabela 26 se apresentaram em torno de 20% das concentrações médias para os óxidos SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO e K<sub>2</sub>O, mostrando baixa variabilidade sazonal, para ambas estações de amostragem do rio Capivari, incluindo Na<sub>2</sub>O na estação de amostragem CF. No entanto, os óxidos Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO e CaO, em ambas as estações de amostragem da bacia do rio Capivari, e Na<sub>2</sub>O na estação de amostragem CN, apresentaram alta variabilidade ao longo do período estudado, com desvios-padrão mais expressivos, possivelmente relacionados às diversas fontes de origem desses sedimentos dentro da bacia, tais como despejo de efluentes, erosão de margem e remobilização de sedimentos de fundo, entre outros.

## 5.3.3. Sedimento de fundo em perfil de profundidade

Os resultados das composições químicas em termos percentuais dos principais óxidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, MgO, N<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) e da matéria orgânica (M. Org.), das amostras de sedimento de fundo analisados em perfil de profundidade, próxima às nascentes (JN), ao meio (JM) e à foz (JF) da bacia do rio Jundiaí, podem ser observadas nas Tabelas 27, 28 e 29, respectivamente.

Tabela 27 -	Concentrações	dos	principais	óxidos	е	matéria	orgânic	a, n	nédias	е
desvios-padrã	o, expressos e	m po	prcentagem	n, no se	dir	mento de	e fundo	em	perfil	de
profundidade,	da estação de a	amos	tragem JN	, do rio 、	Jur	ndiaí				
				-						

			Jundiai	Nascen	te					
Estação		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	M. Org.
de	Profundida (cm)					0/				
amostragem						70				
JN	0-3	66,68	18,10	3,99	0,02	0,19	0,34	0,12	1,86	2,44
JN	3-6	60,04	22,91	4,91	0,03	0,22	0,45	0,12	2,44	4,71
JN	6-9	58,72	22,65	4,84	0,03	0,20	0,43	0,11	2,31	4,17
JN	9-12	58,96	21,45	4,15	0,02	0,16	0,43	0,11	2,53	6,93
JN	12-15	58,04	22,11	4,05	0,02	0,13	0,39	0,11	2,42	4,30
JN	15-18	56,35	20,32	3,59	0,01	0,11	0,34	0,10	2,27	3,89
JN	18-21	56,45	20,46	4,10	0,01	0,06	0,36	0,09	2,37	4,14
JN	21-24	51,18	19,62	3,69	0,01	0,05	0,35	0,10	2,42	3,44
JN	24-27	50,54	19,05	3,27	0,01	0,05	0,35	0,11	2,58	3,23
JN	27-30	53,91	18,09	3,40	0,01	0,06	0,38	0,12	2,73	2,63
JN	30-33	58,95	20,05	3,92	0,01	0,03	0,43	0,10	2,51	2,36
JN	33-36	57,61	17,98	3,62	0,01	0,03	0,38	0,09	2,36	2,19
JN	36-39	53,91	17,47	3,72	0,01	0,06	0,43	0,09	2,45	2,63
JN	39-42	51,89	15,95	3,30	0,01	0,05	0,40	0,09	2,48	2,59
	Média	56,66	19,73	3,90	0,02	0,10	0,39	0,10	2,41	3,55
	SD	4,25	2,01	0,48	0,01	0,06	0,04	0,01	0,19	1,24

Tabela 28 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, no sedimento de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem JM, do rio Jundiaí

				Jundiai	ivieio					
Estação de	Profundidade	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	M. Org.
amostragem	(cm)					%				
JM	0-3	50,88	21,21	3,10	0,01	0,19	0,31	0,19	2,37	2,87
JM	3-6	50,90	24,81	3,79	0,01	0,25	0,36	0,20	2,49	3,26
JM	6-9	53,38	24,26	3,37	0,01	0,22	0,34	0,19	2,52	2,78
JM	9-12	51,66	23,64	3,27	0,01	0,22	0,31	0,17	2,30	3,28
JM	12-15	56,20	19,97	2,65	0,01	0,17	0,27	0,16	2,26	2,11
JM	15-18	58,74	20,04	2,54	0,01	0,16	0,27	0,18	2,38	1,92
JM	18-21	52,36	20,25	2,53	0,01	0,15	0,25	0,16	2,37	1,91
JM	21-24	59,45	14,39	1,46	0,01	0,08	0,20	0,14	2,23	0,85
JM	24-27	53,88	18,97	2,19	0,01	0,13	0,25	0,18	2,38	1,58
JM	27-30	45,81	24,45	3,60	0,01	0,18	0,34	0,18	2,46	3,25
JM	30-33	36,85	24,79	4,04	0,01	0,22	0,35	0,19	2,36	5,07
JM	33-36	40,80	26,30	4,52	0,01	0,34	0,40	0,23	2,58	5,25
JM	36-39	38,93	28,35	4,81	0,01	0,40	0,42	0,24	2,68	8,14
JM	39-42	38,12	26,87	4,62	0,01	0,43	0,42	0,23	2,55	9,66
JM	42-45	38,27	26,57	4,76	0,01	0,57	0,50	0,22	2,64	9,34
JM	45-48	42,09	23,69	3,92	0,01	0,22	0,34	0,18	2,49	6,60
JM	48-51	41,22	23,93	3,45	0,01	0,14	0,34	0,22	2,57	2,92
JM	51-54	41,92	21,48	2,77	0,01	0,13	0,31	0,20	2,46	2,59
JM	54-57	41,78	21,77	2,78	0,01	0,37	0,30	0,18	2,32	2,81
	Média	47,01	22,93	3,38	0,01	0,24	0,33	0,19	2,44	4,01
	SD	7,53	3,35	0,93	0,00	0,13	0,07	0,03	0,13	2,63

Tabela 29 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, no sedimento de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem JF, do rio Jundiaí

				Jundial	FOZ					
Estação de	Profundidade	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na₂O	K <sub>2</sub> O	M. Org.
amostragem	(CIII)					%				
JF	0-3	53,40	7,99	2,81	0,02	0,27	0,29	0,23	2,93	3,41
JF	3-6	67,20	18,23	4,29	0,03	0,39	0,44	0,24	2,80	3,83
JF	6-9	64,17	18,07	4,71	0,03	0,45	0,46	0,22	2,68	5,13
JF	9-12	65,90	15,02	3,99	0,03	0,37	0,40	0,22	2,60	3,26
JF	12-15	69,62	12,68	3,11	0,02	0,28	0,35	0,24	2,80	2,14
JF	15-18	72,90	9,99	2,43	0,02	0,27	0,27	0,23	2,85	1,29
JF	18-21	69,64	9,91	2,50	0,02	0,22	0,27	0,21	2,67	0,98
JF	21-24	63,63	11,52	3,02	0,02	0,26	0,32	0,20	2,36	1,91
JF	24-27	63,31	11,24	2,76	0,02	0,24	0,32	0,21	2,62	2,05
JF	27-30	62,90	10,38	2,62	0,02	0,22	0,27	0,19	2,37	1,30
JF	30-33	59,25	11,56	3,05	0,02	0,24	0,28	0,27	2,14	1,81
JF	33-36	62,13	9,87	2,69	0,02	0,23	0,27	0,20	2,27	1,49
JF	36-39	61,19	9,44	2,71	0,02	0,22	0,27	0,19	2,25	1,80
JF	39-42	62,01	7,37	2,14	0,02	0,18	0,24	0,20	2,48	1,19
JF	42-45	60,41	6,59	1,84	0,01	0,15	0,21	0,21	2,84	0,94
	Média	63,84	11,32	2,98	0,02	0,27	0,31	0,22	2,58	2,17
	SD	4,79	3,47	0,79	0,01	0,08	0,07	0,02	0,25	1,21

Foi possível observar que nas estações de amostragem da bacia de drenagem do rio Jundiaí houve predomínio dos óxidos SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sendo o óxido de silício o majoritário apresentando percentuais de 56,66±4,25, 47,01±7,53 e  $63,84\pm4,79\%$ , respectivamente, para JN, JM e JF. O predomínio desse óxido é justificado pelos sedimentos serem constituídos por frações de areias, que possuem em sua composição o predominio de quartzo. A concentração média de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> decresce na bacia de drenagem de JM>JN>JF, com valores de 22,93±3,35, 19,73±2,01 e 11,32±3,47\%, respectivamente.

Em relação aos demais óxidos (MnO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) a soma das médias percentuais para as estações de amostragem do rio Jundiaí, não ultrapassaram 10%. As concentrações médias percentuais de matéria orgânica, para as estações de amostragem JN, JM e JF, foram de 3,55±1,24, 4,01±2,63 e 2,17±1,17%, respectivamente, sendo possível constatar as maiores concentrações de matéria orgânica nos sedimentos superficiais das estações de amostragem JN e JF e nos sedimentos mais profundos da estação JM.

A Figura 31 ilustra a distribuição das concentrações dos óxidos  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ , e matéria orgânica (M. Org.) nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, da bacia de drenagem do rio Jundiaí, para as estações de amostragem JN, JM e JF.

Figura 31. Distribuição dos óxidos SiO<sub>2</sub>,  $AI_2O_3$  e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e matéria orgânica (M. Org.) determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de amostragem JN, JM e JF, do rio Jundiaí.



Foi possível observar na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN) que as concentrações porcentuais dos óxidos mais abundantes e da matéria orgânica se apresentaram homogêneas ao longo do perfil de profundidade amostrado, observando um pequeno enriquecimento nas amostras superficiais (sedimentos recentes).

Na estação JM, as concentrações percentuais de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e matéria orgânica apresentaram a mesma tendência ao longo do perfil estudado, mostrando um aumento da concentração percentual nas profundidades de 27 a 48 cm. Já a distribuição de SiO<sub>2</sub> foi homogênea até os 27 cm de profundidade ao longo do perfil amostrado; a partir desse ponto foi verificada uma diminuição da concentração até os 33 cm de profundidade e, então, o perfil voltou a ter uma homogeneidade até a profundidade final (57 cm).

Em relação à estação de amostragem próxima à foz do rio Jundiaí (JF), as concentrações percentuais de SiO<sub>2</sub> se mostraram homogêneas ao longo do perfil amostrado. Já as distribuições percentuais de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e matéria orgânica, em perfil de profundidade, apresentaram comportamentos semelhantes, com maiores concentrações observadas em amostras superficiais, o mesmo efeito foi observado para a estação de amostragem JN.

Os resultados das composições químicas, em termos percentuais dos principais óxidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, MgO, N<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) e matéria orgânica (M. Org.), médias e desvios-padrão das amostras de sedimento de fundo em perfis de profundidade, próxima às nascentes (CN), ao meio (CM) e à foz (CF), da bacia do rio Capivari, podem ser observados nas Tabelas 30, 31 e 32.

Tabela 30 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, no sedimento de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem CN, do rio Capivari

Capivari Nascente										
Estação de	Profundidade	SiO <sub>2</sub>	$AI_2O_3$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na₂O	K <sub>2</sub> O	M. Org.
amostragem	(cm)					%				
CN	0-3	56,89	11,98	4,62	0,01	0,02	0,25	0,11	2,81	3,20
CN	3-6	44,57	10,03	4,53	0,02	0,03	0,21	0,07	2,42	4,21
CN	6-9	47,26	9,31	3,15	0,01	0,01	0,19	0,07	2,30	3,94
CN	9-12	35,28	7,74	3,39	0,02	0,02	0,15	0,04	1,86	4,34
CN	12-15	44,51	8,66	4,55	0,03	0,04	0,19	0,07	2,33	4,71
CN	15-18	41,26	9,36	4,08	0,03	0,03	0,19	0,06	2,32	4,13
CN	18-21	40,35	9,11	3,56	0,01	0,01	0,17	0,06	2,16	3,40
CN	21-24	41,36	9,23	3,84	0,01	0,02	0,16	0,05	2,15	2,38
CN	24-27	43,37	8,31	2,72	0,01	0,00	0,16	0,06	2,30	2,32
CN	27-30	42,95	7,90	2,35	0,01	0,00	0,15	0,06	2,30	2,31
CN	30-33	69,02	25,27	3,79	0,01	0,03	0,29	0,16	2,67	2,65
CN	33-36	66,88	24,76	3,47	0,01	0,02	0,28	0,13	2,64	1,99
CN	36-39	62,04	23,84	3,41	0,01	0,01	0,26	0,09	2,37	1,84
CN	39-42	67,04	23,42	3,54	0,01	0,02	0,26	0,09	2,40	2,61
CN	42-45	66,32	21,11	3,91	0,02	0,03	0,28	0,10	2,60	4,11
CN	45-48	65,43	24,17	3,77	0,02	0,05	0,30	0,09	2,47	5,44
CN	48-51	68,56	22,18	3,07	0,01	0,04	0,31	0,08	2,46	5,07
CN	51-54	68,70	19,93	2,81	0,01	0,06	0,29	0,08	2,41	5,32
CN	54-57	60,04	21,85	3,48	0,01	0,16	0,34	0,08	2,72	5,94
CN	57-60	64,60	18,75	2,64	0,01	0,04	0,29	0,08	2,47	4,69
CN	60-63	59,17	19,45	2,48	0,01	0,03	0,28	0,21	2,37	5,52
CN	63-66	59,52	18,38	2,47	0,01	0,03	0,27	0,12	2,41	5,70
CN	66-69	58,61	19,85	2,74	0,01	0,04	0,31	0,10	2,56	5,52
CN	69-72	50,48	19,55	3,09	0,01	0,04	0,30	0,09	2,52	6,41
CN	72-75	58,61	19,74	2,68	0,01	0,04	0,30	0,09	2,63	5,38
CN	75-78	54,63	19,71	2,89	0,01	0,04	0,30	0,09	2,61	6,17
	Média	55,29	16,68	3,35	0,01	0,03	0,25	0,09	2,43	4,20
	SD	10,74	6,35	0,66	0,01	0,03	0,06	0,03	0,20	1,42

Estação de	Profundidade	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	M. Org.
amostragem	(cm)					%				
СМ	0-3	55,44	14,18	3,02	0,02	0,31	0,40	0,18	1,54	2,71
CM	3-6	60,37	11,41	2,35	0,02	0,24	0,31	0,18	1,50	2,02
CM	6-9	57,14	13,50	3,07	0,02	0,30	0,40	0,20	1,60	2,71
CM	9-12	55,19	13,31	3,08	0,02	0,30	0,40	0,19	1,57	3,11
CM	12-15	51,91	12,65	3,17	0,03	0,31	0,43	0,17	1,58	3,76
CM	15-18	59,78	13,00	3,45	0,03	0,36	0,45	0,23	1,83	3,18
CM	18-21	59,84	12,95	3,50	0,03	0,34	0,45	0,23	1,84	3,01
CM	21-24	61,07	11,39	3,14	0,02	0,31	0,42	0,24	1,82	2,45
CM	24-27	55,18	13,97	4,14	0,03	0,39	0,53	0,24	1,91	3,36
CM	27-30	62,02	10,53	3,00	0,02	0,27	0,39	0,22	1,79	2,50
CM	30-33	57,80	11,89	3,64	0,03	0,32	0,46	0,23	1,87	2,72
CM	33-36	71,26	20,18	3,65	0,03	0,31	0,46	0,31	1,89	2,53
CM	36-39	67,01	22,38	4,15	0,03	0,35	0,52	0,30	1,88	2,76
CM	39-42	69,02	21,19	3,97	0,03	0,35	0,50	0,30	1,91	3,08
CM	42-45	69,11	22,83	4,11	0,03	0,45	0,52	0,30	1,95	2,93
CM	45-48	69,50	20,35	3,50	0,03	0,27	0,48	0,26	1,87	2,29
CM	48-51	68,57	20,85	3,73	0,03	0,27	0,47	0,26	1,91	2,40
CM	51-54	67,15	20,85	3,38	0,02	0,25	0,42	0,26	1,82	2,22
CM	54-57	73,73	15,27	2,23	0,01	0,15	0,27	0,22	1,75	1,29
CM	57-60	74,19	12,65	1,80	0,01	0,14	0,21	0,19	1,57	1,08
CM	60-63	62,13	24,06	3,79	0,02	0,23	0,46	0,26	1,80	2,60
CM	63-66	63,39	21,53	3,18	0,02	0,21	0,40	0,25	1,75	2,35
CM	66-69	60,88	21,21	3,34	0,02	0,22	0,40	0,24	1,71	2,88
CM	69-72	60,91	22,72	3,56	0,02	0,18	0,40	0,23	1,71	2,79
	Média	63,02	16,87	3,33	0,02	0,28	0,42	0,24	1,77	2,61
	SD	6,23	4,66	0,59	0,01	0,07	0,08	0,04	0,14	0,59

Tabela 31 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, no sedimento de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem CM, do rio Capivari

Capivari Foz									
Profundidade	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	M. Org.
(CIII)					%				
0-3	82,32	6,30	1,15	0,01	0,11	0,12	0,27	1,50	0,33
3-6	83,64	4,62	0,85	0,01	0,06	0,08	0,20	1,25	0,16
6-9	82,68	4,37	0,74	0,01	0,05	0,08	0,17	1,16	0,13
9-12	82,93	4,48	0,79	0,01	0,04	0,08	0,18	1,21	0,15
12-15	83,06	5,73	1,10	0,01	0,06	0,10	0,23	1,41	0,19
15-18	84,88	5,73	0,88	0,01	0,05	0,10	0,22	1,40	0,22
18-21	79,16	7,02	1,01	0,01	0,06	0,12	0,24	1,43	0,37
21-24	71,99	13,75	1,59	0,01	0,02	0,18	0,12	1,46	0,43
24-27	74,03	14,98	1,64	0,01	0,01	0,20	0,09	1,92	0,15
27-30	71,09	13,63	1,70	0,01	0,02	0,24	0,09	1,88	0,11
30-33	69,81	16,37	2,02	0,01	0,04	0,26	0,11	1,74	0,45
33-36	69,19	16,38	2,29	0,01	0,04	0,28	0,11	1,74	0,51
36-39	66,33	17,41	2,37	0,01	0,04	0,27	0,12	1,66	0,64
39-42	66,69	16,21	1,94	0,01	0,05	0,24	0,17	1,56	0,85
42-45	66,46	16,58	2,13	0,01	0,02	0,24	0,09	1,60	0,54
45-48	66,28	17,25	2,23	0,01	0,01	0,24	0,08	1,54	0,40
48-51	70,95	17,88	2,31	0,01	0,02	0,26	0,10	1,82	0,45
51-54	69,02	16,99	2,54	0,01	0,13	0,27	0,12	1,77	0,45
Média	74,47	11,98	1,63	0,01	0,05	0,19	0,15	1,56	0,36
SD	7,10	5,49	0,63	0,00	0,03	0,08	0,06	0,23	0,20
	Profundidade (cm) 0-3 3-6 6-9 9-12 12-15 15-18 18-21 21-24 24-27 27-30 30-33 33-36 36-39 39-42 42-45 45-48 48-51 51-54 Média SD	Profundidade (cm) SiO2   0-3 82,32   3-6 83,64   6-9 82,68   9-12 82,93   12-15 83,06   15-18 84,88   18-21 79,16   21-24 71,99   24-27 74,03   27-30 71,09   30-33 69,81   33-36 69,19   36-39 66,33   39-42 66,69   42-45 66,46   45-48 66,28   48-51 70,95   51-54 69,02   Média 74,47   SD 7,10	Profundidade (cm) SiO2 Al2O3   0-3 82,32 6,30   3-6 83,64 4,62   6-9 82,68 4,37   9-12 82,93 4,48   12-15 83,06 5,73   15-18 84,88 5,73   18-21 79,16 7,02   21-24 71,99 13,75   24-27 74,03 14,98   27-30 71,09 13,63   30-33 69,81 16,37   33-36 69,19 16,38   36-39 66,33 17,41   39-42 66,69 16,21   42-45 66,46 16,58   45-48 66,28 17,25   48-51 70,95 17,88   51-54 69,02 16,99   Média 74,47 11,98   SD 7,10 5,49	SiO2 Al2O3 Fe2O3   0-3 82,32 6,30 1,15   3-6 83,64 4,62 0,85   6-9 82,68 4,37 0,74   9-12 82,93 4,48 0,79   12-15 83,06 5,73 1,10   15-18 84,88 5,73 0,88   18-21 79,16 7,02 1,01   21-24 71,99 13,75 1,59   24-27 74,03 14,98 1,64   27-30 71,09 13,63 1,70   30-33 69,81 16,37 2,02   33-36 69,19 16,38 2,29   36-39 66,33 17,41 2,37   39-42 66,69 16,21 1,94   42-45 66,46 16,58 2,13   45-48 66,28 17,25 2,23   48-51 70,95 17,88 2,31   51-54 69,02 16,99 2,54	Profundidade (cm) SiO2 Al2O3 Fe2O3 MnO   0-3 82,32 6,30 1,15 0,01   3-6 83,64 4,62 0,85 0,01   6-9 82,68 4,37 0,74 0,01   9-12 82,93 4,48 0,79 0,01   12-15 83,06 5,73 1,10 0,01   15-18 84,88 5,73 0,88 0,01   18-21 79,16 7,02 1,01 0,01   21-24 71,99 13,75 1,59 0,01   24-27 74,03 14,98 1,64 0,01   27-30 71,09 13,63 1,70 0,01   30-33 69,81 16,37 2,02 0,01   33-36 69,19 16,38 2,29 0,01   36-39 66,33 17,41 2,37 0,01   39-42 66,69 16,21 1,94 0,01   45-48 66,28	Profundidade (cm) SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MnO CaO   0-3 82,32 6,30 1,15 0,01 0,11   3-6 83,64 4,62 0,85 0,01 0,06   6-9 82,68 4,37 0,74 0,01 0,05   9-12 82,93 4,48 0,79 0,01 0,06   12-15 83,06 5,73 1,10 0,01 0,06   15-18 84,88 5,73 0,88 0,01 0,05   18-21 79,16 7,02 1,01 0,01 0,02   24-27 74,03 14,98 1,64 0,01 0,01   27-30 71,09 13,63 1,70 0,01 0,04   33-36 69,19 16,38 2,29 0,01 0,04   36-39 66,33 17,41 2,37 0,01 0,04   36-39 66,69 16,21 1,94 0,01 0,05   42-45	Profundidade (cm) SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MnO CaO MgO   0-3 82,32 6,30 1,15 0,01 0,11 0,12   3-6 83,64 4,62 0,85 0,01 0,06 0,08   6-9 82,68 4,37 0,74 0,01 0,05 0,08   9-12 82,93 4,48 0,79 0,01 0,04 0,08   12-15 83,06 5,73 1,10 0,01 0,06 0,10   15-18 84,88 5,73 0,88 0,01 0,05 0,10   18-21 79,16 7,02 1,01 0,01 0,02 0,18   24-27 74,03 14,98 1,64 0,01 0,01 0,20   27-30 71,09 13,63 1,70 0,01 0,02 0,24   30-33 69,81 16,37 2,02 0,01 0,04 0,28   36-39 66,33 17,41 2,37	Profundidade (cm) SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MnO CaO MgO Na <sub>2</sub> O   0-3 82,32 6,30 1,15 0,01 0,11 0,12 0,27   3-6 83,64 4,62 0,85 0,01 0,06 0,08 0,20   6-9 82,68 4,37 0,74 0,01 0,05 0,08 0,17   9-12 82,93 4,48 0,79 0,01 0,04 0,08 0,18   12-15 83,06 5,73 1,10 0,01 0,06 0,10 0,22   18-21 79,16 7,02 1,01 0,01 0,06 0,12 0,24   21-24 71,99 13,75 1,59 0,01 0,02 0,18 0,12   24-27 74,03 14,98 1,64 0,01 0,01 0,20 0,09   30-33 69,81 16,37 2,02 0,01 0,04 0,28 0,11   33-36 69,19	Profundidade (cm) SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MnO CaO MgO Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O   0-3 82,32 6,30 1,15 0,01 0,11 0,12 0,27 1,50   3-6 83,64 4,62 0,85 0,01 0,06 0,08 0,20 1,25   6-9 82,68 4,37 0,74 0,01 0,05 0,08 0,17 1,16   9-12 82,93 4,48 0,79 0,01 0,04 0,08 0,18 1,21   12-15 83,06 5,73 1,10 0,01 0,06 0,10 0,22 1,40   18-21 79,16 7,02 1,01 0,01 0,06 0,12 0,24 1,43   21-24 71,99 13,75 1,59 0,01 0,02 0,88 0,12 1,46   24-27 74,03 14,98 1,64 0,01 0,01 0,20 0,99 1,88   30-33 69,81

Tabela 32 - Concentrações dos principais óxidos e matéria orgânica, médias e desvios-padrão, expressos em porcentagem, no sedimento de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem CF, do rio Capivari

Nas estações de amostragem da bacia de drenagem do rio Capivari foi verificado predomínio dos óxidos SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, assim como na bacia do rio Jundiaí. Os valores percentuais de SiO<sub>2</sub>, nas estações CN, CM e CF foram de 55,29±10,74, 63,02±6,23 e 74,47±7,10%, respectivamente. Foi observada que a concentração média de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> decresceu nos sedimentos das estações CM>CN>CF, com valores respectivamente de, 16,87±4,66, 16,68±6,35 e 11,98±5,49%.

Para os demais óxidos MnO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O foi observada baixa concentração em relação aos óxidos principais, apresentando valores médios percentuais da soma desses óxidos, para as estações de amostragem CN, CM e CF de 2,81, 2,73 e 1,96%, respectivamente. Para matéria orgânica, o percentual médio foi de 4,20±1,42% para CN, 2,61±0,59% para CM e 0,36±0,20% para CF.

A Figura 32 ilustra a distribuição média dos óxidos  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ , e matéria orgânica (M. Org.) nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, amostrados na bacia de drenagem do rio Capivari, para as estações CN, CM e CF.

Figura 32 - Distribuição dos óxidos SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e matéria orgânica (M. Org.) determinados nos sedimentos de fundos em perfis de profundidade, para as estações de amostragem CN, CM e CF, do rio Capivari



Foi possível observar, na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN), que as concentrações porcentuais dos óxidos SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e da matéria orgânica apresentaram a mesma tendência ao longo do perfil amostrado, apresentando menores concentrações percentuais nos sedimentos de 0 a 30 cm. Já a distribuição das concentrações de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi homogênea no perfil estudado.

Ao longo do perfil amostrado na estação de amostragem CM, a distribuição das concentrações percentuais de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e da matéria orgânica, apresentou o mesmo comportamento. Destaca-se os teores percentuais de SiO<sub>2</sub> nos sedimentos superficiais (0-3 cm) e a 60 cm de profundidade do perfil estudado, que mostraram comportamento inversamente proporcional aos óxidos de alumínio e ferro e da matéria orgânica.

Em relação à estação de amostragem próxima à foz do rio Capivari (CF) as concentrações percentuais de SiO<sub>2</sub> se mostraram homogêneas ao longo do perfil amostrado, sendo observado um enriquecimento nos sedimentos superficiais (0-18 cm). Já a distribuição percentual de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e matéria orgânica em perfil de profundidade se mostraram semelhantes, e inversamente proporcional ao perfil do SiO<sub>2</sub>, sendo possível observar aumento da concentração em profundidade.

# 5.4. Índice de maturidade química (ChM) e grau de alteração de rochas (R) dos sedimentos finos em suspensão

O índice de maturidade química (ChM), descrito por Konta (1985), prevê que quanto mais uma rocha sofre alterações, mais ela se torna madura, e assim o índice de maturidade se mostra mais elevado. Já o grau de alteração de rochas (R), durante o processo, se apresenta de acordo com a evolução dos minerais primários para os minerais secundários, caracterizando um enriquecimento relativo em alumínio e ferro, e, por consequência, um empobrecimento em silício (LELEYTER, 1998). Assim, quanto menor o índice R, maior o grau de alteração verificado.

Na bacia de drenagem do rio Jundiaí foi evidenciado um elevado índice de maturidade química na média dos sedimentos finos em suspensão (FSS) das estações de amostragem JN e JF, apresentando índice médio de 22,2. O mesmo comportamento foi observado para a média dos FSS das estações de amostragem na bacia de drenagem do rio Capivari (CN e CF), apresentando valor médio de ChM igual a 18,3.

Tais valores encontrados de ChM para a média dos FSS nas bacias estudadas podem ser considerados elevados quando comparados com bacias de drenagem da América do Sul, África e Europa, cujos índices não ultrapassaram 5 (LELEYTER, 1998). No entanto, valores de ChM acima de 20 foram observados em estudo realizado por Mortatti et al. (2002) na bacia do rio Piracicaba (SP), localizada próxima às bacias estudadas, podendo tais valores relativamente altos estarem associados diretamente aos solos vermelhos lateríticos característicos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, ricos em óxidos de alumínio e ferro.

Os graus de alteração das rochas (R) obtidos da média dos FSS amostrados nas estações de amostragem das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari foram respectivamente de 1,3 e 1,8. Tais resultados se mostraram dentro da normalidade quando comparados com bacias da região estudada, cujos valores de R foram de 1,8 para a bacia do rio Piracicaba (MORTATTI et al., 2002), e de 1,7 para a bacia do Sorocaba (FERNANDES, 2012).

## 5.5. Mobilidade geoquímica das principais espécies químicas dos sedimentos fluviais

A Tabela 33 apresenta os resultados médios da mobilidade das principais espécies químicas durante o processo de alteração de rochas nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari, tomando como base as características químicas da crosta terrestre, de acordo com as concentrações porcentuais médias de Si, Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Na e K dos sedimentos finos em suspensão, com valores positivos (+) para ganhos e valores negativos (-) para perdas.

A Figura 33 ilustra a mobilidade das principais espécies químicas durante o processo de alteração de rochas, de acordo com o balanço de ganhos e perdas, para as bacias dos rios Jundiaí e Capivari, em função das características químicas dos FSS amostrados.

Elomonto	Creata	FSS							
Elemento	Crosta	JN	JF	CN	CF				
	%	%							
К	2,44	-53,10	-47,00	-61,22	-41,89				
Na	1,42	-94,50	-92,76	-93,32	-86,70				
Mg	1,64	-90,57	-90,28	-93,19	-82,29				
Ca	4,50	-97,32	-95,80	-96,37	-94,95				
Mn	0,07	48,60	-42,18	286,90	160,57				
Fe	3,59	-14,55	-17,14	51,84	-5,81				
AI	6,93	0,00	0,00	0,00	0,00				
Si	27,50	-63,52	-61,46	-61,81	-29,51				

Tabela 33 - Mobilidade das principais espécies químicas durante o processo de alteração de rochas na média dos FSS das estações de amostragem do rio Jundiaí (JN e JF) e Capivari (CN e CF)

(+) ganho (-) perda

Figura 33 - Mobilidade das principais espécies químicas durante o processo de alteração de rochas na média dos FSS das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari



Um alto grau de mobilidade na média dos FSS foi observado nas estações de amostragem do rio Jundiaí para as espécies químicas K, Na, Mg, Ca e Si, sendo as perdas de Ca as mais expressivas, de -97,32% em JN e -95,80% em JF. Já o Fe apresentou perdas menos significativas na média dos FSS para tais estações de amostragem, com valores de -14,55 e -17,14%, em JN e JF, respectivamente. A espécie química Mn se mostrou enriquecida na estação de amostragem JN, com ganho 48,60%, no entanto, na estação de amostragem JF foi possível observar perdas de -42,18%.

Para a bacia do rio Capivari foi possível verificar perdas significativas dos metais alcalinos e alcalino-terrosos K, Na, Mg, Ca e Si, o mesmo foi observado para a bacia do rio Jundiaí, indicando um alto grau de mobilidade dessas espécies químicas. Por outro lado, ganhos significativos de Mn, nas estações de amostragem CN (286,90%) e CF (160,57%) puderam ser verificados. Também foi possível observar ganhos de Fe na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari, com valor de 51,84%, estando possivelmente associados às precipitações de Fe e Mn como óxidos e hidróxidos após a alteração de rochas. Esse aumento de Mn também pode estar associado ao elevado manejo agrícola do solo na bacia (CANFIELD, 1997).

A Tabela 34 apresenta os resultados médios da mobilidade das principais espécies químicas durante o processo de alteração de rochas nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari, tomando como base as características químicas da crosta terrestre, de acordo com as concentrações porcentuais médias de Si, Al, Fe, Mn, Ca,
Mg, Na e K dos perfis de sedimentos de fundo amostrados, com valores positivos (+) para ganhos e valores negativos (-) para perdas.

A Figura 34 ilustra a mobilidade das principais espécies químicas durante o processo de alteração de rochas, de acordo com o balanço de ganhos e perdas, para as bacias dos rios Jundiaí e Capivari, em função das características químicas dos sedimentos de fundo amostrados.

Tabela 34 - Mobilidade das principais espécies químicas durante o processo de alteração de rochas na média dos perfis de sedimentos de fundo das estações de amostragem do rio Jundiaí (JN e JF) e Capivari (CN e CF)

Elomonto	Oresta	sedimentos de fundo										
Elemento	Crosta	JN	JM	Sedimentos de fundo     JF   CN   CM     %   -	СМ	CF						
	%			0	%							
K	2,44	-45,57	-52,51	1,43	-34,98	-53,34	-42,09					
Na	1,42	-96,37	-94,28	-86,81	-96,33	-90,40	-91,47					
Mg	1,64	-90,47	-93,06	-86,72	-92,79	-87,95	-92,53					
Ca	4,50	-98,94	-97,82	-95,11	-99,59	-96,49	-99,19					
Mn	0,07	-87,03	-87,03	-74,65	-88,88	-79,74	-88,46					
Fe	3,59	-44,01	-58,23	-25,47	-43,09	-44,00	-61,50					
AI	6,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Si	27,50	-36,10	-54,39	25,46	-26,24	-16,87	38,31					
()	and a											

(+) ganho (-) perda

Figura 34 - Mobilidade das principais espécies químicas durante o processo de alteração de rochas na média dos perfis de sedimentos de fundo das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari



Foi possível verificar alto grau de mobilidade e perdas significativas para as espécies químicas estudadas (K, Na, Mg, Ca, Mn, Fe e Si) nas estações de amostragem JN e JM do rio Jundiaí, principalmente dos elementos Na, Mg, Ca e Mn, que apresentaram teores acima de 70% nessas estações de amostragem. Já em JF, também foi possível observar perdas das espécies químicas Na, Mg, Ca, Mn e Fe na média do perfil amostrado, no entanto, foi verificado pequeno ganho de K (1,43%) e significativo ganho de Si (25,46%).

Na bacia de drenagem do rio Capivari, as médias dos perfis amostrados nas estações de amostragem CN, CM e CF apresentaram perdas significativas para as espécies químicas estudadas (K, Na, Mg, Ca, Mn, Fe e Si), exceto para Si na estação de amostragem CF, que mostrou ganho de 38,31%, o mesmo observado na foz da bacia do rio Jundiaí para essa espécie química.

O Si é o principal elemento alterável das rochas silicatadas e corresponde cerca de 60% em média na forma de SiO<sub>2</sub> em peso referente à crosta terrestre (EDMOND et al., 1995), dessa forma, a mobilidade de Si não pode ser investigada nas estações JF e CF, decorrente do baixo teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> utilizado como agente normalizador na determinação de mobilidade geoquímica. Já o pequeno ganho

de K na estação de amostragem JF pode estar associado à baixa mobilidade deste elemento, pois além de integrar a composição dos minerais secundários (caso da ilita) integra também minerais muito resistentes à alteração de rochas.

# 5.6. Critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em função da concentração total

# 5.6.1. Valores-guia de referência: VP, VI, PEL e TEL

#### 5.6.1.1. Solos

A partir da extração total dos elementos potencialmente tóxicos nos solos, em perfil de profundidade, amostrados nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, foram determinadas as concentrações em μg.g<sup>-1</sup> e comparadas com valores-guia VP e VI, estabelecidos pela CETESB (2005).

A Figura 35 ilustra a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos no perfil dos solos amostrados nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, em comparação com os valores-guia VP e VI.

Figura 35 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos nos perfis dos solos amostrados nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, em comparação com os valores-guia VP e VI



As concentrações dos elementos Cu, Ni e Pb, ao longo do perfil amostrado (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm) dos solos caraterísticos das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, apresentaram-se abaixo do valor de prevenção VP (Cu-60,0 µg.g<sup>-1</sup>, Ni-30,0 µg.g<sup>-1</sup> e Pb-72,0 µg.g<sup>-1</sup>), indicando que os solos amostrados não possuem toxicidade para os referidos elementos em profundidade.

Para o elemento Co foi possível observar concentrações abaixo do valor-guia VP (25,0 µg.g<sup>-1</sup>) para a maioria dos solos analisados, exceto para o LV41 (característica da bacia do rio Capiavri), que apresentou concentrações de Co em profundidade entre os valores-guia VP e VI (35,0 µg.g<sup>-1</sup>), sendo que o maior valor de concentração de Co encontrado foi de 34,3 µg.g<sup>-1</sup> (10-20 cm de profundidade), próximo do valor-guia VI para este elemento, demonstrando preocupação quanto à toxicidade, podendo provocar alterações prejudiciais à qualidade do solo nessa profundidade.

De acordo com o critério adotado, as concentrações de Zn não apresentaram risco de toxicidade para os solos amostrados das bacias estudadas, ao longo do perfil, pois as concentrações determinadas para esse elemento foram abaixo do valor-guia estabelecido para VP (300 µg.g<sup>-1</sup>). Contudo, o solo LV41, na profundidade de 40-50 cm, apresentou concentração de 298,15 µg.g<sup>-1</sup>, mostrando-se próximo do valor-guia estabelecido por VP para Zn.

As concentrações do elemento Cr, ao longo do perfil amostrado para os Argissolos Vemelho-Amarelo (PVA52, PVA22 e PVA102), apresentaram valores abaixo do valor-guia VP (75,0 µg.g<sup>-1</sup>). Já as concentrações de Cr para os solos CX1 (característico da nascente do rio Jundiaí) e LV41(característico do meio da bacia do rio Capivari), nos perfis amostrados, apresentaram valores-guia entre VP e VI (150,0 µg.g<sup>-1</sup>), exceto nos primeiros 10 cm do solo CX1, sendo observado valor de concentração menor ao valor-guia VP para Cr, que foi de 67,73 µg.g<sup>-1</sup>.

O elemento Cd ao longo dos perfis amostrados dos solos CX1, PVA52, PVA22 e PVA102 apresentou concentrações menores que o limite de determinação do equipamento. No solo LV41, as concentrações de Cd determinadas foram menores que o valor-guia VP (1,3 μg.g<sup>-1</sup>) ao longo do perfil amostrado.

### 5.6.1.2. Sedimentos finos em suspensão (FSS)

A partir da extração total dos elementos potencialmente tóxicos nos FSS, nas estações de amostragem próxima às nascentes e à foz nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari, foi possível determinar as concentrações em  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> e compará-las com valores-guia, estabelecidos pelo CCME (1995).

A quantidade do FSS amostrado na excursão de número 6 da estação de amostragem JN para a extração total dos elementos potencialmente tóxicos não foi suficiente para a determinação analítica de fusão total alcalina, o mesmo ocorreu na excursão de número 13 para as estações de amostragem JN e JF.

A Figura 36 apresenta a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos no FSS, em cada excursão realizada, na bacia de drenagem do rio Jundiaí (JN e JF) em comparação com os valores-guia TEL e PEL.

Figura 36 - Distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos nos FSS, nas excursões de amostragem, para nascente (JN) e foz (JF) da bacia de drenagem do rio Jundiaí, em comparação com os valores-guia TEL e PEL



Pode ser observado que na maioria das excursões realizadas na bacia de drenagem do rio Jundiaí, na estação de amostragem JN, o Cu apresentou concentrações acima do valor-guia TEL ( $35,7 \ \mu g.g^{-1}$ ), exceto nas excursões de número 1, 4, 5, 10 e 12, em que as concentrações foram menores que TEL. Na estação de amostragem JF, o Cu também apresentou concentrações acima de TEL ( $35,7 \ \mu g.g^{-1}$ ) na maioria das excursões realizadas, exceto na de número 15, que obteve um valor abaixo desse valor-guia, mas próximo do limite TEL, com valor de  $32,57 \ \mu g.g^{-1}$ . Ambas as estações de amostragem do rio Jundiaí não apresentaram valores acima de PEL ( $197,0 \ \mu g.g^{-1}$ ) para o Cu.

Foi possível observar que as concentrações de Co, em ambas as estações de amostragem do rio Jundiaí, em todas as excursões realizadas, indicaram valores acima do valor-guia TEL (10,0 µg.g<sup>-1</sup>), possibilitando, de acordo com este critério, causar efeito adverso à comunidade biológica do meio aquático.

Nas estações de amostragem JN e JF, nas excursões realizadas, o Ni apresentou concentrações acima dos valores-guia PEL (35,9 µg.g<sup>-1</sup>), sendo a maior concentração observada para este elemento na excursão de número três na estação próxima à foz do rio Jundiaí, com valor de 167,51 µg.g<sup>-1</sup>.

As concentrações de Zn, em ambas as estações de amostragem do rio Jundiaí, apresentaram valores acima de TEL (123,1 µg.g<sup>-1</sup>), exceto na excursão de número 15 na estação JF, que apresentou concentração igual a 114,21 µg.g<sup>-1</sup>, ficando abaixo de TEL. Foi possível observar também, para a estação JN, que as excursões de número 3, 7 e 14 apresentaram valores acima de PEL (315,0 µg.g<sup>-1</sup>), o mesmo ocorreu para JF, nas excursões de 1 a 7 e na de número 14; é importante ressaltar que tais excursões foram realizadas em época de estiagem.

Para o Pb, as concentrações observadas na estação próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN) apresentaram valores abaixo de TEL ( $35,0 \ \mu g.g^{-1}$ ) na maioria das excursões realizadas, sendo observado que as excursões de número 1, 2, 4, 11, 12 e 14 apresentaram concentrações maiores que este valor-guia. Na estação de amostragem JF a maioria das concentrações ultrapassaram o valor-guia TEL para o Pb, obtendo uma concentração máxima de 84,72  $\mu g.g^{-1}$  na excursão de número 6; já as excursões de número 8, 9, 10, 11, 12 e 14 foi possível observar concentrações de Pb menores que TEL .

As concentrações de Cr nos FSS obtidas nas estações de amostragem JN e JF, apresentaram valores superiores ao valor-guia PEL (90,0 µg.g<sup>-1</sup>) na maioria das excursões realizadas, indicando provável efeito tóxico à comunidade aquática neste ambiente para este elemento. Somente nas excursões de número 5 e 12, na estação de amostragem JN, as concentrações de Cr se mostraram abaixo de PEL com valores de 89,35 e 79,18 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em todas as excursões realizadas nas estações de amostragem JN e JF o Cd apresentou concentrações acima do valor-guia TEL (0,6  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>). Tal elemento, nas excursões de número 1, 2, 7, 8, 11 e 14 em JN, apresentou concentrações acima do valor-guia PEL (3,5  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), o mesmo foi observado na estação de amostragem JF para as excursões de número 2, 4, 5, 6, 7, 8, 12 e 14, indicando, de acordo com este critério, efeito adverso ao meio aquático.

A média das concentrações dos elementos potencialmente tóxicos: Cu, Ni, Zn, Pb, Cr e Cd, apresentada nas tabelas 13 e 14, nas estações de amostragens próximo à foz do rio Jundiaí (JF), nas excursões realizadas, foram maiores que a média das concentrações determinadas na estação de amostragem JN. Esse resultado possivelmente está associado a forte pressão antrópica ao longo da bacia, recebendo sedimentos finos em suspensão e sua carga química dos impactos que a bacia de drenagem sofre.

A Figura 37 apresenta a distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos no FSS, em cada excursão, na bacia de drenagem do rio Capivari (CN e CF), comparados com valores-guia TEL e PEL. No entanto, a quantidade dos FSS amostrado nas excursões de números 5 e 6 na estação de amostragem CN para a extração total dos elementos potencialmente tóxicos, não foi suficiente para a determinação analítica de fusão total alcalina, o mesmo ocorreu na excursão de número 13 para as estações de amostragem CN e CF.



Figura 37 - Distribuição das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos nos FSS, nas excursões de amostragem, para nascente (CN) e foz (CF) da bacia de drenagem do rio Capivari, em comparação com os valores-guia TEL e PEL

Pode ser observado que na maioria das excursões realizadas na bacia de drenagem do rio Jundiaí, na estação de amostragem JN, o Cu apresentou concentrações abaixo do valor-guia TEL (35,7 μg.g<sup>-1</sup>), exceto nas excursões de número 1, 7, 8, 10 e 12, em que as concentrações foram maiores que TEL. Já na estação de amostragem JF, o Cu apresentou concentrações acima de TEL (35,7 μg.g<sup>-1</sup>) na maioria das excursões realizadas, exceto nas excursões de número 5, 11, 12 e 14, que apresentaram concentrações abaixo desse valor-guia. Ambas as estações de amostragem do rio Capivari não apresentaram valores acima de PEL (197,0 μg.g<sup>-1</sup>) para o Cu, o mesmo foi observado para o rio Jundiaí.

As concentrações de Co, em todas as excursões realizadas, para as estações CN e CF, indicaram valores acima do valor-guia TEL (10,0 µg.g<sup>-1</sup>), possibilitando, de acordo com este critério, efeito adverso à biota.

Para Ni, as concentrações observadas nas estações CN e CF, apresentaram valores acima do valor TEL (18 μg.g<sup>-1</sup>), exceto nas coletas 11 e 12, na estação de amostragem CF, que apresentaram valores abaixo desse valor-guia, sendo de 15,81 e 17,33 μg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. A maioria das concentrações obtidas para Ni, indicaram valores acima de PEL (35,0 μg.g<sup>-1</sup>) para as estações de amostragem do rio Capivari, indicando provável efeito tóxico a comunidade aquática. Destacando-se as altas concentrações em CF nas excursões 1, 4 e 7 com valores de 241,29, 289,62 e 184,62 μg.g<sup>-1</sup>, respectivamente.

A maioria das concentrações de Zn determinadas, nas estações de amostragem do rio Capivari, apresentaram valores entre PEL (123,1 μg.g<sup>-1</sup>) e TEL (315,0 μg.g<sup>-1</sup>), com exceção das excursões 11, 12 e 15 em CF, que apresentaram valores abaixo de TEL para o referido elemento.

As concentrações de Pb nas excursões de número 1, 4 e 14, na estação CF indicaram valores acima do valor-guia TEL (35,0 µg.g<sup>-1</sup>), com concentrações de 44,74, 45,98 e 39,55 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, nas demais excursões apresentaram valores abaixo deste valor-guia, nas estações de amostragem do rio Capivari.

O Cr na estação de amostragem CN apresentou concentrações acima de PEL (90,0 μg.g<sup>-1</sup>) em mais de 90% das excursões realizadas, sendo que somente na excursão de número 14 a concentração de Cr foi de 88,23 μg.g<sup>-1</sup>. Já na estação de amostragem CF as concentrações de Cr foram observadas entre TEL (37,3 μg.g<sup>-1</sup>) e PEL na maioria das excursões realizadas, exceto na excursão de

número 1 que foi constatado valor superior ao valor-guia PEL, de 109,28 μg.g<sup>-1</sup>. Sugerindo atenção para esse elemento na bacia de drenagem estudada.

As concentrações de Cd em mais de 90% das excursões realizadas, na estação de amostragem CN, indicaram valores acima do valor-guia PEL ( $3,5 \ \mu g.g^{-1}$ ), exceto na excursão de número 12, que apresentou concentração abaixo deste valor-guia, de  $3,37 \ \mu g.g^{-1}$ . Já na estação de amostragem CF, as concentrações de Cd se mostraram acima do valor-guia PEL em cerca de 80% das excursões realizadas, nas excursões de número 11 e 15 as concentrações foram abaixo de PEL, com valores de  $3,17 \ e 1,94 \ \mu g.g^{-1}$ , respectivamente.

Portanto, foi possível observar que as médias das concentrações dos elementos potencialmente tóxicos: Cu, Co, Zn, Cr e Cd, na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN), nas excursões realizadas, foram maiores que as médias das concentrações determinadas na estação de amostragem CF. Esse resultado possivelmente está associado a forte pressão antrópica na cabeceira do rio Capivari, uma vez que a área no entorno das nascentes é ocupada por propriedades rurais.

#### 5.6.1.3. Sedimento de fundo em perfil de profundidade

A partir da extração total dos elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos de fundo, nas estações de amostragem próxima às nascentes, meio e à foz dos rios Jundiaí e Capivari, foram determinadas as concentrações médias do perfil, em μg.g<sup>-1</sup>, e comparando com valores-guia TEL e PEL, estabelecidos pelo CCME (1995).

A Figura 38 apresenta as concentrações médias, mínimos e máximos dos principais elementos potencialmente tóxicos, nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, nas estações de amostragem, nascente (JN e CN), meio (JM e CM) e foz (JF e CF), das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.

Figura 38 - Distribuição das concentrações médias, mínimas e máximas, dos principais elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, amostrados próximas às nascentes (JN e CN), meio (JM e CM) e à foz (JF e CF) das bacias de drenagem do rio Jundiaí e Capivari, com base nos valoresguia TEL e PEL



As estações de amostragem do rio Jundiaí apresentaram concentrações médias de Cu de 20,78, 49,60 e 20,71 µg.g<sup>-1</sup> para JN, JM e JF, respectivamente, sendo observado que JM indicou valor médio superior do valor-guia TEL (37,7 µg.g<sup>-1</sup>), podendo apresentar efeitos tóxicos adversos ao meio aquático, apresentando a maior concentração de Cu na profundidade de 48-51 cm, com valor de 104,78 µg.g<sup>-1</sup>. Foi possível observar que na estação de amostragem JF os valores médios de Cu se mostraram abaixo de TEL, no entanto, a concentração máxima do perfil foi de 49,14 µg.g<sup>-1</sup>, ficando acima deste valor-guia, sendo observada em sedimento recente (6-9 cm). Já os valores médios de Cu encontrados para as estações de amostragem do rio Capivari foram de 9,66, 17,04 e 10,32 µg.g<sup>-1</sup>, abaixo de TEL, para CN, CM e CF, respectivamente, inclusive, os valores máximos nos perfis analisados demonstraram a não ocorrência do efeito tóxico para organismos aquáticos na bacia, o mesmo fato observado na estação de amostragem JN.

As concentrações médias de Co se mostraram superiores ao valor-guia TEL (10,0  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) nos perfis analisados das estações de amostragem JN (16,15  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), JF (15,83  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), CN (15,47  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), CM (15,55  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) e CF (10,29  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), indicando possibilidade de efeito adverso à biota, de acordo com o critério utilizado. No entanto, as concentrações mínimas nas estações de amostragem JN e JF se mostraram superiores ao valor-guia de referência para Co. A estação de amostragem JM apresentou concentração média no perfil de 8,84  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, estando abaixo de TEL, contudo, o valor máximo neste perfil de sedimento indicou concentração acima deste valor-guia, sendo de 12,20  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, observado em sedimentos mais profundos (36-39 cm). Destacam-se em JN e JF as concentrações máximas determinadas nos perfis amostrados, que foram de 19,69 e 22,42  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, ambas na profundidade de 6-9 cm (sedimentos recentes), enquanto que na bacia do rio Capivari, as concentrações máximas nos perfis analisados foram de 24,23  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (CN), 21,49  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (CM) e 14,78  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (CF), e se apresentaram nas profundidades de 54-57, 15-18 e 48-51 cm, respectivamente.

A concentração média de Ni no perfil amostrado na estação de amostragem JN foi de 38,67 μg.g<sup>-1</sup>, superior ao valor-guia PEL (35,9 μg.g<sup>-1</sup>), indicando valor mínimo, superior de TEL, de 23,48 μg.g<sup>-1</sup> à 21-24 cm de profundidade. Nas estações de amostragem JM, JF, CN e CM, as concentrações médias de Ni nos perfis amostrados foram de 28,45, 29,03, 34,83 e 29,79 μg.g<sup>-1</sup>, respectivamente,

ficando entre os valores-guia TEL (18,0 μg.g<sup>-1</sup>) e PEL. Já a concentração média deste elemento no perfil CF foi de 14,34 μg.g<sup>-1</sup>, abaixo de TEL, não apresentando efeito significativo para organismos aquáticos.

As concentrações máximas de Ni determinadas nos perfis amostrados das bacias dos rios Jundiaí e Capivari apresentaram valores superiores ao valor-guia PEL em sedimentos mais recentes nas estações de amostragem JN (106,46 µg.g<sup>-1</sup>, 9-12 cm), JF (82,64 µg.g<sup>-1</sup>, 3-6 cm) e CF (70,27 µg.g<sup>-1</sup>, 12-15 cm), e em sedimentos mais profundos nas estações de amostragem JM (74,61 µg.g<sup>-1</sup>, 42-45 cm), CN (68,04 µg.g<sup>-1</sup>, 63-66 cm) e CM (81,34 µg.g<sup>-1</sup>, 54-57 cm). Destaca-se a toxicidade deste elemento, principalmente na nascente e na foz da bacia do rio Jundiaí, inclusive, na nascente do rio Capivari.

No rio Jundiaí, na estação de amostragem JN, a concentração média de Zn foi de 80,92 µg.g<sup>-1</sup>, inferior ao valor-guia TEL (123,0 µg.g<sup>-1</sup>), contudo, o valor máximo determinado no perfil foi de 129,21 µg.g<sup>-1</sup> (21-24 cm), mostrando-se acima deste valor-guia. Nas demais estações de amostragem, JM e JF, as concentrações médias foram de 226,16 e 123,91 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, ficando entre TEL e PEL (315,0 µg.g<sup>-1</sup>), sendo que na estação de amostragem JM a concentração mais elevada de Zn no perfil amostrado ultrapassou o valor-guia PEL, com valor de 494,01 µg.g<sup>-1</sup> na profundidade de 42-45 cm. Já na estação de amostragem JF a maior concentração de Zn foi determinada em sedimentos superficiais, de 193,51 µg.g<sup>-1</sup> (6-9 cm), valor superior a TEL, podendo apresentar efeitos adversos ao meio aquático.

As concentrações médias para Zn determinadas nos perfis das estações de amostragem do rio Capivari apresentaram valores de 54,88, 141,93 e 19,99 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente para CN, CM e CF. Na estação de amostragem CM a concentração máxima observada no perfil de sedimento de fundo foi de 208,12 µg.g<sup>-1</sup>, representativa dos últimos centímetros do perfil amostrado (69-72 cm). Já as concentrações de Zn observadas nos perfis de sedimento de fundo das estações de amostragem CN e CF ficaram abaixo do limite TEL, configurando assim a não toxicidade deste elemento nessas estações de amostragem, segundo critério adotado.

158

Nas estações de amostragem JF e CF as concentrações médias determinadas para o Pb foram de 35,87 e 43,28 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, superior ao valor-guia TEL (35,0 µg.g<sup>-1</sup>), apresentando valores máximos no perfil de 41,80 e 54,16 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, ambos determinadas em 15-18 cm de profundidade. Nas estações de amostragem JN e JM as concentrações médias determinadas foram de 32,97 e 33,59 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, abaixo do valor-guia TEL, no entanto, a concentração máxima observada nos perfis estudados ficaram superior a este valor-guia, com valores de 40,69 µg.g<sup>-1</sup> (0-3 cm) em JN e 55,61 µg.g<sup>-1</sup> (42-45 cm) em JM, podendo apresentar provável efeito tóxico à biota local, principalmente próxima às nascentes do rio Jundiaí. As estações de amostragem CN e CM apresentaram concentrações médias para Pb de 13,59 e 28,98 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, abaixo do valor-guia TEL em CN (32,42 µg.g<sup>-1</sup>, em 63-66 cm de profundidade), e acima desse valor-guia na estação de amostragem CM (48,95 µg.g<sup>-1</sup>, em 54-57 cm de profundidade).

Nas estações de amostragem JN, JM e JF, as concentrações médias para Cr nos perfis amostrados, indicaram valores semelhantes de 74,77, 73,99 e  $66,18 \ \mu g.g^{-1}$ , respectivamente, ficando entre TEL (37,3  $\mu g.g^{-1}$ ) e PEL (90,0  $\mu g.g^{-1}$ ). Foi possível observar que o valor máximo de Cr nesses perfis apontaram concentração superior ao valor-guia PEL nas estações de amostragem JN e JF em sedimentos recentes, de 103,98  $\mu g.g^{-1}$  (9-12 cm) e 107,82  $\mu g.g^{-1}$  (6-9 cm), respectivamente, enquanto que na estação de amostragem JM a concentração mais elevada encontrada no perfil amostrado foi de 101,95  $\mu g.g^{-1}$ , determinada na profundidade de 42-45 cm.

Para Cr, na estação de amostragem CN, a concentração média no perfil foi de 90,51  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, valor sutilmente superior ao valor-guia PEL (90,0  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), apresentando valor máximo de 113,23  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> em 54-57 cm de profundidade. A concentração média do perfil na estação de amostragem CM foi de 70,01  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para Cr, resultando entre TEL (37,3  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) e PEL, com valor máximo de 94,89  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> em sedimentos de 15-18 cm de profundidade. Já na foz do rio Capivari a concentração média de tal elemento no perfil amostrado foi de 33,73  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, inferior ao valor-guia TEL, apresentando concentração máxima de 55,17  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> entre os valores-guia de referência TEL e PEL no sedimento mais profundo do perfil amostrado (51-54 cm).

Nas estações de amostragem JN, JM, JF, CN e CM as concentrações mínimas observadas de Cr se mostraram superiores ao valor-guia TEL, com valores de 59,52  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (39-42 cm), 37,37  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (21-24 cm), 45,82  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (42-45 cm), 54,42  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (9-12 cm) e 40,59  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (57-60 cm), respectivamente. Já a menor concentração encontrada na estação de amostragem CF para o referido elemento foi de 17,76  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, em sedimentos superficiais (6-9 cm), inferior a TEL.

Para as estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari os valores médios encontrados para Cd foram superiores ao TEL (0,6  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>) e inferiores ao PEL (3,5  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>), podendo apresentar efeitos adversos à biota. Os valores médios de Cd para JN, JM e JF foram respectivamente de 1,50, 2,48 e 1,67  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, sendo possível observar que a concentração máxima no perfil JM, se mostrou superior a PEL, com valor de 3,71  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> na profundidade de 42-45 cm. Nas estações de amostragem do rio Capivari as médias das concentrações foram de 1,60, 1,95 e 1,20  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>, respectivamente para CN, CM e CF, não apresentando valores máximos superiores a PEL nos sedimentos de fundo amostrados.

As menores concentrações de Cd determinadas nos perfis de sedimentos amostrados das estações JN, JM JF, CM e CF se apresentaram superiores ao valorguia TEL, com valores de 1,19 (15-18 cm), 1,52 (54-57 cm), 0,86 (27-30 cm), 0,75 (54-57 cm) e 0,63  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (6-9 cm). Já a concentração mínima para o Cr, na estação de amostragem CF, se mostrou inferior ao TEL, com valor de 0,43  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> em sedimentos de 57-60cm de profundidade.

## 5.6.2. Fundo geoquímico natural: globais e regionais

Os valores de referência utilizados como fundo geoquímico natural regional (FGNR) na avaliação dos fatores de enriquecimento dos elementos e classes de poluição, em amostras de sedimentos de fundo em perfis de profundidade ao longo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari podem ser observados na Tabela 35, juntamente com os valores de referência globais comumente utilizados: as concentrações médias dos folhelhos (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961), dos sedimentos fluviais (MARTIN; MEYBECK, 1979) e da crosta terrestre (MCLENNAN, 1995).

Os valores de referências regionais para os elementos potencialmente tóxicos dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari foram obtidos a partir da média dos últimos 6 cm do perfil de profundidade dos sedimentos coletados das estações de amostragem do rio Jundiaí (JN, JM e JF) e do rio Capivari (CN, CM e CF), sendo normalizados quando necessários, preservando, assim, as características do material litógico formadores desses sedimentos.

						/			
Valores	Valores de Referência		Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sc
					μ	g.g <sup>-1</sup>			
	Folhelho <sup>a</sup>	45,0	19,0	0,3	68,0	95,0	20,0	90,0	13,0
Global	Sed. Fluviais <sup>b</sup>	40,0	16,0	0,1	40,0	65,0	17,0	74,0	14,0
	Crosta Terrestre <sup>c</sup>	25,0	10,0	0,1	20,0	71,0	20,0	35,0	11,0
Deviewel	Rio Jundiaí	11,0*	11,5	1,4	24,3	118,7	29,9	58,0	9,2
Regional	Rio Capivari	14,7	14,4	1,7	31,1	96,4	29,8	74,6	9,2

Tabela 35 - Concentrações (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos dos fundos geoquímicos globais (folhelhos, sedimentos fluviais e crosta terrestre) e regionais (bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari)

<sup>a</sup>Turekian & Wedepohl, 1961; <sup>b</sup>Martin & Meybeck, 1979 e <sup>c</sup>Taylor & McLennan, 1985. \*valor normalizado.

O resultado da concentraçção de Cu, provenientes dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem JM, foi normalizado para compor a média da bacia de drenagem do rio Jundiaí, utilizando como referência valores de concentração do Cu encontrado no perfil de solo analisado do presente estudo e considerando valores de fundo geoquímico natural encontrados na literatura de locais próximos à região estudada. A concentração desse elemento na média dos últimos 6 cm de profundidade foi de  $65,8\pm5,34$  µg.g<sup>-1</sup>, valor consideravelmente alto em relação aos valores de Cu determinados nos sedimentos mais profundos amostrados nas demais estações de amostragem da referida bacia de drenagem (JN – 15,3 µg.g<sup>-1</sup> e JF – 7,6 µg.g<sup>-1</sup>). Já a concentração média desse elemento no perfil amostrado de solo próximo a estação JM foi de 10,1±3,58 µg.g<sup>-1</sup>, valor próximo ao encontrado na menor concentração do perfil amostrado (10,2 µg.g<sup>-1</sup>); e próximo ao do fundo geoquímico natural regional (FGNR) encontrado por Moraes (2011) para a bacia de drenagem do Alto Rio Tietê (14,0 µg.g<sup>-1</sup>). Foi possível verificar que as concentrações do elemento Cu definidas para o FGNR nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari apresentaram valores inferiores àqueles sugeridos na literatura (referências globais), com valores de 11,0 e 14,7 μg.g<sup>-1</sup>, respectivamente. O mesmo foi observado para o Sc, com valor de 9,2 μg.g<sup>-1</sup>, para ambas as bacias estudadas.

Para Zn e Pb as concentrações de FGNR foram superiores aos valores globais em ambas as bacias estudadas, com valores de 118,7 e 96,4  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> para Zn, nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, respectivamente. Já as concentrações de Pb determinadas para o FGNR em ambas as bacias foram semelhantes, 29,9  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (Jundiaí) e 29,8  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> (Capivari), similares àquelas encontradas por Favaro (2004) na bacia do rio Piracicaba (SP), com valor de 30,0  $\mu$ g.g<sup>-1</sup>.

O Cd apresentou concentrações regionais maiores que os valores de referências globais para as bacias dos rios Jundiaí e Capivari, com valores de 1,4 e  $1,7 \ \mu g.g^{-1}$ , respectivamente. Valor elevado de Cd também foi verificado por Moraes (2011) na determinação do fundo geoquímico natural regional para bacia do alto rio Tietê (SP), com valor de 2,0  $\mu g.g^{-1}$ .

As concentrações de Co, Ni e Cr para o FGNR, em ambas as bacias estudadas, apresentaram valores de referências globais de 11,5, 24,3 e 58,0 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, para o rio Jundiaí e de 14,4 31,1 e 74,6 µg.g<sup>-1</sup>, respectivamente, para o rio Capivari.

#### 5.6.3. Fator de enriquecimento (EF)

A partir da determinação da concentração total dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade amostrados nos rios Jundiaí e Capivari foi possível definir os fatores de enriquecimento e estabelecer as classes de contribuição desse compartimento.

A Figura 39 ilustra o fator de enriquecimento (EF) encontrado para os principais elementos potencialmente tóxicos dos sedimentos de fundo, ao longo dos perfis de profundidade, para as estações de amostragem do rio Jundiaí (JN, JM e JF) utilizando o fundo geoquímico regional natural (FGNR).

Figura 39 - Distribuição do fator de enriquecimento para os principais elementos potencialmente tóxicos, ao longo dos perfis de profundidade, nas estações de amostragem do rio Jundiaí (JN, JM e JF), utilizando o FGNR



Para a estação de amostragem próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN) foi possível verificar para Co, Cd, Zn, Pb e Cr o predomínio da contribuição natural litológica ao longo do perfil de profundidade. A distribuição de EF para Cu, ao longo do perfil amostrado, apresentou classe de poluição moderada em diferentes profundidades; já para Ni, foi observada classe de contribuição antrópica severa (EF > 4) entre as profundidades de 9 a 15 cm.

Baixos valores de EF (EF < 2) para Co e Cr foram observados na estação de amostragem JM ao longo do perfil amostrado, indicando contribuição natural. Os elementos Cd, Ni e Zn apresentaram uma variabilidade homogênea com notável classes de contribuição natural e moderada do EF. Com relação ao Pb e Cu foi possível observar uma heterogeneidade ao longo do perfil amostrado na estação JM, estando os sedimentos comprometidos com a contribuição antrópica, o que aponta classificação máxima severa para Pb (21-24 cm de profundidade) e classificação forte e muito forte para Cu a partir dos 36 cm de profundidade ao longo do perfil amostrado.

Para Zn e Cr na estação de amostragem próxima à foz da bacia de drenagem do rio Jundiaí (JF), considerando os valores de EF determinados, foi possível observar predomínio de contribuição natural litológica. Classe de contribuição moderada foi observada em sedimentos superficiais ao longo do perfil amostrado em JF, para Cu e Ni. Com relação à distribuição de EF para os elementos Co, Cd e Pb foi possível observar predomínio da contribuição natural ao longo do perfil amostrado, no entanto, na profundidade de 24-27 cm a classe de contribuição foi moderada.

Os resultados apresentados de EF para o rio Jundiaí enfatizaram, de uma forma geral, contribuição natural para Co, Cd e Cr, e possíveis contribuições antrópicas para Cu, Ni, Zn e Pb, principalmente na estação intermediária da bacia do rio Jundiaí (JM), localizada na cidade de Itupeva, o que indica provável associação com despejo de efluentes domésticos, sem prévio tratamento, lançado no leito do rio Jundiaí.

A Tabela 36 apresenta a classificação do fator de enriquecimento dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), encontrados no perfil médio em cada estação de amostragem ao longo da bacia do rio Jundiaí (JN, JM e JF), utilizando o fundo geoquímico natural regional (FGNR) e parâmetros globais.

Tabela 36 - Classificação do fator de enriquecimento no perfil médio do sedimento amostrado nas estações de amostragem ao longo da bacia do rio Jundiaí (JN, JM e JF), utilizando o fundo geoquímico natural regional e parâmetros globais

Estações de Amostragem	Valores de Referên	cia	Fator de Enriquecimento (EF) Rio Jundiaí (média do perfil)								
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			Cu	Со	Cd	Ni	ento ( a do pe Zn	Pb	Cr		
	FGNR <sup>a</sup>					_					
IN	Folhelho <sup>b</sup>										
JN	Sedimentos Fluviais <sup>b</sup>										
	Crosta terrestre <sup>b</sup>										
	FGNR <sup>a</sup>					_					
IM	Folhelho <sup>b</sup>										
0 M	Sedimentos Fluviais <sup>b</sup>										
	Crosta terrestre <sup>b</sup>										
	FGNR <sup>a</sup>					_					
JE	Folhelho <sup>b</sup>										
	Sedimentos Fluviais <sup>b</sup>										
	Crosta terrestre <sup>b</sup>										
<sup>a</sup> Critério regiona	l; <sup>b</sup> Critério global										
	Class	ses de	e Conti	ribuiçã	io						
Natural	Moderada		Sev	era	Foi	rte	M	uito for	te		

Pode-se verificar que os fatores de enriquecimento determinados para a média do perfil de sedimento amostrado na estação JN, a partir do FGNR, apresentaram classe de contribuição natural litológica para os principais elementos potencialmente tóxicos estudados. Quando utilizados os critérios globais, os valores de EF para Cd, Ni, Pb e Cr se mostraram superestimados em relação ao FGNR, apresentando classe de contribuição moderada para Ni, Pb e Cr, e forte e muito forte para Cd.

Os valores determinados de EF na estação de amostragem JM, para Co, Cd, Ni, Pb e Cr, utilizando o FGNR, foram similares, e enquadrados na classe de contribuição natural. Contudo, os elementos Cu e Zn, se mostraram preocupantes, apresentando classe de contribuição antrópica severa e moderada, respectivamente. Foi possível observar também que Cd, Zn, Pb e Cr apresentaram resultados superestimados em relação ao FGNR, quando utilizado ao menos um dos parâmetros de referência global empregado. O oposto foi observado para o Cu, que, utilizando referências globais, apresentou valor de EF menor que o resultado obtido empregando o FGNR. Na estação de amostragem JF os valores de EF determinados, fazendo uso do FGNR como *background*, apresentaram classe de contribuição natural litológica para todos os elementos potencialmente tóxicos estudados, o mesmo foi observado na estação JN. Os elementos Cu, Co e Ni apresentaram valores de EF compatíveis com a classe de contribuição natural fazendo uso dos critérios globais. No entanto, os valores de EF para Cd, Zn, Pb e Cr utilizando critérios globais se mostraram superestimados em relação ao FGNR, em alguns casos, apresentando classe de contribuição moderada para Zn, Pb e Cr, e muito forte para Cd.

Os elementos Cu e Zn receberam maior ênfase na bacia do rio Jundiaí, principalmente na estação JM, por apresentarem resultados de EF entre 2 a 6 utilizando o FGNR. Segundo Boller (1997), cerca de 50 a 80% de Cu, Zn e Pb em estudos de fluxo de massa em esgotos domésticos são provenientes do escoamento superficial urbano, o que justificaria os elevados índices de EF para Cu e Zn na estação de amostragem JM, uma vez que, tal estação de amostragem se encontra inserida dentro da cidade de Itupeva (SP). Nota-se também que próximo ao local de amostragem há diversas tubulações de lançamento de efluentes da cidade no leito do rio Jundiaí.

Em estudo realizado por Moraes (2011) no rio Tietê, os resultados de EF encontrados para a estação de amostragem Pirapora, após a região metropolitana da grande São Paulo, utilizando o FGNR, apresentaram possíveis contribuições antrópicas de Zn e Cu, variando entre as classes moderada e severa, associadas principalmente aos esgotos domésticos.

A Figura 40 ilustra o fator de enriquecimento (EF) encontrado para os principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) estudados nos sedimentos de fundo, ao longo dos perfis de profundidade, para as estações de amostragem do rio Capivari (CN, CM e CF) utilizando o fundo geoquímico regional natural (FGNR).

Figura 40 - Distribuição do fator de enriquecimento para os principais elementos potencialmente tóxicos, ao longo dos perfis de profundidade, nas estações de amostragem do rio Capivari (CN, CM e CF), utilizando o FGNR



Na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN) foi possível verificar, para os elementos potencialmente tóxicos estudados, a predominância do EF em classe de contribuição natural litológica ao longo do perfil de profundidade, utilizando o FGNR.

Os valores de EF para Co e Cr no perfil de sedimento de fundo da estação de amostragem CM apresentaram distribuição homogênea em profundidade, havendo predomínio da classe de contribuição natural litológica. Os elementos Cu, Cd, Ni, Zn e Pb, na estação de amostragem CM, indicaram classe de contribuição natural na maior parte do perfil amostrado, contudo, em sedimentos mais profundos foi verificado classe de contribuição moderada para Cu em 39-42 cm

de profundidade, Cd em 57-60 cm profundidade, Ni em 33-36 e 45-48 cm de profundidade, Zn nos últimos centímetros do perfil amostrado (60-74 cm) e para Pb em 54-56 cm de profundidade.

Com relação à estação de amostragem CF, dentre os elementos potencialmente tóxicos estudados, foi possível observar que somente o Cr indicou classe de contribuição natural o longo do perfil amostrado. Para Cu, Co, Cd, Ni, Zn e Pb, os sedimentos mais profundos apresentaram classe de contribuição natural, no entanto os sedimentos mais superficiais apresentaram valores máximos de EF correspondentes à contribuição moderada para Co, Cd e Zn, severa para Cu, forte para Ni e muito forte para Pb, dentro de um perfil de distribuição bastante heterogêneo.

Os resultados de EF apresentados para o rio Capivari mostraram classe de contribuição natural nas estações de amostragem CN e CM para a maioria dos elementos potencialmente tóxicos estudados. Em relação à estação CF, os valores de EF se mostraram preocupantes para Cu, Co, Cd, Ni, Zn e Pb, principalmente devido ao enriquecimento dos sedimentos superficiais em relação aos mais profundos, podendo tais resultados, estarem associados ao uso do solo da região, majoritariamente ocupado por atividades agrícolas relacionadas ao cultivo da cana-de-açúcar, e à carência de áreas de proteção permanente.

A Tabela 35 apresenta a classificação do fator de enriquecimento, dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) encontrado no perfil médio de cada estação de amostragem ao longo da bacia do rio Capivari (CN, CM e CF), utilizando o fundo geoquímico natural regional (FGNR) e parâmetros globais.

Tabela 37 - Classificação do fator de enriquecimento no perfil médio do sedimento amostrado nas estações de amostragem ao longo da bacia do rio Capivari (CN, CM e CF), utilizando o fundo geoquímico natural regional e parâmetros globais

Estações de Amostragem	Valores de Referência	Fator de Enriquecimento (EF) Rio Capivari (média do perfil)							
gem		Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	
	FGNR <sup>a</sup>								
CN	Folhelho <sup>b</sup>								
CN	Sedimentos Fluviais <sup>b</sup>								
	Crosta terrestre <sup>b</sup>								
	FGNR <sup>a</sup>								
CM	Folhelho <sup>b</sup>								
	Sedimentos Fluviais <sup>b</sup>								
	Crosta terrestre <sup>b</sup>	o <sup>b</sup> Intos Fluviais <sup>b</sup> terrestre <sup>b</sup>							
	FGNR <sup>a</sup>								
CE	Folhelho <sup>b</sup>								
	Sedimentos Fluviais <sup>b</sup>								
	Crosta terrestre <sup>b</sup>								
<sup>a</sup> Critério regiona	al; <sup>b</sup> Critério global								
	Classes	de Cont	ribuição	)					
Natural	Moderada	Sev	era	For	e	M	luito fo	rte	

Os valores de EF encontrados para a estação próxima às nascentes da bacia do rio Capivari (CN), tendo como base o FGNR, mostraram classe de contribuição natural litológica para todos os elementos estudados, sendo a mesma classificação observada para a maioria dos elementos, utilizando os critérios globais, exceto para Cd, que apresentou resultados superestimados utilizando tais referências, e Cr utilizando a média da crosta terrestre.

Os EF estimados para os elementos potencialmente tóxicos estudados na estação de amostragem CM, utilizando como referência o FGNR, se mostraram dentro da variabilidade natural. Os elementos Zn e Pb apresentaram EF de classe de contribuição antrópica moderada, utilizando os critérios globais, sendo o mesmo observado para Co e Cr quando empregando valores de referência global à média da crosta terrestre. O Cd apresentou valor de EF correspondente à classe de contribuição muito forte quando utilizando os critérios globais, mostrando a importância do uso do FGNR na avaliação e determinação das classes de contribuição de EF em sedimentos.

Para a estação de amostragem CF, os valores de EF determinados para Cu, Co, Cd, Ni, Zn e Cr, tendo como base o FGNR, apresentaram classe de contribuição natural litológica, exceto para Pb, que apresentou contribuição de origem antrópica moderada. Utilizando referências globais, Co, Cd, Ni, Pb e Cr apresentaram classes de contribuição que variaram entre moderada e muito forte, enquanto que Cu e Zn apresentaram classe natural de contribuição.

Vale ressaltar que, esses resultados mostraram a importância da utilização do fundo geoquímico natural regional na avaliação de classes de contribuição em sedimentos de fundo fluvial, pois no caso da bacia do rio Capivari foi possível observar resultados superestimados para alguns elementos quando aplicados somente os critérios globais em relação ao FGNR. Sendo que, para Pb os resultados de EF utilizando o FGNR, principalmente nos sedimentos superficiais da estação de amostragem CF, se mostraram preocupantes para o ambiente aquático, merecendo maior atenção e investigação, uma vez que tal elementos está associado ao uso de pesticidas e fertilizantes em áreas agrícolas (ALLOWAY; AYRES, 1997).

Os valores elevados de EF (forte e muito forte) apresentados para Cd nas estações de amostragem do rio Jundiaí e Capivari, utilizando critérios globais, foram decorrentes da alta concentração desse elemento encontrado no FGNR, se mostrando quinze vezes maior em relação aos valores estabelecidos para Cd no sedimento fluvial e crosta terrestre (0,1 µg.g<sup>-1</sup>). Elevada concentração de Cd também foi verificada por Moraes (2011) em caracterização dos sedimentos de fundo geoquímico natural da bacia do alto rio Tietê, próxima à área de estudo, com valor de 2,0 µg.g<sup>-1</sup>.

# 5.6.4. Índice de geoacumulação (I<sub>geo</sub>)

A Figura 41 ilustra os índices de geoacumulação e classes de poluição para os principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cr, Zn, Cd, Ni e Pb) nos sedimentos de fundo, ao longo dos perfis de profundidade, para as estações de amostragem no rio Jundiaí, utilizando o fundo geoquímico natural regional.



5

-10 -20 -30 -40 -50

0 -10 -20 -30 -40 -50 -60

0 -10

-20 -30 -40

3

5

0 -10 -20

-30 -40 -50

0 -10 -20 -30 -40 -50 -60

0 -10 -20 -30 -40 -50

2

Pb

-5

-10 Zn

-29 -39 JN

-50

雪霉霉节 -60 JM

-36 -58 -49 JF

-3

Cr

Legenda

Classes de Poluição

> 2 3 4 5>

Figura 41 - Índices de geoacumulação e classes de poluição, utilizando FGNR, dos principais elementos potencialmente tóxicos estudados, ao longo dos perfis de

Para a estação de amostragem próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN), foi possível verificar que, a maioria dos elementos potencialmente tóxicos estudados, apresentaram baixos valores de I<sub>aeo</sub> (entre 0 e 1), mostrando, de uma maneira geral, ausência de poluição ao longo do perfil de sedimento de fundo amostrado, entretanto, o Cu requer atenção, pois apresentou valores de I<sub>aeo</sub> próximos à classe de poluição moderada. Destaca-se também o Ni, nos sedimentos superficiais (9 à 15 cm de profundidade), apresentando classe de poluição moderada (l<sub>aeo</sub> entre 1 e 2), enquanto que nas demais profundidades nenhuma poluição foi verificada.

Com relação à estação de JM, os valores de I<sub>geo</sub> ao longo do perfil amostrado foi observada ausência de poluição para Co, Cd, Pb e Cr, de acordo com o critério adotado. Contudo, Cu, Ni e Zn apresentaram valores de I<sub>geo</sub> que variaram entre as classes de poluição ao longo do perfil amostrado, sendo possível verificar classe de I<sub>geo</sub> moderado para Ni (42-45 cm) e Zn (33-45 cm), e classe de contribuição moderada-forte para Cu na profundidade de 33-54 cm.

Os resultados de l<sub>geo</sub> apresentados para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade na estação de amostragem próxima à foz do rio Jundiaí (JF), mostraram, de uma forma geral, ausência de poluição para Co, Cd, Zn, Pb e Cr, Todavia, em relação ao Cu e Ni, nas profundidades de 0-12 e 3-6 cm, apresentaram valores de l<sub>geo</sub> dentro da classe de poluição moderada, podendo estar associados às contribuições antrópicas ao longo da bacia, principalmente lançamentos de efluentes domésticos e industriais.

A Tabela 38 apresenta os índices de geoacumulação e classes de poluição dos principais elementos potencialmente tóxicos estudados, na média dos perfis dos sedimentos de fundo, em estações de amostragem da bacia do rio Jundiaí, utilizando critérios de fundo geoquímico natural regional e global (folhelhos, sedimentos fluviais e crosta) (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961, MARTIN; MEYBECK, 1979, MCLENNAN, 1995).

Tabela 38 - Índices de geoacumulação e classes de poluição dos principais elementos potencialmente tóxicos estudados, na média dos perfis dos sedimentos de fundo, em estações de amostragem da bacia do rio Jundiaí (JN, JM e JF), utilizando critérios de FGNR e referências globais

Estações de Amostragem	Valo	res de Referência	Índice de Geoacumulação (I <sub>geo</sub> ) Rio Jundiaí (média do perfil)										
/			Cu	Со	Cd	Ni	ação (I do per Zn	Pb	Cr				
	FGNF	a											
JN	Folhel	ho <sup>b</sup>											
	Sedim	ientos Fluviais <sup>6</sup>											
	Crosta	a terrestre <sup>b</sup>											
	FGNF	a											
JM	Folhel	ho <sup>b</sup>											
	Sedim	ientos Fluviais <sup>b</sup>											
	Crosta	a terrestre <sup>b</sup>	de Referência Rio Jundiaí (média do perfil)   Cu Co Cd Ni Zn Pb   Des Fluviais <sup>b</sup> Fluviais <sup></sup>										
	FGNF	a											
IE	Folhel	ho <sup>b</sup>											
01	Valores de Referência Cu   JN FGNRª Cu   Folhelho <sup>b</sup> Sedimentos Fluviais <sup>b</sup> Fol   Crosta terrestre <sup>b</sup> FONRª FONRª   JM FOIhelho <sup>b</sup> FONRª   FOIhelho <sup>b</sup> Sedimentos Fluviais <sup>b</sup> FONRª   JM FOIhelho <sup>b</sup> FONRª   FONRª FONRª FONRª   JF FGNRª FONRª   FONRª FONRª FONRª   JF FONRª FONRª   FONRª FONRª FONRª   JF FONBA FONA   JF FONBA FONA   JF FONRª FONA   JF FONBA FONA   JF FONA FONA   JF FONA FONA   JF FONA												
	Crosta	a terrestre <sup>b</sup>	A Rio Jundiaí (média do perfil)   Cu Co Cd Ni Zn Pb   Cu Cu Cu Cu Cu Cu Cu   Cu <										
<sup>a</sup> Critério regiona	al; <sup>b</sup> Crit	ério global											
		Classes	de Po	luição									
Ausente	;	Ausente-moderad	0	Moderado			Moderado-forte						
Forte		Forte-muito forte		Muito	forte								

Foi possível observar na estação JN que os valores médios de l<sub>geo</sub> no perfil amostrado para Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr, utilizando o FGNR, apresentaram ausência de classe de poluição. Já o Cu apresentou média referente à classe de poluição ausente-moderado. No entanto, ao utilizar referências globais, o Cd apresentou resultados de l<sub>geo</sub> que variaram entre as classes de poluição moderada e forte; para os demais elementos, utilizando referências globais, constatou-se classe de poluição ausente e ausente-moderada.

Com relação aos valores de I<sub>geo</sub> determinados na média do perfil amostrado da estação JM, para Co, Ni, Pb e Cr, utilizando os critérios de FGNR, se mostraram inseridos na classe ausente de poluição, já Cd e Zn destacaram-se por apresentarem valores de I<sub>geo</sub> na classe ausente-moderada, enquanto que o Cu, apresentou classe de poluição moderada. Fazendo uso de referências globais, o Cd apresentou valores elevados de I<sub>geo</sub> na média do perfil amostrado em JM, obtendo

classificação moderada-forte (folhelho) e forte (sedimentos fluviais e crosta terrestre); os demais elementos potencialmente tóxicos estudados, utilizando tais referências, mostraram valores de I<sub>geo</sub> que variaram entre ausente e ausente-moderado, destacando-se o Zn, que, ao fazer uso dos sedimentos fluviais, apresentou classe moderada de poluição.

Os valores de l<sub>geo</sub> determinados para a média do perfil de sedimento na estação de amostragem JF apresentaram classificações semelhantes aos determinados na estação JN para os elementos estudados, indicando ausência de poluição para Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr e classe ausente-moderada para Cu utilizando o FGNR. Fazendo uso de referências globais, a média de l<sub>geo</sub> no perfil estudado para Cd, apresentou resultados de classes de poluição moderada (folhelho) e forte (sedimentos fluviais e crosta terrestre). Para os demais elementos potencialmente tóxicos estudados foi possível observar, utilizando tais referências globais, classe ausente de poluição e ausente-moderada.

De uma forma geral, os índices de classe de poluição do I<sub>geo</sub> determinados para Cu, Co, Ni, Zn, Pb e Cr, nas estações de amostragem JN e JF, utilizando critérios globais e o FGNR, apresentaram classes de poluição ausente e ausente-moderado. Já na estação JM, o mesmo foi observado para a maioria dos elementos potencialmente tóxicos estudados, no entanto, o Cu se mostrou preocupante, pois se valendo do FGNR, apresentou classe de contribuição moderada de poluição. No caso do Cd foi verificado que em todas as estações de amostragem da bacia estudada os índices de geoacumulação, utilizando critérios globais, se mostraram superestimados em relação àqueles calculados de acordo com o FGNR.

A Figura 42 ilustra os índices de geoacumulação e classes de poluição para os principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cr, Zn, Cd, Ni e Pb) nos sedimentos de fundo, ao longo dos perfis de profundidade, para as estações de amostragem no rio Capivari, utilizando critérios de fundo geoquímico natural regional.

Figura 42 - Índices de geoacumulação e classes de poluição, utilizando FGNR, dos principais elementos potencialmente tóxicos estudados, ao longo dos perfis de profundidade das estações de amostragem da bacia do rio Capivari (CN, CM e CF)



Utilizando valores de referência do FGNR, foi possível observar para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade das estações de amostragem do rio Capivari (CN, CM e CF) que os valores de I<sub>geo</sub> determinados apresentaram classe ausente ou ausente-moderada de poluição, distribuídos ao longo do perfil, para todos os elementos estudados (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr). Entretanto, o Ni requer atenção, sendo possível notar valores de I<sub>geo</sub> próximo à faixa da classe moderada de poluição em diversas profundidades dos perfis amostrados nesta bacia.

A Tabela 39 apresenta os índices de geoacumulação e classes de poluição dos principais elementos potencialmente tóxicos estudados, na média dos perfis dos sedimentos de fundo, em estações de amostragem da bacia do rio Jundiaí,

utilizando critérios de fundo geoquímico natural regional e global (folhelhos, sedimentos fluviais e crosta) (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961, MARTIN; MEYBECK, 1979, MCLENNAN, 1995).

Tabela 39 - Índices de geoacumulação e classes de poluição dos principais elementos potencialmente tóxicos estudados, na média dos perfis dos sedimentos de fundo, em estações de amostragem da bacia do rio Capivari (CN, CM e CF), utilizando critérios de FGNR e referências globais

Estações de Amostragem	Valo	res de Referência	Índice de Geoacumulação (I <sub>geo</sub> ) Rio Capivari (média do perfil)									
g			Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr			
	FGNF	a										
CN	Folhel	ho <sup>b</sup>										
	Sedim	ientos Fluviais <sup>b</sup>										
	Crosta	a terrestre <sup>b</sup>										
	FGNF	a										
СМ	Folhel	ho <sup>b</sup>										
	Sedim	ientos Fluviais <sup>b</sup>										
	Crosta	a terrestre <sup>b</sup>					Iação a do p Zn Moder					
	FGNF	a										
CE	Folhel	ho <sup>b</sup>										
	Sedim	ientos Fluviais <sup>b</sup>										
	Crosta	a terrestre <sup>b</sup>					iulação (I <sub>geo</sub> ) dia do perfil) Zn Pb					
<sup>a</sup> Critério regiona	al; <sup>b</sup> Crite	ério global										
Classes de Poluição												
Ausente		Ausente-moderado	C	Mode	rado		Moder	ado-for	te			
Forte		Forte-muito forte		Muito	forte							

Fazendo uso de referências globais e FGNR, os índices de classe de poluição do I<sub>geo</sub> determinados na média do perfil dos sedimentos de fundo das estações de amostragem CN, CM e CF, para Cu, Co, Ni, Zn, Pb e Cr foram classificados como ausente de poluição ou ausente-moderado. Para o Cd, na média dos perfis das estações de amostragem estudadas, valores elevados de I<sub>geo</sub> foram observados utilizando critérios de referências globais, apresentando classes de poluição que variaram entre moderada e forte, sendo que, fazendo uso do FGNR, valores médios dos perfis de I<sub>geo</sub> para Cd se mostraram ausentes de poluição.

Em ambas as bacias estudadas, de uma forma similar ao observado para o Cd, aplicando o critério fator de enriquecimento (EF), os índices de geoacumulação calculados a partir dos critérios globais (crosta, folhelhos e sedimentos fluviais) se mostraram superestimados em relação àqueles calculados utilizando o fundo geoquímico natural regional, em razão das elevadas concentrações desse elemento no FGNR quando comparadas aos valores de referências globais adotados.

# 5.7. Critérios de toxicidade de elementos potencialmente tóxicos em função da biodisponibilidade

# 5.7.1. Sulfetos volatilizáveis por ataque ácido (AVS) e extração simultânea de metais (SEM) dos sedimentos fluviais de fundo

Para a construção da curva analítica foram utilizados diferentes valores de padrões de sulfeto (Na<sub>2</sub>S), e após 30 minutos de reação, foi possível verificar a variação da condutividade elétrica em condutivímetro, previamente calibrado, conforme metodologia analítica já citada.

A Figura 43 apresenta a curva padrão obtida após análise em triplicata dos padrões de sulfeto para a determinação de AVS nos sedimentos de fundo amostrados nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari.



Figura 43 - Curva analítica de padrões de enxofre (S) utilizando sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S) como reagente e variação da condutividade elétrica, realizada em triplicata

Após a determinação das concentrações de sulfetos volatilizados por ataque ácido a frio (AVS) e a soma de elementos extraídos simultaneamente (SEM) em laboratório, foi possível estimar a biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos utilizando diversos critérios, sendo eles: SEM/AVS>1 (DI TORO et al., 1992), SEM-AVS>1,7 (HANSEN et al. 1996) e (SEM-AVS)/C<sub>org</sub><130 (USEPA, 2000).

### 5.7.1.1. Bacia do rio Jundiaí

A Tabela 40 apresenta os resultados das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), SEM, AVS e dos critérios utilizados referentes à estação de amostragem próxima às nascentes do rio Jundiaí (JN), incluindo as concentrações médias ao longo do perfil e os respectivos desvios-padrão do sedimento de fundo. Contudo, a Figura 44 ilustra os resultados na forma de gráficos e os diferentes critérios adotados para avaliação e discussão do AVS e SEM na estação de amostragem JN.

Tabela 40 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos, SEM, AVS e os critérios utilizados referentes à estação JN da bacia do rio Jundiaí, incluindo as concentrações médias ao longo do perfil do sedimento e os respectivos desvios-padrão

Jundiai Nascente														
Estação de	Profundidade	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	SEM	AVS	С	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C
amostragem	(cm)				ŀ	umol.g <sup>-1</sup>					(%)		µmol.g <sup>-1</sup>	µmol.gC⁻¹
JN	0-3	0,029	0,036	0,002	0,017	0,070	0,025	0,037	0,22	0,22	1,421	0,97	-0,01	-0,40
JN	3-6	0,062	0,052	0,003	0,019	0,164	0,031	0,063	0,39	0,48	2,738	0,83	-0,08	-2,96
JN	6-9	0,039	0,034	0,003	0,001	0,070	0,027	0,041	0,21	0,51	2,425	0,42	-0,30	-12,24
JN	9-12	0,028	0,024	0,003	0,005	0,358	0,026	0,061	0,50	0,39	4,028	1,30	0,12	2,91
JN	12-15	0,039	0,028	0,001	0,003	0,069	0,027	0,033	0,20	0,32	2,502	0,62	-0,12	-4,88
JN	15-18	0,033	0,019	0,001	0,000	0,062	0,023	0,026	0,16	0,29	2,263	0,56	-0,13	-5,72
JN	18-21	0,044	0,042	0,002	0,002	0,079	0,029	0,031	0,23	0,56	2,408	0,41	-0,33	-13,68
JN	21-24	0,026	0,026	0,001	0,000	0,053	0,024	0,028	0,16	0,32	2,001	0,50	-0,16	-7,96
JN	24-27	0,026	0,020	0,001	0,000	0,050	0,022	0,027	0,15	0,35	1,879	0,42	-0,20	-10,68
JN	27-30	0,036	0,017	0,001	0,000	0,041	0,028	0,031	0,16	0,27	1,531	0,57	-0,12	-7,78
JN	30-33	0,039	0,016	0,001	0,000	0,045	0,030	0,032	0,16	0,25	1,372	0,65	-0,09	-6,40
JN	33-36	0,037	0,022	0,001	0,000	0,046	0,028	0,031	0,17	0,38	1,276	0,43	-0,22	-16,98
JN	36-39	0,054	0,015	0,002	0,000	0,059	0,041	0,028	0,20	0,23	1,531	0,88	-0,03	-1,78
JN	39-42	0,041	0,009	0,001	0,000	0,026	0,031	0,019	0,13	0,22	1,505	0,58	-0,09	-6,19
	Média	0,038	0,026	0,002	0,003	0,085	0,028	0,035	0,22	0,34	2,06	0,65	-0,13	-6,77
	SD	0,010	0,012	0,001	0,006	0,085	0,005	0,013	0,11	0,11	0,75	0,26	0,12	5,40

Figura 44 - Relação AVS e SEM, determinados para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem JN, utilizando os critérios de avaliação propostos



Na estação de amostragem JN, entre os elementos potencialmente tóxicos analisados, o metal Zn foi o que mais contribuiu para a SEM na média do perfil amostrado, com valor médio de  $0,085\pm0,085 \ \mu mol.g^{-1}$ , seguido por Cu e Cr, com valores médios respectivamente de  $0,038\pm0,010 \ e \ 0,035\pm0,013 \ \mu mol.g^{-1}$ .

A utilização do critério SEM/AVS, para a determinação da biodisponibilidade do perfil amostrado na estação de amostragem JN, mostrou valores inferiores a 1, com valor médio de 0,65±0,26. Na profundidade de 9-12 cm do perfil amostrado, foi verificada biodisponibilidade dos elementos extraídos, com valor de 1,30 para esse critério, resultante do elevado valor de Zn determinado nessa profundidade (0,358 μmol.g<sup>-1</sup>).

A utilização do critério SEM-AVS configurou, ao longo do perfil de sedimento de fundo amostrado, uma concentração média de -0,13±0,12 μmol.g<sup>-1</sup>, inferior ao índice limite de 1,7, demonstrando uma não biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos de fundo para a estação JN. O mesmo foi observado para o critério (SEM-AVS)/C<sub>org</sub>, que apresentou concentração média de -6,77±5,40 μmol.gC<sup>-1</sup>, menor que 130 μmol.gC<sup>-1</sup>.
Estudo realizado por Fagnani (2009) em sedimentos de fundo do rio Jundiaí apresentou concentrações médias de SEM e AVS de 0,38±0,20 µmol.g<sup>-1</sup> e 0,32±0,36 µmol.g<sup>-1</sup>, respectivamente, próxima às nascentes do rio Jundiaí. Os resultados determinados no presente estudo foram de 0,22±0,11 µmol.g<sup>-1</sup> para SEM e 0,34±0,11 µmol.g<sup>-1</sup> para AVS, sendo que, a diferença nos resultados entre os dois estudos podem ser justificada devido à divergência na localização das estações de amostragem próxima às nascentes do rio Jundiaí, uma vez que Fagnani amostrou sedimentos de fundo dentro da área urbana do município de Campo Limpo Paulista (SP), e a estação de amostragem JN do presente estudo situou-se antes do início da zona urbana do município.

A Tabela 41 apresenta os resultados das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), SEM, AVS e dos critérios utilizados referentes à estação de amostragem intermediária do rio Jundiaí (JM), incluindo as concentrações médias ao longo do perfil de sedimento e os respectivos desvios-padrão. Contudo, a Figura 45 ilustra os resultados na forma de gráficos dos diferentes critérios propostos e adotados para avaliação e discussão do AVS e SEM na estação de amostragem JM.

Tabela 41 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos, SEM, AVS e os critérios utilizados referentes à estação JM da bacia do rio Jundiaí, incluindo as concentrações médias ao longo do perfil do sedimento e os respectivos desvios-padrão

Estação de	Profundidade	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	SEM	AVS	С	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C
amostragem	(cm)	μmol.g <sup>-1</sup>									(%)		µmol.g <sup>-1</sup>	µmol.gC⁻¹
JM	0-3	0,134	0,024	0,004	0,017	0,582	0,041	0,075	0,88	1,36	1,669	0,64	-0,48	-29,04
JM	3-6	0,100	0,021	0,003	0,019	0,574	0,042	0,077	0,84	7,44	1,896	0,11	-6,61	-348,41
JM	6-9	0,067	0,016	0,004	0,012	0,473	0,039	0,083	0,69	14,63	1,617	0,05	-13,93	-861,76
JM	9-12	0,049	0,023	0,004	0,029	0,697	0,042	0,100	0,94	17,80	1,909	0,05	-16,85	-882,88
JM	12-15	0,015	0,017	0,004	0,014	0,549	0,038	0,083	0,72	27,50	1,229	0,03	-26,78	-2179,25
JM	15-18	0,046	0,011	0,003	0,009	0,393	0,023	0,043	0,53	2,28	1,119	0,23	-1,75	-156,22
JM	18-21	0,033	0,008	0,003	0,006	0,304	0,027	0,042	0,42	9,10	1,113	0,05	-8,68	-779,78
JM	21-24	0,027	0,004	0,002	0,004	0,191	0,014	0,019	0,26	0,72	0,494	0,36	-0,46	-93,39
JM	24-27	0,029	0,008	0,002	0,003	0,273	0,021	0,032	0,37	2,18	0,919	0,17	-1,81	-197,25
JM	27-30	0,070	0,037	0,005	0,016	0,821	0,067	0,099	1,11	21,47	1,888	0,05	-20,36	-1078,13
JM	30-33	0,357	0,042	0,008	0,024	1,788	0,139	0,159	2,52	16,47	2,947	0,15	-13,95	-473,49
JM	33-36	0,434	0,040	0,010	0,025	2,345	0,165	0,216	3,24	34,82	3,053	0,09	-31,58	-1034,54
JM	36-39	0,541	0,044	0,012	0,038	3,085	0,194	0,244	4,16	27,19	4,730	0,15	-23,03	-486,98
JM	39-42	0,099	0,043	0,013	0,039	3,061	0,190	0,288	3,73	50,19	5,617	0,07	-46,46	-827,12
JM	42-45	0,137	0,036	0,012	0,014	2,114	0,136	0,216	2,67	69,97	5,429	0,04	-67,31	-1239,77
JM	45-48	0,158	0,042	0,009	0,002	0,996	0,103	0,116	1,43	11,00	3,840	0,13	-9,57	-249,18
JM	48-51	0,781	0,042	0,006	0,007	0,745	0,067	0,104	1,75	3,47	1,698	0,50	-1,72	-101,32
JM	51-54	0,228	0,013	0,002	0,006	0,372	0,033	0,048	0,70	1,37	1,504	0,51	-0,66	-44,13
JM	54-57	0,253	0,021	0,003	0,006	0,538	0,045	0,070	0,94	1,81	1,632	0,52	-0,87	-53,46
	Média	0,187	0,026	0,006	0,015	1,047	0,075	0,111	1,47	16,88	2,33	0,21	-15,41	-585,06
	SD	0,206	0,014	0,004	0,011	0,940	0,060	0,077	1,20	18,65	1,53	0,20	17,84	555,89

Figura 45. Relação AVS e SEM, determinada para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem JM, utilizando os critérios de avaliação propostos.



Na estação JM, localizada no município de Itupeva (SP), estação intermediária na bacia de drenagem do rio Jundiaí, entre os elementos potencialmente tóxicos analisados, o Zn, Cu e Cr contribuíram em mais de 90% para a SEM na média do perfil amostrado, com valores respectivamente de 1,047±0,094,  $0,187\pm0,206 \text{ e } 0,111\pm0,077 \mu \text{mol.g}^{-1}$ .

Foi possível observar, para o sedimento de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem JM, que os valores determinados para AVS e SEM aplicados nos três critérios propostos no presente estudo, apresentaram a não biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos ao longo do perfil amostrado. Tal ocorrência se mostrou influenciada pelas baixas concentrações de metais extraídos e altas concentrações de sulfetos.

O valor médio encontrado ao longo do perfil para os critérios SEM/AVS e SEM-AVS foram, respectivamente, de  $0,21\pm0,20$  e  $-15,41\pm17,84$  µmol.g<sup>-1</sup>, apresentando excesso de sulfetos na maior parte do perfil amostrado, auxiliando, assim, na complexação de metais. Para o critério que utiliza o carbono orgânico como agente normalizador, o resultado médio obtido no perfil foi de  $-558\pm555,89$  µmol.gC<sup>-1</sup>.

As elevadas concentrações de AVS determinadas na estação de amostragem JM podem estar associadas ao enxofre proveniente de efluentes domésticos, pois possuem alto teor de surfactantes (detergentes), contribuindo, desta maneira, para a complexação dos elementos potencialmente tóxicos e a formação de sulfetos metálicos insolúveis nos sedimentos de fundo.

Na Figura 46 pode-se observar que a estação JM sofre forte impacto de lançamento de efluentes urbanos, provenientes principalmente da cidade de Itupeva (SP). Valores elevados de AVS foram observados também no rio Tietê (SP), na estação de amostragem Pirapora, próxima à represa de Rasgão, após contribuição antrópica da região metropolitana de São Paulo (MORAES, 2011).

Figura 46 - Detalhe de dois pontos de lançamento de efluentes não tratados, provenientes do município de Itupeva, no rio Jundiaí, próximo à estação de amostragem JM



Os resultados das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), SEM, AVS e dos critérios utilizados, referentes à estação de amostragem próxima à foz do rio Jundiaí (JF), incluindo as concentrações médias ao longo do perfil de sedimentos e os respectivos desvios-padrão, podem ser observados na Tabela 42. Contudo, a Figura 47 ilustra os resultados na forma de gráficos dos diferentes critérios propostos e adotados para avaliação e discussão do AVS e SEM na estação de amostragem JF.

						Jun	diaí Foz	2						
Estação de	Profundidade	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	SEM	AVS	С	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C
amostragem	(cm)	μmol.g <sup>-1</sup>									(%)		µmol.g <sup>-1</sup>	µmol.gC⁻¹
JF	0-3	0,102	0,018	0,004	0,036	0,635	0,028	0,069	0,89	0,91	1,980	0,98	-0,02	-1,08
JF	3-6	0,123	0,022	0,005	0,048	0,665	0,032	0,092	0,99	1,29	2,228	0,77	-0,30	-13,40
JF	6-9	0,211	0,030	0,007	0,082	1,016	0,042	0,185	1,57	2,11	2,981	0,75	-0,54	-17,98
JF	9-12	0,120	0,021	0,004	0,062	0,740	0,029	0,115	1,09	1,55	1,898	0,71	-0,46	-23,98
JF	12-15	0,063	0,012	0,002	0,032	0,412	0,017	0,044	0,58	0,79	1,247	0,74	-0,21	-16,75
JF	15-18	0,025	0,005	0,001	0,010	0,206	0,010	0,024	0,28	0,38	0,749	0,73	-0,10	-13,93
JF	18-21	0,040	0,009	0,002	0,016	0,264	0,015	0,038	0,38	0,74	0,569	0,52	-0,36	-62,98
JF	21-24	0,093	0,019	0,004	0,046	0,527	0,026	0,072	0,79	1,26	1,112	0,62	-0,48	-42,83
JF	24-27	0,064	0,015	0,003	0,019	0,378	0,021	0,053	0,55	1,06	1,192	0,52	-0,51	-42,98
JF	27-30	0,061	0,016	0,003	0,011	0,383	0,025	0,065	0,56	0,85	0,757	0,66	-0,29	-38,42
JF	30-33	0,132	0,030	0,006	0,034	0,935	0,045	0,128	1,31	1,63	1,054	0,81	-0,32	-29,91
JF	33-36	0,062	0,015	0,003	0,013	0,390	0,024	0,060	0,57	0,85	0,868	0,66	-0,29	-32,88
JF	36-39	0,096	0,026	0,005	0,032	0,962	0,036	0,101	1,26	1,91	1,044	0,66	-0,65	-62,21
JF	39-42	0,037	0,010	0,002	0,009	0,264	0,014	0,038	0,37	0,63	0,690	0,59	-0,26	-37,48
JF	42-45	0,030	0,006	0,002	0,006	0,179	0,012	0,031	0,26	0,31	0,549	0,87	-0,04	-7,40
	Média	0,084	0,017	0,003	0,030	0,531	0,025	0,074	0,76	1,09	1,261	0,705	-0,321	-29,614
	SD	0,049	0,008	0,002	0,022	0,281	0,011	0,044	0,41	0,53	0,703	0,123	0,183	18,571

Tabela 42 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos, SEM, AVS e os critérios utilizados, referentes a estação JF da bacia do rio Jundiaí, incluindo as concentrações médias ao longo do perfil do sedimento e os respectivos desvios-padrão

Figura 47 - Relação AVS e SEM, determinados para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem JF, utilizando os critérios de avaliação propostos



Foi possível observar para a estação de amostragem JF que o elemento Zn contribuiu expressivamente na SEM do perfil amostrado, com valor médio de  $0,531\pm0,281 \ \mu mol.g^{-1}$ , seguido dos elementos Cu e Cr, que apresentaram valores médios de  $0,084\pm0,049 \ e \ 0,074\pm0,044 \ \mu mol.g^{-1}$ .

A utilização do critério SEM/AVS, na estação JF, mostrou valores inferiores a 1, ao longo do perfil de sedimento de fundo analisado, sendo que a média obtida foi de 0,71±0,12, o que configurou a não biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos, havendo sulfetos suficientes para a complexação dos elementos em todo perfil amostrado. O mesmo foi observado quando aplicado os critérios SEM-AVS e (SEM-AVS)/C<sub>org</sub>, os quais apresentaram valores médios de concentração de -0,32±0,18 µmol.g<sup>-1</sup> e -29,61±18,57 µmol.gC<sup>-1</sup>, respectivamente, ambos abaixo do limite proposto na literatura, caracterizando a não biodisponibilidade dos metais extraídos.

As médias das concentrações dos perfis amostrados de SEM e AVS, na foz do rio Jundiaí, determinados por Fagnani (2009), foram de 3,26±0,66 e 8,79±1,39  $\mu$ mol.g<sup>-1</sup>, respectivamente; ambos acima da média das concentrações determinadas no presente estudo, que foram de 0,76±0,41  $\mu$ mol.g<sup>-1</sup> para SEM e 1,09±0,53  $\mu$ mol.g<sup>-1</sup> para AVS.

Possivelmente, a amplitude das concentrações de AVS e SEM nos dois estudos pode ser explicada devido à diferença da localidade das estações de amostragem, uma vez que, no presente estudo, a estação de amostragem JF no rio Jundiaí, se localizou antes da influência urbana do município de Salto (SP), já Fagnani amostrou os perfis de sedimentos em área urbana da cidade de Salto (SP), e próximo ao local onde ocorre o deságue do rio Jundiaí no corpo hídrico do rio Tietê, zona de possível influência e mistura de águas e sedimentos entre os rios.

#### 5.7.1.2. Bacia do rio Capivari

Os resultados das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), SEM, AVS e dos critérios utilizados referentes à estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN), incluindo as concentrações médias ao longo do perfil e os respectivos desvios-padrão de sedimento de fundo, estão apresentados na Tabela 43. Contudo, a Figura 48 ilustra

os resultados na forma de gráficos dos diferentes critérios propostos e adotados para avaliação e discussão do AVS e SEM na estação de amostragem CN.

Tabela 43 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos, SEM, AVS e os critérios utilizados referentes à estação CN da bacia do rio Capivari, incluindo as concentrações médias ao longo do perfil do sedimento e os respectivos desvios-padrão

Capivari Nascente														
Estação de	Profundidade	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	SEM	AVS	С	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C
amostragem	(cm)				μ	mol.g <sup>-1</sup>					(%)		µmol.g⁻¹	µmol.gC⁻¹
CN	0-3	0,071	0,050	0,012	0,001	0,132	0,049	0,142	0,46	0,70	1,859	0,66	-0,24	-12,92
CN	3-6	0,070	0,054	0,017	0,001	0,120	0,041	0,118	0,42	0,49	2,448	0,87	-0,06	-2,61
CN	6-9	0,046	0,032	0,008	0,000	0,067	0,025	0,073	0,25	0,33	2,293	0,77	-0,08	-3,31
CN	9-12	0,047	0,025	0,008	0,008	0,077	0,026	0,048	0,24	0,27	2,523	0,88	-0,03	-1,31
CN	12-15	0,053	0,036	0,009	0,003	0,077	0,025	0,057	0,26	0,26	2,737	0,99	0,00	-0,10
CN	15-18	0,049	0,029	0,009	0,001	0,069	0,025	0,073	0,26	0,26	2,403	0,97	-0,01	-0,32
CN	18-21	0,046	0,020	0,007	0,001	0,056	0,026	0,079	0,23	0,20	1,977	1,16	0,03	1,67
CN	21-24	0,034	0,011	0,005	0,000	0,026	0,023	0,084	0,18	0,20	1,386	0,94	-0,01	-0,88
CN	24-27	0,029	0,008	0,003	0,001	0,031	0,022	0,079	0,17	0,25	1,348	0,71	-0,07	-5,33
CN	27-30	0,027	0,009	0,003	0,000	0,037	0,021	0,071	0,17	0,21	1,343	0,79	-0,04	-3,34
CN	30-33	0,021	0,006	0,002	0,000	0,027	0,016	0,047	0,12	0,20	1,543	0,59	-0,08	-5,34
CN	33-36	0,020	0,008	0,003	0,000	0,022	0,017	0,061	0,13	0,24	1,155	0,55	-0,11	-9,38
CN	36-39	0,028	0,005	0,001	0,000	0,018	0,017	0,066	0,13	0,19	1,068	0,71	-0,05	-5,09
CN	39-42	0,031	0,008	0,003	0,001	0,034	0,018	0,050	0,14	0,20	1,516	0,72	-0,06	-3,66
CN	42-45	0,041	0,010	0,003	0,000	0,054	0,021	0,043	0,17	0,22	2,387	0,78	-0,05	-2,08
CN	45-48	0,069	0,015	0,003	0,000	0,142	0,031	0,043	0,30	0,36	3,165	0,85	-0,05	-1,73
CN	48-51	0,048	0,010	0,002	0,000	0,108	0,022	0,027	0,22	0,33	2,945	0,66	-0,11	-3,75
CN	51-54	0,075	0,018	0,003	0,000	0,165	0,035	0,046	0,34	0,33	3,095	1,03	0,01	0,29
CN	54-57	0,064	0,033	0,005	0,000	0,169	0,045	0,082	0,40	0,62	3,455	0,64	-0,22	-6,51
CN	57-60	0,063	0,015	0,003	0,001	0,112	0,031	0,039	0,26	0,29	2,725	0,91	-0,03	-0,96
CN	60-63	0,064	0,014	0,003	0,001	0,135	0,037	0,049	0,30	0,37	3,207	0,81	-0,07	-2,18
CN	63-66	0,068	0,012	0,003	0,000	0,132	0,033	0,038	0,29	0,39	3,312	0,72	-0,11	-3,28
CN	66-69	0,067	0,026	0,004	0,000	0,130	0,039	0,073	0,34	0,43	3,209	0,79	-0,09	-2,89
CN	69-72	0,087	0,029	0,005	0,000	0,141	0,043	0,065	0,37	0,51	3,724	0,72	-0,14	-3,84
CN	72-75	0,050	0,013	0,003	0,000	0,074	0,025	0,042	0,21	0,34	3,129	0,61	-0,13	-4,22
CN	75-78	0,062	0,020	0,004	0,000	0,122	0,029	0,046	0,28	0,47	3,589	0,61	-0,18	-5,12
	Média	0,051	0,020	0,005	0,001	0,088	0,028	0,063	0,26	0,33	2,44	0,79	-0,08	-3,39
	SD	0,018	0,013	0,004	0,002	0,048	0,009	0,025	0,09	0,13	0,83	0,15	0,07	3,06

Figura 48 - Relação AVS e SEM, determinados para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem CN, utilizando os critérios de avaliação propostos



Na estação de amostragem CN, os elementos Zn, Cr e Cu contribuíram com aproximadamente 70% na SEM do perfil amostrado, com valores médios, respectivamente, de  $0,088\pm0,048, 0,063\pm0,025$  e  $0,051\pm0,018$  µmol.g<sup>-1</sup>.

Foi possível observar que os valores obtidos utilizando o critério SEM/AVS se mostraram menores que 1, em praticamente todo perfil amostrado, exceto nas profundidades de 18-21 e 51-54 cm, que apresentaram valores de 1,16 e 1,03, respectivamente. Contudo, a média do perfil amostrado para esse critério foi de 0,79±0,15, o que configurou um não potencial de biodisponibilidade de metais nesse local.

A utilização dos critérios SEM-AVS e (SEM-AVS)/C<sub>org</sub> configurou, ao longo do perfil amostrado, concentrações médias de -0,08±0,07 μmol.g<sup>-1</sup> e -3,39±3,06 μmol.gC<sup>-1</sup>, respectivamente; inferiores aos índices limites propostos na literatura, demonstrando não biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos nesse ambiente.

Os resultados das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), SEM, AVS e dos critérios utilizados referentes à estação de amostragem intermediária (CM) na bacia do rio Capivari, localizado próximo ao município de Monte Mor, incluindo as concentrações médias ao longo do

perfil e os respectivos desvios-padrão de sedimento de fundo, estão apresentados na Tabela 44.

Para melhor discussão dos resultados de AVS e SEM determinados para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade na estação de amostragem CM, a Figura 49 ilustra os resultados dos critérios propostos na forma de gráficos.

Tabela 44 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos, SEM, AVS e os critérios utilizados referentes à estação CM da bacia do rio Capivari, incluindo as concentrações médias ao longo do perfil do sedimento e os respectivos desvios-padrão

Capivari Meio														
Estação de	Profundidade	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	SEM	AVS	С	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C
amostragem	(cm)	µmol.g⁻¹									(%)		µmol.g⁻¹	µmol.gC⁻¹
СМ	0-3	0,152	0,042	0,004	0,016	0,679	0,036	0,103	1,03	0,66	1,575	1,57	0,37	23,68
CM	3-6	0,097	0,029	0,003	0,010	0,433	0,022	0,067	0,66	0,21	1,173	3,08	0,45	38,09
CM	6-9	0,136	0,040	0,004	0,015	0,674	0,030	0,088	0,99	0,69	1,578	1,44	0,30	18,96
CM	9-12	0,137	0,042	0,004	0,017	0,748	0,032	0,098	1,08	1,46	1,811	0,74	-0,38	-20,82
CM	12-15	0,191	0,056	0,006	0,023	1,074	0,043	0,140	1,53	1,97	2,188	0,78	-0,43	-19,82
CM	15-18	0,138	0,046	0,004	0,016	0,739	0,029	0,097	1,07	0,28	1,851	3,80	0,79	42,57
CM	18-21	0,116	0,035	0,004	0,020	0,578	0,024	0,090	0,87	0,23	1,752	3,75	0,64	36,34
CM	21-24	0,106	0,030	0,003	0,028	0,505	0,023	0,067	0,76	0,22	1,424	3,40	0,54	37,76
CM	24-27	0,216	0,057	0,006	0,024	0,919	0,046	0,127	1,39	0,29	1,952	4,83	1,11	56,65
CM	27-30	0,071	0,023	0,002	0,004	0,263	0,016	0,040	0,42	0,22	1,451	1,95	0,20	14,05
CM	30-33	0,162	0,048	0,006	0,009	0,674	0,036	0,089	1,02	0,32	1,584	3,24	0,71	44,74
CM	33-36	0,103	0,028	0,003	0,013	0,436	0,023	0,067	0,67	0,24	1,472	2,75	0,43	29,09
CM	36-39	0,176	0,046	0,005	0,019	0,729	0,036	0,087	1,10	0,27	1,606	4,07	0,83	51,58
CM	39-42	0,123	0,037	0,003	0,018	0,612	0,025	0,056	0,87	0,24	1,788	3,60	0,63	35,32
CM	42-45	0,161	0,046	0,005	0,020	0,892	0,036	0,094	1,25	0,27	1,704	4,69	0,99	57,86
CM	45-48	0,110	0,032	0,004	0,008	0,464	0,027	0,055	0,70	0,23	1,332	3,02	0,47	35,15
CM	48-51	0,083	0,027	0,003	0,010	0,363	0,020	0,055	0,56	0,22	1,394	2,60	0,35	24,76
CM	51-54	0,074	0,025	0,002	0,008	0,349	0,018	0,054	0,53	0,20	1,293	2,63	0,33	25,39
CM	54-57	0,022	0,009	0,001	0,002	0,102	0,006	0,020	0,16	0,20	0,751	0,81	-0,04	-4,93
CM	57-60	0,015	0,005	0,001	0,001	0,131	0,005	0,014	0,17	0,30	0,627	0,57	-0,13	-20,18
CM	60-63	0,115	0,038	0,004	0,013	0,633	0,025	0,072	0,90	0,45	1,514	1,99	0,45	29,50
СМ	63-66	0,055	0,013	0,002	0,005	0,294	0,013	0,035	0,42	0,37	1,366	1,12	0,04	3,18
CM	66-69	0,148	0,036	0,005	0,018	0,871	0,032	0,078	1,19	0,36	1,677	3,35	0,83	49,65
СМ	69-72	0,125	0,038	0,004	0,016	0,733	0,029	0,071	1,02	0,23	1,620	4,46	0,79	48,63
	Média	0,118	0,034	0,004	0,014	0,579	0,026	0,074	0,85	0,42	1,52	2,68	0,43	26,55
	SD	0,049	0,013	0,001	0,007	0,251	0,010	0,030	0,36	0,42	0,34	1,32	0,40	23,76

Figura 49 - Relação AVS e SEM, determinados para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem CM, utilizando os critérios de avaliação propostos



Na estação de amostragem CM na bacia de drenagem do rio Capivari, os elementos Zn e Cu contribuíram com mais de 80% na SEM, com concentração de 0,579  $\pm$  0,251 e 0,118  $\pm$  0,049  $\mu$ mol.g<sup>-1</sup>, respectivamente, na média do perfil amostrado.

Foi possível observar que os valores obtidos, utilizando o critério SEM/AVS, foram maiores que 1 em praticamente todo perfil amostrado, exceto nas profundidades de 9-15 e 54-60 cm. Contudo, a média para esse critério foi de 2,68±1,32, configurando um potencial de biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos nesse local. Isso ocorreu devido aos altos valores na SEM em relação aos valores de AVS, havendo pouca complexação dos elementos devido à baixa concentração de sulfetos nesse ambiente.

Para os critérios SEM-AVS e (SEM-AVS)/ $C_{org}$  ao longo do perfil amostrado no ponto CM, os valores médios foram de 0,43±0,40 µmol.g<sup>-1</sup> e 26,55±23,76 µmol.gC<sup>-1</sup>, respectivamente; inferiores aos índices limites propostos em literatura, demonstrando não biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos nesse ambiente.

Os resultados das concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), SEM, AVS e dos critérios utilizados referentes à estação de amostragem próxima à foz do rio Capivari (CF), incluindo as concentrações médias ao longo do perfil e os respectivos desvios-padrão de sedimento de fundo, estão apresentados na Tabela 45. Contudo, a Figura 50 ilustra os resultados na forma de gráficos dos diferentes critérios propostos e adotados para avaliação e discussão do AVS e SEM na estação de amostragem CF.

Tabela 45 - Concentrações dos principais elementos potencialmente tóxicos, SEM, AVS e os critérios utilizados referentes à estação CF da bacia do rio Capivari, incluindo as concentrações médias ao longo do perfil do sedimento e os respectivos desvios-padrão

Capivari Foz														
Estação de	Profundidade	Cu	Co	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	SEM	AVS	С	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C
amostragem	(cm)	μmol.g <sup>-1</sup>						(%)				µmol.g <sup>-1</sup>	µmol.gC⁻¹	
CF	0-3	0,014	0,004	0,000	0,001	0,027	0,005	0,004	0,05	0,20	0,191	0,28	-0,14	-74,25
CF	3-6	0,005	0,004	0,000	0,005	0,019	0,003	0,002	0,04	0,18	0,094	0,21	-0,15	-154,80
CF	6-9	0,004	0,003	0,000	0,001	0,010	0,003	0,002	0,02	0,19	0,078	0,12	-0,17	-212,47
CF	9-12	0,004	0,003	0,000	0,000	0,011	0,003	0,003	0,03	0,19	0,087	0,14	-0,16	-187,15
CF	12-15	0,005	0,005	0,000	0,001	0,012	0,004	0,003	0,03	0,21	0,113	0,14	-0,18	-157,56
CF	15-18	0,008	0,005	0,000	0,001	0,022	0,006	0,004	0,05	0,19	0,125	0,24	-0,14	-115,39
CF	18-21	0,009	0,004	0,000	0,001	0,020	0,006	0,004	0,05	0,18	0,216	0,25	-0,14	-63,89
CF	21-24	0,010	0,006	0,000	0,000	0,012	0,010	0,003	0,04	0,18	0,251	0,23	-0,14	-55,31
CF	24-27	0,003	0,003	0,000	0,001	0,007	0,006	0,000	0,02	0,18	0,089	0,12	-0,16	-174,55
CF	27-30	0,002	0,007	0,000	0,001	0,005	0,010	0,000	0,02	0,19	0,066	0,13	-0,17	-251,45
CF	30-33	0,016	0,021	0,001	0,000	0,034	0,014	0,007	0,09	0,19	0,262	0,48	-0,10	-38,35
CF	33-36	0,024	0,016	0,001	0,000	0,025	0,014	0,011	0,09	0,21	0,294	0,45	-0,11	-38,70
CF	36-39	0,021	0,025	0,001	0,001	0,040	0,014	0,012	0,11	0,41	0,371	0,28	-0,29	-79,28
CF	39-42	0,035	0,021	0,002	0,000	0,077	0,017	0,023	0,18	0,21	0,494	0,83	-0,04	-7,32
CF	42-45	0,022	0,018	0,001	0,000	0,037	0,017	0,017	0,11	0,19	0,315	0,58	-0,08	-26,09
CF	45-48	0,014	0,009	0,001	0,000	0,011	0,019	0,011	0,06	0,20	0,230	0,33	-0,13	-56,92
CF	48-51	0,020	0,015	0,001	0,000	0,034	0,015	0,009	0,09	0,19	0,264	0,49	-0,10	-36,58
CF	51-54	0,014	0,004	0,000	0,000	0,019	0,011	0,004	0,05	0,18	0,263	0,30	-0,12	-46,85
	Média	0,013	0,010	0,001	0,001	0,023	0,010	0,007	0,06	0,20	0,21	0,31	-0,14	-98,72
	SD	0,009	0,007	0,000	0,001	0,017	0,005	0,006	0,04	0,05	0,12	0,19	0,05	72,75

Figura 50 - Relação AVS e SEM, determinados para os sedimentos de fundo em perfil de profundidade, da estação de amostragem CF, utilizando os critérios de avaliação propostos



Na estação de amostragem CF, os elementos Zn e Cu contribuíram em mais de 60% na SEM do perfil amostrado, com valores respectivamente de  $0,023\pm0,017$  e  $0,013\pm0,009 \ \mu mol.g^{-1}$ . Já Co e Pb contribuíram com aproximadamente 33% na SEM do perfil amostrado, ambos com valores médios de  $0,010 \ \mu mol.g^{-1}$ .

Ao utilizar o critério SEM/AVS, ao longo do perfil amostrado na estação CF, foi possível constatar valores abaixo de 1, apresentando valor médio do perfil igual a 0,31±0,19, caracterizando uma não biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos.

Foi possível observar na estação de amostragem CF, para o critério SEM-AVS, que as concentrações, em todo perfil amostrado, apresentaram valores menores que 1,7 μmol.g<sup>-1</sup>, com média de -0,14±0,05 μmol.g<sup>-1</sup>. Isso ocorreu devido aos baixos valores de SEM e AVS, o que configurou a não biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos para este critério, havendo sulfetos suficientes para a complexação dos metais. A aplicação do critério (SEM-AVS)/C<sub>org</sub> apresentou concentração média no perfil de -98,72±72,75 μmol.gC<sup>-1</sup>, valor menor que 130 μmol.gC<sup>-1</sup>, caracterizando o sedimento coletado na estação de amostragem CF como não potencialmente biodisponível em relação aos elementos potencialmente tóxicos analisados.

# 5.7.2. Extração sequencial seletiva: distribuição dos elementos potencialmente tóxicos entre as principais frações e fases geoquímicas dos sedimentos fluviais de fundo

O método de extração sequencial seletiva proposto no presente estudo permitiu avaliar a distribuição dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) em quatro frações geoquímicas distintas (fração 1: solúvel e trocável; fração 2: ácido solúvel ou carbonatos; fração 3: óxidos de Fe e Mn; fração 4: matéria orgânica). A soma dessas quatro frações integrou a fase considerada biodisponível, enquanto que a diferença para o total extraído representou a fase residual.

### 5.7.2.1. Bacia do rio Jundiaí

A Figura 51 ilustra a partição dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) dentre as principais frações biodisponíveis (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, da bacia do rio Jundiaí.

Figura 51 - Distribuição dos elementos potencialmente tóxicos nas principais frações biodisponíveis (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do rio Jundiaí



O Cu na bacia do rio Jundiaí se mostrou concentrado na fase residual na estação de amostragem JN com 73%; já nas estações JM e JF este elemento mostrou estar ligado à fase biodisponível, com valores acima de 80% para ambas as estações de amostragem, principalmente associada à fração da matéria orgânica (S4).

As concentrações de Co se acumularam na fase residual nas estações JN e JF, com 62 e 79%, respectivamente. Na estação de amostragem JM a concentração de Co se mostrou dividida entre as duas fases estudadas, com teores de 51 e 49%, respectivamente, na fase biodisponível e residual, ocorrendo principalmente na fração de óxidos de Fe e Mn (S3) com teor de 22%.

Foi possível verificar que o Cd nas estações de amostragem do rio Jundiaí JN se mostrou mais concentrado na fase residual, com 71 %; o mesmo foi observado para as demais estações de amostragem, apresentando percentual de 58 e 54%, respectivamente, para JM e JF.

Os valores encontrados para Ni na bacia do rio Jundiaí ficaram concentradas na fase residual em todas as estações de amostragem apresentando-se inferiores a 25% na fase biodisponível, relacionado principalmente com os óxidos de Fe e Mn (S3), mostrando pouca mobilidade para esse elemento nesse ambiente.

Foi observado predomínio da fase residual para Zn (83%) na média do sedimento amostrado da estação JN. Nas estações de amostragem JM e JF esse elemento se apresentou dividido entre as fases biodisponível (50 e 51%, respectivamente) e residual (50 e 49%, respectivamente), distribuídos entre as frações S2 e S3. A concentração de Zn encontrada na fase biodisponível pode ser considerada preocupante nas áreas do meio e foz da bacia do rio Jundiaí, locais em que atividades industriais e urbanas se encontram em pleno desenvolvimento.

As concentrações de Pb para as estações próximas às nascentes e à foz do rio Jundiaí se apresentaram associadas à fase residual, com 58 e 73%, respectivamente. Já na estação JM a concentração de Pb se mostrou dividida entre as fases biodisponível (51%) e residual (49%), associadas às frações de ácidos solúveis ou carbonatos (S2) e nos óxidos de Fe e Mn (S3), fator preocupante em virtude da facilidade de entrada desse elemento na biota, possivelmente associado ao despejo de efluentes urbanos, domésticos e/ou industriais.

O Cr e o Ni na bacia do rio Jundiaí se mostraram associadoa à fase residual, nas estações de amostragem do rio Jundiaí, com porcentagem maior que 65%, mostrando pouca mobilidade para esses elementos no ambiente.

Desta maneira, pode ser observado que na estação próxima às nascentes da bacia de drenagem do rio Jundiaí (JN) não houve biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos estudados. No entanto, na estação JM, os resultados mostraram biodisponibilidade para Cu, Co, Zn e Pb, ligados principalmente à fração

de óxidos de Fe e Mn (S3), com exceção do Cu que se manteve ligado à matéria orgânica (S4). Já na estação JF, a biodisponibilidade observada para Cu e Zn se apresenta ligada às frações da matéria orgânica (S4) e de ácidos solúveis ou carbonatos (S2), respectivamente.

As maiores frações biodisponíveis de Cu ligadas à matéria orgânica, e de Zn ligadas às frações S2 e S3, também foram observadas por Mortatti et al. (2010) em estudos de sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê nas estações de amostragem de maior influência urbana. Foi constatado comportamento similar ao Zn, em proporção menor, em sedimentos do rio San Pedro, em Sonora no México, onde a influência da área urbana na qualidade dos sedimentos de fundo foi também detectada (GÓMEZ-ÁLVAREZ et al., 2007).

### 5.7.2.2. Bacia do rio Capivari

A Figura 52 ilustra a partição dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) dentre as principais frações biodisponíveis (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo em seus perfis médios, na bacia do rio Capivari.

Figura 52 - Distribuição dos elementos potencialmente tóxicos nas principais frações biodisponíveis (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo em seus perfis médios, na bacia do rio Capivari



O Cu na bacia do rio Capivari se mostrou concentrado na fase biodisponível nas estações de amostragem CN e CM, com 83 e 59%, respectivamente, ambos ligados principalmente à matéria orgânica (S4). Na estação de amostragem próxima à foz do rio Capivari (CF), o Cu apresentou maiores proporções na fase residual, cerca de 60%. As elevadas concentrações de Cu biodisponíveis observadas na região da nascente e meio da bacia se mostraram preocupantes e podem estar associadas à influência antrópica dos locais.

Pode ser verificado que o Co na bacia do rio Capivari se mostrou associado à fase residual, com valores entre 65 a 88%. As fases biodisponíveis mais expressivas foram observadas nas estações CM e CF, com valores de 42 e 35%, respectivamente, ligados principalmente às frações de óxidos de Fe e Mn (S3) e ácidos solúveis (S1), sendo a última de fácil degradação.

O Cd se mostrou associado à fase residual em todas as estações de amostragem do rio Capivari, com valores de 69, 80 e 70%, para CN, CM e CF, respectivamente, não apresentando preocupação imediata quanto a sua biodisponibilidade nesse ambiente.

As concentrações de Ni para a bacia do rio Capivari ficaram mais evidentes na fase residual em todas as estações de amostragem, tendo a fase biodisponível valores inferiores a 10%, relacionadas principalmente aos óxidos de Fe e Mn (S3) na estação CM, mostrando pouca mobilidade para esse elemento.

Na região da nascente do rio Capivari (CN) foi possível verificar para o Zn predomínio, na fase residual, de 82%, enquanto que nas estações de amostragem CM e CF, a proporção deste elemento na fase biodisponível foi de 61 e 70%, respectivamente, apresentando maior biodisponibilidade ligada à fração de óxidos de Fe e Mn (S3).

As maiores concentrações de Pb foram observadas na fase biodisponível dos sedimentos da estação CN (64%), com predomínio nas frações S2 e S3, contribuindo com 35 e 39%, respectivamente, sendo que nas demais estações, meio e foz da bacia, esse elemento se apresentou concentrado na fase residual, com 57 e 71%, respectivamente. Esse alto valor percentual de Pb biodisponível na estação próxima às nascentes é preocupante, podendo estar associado ao esgoto doméstico lançado no corpo hídrico, sem prévio tratamento, por chácaras localizadas próxima ás nascentes do rio Capivari.

O Cr apresentou maiores concentrações na fase residual em todas as estações de amostragem da bacia do rio Capivari. No entanto, na estação CM foi observado um alto valor percentual biodisponível do metal, cerca de 48%, sendo 26% ligados à fração de óxidos de Fe e Mn (S3) e 17% ligados à matéria orgânica (S4).

Pode ser constatado, diante dos resultados apresentados, que na estação CN foi verificada a biodisponibilidade de Cu e Pb, principalmente ligados a matéria orgânica e a fração de óxidos de Fe e Mn, respectivamente. O mesmo comportamento de Cu foi observado na estação CM, que também apresentou Zn biodisponível ligado à fração S3. Já na foz da bacia de drenagem estudada houve biodisponibilidade apenas de Zn ligado à fração de óxidos de Fe e Mn (30%), sendo observada expressiva porcentagem biodisponível desse elemento na fração trocável (20%).

As fases biodisponíveis de Cu, Zn e Pb, ligados principalmente à matéria orgânica (Cu) e às frações de óxido de Fe e Mn (Zn e Pb), determinados na bacia do rio Capivari, também foram observadas para a bacia de drenagem do rio Jundiaí, nas estações JM e JF, podendo tais resultados obtidos estarem relacionados à influência de áreas urbanas. Uma vez que, estudos apresentados por Moraes (2011), Moratti et al. (2010) e Gomez et al. (2007), utilizando sedimentos de fundo de bacias de drenagem impactadas por efluentes urbanos, apresentaram resultados similares.

A distribuição dos principais elementos potencialmente tóxicos estudados (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), ao longo dos perfis de profundidade dos sedimentos de fundo, amostrados nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari, que se mostraram associados à fração biodisponível, foi normalizada pela média do perfil, facilitando a compreensão da distribuição da fase biodisponível nos perfis amostrados.

A Figura 53 mostra a distribuição dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co e Cr) normalizados pela média da fase biodisponível, nos sedimentos de fundo amostrados ao longo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari.

Figura 53 - Variabilidade da biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co e Cr) nos sedimentos de fundo amostrados em perfil de profundidade ao longo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari

Bacia do rio Jundiaí	Bacia do rio Capivari						
$\begin{bmatrix} & \Delta C u & & \\ & -1,0 & -0,5 & 0,0 & 0,5 & 1,0 \\ & 0 & & & & & \\ & -10 & & & & & $	ACu ACu   -3,0 -1,5 0,0 1,5 3,0   0 -3,0 -1,5 0,0 1,5 3,0   -20 -3,0 -1,5 0,0 1,5 3,0   -20 -3,0 -1,5 0,0 1,5 3,0   -20 -40 -3,0 -4,5 -3,0 -4,5   -40 -40 -4,5 -4,5 -4,5 -4,5   -80 -60 -60 -60 -60 -60						
ΔCo ΔCo   -2,0 -1,0 0,0 1,0 2,0   -1,0 -0,5 0,0 0,5 1,0   -1,0 -0,5 0,0 0,5 1,0   -1,0 -0,5 0,0 0,5 1,0   -1,0 -0,5 -1,0 -0,5 0,0 0,5   -1,0 -0,5 -0,0 0,5 1,0 -1,0	ACo -2,0 -1,0 0,0 1,0 2,0 -2,0 -1,0 0,0 1,0 2,0 -2,0 -1,0 -0,5 0,0 0,5 1,0 -2,0 -1,0 -0,5 0,0 0,5 1,0 -2,0 -1,0 -0,5 0,0 0,5 1,0 -1,0 -0,5 0,0 0,0 0,5 1,0 0,0 0,0 0,0 0,5 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0						
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	ACr ACr   -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0   -20 -0.5 -0.3 0.0 0.3 0.5   (u) 900 900 900 900 900   -40 -20 -40 -40 -45 -60   -80 -CN -80 -CM -CM -CM						

Pode ser observado que os valores positivos (área em destaque de cor amarela na figura) indicaram elevada biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos, nos sedimentos de fundo, ao longo dos perfis de profundidade amostrados em ambas as bacias estudadas. No caso do Cu, na bacia do rio Jundiaí, foi possível observar elevada biodisponibilidade nos sedimentos mais recentes da estação JN, o oposto observado para as outras estações de amostragem (JM e JF), que apresentaram biodisponibilidade em sedimentos mais profundos. Nas estações de amostragem do rio Capivari, o Cu apresentou um percentual de biodisponibilidade mais expressivo em sedimentos superficiais nas estações CM e CF, já na estação próxima às nascentes (CN) esse elemento apresentou maior biodisponibilidade em profundidade, entre 27-33 cm e a partir de 51 cm ao longo do perfil.

A biodisponibilidade do Co na bacia de drenagem do rio Jundiaí ficou mais evidenciada nas estações JN e JM, entre as profundidades de 10 a 30 cm. Na estação próxima à foz do rio Jundiaí (JF) a biodisponibilidade se mostrou mais notória em sedimentos superficiais (0-9 cm) e em profundidade (36-45 cm). Para esse elemento, na bacia do rio Capivari, na estação próxima às nascentes (CN), a biodisponibilidade se apresentou concentrada nos sedimentos mais superficiais (0-24 cm), enquanto que para CM a biodisponibilidade ficou distribuída em profundidade ao longo do perfil amostrado; já na estação de amostragem CF a biodisponibilidade ficou mais notória na profundidade entre 30 e 45 cm do perfil.

No caso do Cr, nas estações de amostragem do rio Jundiaí, a biodisponibilidade apresentou percentual mais expressivo a partir de 18 cm de profundidade para JN, e a partir de 33 cm de profundidade para JM, enquanto que para JF a maior biodisponibilidade desse elemento ficou evidente em sedimentos superficiais (0-15 cm). Na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN), foi possível constatar, para o Cr, biodisponibilidade entre as profundidades de 6 a 33 cm e de 60 a 78 cm do perfil amostrado. Já na estação de amostragem CM e CF a biodisponibilidade de Cr se apresentou distribuída ao longo do perfil amostrado.

A Figura 54 apresenta a distribuição dos elementos Zn, Cd, Ni e Pb biodisponíveis, normalizados pela média da fração, nos sedimentos de fundo amostrados em perfil de profundidade ao longo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari.

Figura 54 - Variabilidade da biodisponibilidade dos elementos dos elementos Zn, Cd, Ni e Pb nos sedimentos de fundo amostrados em perfil de profundidade, ao longo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari



A biodisponibilidade do Zn, nas estações de amostragem do rio Jundiaí, foi mais significativa entre as profundidades de 3 a 30 cm, se apresentando de forma decrescente na medida em que a profundidade aumentava. Para este elemento, na estação CN, foi verificada biodisponibilidade expressiva em sedimentos mais profundos, a partir de 42 cm de profundidade do perfil amostrado. Na estação de amostragem CM a biodisponibilidade de Zn se mostrou distribuída ao longo do perfil a partir de 24 cm de profundidade até o final do perfil amostrado (72 cm), enquanto que a biodisponibilidade de tal elemento na estação de amostragem CF ficou notória em sedimentos superficiais (0-24 cm).

Para o Cd na estação JN foi possível verificar distribuição homogênea de biodisponibilidade ao longo do perfil amostrado. Na estação intermediária da bacia do rio Jundiaí (JM) foi observada elevada biodisponibilidade de Cd entre as

profundidades 15 e 30 cm, enquanto que na foz (JF) alto percentual desse elemento ficou evidente em sedimentos mais profundos (21-33 cm e 39-45 cm de profundidade). Já nas estações de amostragem da bacia do rio Capivari, este elemento apresentou biodisponibilidade em sedimentos mais recentes (0-30 cm de profundidade), além de percentual expressivo na profundidade de 60-63 cm nas estações de amostragem CN e CM.

Foi possível verificar para o Ni que a biodisponibilidade na estação de amostragem JN, foi mais expressiva nos sedimentos superficiais (0-15 cm) e em profundidade intermediária (24-30 cm) ao longo do perfil amostrado. Na estação de amostragem JM, a biodisponibilidade de Ni se apresentou distribuída ao longo do perfil amostrado, o mesmo observado na estação de amostragem JF. Já na bacia de drenagem do rio Capivari, o Ni se apresentou biodisponível ao longo do perfil amostrado nas estações de amostragem CN e CM. Já na foz (CF), a biodisponibilidade desse elemento foi expressiva em sedimentos recentes (0-9 cm de profundidade).

No caso do Cr, foi possível notar, ao longo da bacia do rio Jundiaí, que a biodisponibilidade desse elemento foi mais significativa em profundidade, relativa aos sedimentos mais antigos, possivelmente mais degradados. Para este elemento, na estação de amostragem CN, foi verificada biodisponibilidade em sedimentos entre 0 e 42 cm de profundidade do perfil amostrado, incluindo os centímetros finais do perfil. Enquanto que, na estação CM foi observado valor expressivo de Cr biodisponível entre 21 e 36 cm de profundidade do perfil amostrado. Na estação de amostragem próxima à foz da bacia de do rio Capivari (CF), o elemento Cr se mostrou potencialmente biodisponível em sedimentos entre 21 e 54 cm de profundidade.

# 5.7.3. Biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos equivalente à extração sequencial seletiva x AVS

A Figura 55 ilustra a comparação da extração ácida a frio dos elementos (HCI 2M), utilizada na determinação da SEM (AVS), com a extração sequencial seletiva em suas frações geoquímicas S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) para os principais elementos potencialmente

tóxicos determinados nos sedimentos de fundo (perfil médio de cada estação de amostragem) da bacia do rio Jundiaí.

Figura 55 - Comparação entre a extração ácida a frio, HCI 2M (SEM - AVS) e a extração sequencial seletiva S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) dos principais elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos de fundo da bacia do rio Jundiaí



Os resultados observados para Cu, na estação JN, mostraram que a força do ataque ácido HCl 2M (SEM) foi equivalente, mas não totalmente, à fração da matéria orgânica (S4) da extração sequencial. Nas estações JM e JF, a força ácida do HCl 2M se apresentou equivalente à fração ligada a óxidos de Fe e Mn (S3).

Para Co, Ni e Pb, em todas as estações de amostragem do rio Jundiaí, foi verificado que o ataque ácido com HCl 2M (SEM) representou somente as frações ácido solúveis (S2). Foi possível observar para o Cd que o ataque ácido com HCl 2M foi equivalente à fração do óxidos de Fe e Mn (S3) da extração sequencial seletiva.

Nas estações de amostragem JN e JF, utilizando ataque ácido com HCI 2M (SEM), o Zn se apresentou compatível com a fração S2 (ácido solúvel) nos sedimentos estudados. Já na estação intermediária da bacia do rio Jundiaí (JM), este elemento se apresentou compatível, mas não totalmente, com a fração S3, quando utilizado HCI 2M (a frio) na extração dos elementos.

Com relação ao Cr, os ataques ácidos com HCl 2M (SEM) foram equivalentes à fração de ácido solúvel (S2) na estação JN, à fração de óxidos de Fe e Mn (S3) na estação JM e ligeiramente superior a fração S2 na estação de amostragem JF.

De uma forma geral foi possível observar para a maioria dos elementos potencialmente tóxicos estudados na bacia do rio Jundiaí que a força do ataque ácido HCI 2M (SEM) se mostrou equivalente às frações geoquímicas dos ácidos solúveis (S2) e dos óxidos de Fe e Mn (S3).

A Figura 56 ilustra a comparação da extração ácida a frio dos elementos (HCl 2M), utilizada na determinação da SEM (AVS), com a extração sequencial seletiva em suas frações geoquímicas S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) para os principais elementos potencialmente tóxicos determinados nos sedimentos de fundo (perfil médio de cada estação de amostragem) da bacia do rio Capivari.

Figura 56 - Comparação entre a extração ácida a frio, HCI 2M (SEM - AVS) e a extração sequencial seletiva S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) dos principais elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos de fundo da bacia do rio Capivari



Os resultados observados para Cu, na estação CN e CM, mostraram que a força do ataque ácido HCI 2M (SEM) foi equivalente e superior à fração S3 (óxidos de Fe e Mn), mas não atingiu totalmente a fração ligada à matéria orgânica (S4) obtida por extração sequencial. Na estação JF a força ácida do HCI 2M se apresentou ligeiramente superior à fração solúvel+trocável (S1), indicando a fragilidade dessa extração química, uma vez que a fração biodisponível por extração sequencial (S1+S2+S3+S4) atingiu 41% e a fração biodisponível por ataque ácido a frio (HCI 2M) apresentou 10%.

O Co, nas estações de amostragem CN, CM e CF, apresentou porcentagens de extração com HCl 2M equivalentes às frações S3 (óxidos de Fe e Mn), S2 (ácido solúvel) e S1 (solúvel+trocável) da extração sequencial, respectivamente.

Com relação ao Ni e Cr, os ataques a frio com HCl 2M foram equivalentes às frações S3 e S2, respectivamente, em todas as estações de amostragem do rio Capivari. Já Cd e Zn, nas estações CN e CM apresentaram-se ligados à fração de óxidos de Fe e Mn (S3), sendo que na estação CF, os percentuais de biodisponibilidade desses elementos se mostraram equivalentes às frações S2 (ácido solúvel) e S1(solúvel+trocável), respetivamente.

Nas estações CN e CM o Pb se apresentou compatível com a fração S2 (ácido solúvel), utilizando ataque ácido com HCl 2M (SEM) nos sedimentos determinados. Já na estação CF, este elemento se apresentou compatível com a fração S1 quando utilizado HCl 2M (a frio) na extração de metais.

De uma forma geral, podemos observar que, para a maioria dos elementos potencialmente tóxicos estudados na bacia do rio Capivari, a força do ataque ácido HCI 2M (SEM) se mostrou equivalente a diferentes frações da extração sequencial seletiva, principalmente ligada as frações geoquímicas de ácidos solúveis (S2) e solúvel+trocável (S1).

Ficou evidenciado no presente trabalho, em ambas as bacias estudadas, que a biodisponibilidade dos elementos estudados extraídos a frio por HCl 2M (SEM) não foi da mesma ordem de grandeza da soma das frações geoquímicas S1+S2+S3+S4, a qual indica a biodisponibilidade com relação à extração sequencial seletiva.

5.8. Análise de carbono e nitrogênio orgânico particulado e assinaturas isotópicas dos sedimentos fluviais e solos: aplicação de parâmetros de referência isotópica

## 5.8.1. Sedimentos finos em suspensão (FSS)

A Figura 57 ilustra o comportamento dos FSS na nascente e foz dos rios Jundiaí e Capivari, em função da assinatura isotópica  $\delta C^{13}$  e razão C/N, ao longo de todo período estudado, comparando com parâmetros de referências (*end-members*).

Figura 57 - Relacionamento entre  $\delta C^{13}$  e C/N dos sedimentos finos em suspensão para os rios Jundiaí e Capivari, os parâmetros C3, C4 e fitoplancton, incluindo os principais solos da bacia



Foi possível verificar que na nascente do rio Jundiaí (JN) houve influência direta dos efluentes domésticos ( $\delta C^{13}$  de -23‰ e C/N de 10) na origem da matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão. Foi verificada também a influência direta da sazonalidade na origem dos sedimentos, mostrando que no período de maior pluviosidade, os valores de  $\delta C^{13}$  e C/N foram de -25‰ e de 18, respectivamente, constatando contribuição do solo próxima às nascentes (CX1) (origem geogênica). Para a foz do rio Jundiaí (JF), em excursões realizadas em período chuvoso, os valores de  $\delta C^{13}$  e C/N nos FSS, foi de -21‰ e 27, respectivamente, evidenciando proximidade com plantas C3. Já no período seco foi possível observar que a origem da matéria orgânica nos FSS das estações de amostragem JN e JF apresentou predomínio de valores próximos aos parâmetros de referências dos esgotos domésticos.

Na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN), foi observada influência direta dos efluentes domésticos ( $\delta C^{13}$  de -23‰ e C/N de 10) na matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão amostrados, constatando possível influência da sazonalidade na origem dos sedimentos. Em período chuvoso mais intenso foram encontrados valores de  $\delta C^{13}$  e C/N na estação CN, de -21‰ e 17 respectivamente, demonstrando proximidade com a origem da matéria orgânica encontrada no solo representativo da nascente (PVA52), podendo estar associado ao processo erosivo mecânico de áreas próximas à estação de amostragem. O mesmo pode ser observado para a origem da matéria orgânica encontrada nos FSS amostrados em CF em época seca, onde foi observado o predomínio de esgotos domésticos e do fitoplâncton, caracterizando degradação da matéria orgânica por microrganismos. Em período de maior pluviosidade, a origem da matéria orgânica do FSS amostrado na estação CF, apresentou valores ( $\delta C^{13}$  -25‰ e C/N 23) próximos aos de plantas C3 ( $\delta C^{13}$  -28‰ e C/N 26).

### 5.8.2. Sedimento de fundo em perfil de profundidade

A Figura 58 ilustra o comportamento dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade dos rios Jundiaí e Capivari, em função da assinatura isotópica  $\delta C^{13}$  e razão C/N, ao longo de todo período estudado, comparando com parâmetros de referências (*end-members*).

Figura 58 - Relacionamento entre  $\delta C^{13}$  e C/N dos sedimentos de fundo para os rios Jundiaí e Capivari, os parâmetros C3, C4 e fitoplancton, incluindo os principais solos da bacia



A origem da matéria orgânica dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade amostrados na nascente da bacia de drenagem do rio Jundiaí (JN) mostrou características de erosão natural, proveniente do solo próxima às nascentes (CX1), com influência antrópica de esgoto doméstico.

No ponto intermediário da bacia do rio Jundiaí (JM) foi possível verificar uma sazonalidade nos resultados obtidos na origem da matéria orgânica, evidenciada nos resultados da razão C/N, com amplitudes de 5,9 à 21,1, apresentando características próximas aos solos da bacia, fitoplâncton e, principalmente, esgoto doméstico. Tais resultados podem estar associados à remobilização do sedimento e

à decomposição da matéria orgânica, uma vez que a estação de amostragem JM apresenta-se inserida dentro do perímetro urbano da cidade de Itupeva (SP), no qual recebe diariamente os efluentes urbanos de tal cidade.

Já a origem da matéria orgânica proveniente do sedimento de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem JF apresentou resultados diretamente relacionados com a atividade antrópica de esgoto doméstico  $(\delta C^{13}$  de -23‰ e C/N de 10).

Foi possível observar que os resultados obtidos através de  $\delta C^{13}$  e da relação C/N nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade da estação de amostragem CN apresentaram valores da origem da matéria orgânica característica do solo próxima às nascentes da bacia, relacionados à erosão mecânica (origem geogênica), com influência antrópica de esgoto doméstico ( $\delta C^{13}$  de -23‰ e C/N de 10). Cabe salientar que a cabeceira da bacia do rio Capivari apresenta diversas chácaras e lotes ocupados por pequenos produtores rurais, o que justificaria tais resultados obtidos.

No ponto intermediário da bacia de drenagem do rio Capivari (CM), foi verificada influência direta de efluente doméstico (esgoto) na origem da matéria orgânica dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade. O mesmo foi observado em diversas profundidades nos sedimentos de fundo da estação de amostragem CF, manifestando também características de fitoplâncton na origem da matéria orgânica dos sedimentos mais profundos, o que evidencia a degradação da mesma por microrganismos.

Os resultados característicos de esgoto doméstico encontrados na origem da matéria orgânica nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade nas estações JF e CF, respectivamente, das bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari, podem estar diretamente associados à baixa porcentagem de estações de tratamento de efluentes instaladas nos municípios inseridos nas bacias de drenagem estudadas. Na Tabela 46 foi apresentada a percentagem de coleta e tratamento de esgoto dos principais municípios que lançam efluentes nos rios Jundiaí e Capivari.

208

Bacia do rio Ju	Indiaí	Bacia do rio Capivari						
Municínios	С	Т	Municípios	С	Т			
	%	6	Maritopios	%				
Atibaia	67	35	Louveira	90	0			
Campo Limpo Paulista	54	0	Monte Mor*	82	82			
Várzea Paulista	68	0	Elias Fausto*	92	92			
Jundiaí*	98	98	Capivari	93	30			
Itupeva	80	0	Rafard*	90	9			
Salto*	90	45	Mombuca	80	95			
Indaiatuba*	96	10	Indaiatuba*	96	10			
Jarinu*	18	18	Campinas*	88	57			

Tabela 46 - Porcentagem de coleta (C) e tratamento (T) de esgoto doméstico nos principais municípios inseridos na bacia do rio Jundiaí e Capivari (CBH-PCJ, 2009)

\*municípios inseridos parcialmente na bacia.

### 6. CONCLUSÕES

Ao longo do presente estudo foi possível verificar a distribuição dos principais elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr), nos sedimentos fluviais, nas bacias de drenagem dos rios Jundiaí e Capivari (SP), identificando as ocorrências de origens naturais e antrópicas e utilizando os diferentes critérios de toxicidade, fatores de enriquecimento, classes de poluição, origem e biodisponibilidade, desses elementos no ambiente aquático.

Ao utilizar o índice de maturidade química (ChM) e o grau de alteração de rochas (R) na média dos FSS amostrados nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari, foi possível constatar valores elevados de tais parâmetros quando comparados às grandes bacias de drenagem da América do Sul. No entanto, resultados similares foram encontrados na bacia de drenagem do rio Piracicaba (SP), situada próxima às bacias estudadas.

A comparação das concentrações totais dos elementos potencialmente tóxicos determinados nos sedimentos fluviais e solos amostrados nas bacias estudadas, com os indicadores de toxicidade valores-guia VP e VI (CETESB, 2005) e PEL e TEL (CCME, 1995), para solos e sedimentos fluviais, respectivamente, forneceu resultados preliminares importantes quanto à toxicidade dos elementos estudados.

No solo LV41, característico da região central da bacia do rio Capivari, as concentrações de Co e Cr expressaram valores entre VP e VI, sendo o mesmo observado para o elemento Cu no solo CX1 (característico da nascente do rio Jundiaí).

Em relação aos sedimentos finos em suspensão (FSS) amostrados nas bacias dos rios Jundiaí e Capivari, os valores de Ni, Zn, Cr e Cd foram os mais preocupantes, apresentando maior toxicidade (acima de PEL) nas estações de amostragem JF e CN, principalmente em períodos de estigem. Nos sedimentos de fundo, a média do perfil amostrado apontou possível toxicidade dos elementos Co, Ni, Cr e Cd, na maioria das estações de amostragem das bacias estudadas. As concentrações de Cu e Zn se mostraram preocupantes na estação de amostragem JM, pois indicou máximo no perfil amostrado próximo a PEL para Cu e acima deste valor-guia para Zn.

Os resultados de EF e I<sub>geo</sub> determinados para as bacias de drenagem estudadas mostraram que o uso de referências globais (médias mundiais) indicaram valores superestimados (principalmente para Cd em todas as estações de amostragem) e subestimados (para Cu em JM) em relação ao FGNR, constatando a importância da ponderação da formação geogênica na avaliação de classes de contribuição antrópica em sedimentos de fundo fluvial.

Desta maneira, foi possível observar coerência entre os critérios de toxicidade utilizados (EF e I<sub>geo</sub>) empregando o FGNR na avaliação da contribuição antrópica dos elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos de fundo das bacias estudadas. Destaca-se, na estação de amostragem JM, contribuição moderada a severa para Cu, e moderada para Zn. Já na bacia do rio Capivari, na estação de amostaragem CF, foi constatada contribuição antrópica moderada para Pb.

Os resultados obtidos, empregando o método AVS e SEM na avaliação da biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos, utilizando o critério (SEM - AVS) / C<sub>org</sub> > 130, mostrou a não biodisponibilidade dos elementos nas estações de amostragem dos sedimentos de fundo das bacias estudadas.

Também foi possível avaliar a biodisponibilidade dos elementos nos sedimentos de fundo ao longo das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, através da extração sequencial seletiva, que mostrou em quais fases (biodisponível e residual) e frações geoquímicas (S1, S2, S3 e S4) os elementos se encontravam. Na estação de amostragem JN todos os elementos estudados, na média do perfil amostrado, se apresentaram ligados à fase residual, no entanto, na estação de amostragem JM os elementos Cu, Co, Zn e Pb se mostraram ligados à fase biodisponível, associados principalmente à fração da matéria orgânica (Cu) e aos óxidos de Fe e Mn (Co, Zn e Pb). Na estação próxima à foz do rio Jundiaí (JF) a maioria dos elementos potencialmente tóxicos estudados se apresentaram ligados à fase residual, contudo, Cu e Zn se mostraram associados à fase biodisponível, com maior percentual observado na fração da matéria orgânica (S4) e do ácido solúvel (S2), respectivamente.

Ao avaliar a biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos nas estações de amostragem da bacia de drenagem do rio Capivari, utilizando a extração sequencial seletiva, foi possível verificar que a maioria dos elementos estudados, na média do perfil amostrado, estavam ligados à fase residual do sedimento. Sendo evidenciado na estação CN o predomínio da fase biodisponível para dos elementos: Cu, associado à fração S4 (matéria orgânica), e Pb, associado às frações S2 (ácidos solúveis) e S3 (óxidos de Fe e Mn). Na estação CM os elementos Cu e Zn apresentaram-se ligados à fase biodisponível, associados à matéria orgânica (S4) e aos óxidos de Fe e Mn (S3), respectivamente. Já na estação de amostragem JF, apenas o Zn se apresentou ligado à fase biodisponível, associado, principalmente, à fração dos óxidos de Fe e Mn (S3).

O Zn apresentou biodisponibilidade em sedimentos recentes nas estações de amostragem próximas à foz das bacias estudadas, sendo o mesmo constatado para o Pb em CN, e para Cu em CM, tornando a presença desses elementos preocupante nesses ambientes.

A comparação da força de extração dos elementos por ataque ácido HCI 2M (SEM - AVS) em relação à força da extração sequencial seletiva, mostrou que em nenhum momento o ataque ácido com HCI 2M atingiu a porcentagem total da fase biodisponível dos elementos extraídos pelo método sequencial seletivo. Na bacia do rio Jundiaí, as concentrações dos elementos potencialmente tóxicos extraídos por HCI 2M se apresentaram equivalentes à fração geoquímica do ácido solúvel (S2) e dos óxidos de Fe e Mn (S3) da extração sequencial. Enquanto que na bacia do rio Capivari a força do ataque ácido HCI 2M se mostrou equivalente à frações geoquímicas de ácidos solúveis (S2) e solúvel+trocável (S1).

Valendo-se do método isotópico ( $\delta C^{13}$ ) e a razão C/N em comparação com os parâmetros de referência, a origem da matéria orgânica dos sedimentos finos em suspensão (FSS) das bacias dos rios Jundiaí e Capivari, permitiu evidenciar que em períodos de alta pluviosidade, esteve associada a materiais eroditos de solos das bacias. Já em períodos de estiagem, a origem da matéria orgânica presente nos FSS foi predominantemente relacionada à poluição antrópica, associada principalmente a esgotos domésticos.

Nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade amostrados na bacia do rio Jundiaí (JN, JM e JF) foi possível constatar que a origem da matéria orgânica se apresentou ligada a esgotos domésticos; assim como observado nas estações de amostragem CM e CF (rio Capivari). Na estação de amostragem CN a origem de matéria orgânica se mostrou relacionada à erosão mecânica (origem geogênica), com influência antrópica de esgoto doméstico. Ambas as bacias apresentaram

cenários preocupantes de contribuição antrópica, associadas ao baixo índice de coleta e tratamento dos efluentes.

O método de extração sequencial seletiva evidenciou que os elementos Cu, Zn e Pb nos sedimentos de fundo, em ambas as bacias estudadas, se apresentaram ligados à fase biodisponível. Foi possível observar também que, tais elementos se apresentaram preocupantes nas bacias de drenagem investigadas quando utilizando os critérios de toxicidade EF e I<sub>geo</sub>, aplicando o FGNR como valor de referência. Por outro lado, ao empregar o método AVS e SEM nos sedimentos de fundo das estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari, contatou-se a não biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos estudados, havendo sulfetos suficientes para a complexação dos elementos ao longo das bacias. Desta forma, ressalta-se a importância de investigar diferentes métodos que avaliam a toxicidade e biodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos estudados que avaliam a

# REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e Agência de água das bacias do rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 1. ed. Brasília, DF: ANA, SAG, 2009. 176 p.

AHNSTROM, Z. A. S.; PARKER, D. R. Cadmium reactivity metal-contaminated soils using a coupled stable isotope dilution– sequential extraction procedure. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 35, p. 121–126, 2001.

ALLEN, H. E.; FU, G.; DENG, B. Analysis of Acid Volatile Sulfide (AVS) and simultaneously extracted metals (SEM) for the estimation of potential toxicity in aquatic sediments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 12, n. 8, p. 1441-1453, 1993.

ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C. **Chemical principles of environmental pollution**. 2. ed. London: Chapman & Hall, 1997. 291 p.

ALMEIDA, C. A.; ROCHA, O. Estudo comparativo da qualidade dos sedimentos dos reservatórios do rio Tietê (SP). Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 141-145, 2006.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais**: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 554 p.

BAGGIO, H.; HORN, H. A.; Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente no rio do Formoso, município de Buritizeiro – MG. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 16, n. 2, p. 91-98, 2008.

BAIRD, C.; CANN, M. Química ambiental. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BANERJEE, A. D. K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. **Environmental Pollution**, London, v. 123, p. 95-105, 2003.

BEVILACQUA, J. E.; SILVA, I. S.; LICHTIG, J.; MASINI, J. C. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Tietê, São Paulo. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 26-33, 2009.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Method of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: ASA; SSSA, 1986. p. 363-375.

BOLLER, B. Tracking heavy metals reveals sustainability deficits of urban drainage systems. **Water Science Technology**, London, n. 9, v. 35, p. 77-87, 1997.
BONASSI, J. A.; MORTATTI, J.; OLIVEIRA, H.; MORAES, G. M.; VENDRAMINI, D.; FERNANDES, A. M. Avaliação de equipamentos de campo em pesquisas hidrogeoquímicas: amostradores de água, sedimentos e medidas de vazão. In: CRONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2012, Santos. **Anais**... São Paulo: SBG, 2012. p. 105.

BORGHESI, F.; MIGANI, F. DINELLI, E. Geochemical characterization of surface sediments from the northern Adriatic wetlands around the Po River delta. Part II: aqua regia results. **Journal of Geochemical Exploration**, London, v. 169, p. 13-29, 2016.

BORTOLETTO JÚNIOR, M. J. Características hidrogeoquímicas e processos erosivos mecânicos e químicos nas bacias de drenagem dos rios Tietê e Piracicaba. 2004. 202 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BOSCO-SANTOS, A.; MARTINS, G. S.; CORDEIRO, R. C.; RODRIGUES, R. A. R.; CARDOSO, M. C. G.; TURCQ, B.; SEOANE, J. C. S. Parâmetros sedimentares e biogeoquímicos de mudanças do uso da terra em Alta Floresta (MT). **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p. 87-96, 2013.

BRUNINI, O. **Rede meteorológica de superfície para o Estado de São Paulo**. São Paulo, 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <a href="http://www.infobibos.com/Artigos/2006\_2/redemeteorologica/rede.htm">http://www.infobibos.com/Artigos/2006\_2/redemeteorologica/rede.htm</a>>. Acesso em: 20 jan 2013.

CALVET, R.; BORGEOIS, S.; MSAKY, J. J. Some experiments on extraction of heavy metals present in soil. International **Journal of the Environmental Analytical Chemistry**, Lausanne, v. 19, p. 31-45, 1990.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. Protocol for derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Summary tables, Otawa, 1995. Disponivel em: https://www.elaw.org/system/files/sediment\_summary\_table.pdf. Acesso em: 27 jul. 2015.

CANFIELD, D. E. The geochemistry of river particulates from the continental USA: major elements. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, New York, v. 61, n. 16, p. 3349-3365, 1997.

CARVALHO, P. R. **Medicina ortomolecular**: Um guia completo dos nutrientes e suas propriedades terapêuticas. 4. ed. Rio de Janeiro: Nova Era, 2006.

CASTAÑEDA, B. V.; CUEVAS, R. A.; MARTINEZ, R. C.; MIRANDA, V. M.; BENAVIDES, L. M. Distribution and partitioning of iron, zinc, and arsenic in surfasse sediments in the Grande River mounth to Cuitzeo Lake, México. **Environmental Monitoring and Assessment**, New York, v. 166, n. 1, p. 331-346, 2010.

CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO - CETEC. Diagnóstico da situação dos recursos hídricos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – UGRHI-05. São Paulo, 2000.

CHANG, Y. C.; WANG, C. F.; MUI, D. T.; CHIANG H. L. Application of methods (sequential extraction procedures and high-pressure digestion method) to fly ash particles to determine the element constituents: A case study for BCR 176. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 163, n. 2-3, p. 578-587, 2009.

CHARLESWORTH, S. M.; MCCARTHY, R.; ORDÓÑEZ, A.; MIGUEL, E. A. Comparative study of heavy metal concentration and distribuition in deposited street dusts in a large and small urban area: birmingham and conventry, West Midlands, UK. **Environment International**, Oxford, v. 29. p. 563-573, 2003.

CLEVENGER, T. E. Use of sequential extraction to evaluate the heavy metals in mining wastes. **Water Air & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 50, p. 241-254, 1990.

COLLARES, E. G. Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari - SP. 2000. 194 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH/PCJ; ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE LTDA – IRRIGART. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 2001**. Piracicaba, 2002.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH/PCJ; ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE LTDA - IRRIGART. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Jundiaí e Capivari 2008-2009**. Piracicaba, 2009.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH/PCJ. Relatório da situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ano base 2011. Piracicaba, 2012.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ - CBH/PCJ. Relatório da situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ano base 2012. Piracicaba, 2013.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ - CBH/PCJ. Relatório da situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ano base 2013. Piracicaba, 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Decisão de Diretoria n° 195-2005-E** de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. ispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas. São Paulo, 2005. Disponível em: https://www.agsolve.com.br/pdf/artigos/novatabelacetesb2005.pdf.

CORDEIRO, R. C.; TURCQ, P. F. M.; TURCQ, B. J.; MOREIRA, L. S.; RODRIGUES, R. C.; COSTA, R. L.; SIFEDDINE, A.; FILHO, F. F. L. S. Acumulação de carbono em lagos amazônicos como indicador de eventos paleoclimáticos e antrópicos. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 130-154, 2008.

CORINGA, J. E. S.; PEZZA, L.; CORINGA, E. A. O.; WEBER, O. L. S. Distribuição geoquímica e biodisponibilidade de metais traço em sedimentos no Rio Bento Gomes, Poconé - MT, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 46, n. 2, p. 161-174, 2016.

COSTA, C. N. **Biodisponibilidade de metais pesados em solos do Rio Grande do Sul**. 2005. 110 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

COXON, T. M.; ODHIAMBO, B. K.; GIANCARLO, L. C. The impact of urban expansion and agricultural legacies on trace metal accumulation in fluvial and lacustrine sediments of the lower Chesapeake Bay basin, USA. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 568, p. 402-414, 2016.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C. Comparação entre os teores de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes e metais pesados no sedimento de dois sistemas lóticos do Vale do Ribeira de Iguape, SP. **Revista de Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 2, p. 24-40, 2008.

DENTON G. R. W.; EMBORSKI, C. A.; HABANA, N. C.; STARMER, J. A. Influence of urban runoff, inappropriate waste disposal practices and World War II on the heavy metal status of sediments in the southern half of Saipan Lagoon, Saipan, CNMI. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 81, p. 276-281, 2014.

DEVELOPING Health-Based Sediment Quality Criteria for Cleanup Sites: A Case Study Report. Washington, DC: Washington State Department of Ecology, 1997. 121 p. (Ecology Publication, 97-114).

DI TORO, D. M.; MAHONY, J. D.; HANSEN, D. J.; SCOTT, K. J.; CARLSON, A. R.; ANKLEY, G. T. Acid volatile sulphide predicts the acute toxicity of cadmium and nickel in sediments. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 26, p. 96-101, 1992.

DOURADO, T. A.; SILVA, L. F. S.; MARINHO, M. A. Performance of a reciprocal shaker in mechanical dispersion of soil samples for particle-size analysis. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1131-1148, 2012.

DREVER, J. I.; CLOW, D. W. Weathering rates in catchments. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, Chantilly, VA, v. 31, p. 407–461, 1995.

EDMOND, J. M. High precision determination of titration alkalinity and total carbono dioxide content of seawater by potentiometric titration. **Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts**, Oxford, v. 17, n. 4, p. 737-750, 1970.

EDOKPAYI, J. N.; ODIYO, J. O.; POPOOLA, O. E.; MSAGATI, A. M.; Assessment of Trace Metals Contamination of Surface Water and Sediment: A Cade Study of Mvudi River. **Sustainability**, Basel, v. 8, p. 135-148, 2016.

EDWARDS, K. H. Fluvial environments. In: PERRY, C.; TAYLOR, K. (Ed.). **Environmental sedimentology**. London: Blackwell Publishing, 2007. 441 p.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Brasília, DF, 2006. 306 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998. 602 p.

EVANGELISTA, R. A. O. Caracterização química e isotópica de carbono e nitrogênio no estudo hidrogeoquímico de efluentes urbanos. 2003. 139 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

FAGNANI, E. Mercúrio e sulfetos volatilizáveis por ácidos na bacia do rio Jundiaí – SP. 2009. 253 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R.; TUBICK, K. T.; Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 40, p. 503-537, 1989.

FERNANDES, A. M. Características hidrogeoquímicas da bacia de drenagem do rio Sorocaba, SP: processos erosivos mecânicos e químicos. 2012. 241 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

FILGUEIRAS, A. V.; LAVILLA, I.; BENDICHO, C. Chemical sequential extraction form metal partitioning in environmental solid samples. **Journal of Environmental Monitoring**, London, v. 2, p. 823-857, 2004.

FÖRSTNER, U. Traceability of sediment analysis. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 217-236, 2004.

GARCETTE-LEPECQ, A.; DERENNE, S.; LARGEAU, C.; BOULOUBASSI, I.; SALIOT, A. Origin and formation pathways of kerogen-like organic matter in recent sediments off the Danube delta (northwestern Black Sea). **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 31, n. 12, p. 1663-1683, 2000.

GARCIA, K. S.; OLIVEIRA, O. M. C.; MADDOCK, J. E. L.; SOARES, S. A. R.; CELINO, J. J. Variação espacial de sulfetos voláteis acidificados e biodisponibilidade de metais extraídos simultaneamente em sedimentos ao norte da Baía de Todos os Santos, Bahia. **Cadernos de Geociências**, Salvador, v. 11, n. 1-2, p. 36-48, 2014.

GARRELS, R. M.; MACKENZIE, F. T. **Evolutions of sedimentary rocks**. New York: Norton, 1971. 397 p.

GEE, G. W.; OR, D. Particle size analysis. In: DANA, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Physical methods. Madison: SSSA, 2002. p. 255-293.

GLEYZES, C.; TELLIER, S.; ASTRUC, M. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction procedures. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 21, n. 6, p. 451-467, 2002.

GOMEZ, A. A.; VALENZUELA, J. L. G.; AGUAYO, S. S.; MEZA, D. F.; RAMIREZ, J. H.; OCHOA, G. O. Chemical partitioning of sediment contamination by heavy metals in the San Pedro River, Sonora, Mexico. **Chemical Speciation and Bioavailability**, London, v. 19, n. 1, p. 25-35, 2007.

GÓMEZ-ÁLVAREZ, A.; VALENZUELA-GARCÍA, J. L.; AGUAYO-SALINAS, S.; MEZA-FIGUEROA, D.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, J.; OCHOA-ORTEGA, G. Chemical partitioning of sediment contamination by heavy metals in the San Pedro River, Sonora, Mexico. **Chemical Speciation and Bioavailability**, London, v. 19, n. 1, p. 25-35, 2007.

GOUWS, K.; COETZEE P. P. Determination and partitioning of heavy metals in sediments of the Vaal Dam System by sequential extraction. **Water S.A.**, Pretoria, v. 23, p. 217-226, 1997.

GRESENS, R. L. Composition-volume relationships of metasomatism. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 2, p. 47-55, 1967.

HANIF N.; EQANI, S. A. M. A. S.; ALI, S. M.; CINCINELLI, A.; ALI, N.; KATSOYIANNIS, I. A.; TANVEER, Z. I.; BOKHARI, H. Geo-accumulation and enrichment of trace metals in sediments and their associated risks in the Chenab River, Pakistan. Journal of Geochemichal Exploration, Amsterdam, v. 165, p. 62-70, 2016.

HANSEN, D. J.; BERRY, W. J.; MAHONY, J. D.; BOOTHMAN, W. S.; DI TORO, D. M.; ROBSON, D. L.; ANKLEY, G. T.; MA, D.; YAN, Q.; PESCH C. E. Predicting the toxicity of metal-contaminates field sediments using interstitial concentration of metals and acid-volatile sulphide normalizations. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 15, p. 2080-2094, 1996.

HE, X. T.; LOGAN, T. J.; TRAINA, S. J. Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, p. 543-552, 1995.

HEDGES, J. I.; CLARK, W. A.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; SANTOS, U. M.; Compositions and fluxes for particulate organic material in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, Waco, TX, v. 31, p. 717-738, 1986.

HERNÁNDEZ-CRESPO, C.; MARTÍN, M. Determination of background levels and pollution assessment for seven metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn) in sediments of a Mediterranean coastal lagoon. **Catena**, Amsterdam, v. 133, p. 206-214, 2015.

HLAVAY, J.; PROHASKA, T.; WEISZ, M.; WENZEL, W. W.; STINGEDER, G. J. Determination of trace elements bound to soil and sediment fractions IUPAC Technical Report. **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v. 76, p. 415-442, 2004.

HORCKMANS, J.; SWENNEN, R.; DECKERS, J.; MAQUIL, R. Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxemburg. **Catena**, Amsterdam, v. 59, p. 279-304, 2005.

HOWOWITZ, A. **A primer on sediment-trace element chemistry**. 2. ed. New York: Lewis Publishers, 1991. 136 p.

IINSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2013**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <a href="http://www.ibge.gov.br/">http://www.ibge.gov.br/</a>. Acesso em: 14 de jun. 2016.

JAFFÉ, R.; GARDINALI, P. R.; CAI, Y.; SUDBURRY, A.; FERNANDEZ, A.; HAY, B. J. Organic compounds and trace metals of anthropogenic origin in sediments from Montego Bay, Jamaica: assessment of sources and distribution pathways. **Environmental Pollution**, London, v. 123, p. 291-299, 2003.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de me-tais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 378-386, 2004.

JIAO, W.; OUYANG, W.; HAO, F.; LIN, C. Anthropogenic impact on diffuse trace metal accumulation in river sediments from agricultural reclamation areas with geochemical and isotopic approaches. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 536, p. 609-615, 2015.

KENDALL, C.; SILVA, S. R.; KELLY, V. J. Carbon and nitrogen isotopic composition of particulate organic matter in four large river systems across the United States. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 15, p. 1301-1346, 2001.

KENNEDY, V. H.; SÁNCHEZ, A. L.; OUGHTON, D. H.; ROWLAND, A. P. Use of single and sequential chemical extractants to assess radionuclide and heavy metal availability from soils for root uptake. **Analyst**, London, v. 122, p. 89-100, 1997.

KERSTEN, M.; FÖRSTNER, U. Effect of sample pretreatment on the reliability of solid speciation data of heavy metals – implications for the study of early diagenetic processes. **Marine Chemistry**, Amsterdam, v. 22, p. 313-341, 1987.

KONTA, J. Mineralogy and chemical maturity of suspended matter in major world rivers sampled under the SCOPE/UNEP project. In: DEGENS, E. T. (Ed.). **Transport of carbon and minerals in major world rivers. Part 3**. Hamburg: Mitteilungen aus dem Geologisch-Paläontologischen, Institut der Universitat Hamburg, 1985. p. 569-592.

KÖPPEN, W. P. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. 1. ed. México, DF: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

KRISHNAMURTI, G. S. R.; HUANG, P. M.; VAN REES, K. C. J.; KOZAK, L. M.; ROSTAD, H. P. W. Speciation of particulate-bound cadmium of soils and its bioavailability. **Analyst**, London, v. 120, p. 659-665, 1995.

KRUSCHE, A. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M.; CAMARGO, P. B.; BALLESTER, M. V.; TRUMBORE, S. E. Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River basin). **Water Research**. Oxford, v. 36, p. 2743-2752, 2002.

LEE, F. Y.; KITTRICK, J. A. Elements associated with the cadmium phase in a harbor sediment as determined with the electron beam microprobe. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 13, p. 337-340, 1984.

LEGALLEY, E.; KRAKELER, M. P. S. Amineralogical and geochemical investigation of street sediment near a coal-fired power plant in Hamilton, Ohio: An example of complex pollution and cause for community health concerns. **Environmental Pollution**, London, v. 176, p. 26-35, 2013.

LEITE, A. F. **Hidrogeoquímica e intemperismo na bacia do rio Bananal (SP/RJ)**. 2006. 150 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

LELEYTER, L. Spéciation chimique des éléments majeurs, traces et des terres rares dans les matières en suspension et dans les sédiments de fond des cours d'eau : application aux fleuves de Patagonie (Argentine), à la Piracicaba (Brésil), à Sebou (maroc) et à l'III (France). 1998. 297 p. Thèse (Doctor) – Centre de Géochimie de la Surface, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1998.

LELEYTER, L.; PROBST, J. L. A new sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace elements in river sediments. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, Philadelphia, v. 73, n. 2, p. 109-128, 1999.

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica**: princípios, técnicas e métodos. Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

LIMA, M. C.; GIACOMELLI, M. B. O.; STÜPP, V.; ROBERGE, F. D.; BARRERA, P. B. Especiação de cobre e chumbo em sedimento do rio Tubarão (SC) pelo método Tessier. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 6, p. 734-742, 2001.

LIN, C.; HE, M.; LI, Y.; LIU, S. Content, enrichment, and regional geochemical baseline of antimony in the estuarine sediment of the Daliao river system in China. **Chemie der Erde – Geochemistry**, Amsterdam, v. 72, p. 23-28, 2012.

LIU, J.; YINB, P.; CHENB, B.; GAOB, F.; SONGA, H.; LIA, M. Distribution and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the Luanhe River Estuary, northwest of the Bohai Sea. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 109, n. 1, p. 633-639, 2016.

LOPES, R. A. Extração sequencial de metais pesados em sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê (SP): partição entre as fases lábil e residual. 2010. 179 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MACDONALD, D. D.; IGERSOLL, C. G.; BERGER, T. A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 39, n. 1, p. 20-31, 2000.

MANAHAN, S. E. **Environmental chemistry.** 7. ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. 898 p.

MANCUSO, M. A.; AZEVEDO, F. C. G.; WASTOWSKI, A. D.; FIORENZE, M. Determinação das propriedades químicas de águas e sedimentos em área agrícola utilizando espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva. **Geologia USP**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 85-100, 2016.

MARINS, R. V.; FILHO, F. J. P.; MAIA, S. R. R.; LACERDA, L. D.; MARQUES, W. S. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 763-770, 2004.

MARTIN, J. M.; MEYBECK, M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. **Marine Chemistry,** Amsterdam, v. 7, p. 173-206, 1979.

MATSCHULLAT, J. Arsenic in the geosphere – a review. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 249, p. 297-312, 2000.

MEYERS, P.; A preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**. Amsterdam, v. 114, p. 289-302, 1994.

MEYERS, P.; ISHIWATARY, R. Lacustrine organic geochemistry – overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 20, n. 7, p. 867-900, 1993.

MITTERMÜLLER, M.; SAATZ, J.; DAUS, B. A sequential extraction procedure to evaluate the mobilization behavior of rare earth elements in soils and tailings materials. **Chemosphere**, Oxford, v. 147, p. 155-162, 2016.

MIYAZAWA, M. **Estado da Arte**: metais pesados no solo e na planta – Projeto Interdisciplinar para a Definição de Critérios Sanitários Agronômicos e Ambientais para Implantação da Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná, 1996.

MORAES, G. M. Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiaí, SP: aspectos das influências antrópicas. 2015. 218 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

MORAES, G. M. **Distribuição dos metais pesados em sedimentos de fundo na bacia do alto Tietê**: fatores de enriquecimento e classes de poluição. 2011. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do lago Paranoá – DF. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 6, p. 812-820, 2003.

MORTATTI, J.; BERNARDES, M. C.; PROBST, J. L.; LELEYTER, L. Composição química dos sedimentos fluviais em suspensão na bacia do rio Piracicaba: extração seletiva de elementos traço. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 123-141, 2002.

MORTATTI, J.; EVANGELISTA, R. A. O.; BENDASSOLI, J. A.; TRIVELIN, P. C. O.; MILDE, L. C. E.; SANTANA, A. G. B. Characterization of domestic sewage in riverine system using Carbon-13 and Nitrogen-15 tracers. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 11, n. 21, p. 37-44, 2004.

MORTATTI, J.; HISSLER, C.; PROBST, J. L. Distribuição de metais pesados nos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê. **Geologia USP**. Série **Científica**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 3-11, 2010.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; FERNANDES, A. M.; MORTATTI, B. C.; OLIVEIRA, H. Influence of discharge on silicate weathering dynamics of the Tiete river basin: major cations and dissolved silica approach. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 15-26, 2008.

MOUNTOURIS, A.; VOUTSAS, E.; TASSIOS, D. Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 44, n. 10, p. 1136-1141, 2002.

MOZETO, A. A. **Critérios de Qualidade de Sedimentos (CQS) para metais pesados**: Fundamentos teóricos e técnicos para implementação. São Paulo: FAPESP, 2001. (Processo N. 00/05296-5).

MOZETO, A. A.; SILVÉRIO, P. F.; DEPAULA, F. C. F.; BEVILACQUA, J. E.; PATELLA, E.; JARDIM, W. R. Weakly-bound metals and total nutrient concentrations of bulk sediments from some reservoirs in São Paulo State, SE, Brasil. In: MUNAWAR, M. (Ed.). Sediment quality assessment and management: insight and progress. Leiden, NE: Backhuys Publishing, 2003. p. 221-239.

MÜLLER, G. Schwermetalle in the sedimenten des rheins-veränderungen seit. **Umschau**, Frankfurt, v. 79, p. 133-149, 1979.

NEMATI, K.; BAKAR, N. K. A.; ABAS, M. R. Investigation of heavy metals mobility in shrimp aquaculture sludge – Comparison of two sequential extraction procedures. **Microchemical Journal**, New York, v. 91, n. 2, p. 227-231, 2009.

NEVES, M. A. **Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do Rio Jundiaí (SP)**. 2005. 200 p. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2005.

NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N. Qualidade das águas do rio Jundiaí (SP): a necessidade de uma gestão integrada. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 6, n. 2, p. 91-105, 2006.

OLIVEIRA, H.; MORTATTI, J.; MORAES, G. M.; VENDRAMINI, D.; CAMPOS, K. B. G. Caracterização físico-química da carga dissolvida dos rios Jundiaí e Capivari, São Paulo. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 23-35, 2014.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 112 p. (Boletim Científico, 45).

OLIVEIRA, T. S. Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos. 1996. 128 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

OMS. Elementos traço na nutrição e saúde humana. Genebra, 1998. 318 p.

PATROLECCO; L.; ADEMOLLO; N.; CAPRI, S.; PAGNOTTA, R.; POLESELLO, S. Occurrence of priority hazardous PAHs in water, suspended particulate matter, sediment and common eels (Anguilla anguilla) in the urban stretch of the River Tiber (Italy). **Chemosphere**, Oxford, v. 81, n. 11, p. 1386-1392, 2010.

PELLEGRINO, G. Q. Análise espacial-temporal de dados hidrológicos da bacia do rio Piracicaba. 1995. 117 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

PERROTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D'AGOSTINO, L. Z.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; MEIRA, V. T.; GARCIA, M. G.; LACERDA FILHO, J. V. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala1:750.000. Programa Geologia do Brasil – PGB. São Paulo: CPRM, 2005.

PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. **Soils and environmental quality**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 459 p.

PORTELA, P. J. C. Análise elementar e isotópica de sedimentos estuarinos do rio Alcabrichel (Torres Vedras) e da Ribeira de Bensafrim (Lagos). 2013. 101 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

PORTILLO, V. D. G. Estudio sobre la estabilidad de la inmovilización de metales pesados, em sedimentos del cauce del rio San Pedro. 2011. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México, 2011.

REIMANN, C.; CARITAT, P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 337, p. 91-107, 2005.

ROBAINA, L. E.; FORMOSO, M. L. L.; PIRES C. A. da F. Metais pesados nos sedimentos de corrente, como indicadores de risco ambiental – Vale do Rio dos Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 35-47, 2002.

RODRIGUES, A. S. L.; NALINI JUNIOR, H. A. Valores de fundo geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **REM: Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 2, p. 155-165, 2009.

SAMUEL, J.; ROUAULT, R.; BESNUS, Y. Analyse multiémentaire standardisée des matériaux géologiques en spectrométrie d'émission par plasma a couplage inductif. **Analusis**, Paris, v. 13, p. 312-317, 1985.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, 1999. 508 p.

SÃO PAULO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**: 2004/2007. São Paulo: DAEE, 2007. 92 p.

SHAFIE, N. A.; ARIS A. Z.; HARIS, H. Geoaccumulation and distribution of heavy metals in the urban river sediment. **International Journal of Sediment Research**, Amsterdam, v. 29, p. 368-377, 2014.

SHS CONSULTORIA E PROJETOS DE ENGENHARIA S/S LTDA. **Plano de Bacias Hidrográficas 2004-2007 dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** Piracicaba. 2006.

SILVÉRIO, P. F. **Bases técnico-científicas para a derivação de valores-guias de qualidade de sedimentos para metais**: Experimentos de campo e laboratório. 2003. 145 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVÉRIO, P. F.; NASCIMENTO, M. R. L.; MOZETO, A. A. Valores-guia de qualidade de sedimentos de ambientes aquáticos continentais e valores de referência de metais e metalóides em sedimentos. In: MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. (Ed.). **Projeto Qualised**: Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce. São Carlos: Cubo, 2006. p. 71-89.

SINDERN, S.; TREMOHLEN, M.; DSIKOWITZKY, L.; GRONEN, L.; SCHWARZBAUER, J.; SIREGAR, T. H.; ARIYANI, F.; IRIANTO, H. E. Heavy metals in river and coast sediments of the Jakarta Bay region (Indonesia) — Geogenic versus anthropogenic sources. **Marine Pollution Bulletin,** London, v. 110, n. 20, p. 624-633, 2016.

SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, São Paulo, v. 3, n. 1A, p. 1-13, 2015.

STONE, M.; DROPPO, I. G. Distribution of lead, copper and zinc in size-fractionated river bed sediment in two agricultural catchments of southern Ontario, Canada. **Environmental Pollution**, London, v. 93, p. 353-362, 1996.

SUTHERLAND, R. A.; TACK, F. M. G.; TOLOSA, C. A.; VERLOO, M. G.; Operationally defined metal fractions in road deposited sediment, Honolulu, Hawaii. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 1431-1439, 2000.

SWEDISH EPA. **Heavy metals. Stockholm,** 2001. Disponivel em: <a href="http://inspire.ec.europa.eu/LMOS/swedish-environmental-protection-agency-Acesso">http://inspire.ec.europa.eu/LMOS/swedish-environmental-protection-agency-Acesso em: 10 set. 2015.</a>

TAYLOR, S. R.; MACLENNAN, S. M. The composition and the evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. **Philosophical Transactions of Royal Society of London, Series A**, London, v. 301, n. 1461, p. 381-399, 1981.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C.; BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, Washington, DC, v. 51, n. 7, p. 844-851, 1979.

TORO, P. P. V.; BEDOYA, L. F. V.; CORREA, I. D.; FRANCO, G. R. B.; CARRIÓ, J. A.; BAENA, J. A. P. Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 111, n. 1-2, p. 311-320, 2016.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, 2003. 248 p.

TUREKIAN, K. K.; WEDEPOHL, K. H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 72, p. 175-192, 1961.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" - UNESP. **Mapa Geológico**: Jundiaí, Folha SF-23-Y-C-III-1. Rio Claro, 1986. Escala 1:50.000.

URE, A. M.; QUEUVALLIER, Ph. MUNTAU, H.; GRIEPINK, B. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the cádmium of the BCR of the Commission of the European Communities. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, Philadelphia, v. 51, p. 135-151, 1993.

USEPA. **Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sedimentassociated contaminants with freshwater invertebrates**. 2. ed. Duluth, MN, 2000. (EPA/600/R-99/064).

VAITSMAN, D. S.; AFONSO, J. C.; DUTRA, B. D. **Para que servem os elementos químicos.** Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

VIETS JUNIOR, F. G. Micronutrient availability, chemistry and availability of micronutrients in soils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, v. 10, n. 3, p. 174-178, 1962.

WENNING, R. J.; INGERSOLL, C. G. (Ed.). Use of sediments quality guidelines and related tools for the assessment of contaminated sediments. Executive summary booklet of a SETAC Pellston workshop. Fairmont, Montana: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 2002.

WIJAYA, A. R.; OUCHI, A. K.; TANAKA, K.; COHEN, M. D.; SIRIRATTANACHAI, S.; SHINJO, R.; OHDE, S. Evaluation of heavy metal contents and Pb isotopic compositions in the Chao Phraya River sediments: Implication for anthropogenic inputs from urbanized areas, Bangkok. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 126, p. 45-54, 2013.

XU, G.; LIU, J.; PEI, S.; HU, G.; KONG, X. Sources and geochemical background of potentially toxic metals in surface sediments from the Zhejiang coastal mud area of the East China Sea. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 168, p. 26-35, 2016.

YAMADA, T. M. Determinação de fontes de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e alifáticos em sedimentos de ambientes aquáticos. 2006. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

YAN, J.; HE, Y.; HUANG, H. Characteristics of heavy metals and their evaluation in sediments from middle and lower reaches of the Huaihe River. **Journal of China University of Mining & Technology**, Beijing, v. 17, n. 3, p. 414-417, 2007.

ZHOU, G.; SUN, B.; ZENG, DAOMING, Z.; WEI, H.; LIU, Z.; ZHANG, B. Vertical distribution of trace elements in the sediment cores from major rivers in east China and its implication on geochemical background and anthropogenic effects. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 139, p. 53-67, 2014.

## **APÊNDICES**

Apêndice A – Concentrações das frações geoquímicas (S1, S2, S3 e S4) em  $\mu g.g^{-1}$  dos elementos potencialmente tóxicos (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb e Cr) e demais espécies químicas de interesse (Si, Al, Fe, Mn, Sr, Sc, Ca, Mg e K) nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, nas estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari, incluindo os valores médios e os respectivos desvios-padrão.

Apêndice B – Resultados determinados de carbono orgânico particulado (COP), nitrogênio orgânico particulado (NOP), assinaturas isotópicas ( $\delta^{13}$ C e  $\delta^{15}$ N) e razão C/N, nas amostras de sedimentos finos em suspensão coletadas nas estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari.

Apêndice C – Resultados determinados de carbono orgânico particulado (COP), nitrogênio orgânico particulado (NOP), assinaturas isotópicas ( $\delta^{13}$ C e  $\delta^{15}$ N) e razão C/N, nas amostras de sedimentos de fundo em perfil de profundidade coletadas nas estações de amostragem dos rios Jundiaí e Capivari.

Tabela 1A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S1 (trocável + solúvel) dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximas às nascentes do rio Jundiaí (JN)

					Jundiaí	Nascen	te								
Estação de	Profundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem								μg.	g <sup>-1</sup>						
JN	0-3	8,16	0,26	2,81	32,78	0,00	0,41	0,02	0,20	0,60	0,36	0,11	2,93	1027,22	458,46
JN	3-6	11,85	5,27	15,71	51,04	0,00	0,93	0,02	0,50	3,82	0,93	0,28	4,27	679,05	540,11
JN	6-9	48,43	2,50	15,15	63,88	0,00	0,96	0,02	0,20	2,62	0,58	0,08	4,18	566,90	524,07
JN	9-12	7,63	29,53	41,81	31,36	0,08	0,86	0,01	0,46	3,07	0,50	0,00	3,04	497,36	365,74
JN	12-15	41,40	15,83	27,04	30,15	0,13	0,98	0,03	0,00	1,79	0,19	0,10	3,18	430,78	366,67
JN	15-18	8,36	68,85	36,41	26,08	0,00	0,71	0,03	0,00	2,11	0,00	0,15	3,24	379,38	254,52
JN	18-21	6,89	104,06	40,44	27,29	0,00	1,42	0,02	0,27	2,25	0,00	0,15	3,23	337,24	196,10
JN	21-24	37,12	77,79	33,63	29,83	0,13	1,29	0,02	0,13	2,24	0,53	0,14	3,05	315,49	180,05
JN	24-27	7,98	97,56	32,14	20,04	0,33	0,95	0,01	0,00	2,58	0,35	0,00	2,53	298,91	137,10
JN	27-30	8,81	100,16	25,60	16,47	0,00	0,85	0,02	0,00	2,24	0,80	0,10	2,57	270,65	132,02
JN	30-33	8,36	110,50	18,89	11,93	0,00	0,38	0,03	0,15	1,12	0,57	0,00	2,73	254,01	123,57
JN	33-36	9,19	105,91	16,82	11,10	0,04	0,28	0,05	0,00	0,86	0,76	0,14	2,70	241,99	130,42
JN	36-39	40,44	99,44	19,01	14,51	0,00	0,37	0,03	0,00	2,51	0,49	0,21	4,05	234,43	182,20
JN	39-42	8,59	108,46	16,14	13,94	0,00	0,21	0,06	0,00	0,61	0,60	0,06	3,85	217,54	188,96
	C <sub>M</sub>	18,09	66,15	24,40	27,17	0,05	0,76	0,03	0,14	2,03	0,47	0,11	3,25	410,78	270,00
	SD	15,80	44,84	11,34	15,13	0,09	0,38	0,01	0,17	0,95	0,28	0,08	0,60	224,19	151,21

				J	undiaí Na	ascente									
Estação de	Drofundidodo (om)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profundidade (cm)-							μg.g <sup>-1</sup>							
JN	0-3	82,38	346,99	1451,42	20,89	1,58	1,40	0,04	0,00	3,45	3,89	1,66	1,33	1067,09	198,59
JN	3-6	119,02	447,04	2285,37	35,90	2,43	1,87	0,10	0,56	9,71	7,03	2,75	2,02	1231,69	224,34
JN	6-9	139,28	410,88	2555,75	41,35	2,26	1,86	0,04	0,36	8,85	5,80	2,63	1,95	1272,95	230,13
JN	9-12	59,63	338,48	1262,67	15,37	1,23	2,55	0,11	0,58	3,55	3,93	1,68	1,53	1362,53	153,97
JN	12-15	66,41	469,56	1641,38	13,76	1,74	1,50	0,09	0,02	3,71	5,73	2,82	1,42	1334,45	141,66
JN	15-18	76,02	467,63	1188,33	10,55	0,77	0,93	0,10	0,02	2,21	5,35	2,37	1,69	1329,96	199,03
JN	18-21	45,53	394,50	1563,73	7,90	1,06	1,62	0,11	0,01	2,68	5,58	2,45	1,05	1232,04	52,38
JN	21-24	45,77	424,70	1549,86	7,46	1,09	1,25	0,10	0,02	2,55	5,96	2,26	0,90	1280,77	45,95
JN	24-27	48,27	441,72	1249,21	6,57	1,04	1,20	0,03	0,08	2,67	0,00	2,30	0,97	1296,66	45,23
JN	27-30	44,48	480,89	1120,46	4,27	0,93	1,04	0,04	0,14	2,19	6,12	2,04	0,77	1282,95	33,54
JN	30-33	39,87	521,14	988,89	2,62	0,81	0,53	0,03	0,00	1,50	6,47	2,31	0,72	1307,43	25,36
JN	33-36	42,64	507,47	935,59	2,71	0,99	0,87	0,03	0,00	1,42	6,21	2,53	0,78	1264,79	28,20
JN	36-39	42,55	512,24	724,13	3,74	0,63	0,37	0,06	0,00	2,07	6,39	1,90	1,23	1183,67	47,69
JN	39-42	32,55	415,75	652,98	3,47	0,79	0,16	0,10	0,00	0,60	5,84	1,48	1,11	1197,94	42,62
	C <sub>M</sub>	63,17	441,36	1369,27	12,61	1,24	1,23	0,07	0,13	3,37	5,31	2,23	1,25	1260,35	104,91
	SD	31,60	57,10	539,28	12,29	0,56	0,65	0,03	0,21	2,65	1,76	0,42	0,43	75,53	81,14

Tabela 2A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S2 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximas às nascentes do rio Jundiaí (JN)

Tabela 3A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S3 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximas às nascentes do rio Jundiaí (JN)

				Jundi	aí Nasce	nte									
Estação de	Drofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profunctionade (cm)							µg.g <sup>-1</sup>							
JN	0-3	383,16	1502,39	3864,06	59,71	0,28	3,09	0,35	0,63	6,02	6,46	4,76	1,28	276,71	244,56
JN	3-6	489,56	1455,08	4217,10	60,51	0,23	4,02	0,29	1,11	11,67	7,09	4,62	1,60	257,41	215,14
JN	6-9	530,72	1515,42	4836,25	81,09	0,09	4,77	0,34	0,70	10,51	5,88	5,75	1,76	208,48	260,20
JN	9-12	318,55	1150,60	2734,76	29,09	0,00	8,32	0,31	2,19	5,98	4,72	3,07	1,16	227,85	118,88
JN	12-15	321,33	1470,54	2944,66	16,97	0,33	2,62	0,29	0,75	6,11	7,03	4,50	1,01	236,40	101,35
JN	15-18	312,58	1271,49	2547,17	15,69	0,14	2,01	0,29	0,37	5,29	5,50	4,47	1,05	206,65	110,84
JN	18-21	276,08	1180,04	2937,60	8,19	0,17	2,45	0,31	0,34	5,28	5,28	4,26	0,87	190,33	51,36
JN	21-24	324,43	1370,89	3654,38	14,31	0,05	3,44	0,28	0,75	6,45	7,37	4,76	1,05	187,50	67,24
JN	24-27	354,68	1712,76	2998,95	11,64	0,01	6,09	0,24	1,28	5,98	6,79	4,38	1,05	184,84	63,31
JN	27-30	319,43	1726,18	2758,45	9,18	0,49	2,28	0,33	0,35	6,36	5,98	4,89	1,14	177,44	72,20
JN	30-33	313,43	1978,43	2677,51	7,00	0,50	1,86	0,39	0,29	4,37	7,40	5,97	1,09	164,23	55,55
JN	33-36	233,49	1533,45	1883,08	4,80	0,51	1,57	0,28	0,37	3,30	5,17	4,83	0,81	147,88	42,94
JN	36-39	333,59	1955,24	3275,36	24,49	0,38	1,62	0,35	0,08	5,13	7,52	6,15	2,35	165,40	114,90
JN	39-42	280,98	1578,50	3069,37	26,09	0,30	1,10	0,20	0,06	2,92	6,82	5,33	1,21	125,53	59,47
	C <sub>M</sub>	342,29	1528,64	3171,34	26,34	0,25	3,23	0,30	0,66	6,10	6,36	4,84	1,25	196,90	112,71
	SD	79,73	251,89	753,96	23,72	0,18	2,01	0,05	0,56	2,39	0,93	0,79	0,41	42,05	73,74

	Jundiaí Nascente														
Estação de	Profundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profuticidade (citi)							μg.g <sup>-1</sup>							
JN	0-3	177,77	1519,56	84,51	6,74	4,31	0,77	0,10	0,14	1,81	2,66	4,92	0,36	71,86	53,12
JN	3-6	230,72	2177,07	215,77	7,73	6,75	1,20	0,01	0,49	2,64	2,00	7,29	0,46	59,07	46,79
JN	6-9	242,35	1901,64	217,36	8,68	6,10	1,10	0,05	0,16	2,35	2,02	5,99	0,43	57,46	42,23
JN	9-12	246,97	2233,89	319,53	4,98	4,57	2,97	0,01	0,92	2,31	0,00	6,96	0,36	57,36	32,96
JN	12-15	188,17	2183,90	136,11	3,38	4,77	1,24	0,02	0,27	1,96	2,00	8,24	0,33	57,72	25,07
JN	15-18	214,09	2073,81	103,78	2,94	4,20	0,88	0,03	0,10	1,85	0,00	8,97	0,90	66,27	123,59
JN	18-21	187,27	2092,81	132,18	2,21	3,89	0,90	0,02	0,00	1,76	2,04	8,24	0,37	51,65	38,63
JN	21-24	192,64	2062,54	125,52	3,45	4,03	1,12	0,01	0,23	1,98	2,15	7,72	0,39	52,74	27,13
JN	24-27	200,31	2090,07	83,25	2,75	3,61	1,36	0,02	0,50	1,99	2,22	7,63	0,38	57,92	29,92
JN	27-30	166,91	1965,55	46,91	2,30	3,20	0,73	0,02	0,08	1,65	0,00	7,49	0,49	59,51	45,25
JN	30-33	150,62	1950,42	32,67	1,96	2,58	0,44	0,00	0,17	1,36	2,20	7,13	0,36	59,73	15,30
JN	33-36	137,38	1612,87	22,24	1,57	2,43	0,38	0,01	0,16	1,24	2,18	6,09	0,32	54,88	17,99
JN	36-39	171,27	1977,59	56,70	3,92	3,12	0,66	0,03	0,08	1,48	2,18	7,66	0,62	62,85	31,53
JN	39-42	160,94	1890,52	56,89	3,91	2,35	0,23	0,02	0,00	0,97	2,34	7,21	0,40	53,27	16,69
	C <sub>M</sub>	190,53	1980,87	116,67	4,04	3,99	1,00	0,03	0,24	1,81	1,71	7,25	0,44	58,74	39,01
	SD	33,45	205,19	84,19	2,22	1,30	0,66	0,02	0,25	0,45	0,94	1,04	0,15	5,43	27,00

Tabela 4A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S4 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximas às nascentes do rio Jundiaí (JN)

Tabela 5A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S1 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem intermediária do rio Jundiaí (JM)

					Jundia	í Meio									
Estação de	Profundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profundidade (cm)								µg.g <sup>-1</sup>						
JM	0-3	9,54	3,80	9,95	12,92	0,21	0,15	0,11	0,36	7,12	0,16	0,02	3,77	239,43	497,12
JM	3-6	9,17	3,51	10,34	14,91	0,02	0,50	0,10	0,59	8,81	0,24	0,26	5,40	245,05	683,23
JM	6-9	9,88	6,63	12,34	11,33	0,00	0,35	0,04	0,53	8,76	0,45	0,15	4,82	191,27	584,87
JM	9-12	9,18	2,87	8,55	13,23	0,08	0,31	0,15	0,28	8,76	0,41	0,00	4,91	189,42	615,95
JM	12-15	6,49	2,05	5,98	9,82	0,00	0,33	0,16	0,30	7,76	0,46	0,00	3,99	172,72	502,80
JM	15-18	6,49	3,88	8,16	9,26	0,25	0,53	0,18	0,21	8,60	0,00	0,05	3,16	169,47	409,55
JM	18-21	7,39	5,03	6,33	7,81	0,00	0,35	0,13	0,23	5,13	0,49	0,05	3,60	171,91	450,82
JM	21-24	5,90	4,70	5,85	3,90	0,00	0,45	0,14	0,22	7,05	0,69	0,00	2,10	152,81	244,46
JM	24-27	6,46	2,93	8,45	8,70	0,00	0,77	0,11	0,23	8,21	0,51	0,09	3,11	152,01	380,71
JM	27-30	15,19	11,41	18,45	12,96	0,40	0,66	0,12	0,53	12,41	0,22	0,00	5,42	155,06	588,27
JM	30-33	27,14	9,36	24,17	16,27	0,22	0,91	0,29	0,88	20,16	0,26	0,24	7,39	157,50	759,84
JM	33-36	39,99	6,68	32,72	18,80	0,41	0,71	0,18	1,12	22,57	0,05	0,18	9,55	155,89	954,18
JM	36-39	45,86	6,67	24,41	20,31	0,30	0,68	0,32	0,94	26,32	0,93	0,23	10,96	147,27	1079,07
JM	39-42	48,05	6,33	23,84	20,45	0,74	0,66	0,37	0,86	28,38	0,70	0,20	13,15	141,14	1191,26
JM	42-45	50,98	5,50	21,08	18,12	0,33	0,69	0,27	1,38	34,33	0,26	0,19	13,35	151,04	1334,31
JM	45-48	14,24	1,02	7,89	24,97	0,49	0,56	0,17	0,27	6,74	0,24	0,17	5,19	130,98	740,98
JM	48-51	10,93	11,75	20,20	14,44	2,85	0,78	0,09	0,41	11,28	0,14	0,12	4,50	131,08	518,44
JM	51-54	11,63	7,62	21,51	9,74	1,23	0,56	0,15	0,28	11,12	0,14	0,05	3,92	128,41	448,06
JM	54-57	8,02	5,99	9,17	10,04	0,35	0,57	0,17	0,08	12,77	0,33	0,07	3,57	98,48	427,19
	См	18,03	5,67	14,70	13,58	0,41	0,55	0,17	0,51	13,49	0,35	0,11	5,89	162,15	653,22
	SD	15,81	2,92	8,14	5,25	0,66	0,20	0,08	0,36	8,53	0,24	0,09	3,39	35,68	293,97

Estação de	Profundidado (om)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Fiorunalaade (ciii)								µg.g <sup>-1</sup>						
JM	0-3	106,62	587,18	1.357,26	9,36	4,40	0,72	0,26	0,83	20,24	5,64	2,53	1,92	1.156,94	281,90
JM	3-6	98,16	653,27	1.317,57	10,15	5,02	1,07	0,27	0,89	24,73	4,84	3,00	2,19	1.134,97	320,50
JM	6-9	72,08	532,12	984,54	6,21	3,61	0,81	0,39	0,81	24,83	4,96	2,69	1,60	571,59	247,28
JM	9-12	76,24	540,58	1.204,92	7,26	4,50	0,78	0,36	0,92	22,58	6,10	3,06	1,82	638,04	266,24
JM	12-15	85,58	621,60	1.242,99	9,58	4,66	1,04	0,30	1,07	28,92	4,99	2,92	2,08	655,73	295,00
JM	15-18	66,26	455,54	913,08	6,32	3,46	0,73	0,42	0,73	21,21	6,18	2,16	1,23	709,71	179,61
JM	18-21	67,42	456,29	749,39	4,79	3,14	0,54	0,25	0,47	14,09	4,82	1,86	1,32	766,07	201,70
JM	21-24	33,63	278,93	350,18	1,75	2,80	0,69	0,17	0,17	10,87	5,55	1,52	0,51	789,77	69,43
JM	24-27	49,69	368,74	644,14	4,86	5,95	0,82	0,24	0,34	16,36	5,41	2,20	1,08	768,51	161,07
JM	27-30	66,04	516,34	1.278,47	7,00	9,03	1,24	0,23	0,82	28,38	6,90	2,92	2,02	695,01	203,47
JM	30-33	81,21	589,27	1.573,20	9,10	12,18	1,10	0,34	0,95	42,94	8,46	3,34	3,18	662,94	252,25
JM	33-36	82,07	608,63	1.849,16	14,81	10,31	1,04	0,39	1,12	56,74	7,98	3,29	5,08	656,41	396,71
JM	36-39	84,89	596,51	1.931,42	18,55	13,35	1,33	0,42	1,59	70,80	6,69	3,23	6,56	664,79	425,26
JM	39-42	77,74	595,21	1.813,37	17,86	12,67	1,04	0,52	1,64	76,90	6,44	3,16	7,77	653,93	528,50
JM	42-45	84,32	665,20	2.189,30	18,23	12,11	1,24	0,47	2,25	96,78	6,90	4,26	9,67	631,54	645,98
JM	45-48	78,81	492,87	1.733,79	16,99	15,76	1,44	0,28	0,73	29,70	7,48	3,56	2,42	641,63	284,38
JM	48-51	57,72	458,42	1.346,27	5,60	10,80	1,22	0,25	0,48	17,98	6,19	3,13	1,37	657,58	128,83
JM	51-54	62,80	490,77	1.204,86	5,33	5,33	0,85	0,26	0,52	21,92	7,13	3,60	1,21	672,59	118,31
JM	54-57	45,96	411,39	897,85	5,18	12,90	0,72	0,23	0,48	25,17	7,55	3,47	1,31	156,39	134,22
	C <sub>M</sub>	72,49	522,05	1293,78	9,42	8,00	0,97	0,32	0,88	34,27	6,33	2,94	2,86	699,17	270,56
	SD	17,78	101,31	476,72	5,27	4,28	0,25	0,10	0,50	23,79	1,10	0,66	2,54	204,17	145,95

Tabela 6A - Concentração química (μg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S2 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem intermediária do rio Jundiaí (JM)

Tabela 7A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S3 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem intermediária do rio Jundiaí (JM)

					Jundiaí	Meio									
Estação de	Profundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Florundidade (cili)							μ	g.g <sup>-1</sup>						
JM	0-3	389,33	1426,17	3333,52	17,97	0,79	1,79	0,31	2,05	27,71	6,31	7,79	1,69	132,65	255,11
JM	3-6	413,53	1774,46	3601,71	18,02	0,60	1,90	0,33	2,70	34,76	6,23	10,21	2,16	136,52	347,20
JM	6-9	322,22	2129,12	3845,60	13,44	0,39	1,50	0,41	2,47	30,90	7,55	14,23	1,74	156,73	247,13
JM	9-12	349,75	2014,83	3549,77	15,64	0,39	1,86	0,30	3,18	36,18	7,46	14,41	2,53	160,27	382,96
JM	12-15	281,03	2039,06	3408,08	12,02	-0,48	1,77	0,38	2,63	28,10	4,85	12,04	1,36	130,00	191,09
JM	15-18	303,18	1695,92	2483,75	12,63	0,70	1,76	0,36	1,96	27,24	8,42	8,76	1,56	140,26	226,04
JM	18-21	290,46	2379,84	2607,97	11,01	-0,01	1,23	0,38	1,61	20,78	5,50	9,16	1,17	143,58	181,41
JM	21-24	219,55	1708,46	1309,50	6,10	1,09	1,21	0,34	1,21	18,32	5,45	7,46	0,57	137,41	59,13
JM	24-27	250,76	2035,39	1931,47	9,37	1,18	1,54	0,37	1,30	23,02	5,25	8,08	1,05	133,15	135,20
JM	27-30	376,45	1776,37	3488,53	12,66	0,50	2,20	0,40	2,40	44,29	8,98	9,93	2,17	111,39	183,35
JM	30-33	423,63	1615,01	4297,54	15,59	0,80	2,18	0,36	2,35	66,02	10,34	14,04	3,68	110,11	231,95
JM	33-36	401,92	1528,36	4736,37	19,51	0,72	2,13	0,31	2,65	76,41	8,24	15,60	5,59	98,26	363,84
JM	36-39	405,53	1694,31	4221,73	22,81	3,55	1,83	0,32	3,18	92,93	6,83	15,41	7,62	91,06	435,11
JM	39-42	434,01	1788,52	5134,41	25,78	2,37	2,13	0,36	3,86	110,48	7,27	17,14	10,30	97,51	499,19
JM	42-45	304,30	1545,90	4134,69	20,02	3,94	1,24	0,31	2,60	78,10	5,64	15,56	9,24	82,67	747,39
JM	45-48	390,99	1772,62	5151,81	30,41	0,74	2,20	0,38	1,72	35,77	10,26	11,86	2,31	70,75	316,26
JM	48-51	332,12	1751,06	3353,53	11,95	2,62	2,27	0,38	1,81	30,28	7,26	10,50	1,31	62,03	105,96
JM	51-54	318,44	1751,28	2826,58	12,07	4,35	1,66	0,44	2,04	33,18	7,07	11,06	1,38	62,38	115,69
JM	54-57	307,22	1891,18	2736,53	13,05	2,31	1,76	0,38	1,95	34,75	6,91	10,54	1,40	96,09	139,95
	C <sub>M</sub>	342,86	1806,20	3481,74	15,79	1,40	1,80	0,36	2,30	44,70	7,15	11,78	3,10	113,31	271,79
	SD	61,74	230,99	1021,85	5,95	1,38	0,34	0,04	0,67	26,58	1,58	3,01	2,91	30,87	165,54

					Jundiaí	Meio									
Estação de	Drofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profuncidade (cm)							μ	g.g <sup>-1</sup>						
JM	0-3	179,02	1739,87	81,85	2,84	10,67	0,51	0,02	0,61	5,47	1,35	8,12	0,40	60,47	38,11
JM	3-6	168,05	1882,95	90,91	2,96	13,11	0,67	0,00	0,80	6,44	1,19	9,87	0,54	61,32	60,10
JM	6-9	200,25	1991,10	139,70	2,46	15,38	0,60	0,06	0,77	6,50	1,94	8,43	0,42	45,47	45,48
JM	9-12	194,07	1987,18	134,38	2,61	16,96	0,73	0,12	0,54	15,44	1,50	8,55	0,57	47,30	67,43
JM	12-15	174,24	1729,26	123,70	2,44	15,34	0,49	0,68	0,65	50,27	1,32	6,36	0,32	39,65	35,68
JM	15-18	176,20	1563,51	76,64	2,10	10,03	0,39	0,53	0,31	38,96	2,79	5,78	0,32	39,35	32,00
JM	18-21	172,83	1683,15	67,26	1,92	6,36	0,55	0,10	0,18	12,59	1,97	5,78	0,31	44,36	37,51
JM	21-24	160,58	1193,38	108,25	1,17	6,22	0,45	0,27	0,15	25,19	1,16	3,63	0,30	42,74	30,73
JM	24-27	162,12	1799,35	162,45	2,22	10,43	0,44	0,73	0,41	55,63	1,39	5,24	0,31	42,19	32,50
JM	27-30	233,85	2413,25	163,37	2,77	14,98	0,72	0,08	0,75	10,16	2,25	9,36	0,65	47,07	43,01
JM	30-33	273,89	2872,30	291,60	3,58	21,23	0,66	0,02	0,96	14,92	3,03	11,35	1,36	44,99	88,95
JM	33-36	326,40	3668,23	402,47	4,91	52,31	0,91	0,06	1,35	19,85	3,58	14,71	2,25	42,24	133,75
JM	36-39	335,63	3975,85	460,80	5,71	51,45	1,02	0,07	1,61	25,23	2,11	15,13	2,83	44,72	172,18
JM	39-42	363,90	4438,97	513,91	6,47	58,11	0,81	0,06	1,96	29,30	2,61	17,30	3,93	43,00	224,12
JM	42-45	425,65	5671,44	1002,70	7,40	75,36	1,19	0,09	2,12	26,76	3,57	19,50	4,34	50,64	319,82
JM	45-48	228,27	2233,91	227,02	4,50	37,79	0,71	0,01	0,70	7,59	2,58	7,42	0,66	46,13	61,18
JM	48-51	202,79	1943,79	133,64	2,79	66,68	0,84	0,01	0,72	9,82	3,17	7,55	0,50	41,59	34,00
JM	51-54	189,72	1902,12	121,06	2,81	38,89	0,54	0,22	0,59	15,88	2,46	7,80	0,38	36,07	24,49
JM	54-57	179,65	2188,02	94,97	2,53	31,83	0,65	0,02	0,48	7,82	1,48	9,15	0,40	33,97	27,63
	C <sub>M</sub>	228,80	2467,24	231,40	3,38	29,11	0,68	0,17	0,82	20,20	2,18	9,53	1,09	44,91	79,40
	SD	78,45	1158,02	229,44	1,66	22,04	0,21	0,23	0,56	14,77	0,80	4,27	1,28	6,86	79,47

Tabela 8A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S4 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem intermediária do rio Jundiaí (JM)

ela	9A	_	Concentração	química	(ua.a <sup>-1</sup> )	dos

Tabela 9A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S1 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximo à foz do rio Jundiaí (JF)

					Jundiaí	Foz									
Estação de	Drofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profundidade (cm)							μ	g.g <sup>-1</sup>						
JF	0-3	8,02	2,28	0,87	22,33	0,17	0,26	0,15	0,71	4,78	0,42	0,00	4,76	129,91	633,01
JF	3-6	9,57	2,54	1,03	29,96	0,25	0,65	0,21	0,80	3,72	0,39	0,07	6,02	150,52	807,83
JF	6-9	14,65	10,40	3,24	33,56	0,00	0,45	0,14	0,92	4,30	0,65	0,11	6,87	150,42	927,98
JF	9-12	10,72	0,95	1,11	25,45	0,05	0,39	0,06	0,95	4,54	0,49	0,11	5,74	133,98	744,76
JF	12-15	6,47	0,13	0,24	17,51	0,00	0,55	0,16	1,02	5,33	0,61	0,01	4,27	124,13	498,66
JF	15-18	5,77	0,81	0,26	12,22	0,00	0,28	0,07	0,48	3,68	0,17	0,36	3,30	118,61	378,98
JF	18-21	7,19	1,30	0,52	12,85	0,21	0,12	0,06	0,43	2,45	0,16	0,11	3,37	107,69	393,96
JF	21-24	6,10	0,70	0,03	19,21	0,00	0,45	0,01	0,66	4,58	0,42	0,08	4,37	101,51	513,60
JF	24-27	5,37	0,14	0,19	18,18	0,00	0,43	0,12	0,59	3,85	1,58	0,16	4,24	101,58	519,61
JF	27-30	6,70	0,76	0,16	18,35	0,00	0,20	0,06	0,17	2,12	0,69	0,19	4,02	97,63	480,30
JF	30-33	6,78	0,11	0,18	32,53	0,00	0,25	0,03	0,34	4,35	0,54	0,13	4,99	102,15	585,48
JF	33-36	6,79	2,22	0,64	22,94	0,08	0,34	0,03	0,26	3,24	0,28	0,12	4,40	85,80	511,22
JF	36-39	6,95	0,38	1,26	24,60	0,00	0,35	0,06	0,34	6,61	0,40	0,03	4,37	85,16	510,91
JF	39-42	6,44	2,59	0,98	17,13	0,00	0,56	0,02	0,22	3,20	1,37	0,16	3,26	77,38	387,98
JF	42-45	5,06	-0,08	0,41	10,79	0,00	0,25	0,01	0,31	2,92	1,21	0,08	2,88	84,63	321,97
	C <sub>M</sub>	7,51	1,68	0,74	21,17	0,05	0,37	0,08	0,55	3,98	0,63	0,12	4,46	110,07	547,75
	SD	2,48	2,59	0,80	7,08	0,09	0,15	0,06	0,28	1,15	0,43	0,09	1,10	23,59	169,02

Estação de	Profundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Fioluliuluaue (cili)							μg.g <sup>-1</sup>	1						
JF	0-3	79,64	313,98	1201,31	22,95	4,24	1,06	0,34	2,47	29,86	4,22	3,50	2,09	283,88	255,06
JF	3-6	96,08	368,26	1391,58	36,84	4,84	1,58	0,46	3,42	36,40	3,91	4,29	2,80	341,32	344,87
JF	6-9	140,12	553,87	1756,30	50,87	6,66	1,71	0,45	4,49	50,63	4,77	5,60	3,85	378,74	455,96
JF	9-12	130,70	481,87	1594,21	40,51	6,08	1,36	0,33	4,54	47,52	2,49	5,01	3,08	391,84	341,74
JF	12-15	80,62	321,72	1240,25	25,04	4,43	1,16	0,25	3,29	31,51	2,28	2,90	1,85	406,56	217,19
JF	15-18	64,57	275,26	964,26	14,15	3,16	0,63	0,25	1,52	20,16	3,46	2,32	1,21	420,89	140,94
JF	18-21	75,17	291,63	904,04	13,97	2,94	0,89	0,21	1,33	17,64	3,68	2,61	1,23	452,71	155,42
JF	21-24	82,28	341,41	1187,11	20,44	3,96	1,05	0,34	2,73	25,45	3,97	3,07	1,88	433,48	232,11
JF	24-27	85,24	322,59	1192,60	19,15	3,43	1,23	0,25	1,64	22,45	2,71	3,09	1,77	464,42	203,78
JF	27-30	63,31	282,15	1007,94	17,36	2,77	0,85	0,28	0,76	17,62	2,67	2,96	1,41	449,71	162,12
JF	30-33	77,45	365,93	1301,83	27,41	3,72	1,21	0,25	1,49	36,23	3,80	4,04	1,84	409,68	200,50
JF	33-36	72,31	316,98	1125,43	21,06	3,02	0,85	0,23	1,09	24,69	4,18	3,31	1,57	414,69	178,41
JF	36-39	72,56	374,59	1325,88	24,64	2,36	1,06	0,33	1,61	41,36	2,53	4,03	1,74	423,70	188,75
JF	39-42	58,56	278,88	967,24	16,14	2,37	0,79	0,22	1,12	19,63	3,04	2,61	1,20	429,65	126,77
JF	42-45	47,14	241,64	783,53	9,11	1,75	0,70	0,27	0,66	14,22	3,20	2,46	0,92	430,79	85,80
	C <sub>M</sub>	81,72	342,05	1196,23	23,98	3,71	1,07	0,30	2,14	29,02	3,39	3,45	1,90	408,80	219,29
	SD	24,83	81,77	259,49	11,16	1,37	0,31	0,08	1,28	11,32	0,76	0,96	0,79	46,28	96,84

Tabela 10A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S2 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximo à foz do rio Jundiaí (JF)

Tabela 11A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S3 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximo à foz do rio Jundiaí (JF)

				Ju	indiaí Fo	z									
Estação de	Profundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profundidade (cm)							μg.g <sup>-1</sup>							
JF	0-3	313,19	1210,54	3540,42	31,27	1,05	2,02	0,34	4,37	28,68	5,13	8,84	1,85	96,09	255,26
JF	3-6	324,79	1116,33	3875,77	38,16	1,45	1,98	0,30	4,87	32,83	4,73	11,28	1,91	69,07	263,03
JF	6-9	360,13	1079,18	4382,83	48,61	1,90	2,12	0,29	5,65	39,08	4,64	16,04	2,49	67,77	380,02
JF	9-12	342,74	971,40	4140,07	44,91	2,64	1,75	0,28	5,97	37,80	4,16	15,89	2,10	161,93	302,23
JF	12-15	277,55	978,86	3040,72	27,53	1,26	1,43	0,28	5,05	27,59	4,02	7,18	1,36	53,32	192,84
JF	15-18	236,12	990,14	2270,25	17,25	1,13	1,12	0,35	2,93	18,10	2,91	5,73	0,98	47,55	121,34
JF	18-21	243,43	1139,01	2128,67	16,31	1,50	1,11	0,24	2,46	15,28	3,75	6,02	0,86	43,82	108,15
JF	21-24	310,02	1361,98	3016,66	22,11	1,12	1,54	0,36	4,85	25,75	3,80	8,00	1,43	46,36	200,31
JF	24-27	258,29	1099,65	2791,22	21,62	0,65	1,29	0,22	2,81	20,33	3,74	6,64	1,10	42,99	139,53
JF	27-30	266,84	1245,77	2816,58	24,02	1,46	1,37	0,33	1,83	18,22	4,72	6,98	1,10	39,79	133,34
JF	30-33	309,38	1318,60	3557,02	34,51	1,79	1,37	0,23	3,04	31,42	4,76	9,25	1,39	33,05	188,20
JF	33-36	294,72	1363,62	2959,60	24,75	1,36	1,59	0,27	2,31	22,25	3,54	7,56	1,10	28,79	131,66
JF	36-39	267,19	1208,28	2932,90	26,87	1,16	1,37	0,27	2,76	29,51	3,48	7,58	1,23	25,64	167,96
JF	39-42	248,72	1214,88	2589,06	22,57	1,44	1,17	0,22	1,81	19,00	4,01	6,30	0,99	32,71	131,57
JF	42-45	251,43	1207,45	2423,21	18,71	0,98	1,06	0,28	1,76	16,22	3,77	6,73	0,87	35,36	85,64
	C <sub>M</sub>	286,97	1167,05	3097,67	27,95	1,39	1,49	0,28	3,50	25,47	4,08	8,67	1,38	54,95	186,74
	SD	38,35	129,26	671,71	9,78	0,47	0,34	0,04	1,47	7,71	0,61	3,28	0,49	34,88	81,77

Estação de	Profundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Fiolunalaade (cm)							µg.g <sup>-1</sup>							
JF	0-3	190,92	1698,33	141,38	3,68	10,42	0,51	0,01	1,04	5,45	0,11	8,82	0,38	28,29	34,08
JF	3-6	211,84	1980,78	198,52	5,36	15,09	0,59	0,02	1,43	7,35	1,40	11,01	0,62	34,51	74,03
JF	6-9	236,06	2332,30	231,17	6,48	20,08	0,53	0,05	1,75	8,54	1,57	15,93	0,75	31,43	91,21
JF	9-12	188,22	1852,83	123,02	5,42	15,17	0,46	0,04	1,49	7,00	0,72	13,15	0,58	38,66	64,68
JF	12-15	165,74	1486,29	102,78	3,61	10,01	0,37	0,00	1,35	5,44	1,30	6,70	0,37	24,88	32,11
JF	15-18	152,74	1103,69	54,78	2,13	5,52	0,11	0,04	0,43	3,51	1,99	4,85	0,28	20,90	22,39
JF	18-21	166,53	1170,11	39,78	2,20	4,91	0,39	0,01	0,44	3,12	0,81	4,03	0,33	23,93	31,46
JF	21-24	185,91	1643,83	77,05	3,07	8,99	0,43	0,08	0,77	5,18	1,00	6,45	0,36	19,98	31,65
JF	24-27	182,56	1506,08	103,08	3,06	7,78	0,38	0,13	0,89	5,30	1,77	6,39	0,34	24,12	32,56
JF	27-30	158,39	1266,84	64,03	2,89	5,57	0,42	0,09	0,37	3,79	2,16	4,85	0,28	20,93	23,32
JF	30-33	180,82	1584,05	100,75	4,45	9,04	0,50	0,02	0,50	6,30	1,87	6,31	0,36	19,62	36,14
JF	33-36	175,51	1454,14	79,53	3,24	6,98	0,36	0,02	0,44	4,60	1,51	5,64	0,32	18,88	30,34
JF	36-39	170,30	1504,01	86,75	3,65	8,33	0,45	0,02	0,43	6,09	1,29	6,19	0,33	23,79	30,36
JF	39-42	156,12	1172,30	68,50	2,80	5,16	0,45	0,03	0,30	3,92	1,11	4,52	0,30	25,94	29,05
JF	42-45	159,40	1065,46	52,29	2,11	4,47	0,26	0,05	0,28	3,20	2,01	4,64	0,32	28,90	24,43
	C <sub>M</sub>	178,74	1521,40	101,56	3,61	9,17	0,41	0,04	0,79	5,25	1,38	7,30	0,40	25,65	39,19
	SD	22,46	351,26	53,78	1,30	4,49	0,12	0,04	0,50	1,61	0,56	3,48	0,14	5,78	20,40

Tabela 12A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S4 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximo à foz do rio Jundiaí (JF)

242

				Capiv	vari Nasc	ente									
Estação de	Profundidade (cm)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem								μg.g	-1						
CN	0-3	10,32	61,11	18,93	6,35	0,00	0,46	0,02	0,07	1,15	0,00	0,05	1,60	51,50	141,09
CN	3-6	11,10	25,71	11,45	9,21	0,00	1,06	0,05	0,31	1,18	0,74	0,10	1,93	44,08	202,80
CN	6-9	10,41	73,41	25,85	5,01	0,00	0,41	0,00	0,16	0,98	0,00	0,03	1,80	44,63	134,67
CN	9-12	6,58	30,15	12,28	9,57	0,02	0,42	0,01	0,00	0,97	0,00	0,09	2,15	50,46	247,09
CN	12-15	6,53	42,47	15,27	22,15	0,01	0,78	0,01	0,20	1,09	0,49	0,34	2,50	50,47	222,25
CN	15-18	8,56	36,84	9,24	23,72	0,02	0,44	0,01	0,00	0,98	0,37	0,11	2,58	43,65	216,66
CN	18-21	18,92	59,12	12,15	12,20	0,10	0,34	0,01	0,00	0,93	1,29	0,12	2,52	38,22	202,37
CN	21-24	8,87	51,97	8,07	6,23	0,00	0,12	0,04	0,24	0,38	0,38	0,23	2,33	42,67	208,20
CN	24-27	6,35	75,51	11,68	4,01	0,04	0,20	0,01	0,00	0,76	0,40	0,09	1,95	41,21	137,43
CN	27-30	6,55	78,85	11,38	3,67	0,16	0,26	0,01	0,06	1,05	1,25	0,11	1,93	36,81	116,89
CN	30-33	6,60	50,09	9,76	5,62	0,00	0,39	0,06	0,00	1,18	0,82	0,23	1,95	40,70	146,92
CN	33-36	5,93	60,65	7,25	5,24	0,00	0,16	0,05	0,02	0,28	0,69	0,20	2,02	39,76	137,95
CN	36-39	6,44	88,55	10,59	3,66	0,00	0,27	0,03	0,00	2,06	1,00	0,18	1,96	39,60	104,15
CN	39-42	5,84	75,48	12,99	4,84	0,00	0,08	0,04	0,01	0,47	1,66	0,14	1,96	35,44	106,63
CN	42-45	5,22	57,57	18,65	8,20	0,00	0,39	0,16	0,00	0,72	1,29	0,12	2,17	36,32	127,35
CN	45-48	6,54	70,77	36,57	11,65	0,09	0,33	0,04	0,03	4,35	0,37	0,24	3,17	32,92	151,01
CN	48-51	7,06	89,75	58,02	6,44	0,44	0,16	0,02	0,21	4,04	0,01	0,49	3,98	54,78	204,86
CN	51-54	6,68	86,25	54,22	6,97	0,53	0,22	0,02	0,39	2,53	0,00	0,28	3,83	65,64	204,80
CN	54-57	7,62	106,63	58,75	8,97	0,19	0,77	0,03	0,24	3,80	0,33	0,37	4,81	68,01	253,98
CN	57-60	5,71	93,37	56,37	7,81	0,54	0,18	0,02	0,28	2,65	0,07	0,37	4,09	59,24	221,29
CN	60-63	6,16	95,68	58,89	9,91	0,56	0,15	0,06	0,21	3,23	0,79	0,27	4,12	49,14	221,62
CN	63-66	6,27	102,73	64,52	9,01	0,36	0,00	0,00	0,00	1,96	0,00	0,23	4,13	52,51	228,10
CN	66-69	7,05	107,15	57,99	10,49	0,29	0,00	0,01	0,30	1,51	0,00	0,02	4,23	45,77	230,09
CN	69-72	7,17	118,85	65,36	11,67	0,51	0,32	0,01	0,40	1,47	0,00	0,30	4,71	43,95	254,50
CN	72-75	6,17	119,78	66,66	11,77	0,67	0,32	0,06	0,38	3,14	0,27	0,35	4,44	43,35	245,81
CN	75-78	6,97	131,58	74,49	13,03	1,04	0,47	0,00	0,30	2,08	1,35	0,24	4,52	45,43	260,74
	C <sub>M</sub>	7,60	76,54	32,59	9,13	0,21	0,33	0,03	0,15	1,73	0,52	0,20	2,98	46,01	189,59
	SD	2,75	28,47	24,33	4,94	0,28	0,24	0,03	0,14	1,17	0,52	0,12	1,11	8,79	51,15

Tabela 13A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S1 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN)

				Capiva	ri Nascer	nte									
Estação de	Profundidade (cm)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	K	Ca
amostragem								µg.g <sup>-</sup> '							
CN	0-3	80,80	466,29	2182,57	2,23	1,15	0,91	0,02	0,01	1,59	2,54	5,27	0,32	39,98	21,15
CN	3-6	155,36	523,83	3530,71	5,95	1,06	1,50	0,08	0,01	2,60	3,17	6,59	0,60	95,28	40,92
CN	6-9	106,70	420,32	2609,92	2,30	1,08	0,92	0,10	0,01	1,78	3,51	6,12	0,53	129,10	29,82
CN	9-12	50,11	323,38	1683,25	4,65	0,66	0,43	0,06	0,01	1,66	2,62	4,72	0,57	165,96	42,74
CN	12-15	44,91	303,20	1670,84	7,68	0,77	0,88	0,08	0,01	1,78	2,09	3,96	0,65	182,90	40,71
CN	15-18	81,84	431,07	2395,95	11,16	1,18	0,79	0,13	0,01	1,94	1,19	6,49	0,66	182,87	40,81
CN	18-21	72,34	402,69	2147,91	5,48	0,97	0,57	0,04	0,01	1,53	2,27	6,15	0,63	203,76	34,05
CN	21-24	41,75	308,38	1280,53	2,26	0,62	0,06	0,05	0,01	0,46	2,81	4,17	0,44	214,67	27,13
CN	24-27	39,53	326,28	1233,77	1,26	0,48	0,30	0,03	0,00	0,76	4,22	4,68	0,39	228,19	20,13
CN	27-30	28,84	285,04	1177,88	1,17	0,34	0,23	0,05	0,34	0,95	3,25	4,88	0,42	240,69	18,98
CN	30-33	33,39	278,88	1043,52	2,07	0,74	0,11	0,03	0,74	1,44	3,43	3,75	0,49	277,19	25,45
CN	33-36	29,52	287,83	925,85	1,76	0,48	0,07	0,05	0,48	0,48	3,68	4,55	0,41	287,49	19,80
CN	36-39	32,62	282,14	906,91	0,79	0,78	0,43	0,00	0,78	1,76	4,60	4,01	0,39	288,17	16,28
CN	39-42	30,72	306,25	1053,94	1,53	0,73	0,39	0,02	0,73	0,95	3,25	4,07	0,51	287,09	22,30
CN	42-45	34,15	334,06	1355,94	3,98	0,54	0,39	0,07	0,54	1,94	2,10	4,36	0,96	268,78	42,95
CN	45-48	33,96	271,06	1393,14	4,83	0,64	0,26	0,09	0,14	3,49	3,18	3,63	1,39	269,44	58,01
CN	48-51	47,11	363,57	1851,77	3,52	1,88	0,65	0,11	0,25	5,14	5,11	5,11	2,25	73,58	104,87
CN	51-54	33,23	323,69	1694,73	3,29	1,06	0,21	0,09	0,27	3,57	3,40	3,82	2,05	161,41	94,54
CN	54-57	40,45	338,02	1885,70	4,06	0,79	0,44	0,10	0,29	3,61	3,08	4,82	2,40	211,85	111,05
CN	57-60	45,10	325,80	1812,21	3,57	1,23	0,55	0,10	0,19	3,66	3,29	5,02	2,12	244,44	95,07
CN	60-63	38,65	313,42	1714,29	3,98	1,20	0,28	0,05	0,30	3,23	2,94	4,19	1,99	264,78	90,43
CN	63-66	33,18	283,01	1641,57	3,48	0,99	0,00	0,05	0,37	3,05	2,53	4,16	1,86	260,18	88,01
CN	66-69	47,63	361,21	2106,54	5,43	1,08	0,42	0,04	0,48	2,83	3,24	5,70	2,42	295,00	114,33
CN	69-72	34,69	314,62	1885,04	5,04	0,79	0,69	0,03	0,36	2,07	1,72	4,11	2,32	301,36	112,48
CN	72-75	42,44	354,19	2053,18	4,54	0,94	0,40	0,11	0,01	3,14	3,46	5,36	2,00	308,49	93,64
CN	75-78	38,42	335,60	2109,23	5,29	1,17	0,23	0,03	0,24	2,62	3,70	4,58	2,15	303,20	103,82
	C <sub>M</sub>	49,90	340,92	1744,11	3,90	0,90	0,47	0,06	0,25	2,23	3,09	4,78	1,19	222,53	58,06
	SD	28,67	62,05	585,44	2,26	0,32	0,34	0,03	0,25	1,15	0,85	0,86	0,81	74,96	36,16

Tabela 14A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S2 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN)

244

				Capiva	ri Nascen	te									
Estação de	Profundidade (cm)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Trofundidade (cm)						μ	g.g <sup>-1</sup>							
CN	0-3	372,64	1104,10	5890,12	21,85	0,12	1,74	0,27	0,10	3,52	5,98	10,06	0,72	49,17	70,98
CN	3-6	475,88	982,30	7752,28	34,56	0,51	2,65	0,28	0,25	4,12	5,09	12,61	0,79	25,42	74,10
CN	6-9	380,19	934,61	4931,65	15,05	0,17	1,57	0,30	0,06	3,07	3,39	10,83	0,69	22,66	56,31
CN	9-12	276,86	1013,36	5696,59	51,33	0,38	1,47	0,30	0,18	4,03	3,24	12,89	0,76	18,70	90,58
CN	12-15	278,95	1039,82	9263,49	102,82	0,06	2,46	0,28	0,49	4,99	4,67	13,52	0,90	12,18	137,35
CN	15-18	312,81	1080,81	7314,87	74,27	0,28	1,85	0,19	0,08	3,98	4,16	12,70	0,79	13,05	79,43
CN	18-21	296,42	1027,30	5738,73	39,86	0,11	1,25	0,30	0,08	3,24	3,57	11,99	0,71	8,91	66,02
CN	21-24	290,38	1219,68	4983,54	25,72	0,58	0,81	0,30	0,13	1,92	4,73	13,02	0,58	10,93	59,33
CN	24-27	243,19	1106,61	3620,92	14,62	0,35	1,06	0,28	0,04	2,06	4,53	11,46	0,55	16,60	45,83
CN	27-30	252,81	1142,85	3066,15	12,13	0,32	0,59	0,21	0,03	2,71	4,62	11,36	0,61	14,52	39,86
CN	30-33	272,20	1267,34	3813,94	22,75	0,12	0,99	0,25	0,05	3,73	4,44	11,23	0,64	20,03	46,82
CN	33-36	284,30	1282,64	3581,78	24,21	0,15	0,57	0,25	0,03	2,02	4,47	12,40	0,60	12,97	41,55
CN	36-39	266,63	1245,63	2536,06	9,76	0,27	0,69	0,23	0,12	3,37	4,12	11,65	0,54	16,56	31,60
CN	39-42	263,32	1274,62	3243,61	23,65	0,26	0,75	0,24	0,13	2,64	2,45	11,11	0,73	21,76	64,76
CN	42-45	248,42	1294,72	4528,60	47,34	0,11	1,05	0,29	0,11	3,97	4,82	11,12	0,89	16,68	86,78
CN	45-48	287,33	1210,89	3682,42	39,95	0,04	1,32	0,29	0,07	7,15	3,70	11,38	1,17	9,73	67,61
CN	48-51	358,00	1583,23	3288,50	13,23	0,75	0,93	0,20	0,45	7,53	4,72	9,54	1,36	89,67	71,85
CN	51-54	369,99	1522,33	3090,46	6,64	0,54	0,66	0,23	0,30	6,89	4,01	9,22	1,76	77,24	94,42
CN	54-57	386,76	1594,74	3649,50	12,93	0,87	1,42	0,21	0,40	6,84	4,76	12,88	2,04	61,30	101,72
CN	57-60	367,16	1411,49	2901,91	5,87	0,64	0,56	0,26	0,27	5,40	2,98	9,17	1,39	56,58	84,02
CN	60-63	387,05	1445,47	2975,30	5,00	0,59	0,77	0,21	0,15	6,08	2,83	9,13	1,59	57,45	85,35
CN	63-66	336,47	1235,72	2843,13	4,35	0,46	0,65	0,19	0,08	5,47	3,51	8,84	1,55	59,93	81,59
CN	66-69	396,80	1476,22	3553,05	9,12	0,25	1,13	0,22	0,23	5,08	3,28	10,39	1,78	47,04	90,47
CN	69-72	406,90	1542,54	4265,88	22,48	0,49	1,22	0,25	0,56	5,33	4,12	12,16	2,52	48,83	147,86
CN	72-75	377,96	1382,91	4053,94	19,59	0,49	1,15	0,21	0,40	6,83	3,56	11,68	2,07	43,70	134,78
CN	75-78	342,84	1306,88	3727,64	25,05	0,47	1,11	0,19	0,46	5,62	3,56	13,52	2,00	36,92	111,05
	C <sub>M</sub>	328,16	1258,80	4384,39	26,31	0,36	1,17	0,25	0,20	4,52	4,05	11,38	1,14	33,40	79,31
	SD	60,97	193,23	1672,83	22,71	0,22	0,54	0,04	0,16	1,70	0,80	1,41	0,59	23,09	29,86

Tabela 15A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S3 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN)

				Capiva	ri Nascer	nte									
Estação de	Profundidade (cm)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem								µg.g <sup>-</sup> '							
CN	0-3	199,72	1352,98	177,37	3,39	4,68	0,61	0,02	0,15	1,80	2,64	5,95	0,34	26,28	30,61
CN	3-6	313,20	1484,68	329,96	5,28	5,45	0,69	0,01	0,02	1,40	1,40	6,10	0,29	22,34	18,32
CN	6-9	248,95	1528,32	238,70	2,76	5,18	0,58	0,00	0,03	1,14	2,40	8,41	0,29	23,58	17,85
CN	9-12	243,30	1717,98	209,42	9,14	5,20	0,68	0,07	0,08	1,10	1,72	8,47	0,33	21,12	24,81
CN	12-15	223,05	1758,50	406,15	14,28	5,75	0,52	0,00	0,05	1,02	2,72	7,80	0,31	16,71	26,39
CN	15-18	214,13	1523,92	266,08	10,61	4,92	0,42	0,02	0,01	1,21	2,64	6,92	0,36	21,75	35,38
CN	18-21	188,46	1457,32	145,74	5,63	3,94	0,41	0,00	0,02	0,61	2,57	8,75	0,29	19,08	20,67
CN	21-24	193,55	1302,91	33,30	4,19	2,16	0,31	0,01	0,01	0,55	2,03	9,29	0,32	20,11	23,76
CN	24-27	159,84	1193,98	58,68	2,30	2,08	0,39	0,06	0,01	0,43	1,79	8,44	0,30	22,11	22,33
CN	27-30	171,22	1337,15	58,26	1,89	2,06	0,22	0,01	0,01	1,25	2,72	10,62	0,48	30,71	60,16
CN	30-33	174,66	1402,81	78,45	3,18	2,68	0,34	0,01	0,02	0,72	2,06	9,79	0,32	21,48	24,13
CN	33-36	178,36	1375,86	60,09	3,50	1,87	0,48	0,01	0,02	0,46	3,60	9,54	0,35	26,11	26,10
CN	36-39	158,80	1207,96	31,15	1,58	1,67	0,19	0,05	0,00	0,84	1,35	9,89	0,29	21,89	19,51
CN	39-42	164,82	1406,03	89,05	3,17	2,69	0,32	0,02	0,06	0,52	1,61	10,38	0,31	19,27	21,51
CN	42-45	175,28	1728,38	219,35	5,48	3,87	0,36	0,11	0,06	0,76	2,68	9,53	0,30	14,50	20,28
CN	45-48	210,97	2289,83	463,83	4,76	6,85	0,67	0,01	0,09	1,56	3,32	13,86	0,49	22,38	38,05
CN	48-51	270,04	3076,90	452,18	2,70	8,21	0,74	0,01	0,68	2,43	2,40	18,64	0,74	44,59	58,01
CN	51-54	275,41	2909,41	569,01	1,65	7,14	0,57	0,00	0,64	2,15	2,54	17,30	0,64	37,09	31,70
CN	54-57	289,95	3342,71	824,43	3,31	8,68	0,67	0,08	0,56	2,63	2,62	20,15	0,94	43,03	56,20
CN	57-60	277,20	2886,05	454,88	1,66	6,28	0,59	0,02	0,45	1,84	1,98	19,36	0,70	41,56	51,27
CN	60-63	313,36	3156,43	572,07	1,57	6,60	0,35	0,01	0,27	1,97	1,29	20,98	0,70	39,59	34,96
CN	63-66	303,37	2809,15	592,22	1,32	5,99	0,16	0,01	0,50	1,93	1,42	19,07	0,74	33,57	49,03
CN	66-69	324,03	3110,79	696,79	2,27	7,54	0,66	0,06	0,51	2,42	1,06	21,65	1,44	55,37	176,95
CN	69-72	297,52	3466,52	1055,70	5,20	9,20	0,75	0,02	0,48	2,28	1,97	20,56	1,00	41,63	55,19
CN	72-75	322,24	3467,71	829,21	3,80	7,63	0,49	0,02	0,40	2,16	2,24	21,82	0,75	32,12	46,26
CN	75-78	261,19	2965,7 <u></u> 9	1299,34	5,89	7,68	0,43	0,02	0,53	2,14	1,69	20,28	0,93	36,70	48,23
	C <sub>M</sub>	236,64	2125,39	392,75	4,25	5,23	0,48	0,03	0,22	1,44	2,17	13,21	0,54	29,03	39,91
	SD	57,29	840,34	337,42	3,05	2,32	0,17	0,03	0,24	0,71	0,64	5,72	0,30	10,50	31,26

Tabela 16A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S4 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próxima às nascentes do rio Capivari (CN)

Tabela 17A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S1 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem intermediária do rio Capivari (CM)

						Ca	apivari I	Meio							
Estação de	Profundidade (cm)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	K	Ca
amostragem	r rolundidade (cm)								μg.g <sup>-1</sup>						
CM	0-3	12,26	0,83	0,91	7,11	0,27	0,40	0,02	0,37	3,57	0,00	0,34	9,54	154,31	1357,13
CM	3-6	10,30	2,79	0,16	6,22	0,19	0,20	0,01	0,54	2,97	0,15	0,28	7,48	113,82	1106,44
CM	6-9	14,80	0,32	0,22	7,36	0,21	0,23	0,01	0,72	6,38	0,00	0,27	9,33	142,95	1429,43
CM	9-12	13,48	0,72	0,60	9,90	0,26	0,66	0,05	0,61	6,81	0,00	0,31	9,93	144,17	1381,21
CM	12-15	13,09	0,26	1,13	15,53	0,44	0,58	0,03	0,70	8,24	0,00	0,04	10,72	174,16	1577,11
CM	15-18	12,82	2,07	0,30	10,62	0,12	0,65	0,02	0,21	6,96	0,00	0,32	10,27	158,24	1461,05
CM	18-21	14,18	4,12	0,84	9,36	0,38	0,66	0,09	1,22	8,37	1,38	0,15	10,60	159,22	1299,85
CM	21-24	11,53	1,30	0,46	8,63	-0,02	0,83	0,07	0,85	7,37	0,17	0,07	9,58	145,27	1193,78
CM	24-27	18,14	2,36	0,61	10,87	0,68	0,84	0,06	0,81	8,61	0,80	0,13	12,41	141,47	1468,90
CM	27-30	12,16	1,68	0,59	10,57	0,00	0,63	0,03	0,22	5,59	0,40	0,13	9,07	98,46	1129,41
CM	30-33	13,33	0,72	0,41	11,62	0,00	0,67	0,07	0,48	7,33	0,73	0,00	10,80	107,62	1233,65
CM	33-36	9,82	1,47	0,32	8,57	0,00	0,84	0,04	0,83	7,98	1,88	0,01	9,43	91,29	1056,43
CM	36-39	12,39	2,94	0,63	7,94	0,00	0,83	0,01	0,79	8,78	2,16	-0,02	10,52	94,78	1177,60
CM	39-42	10,91	3,77	0,62	6,16	0,22	0,71	0,04	0,82	12,50	1,26	0,27	9,90	81,86	1150,13
CM	42-45	9,24	0,46	0,20	5,58	0,11	0,53	0,05	0,27	4,75	0,30	0,00	11,75	100,37	1405,80
CM	45-48	10,56	3,74	0,65	10,08	0,43	0,45	0,00	0,80	7,59	1,29	0,07	9,31	79,96	1048,38
CM	48-51	8,19	1,90	0,38	12,97	0,29	0,71	0,00	1,16	14,24	2,41	0,28	8,60	66,51	917,80
CM	51-54	8,83	4,97	0,59	12,60	0,19	0,96	0,01	0,77	15,10	0,53	0,15	8,43	60,55	863,64
CM	54-57	6,06	8,44	0,64	8,21	0,17	1,52	0,07	0,61	10,40	2,59	0,21	5,09	46,01	515,27
CM	57-60	6,97	23,39	7,18	7,02	0,28	1,39	0,06	0,81	15,21	0,00	0,18	3,77	40,29	327,98
CM	60-63	9,76	26,82	4,65	16,62	0,40	1,93	0,05	1,23	26,88	1,31	0,01	7,64	45,15	716,76
CM	63-66	6,43	22,34	3,98	12,52	0,29	1,50	0,01	1,44	24,99	0,00	0,20	6,79	48,88	697,26
СМ	66-69	9,01	24,12	1,81	12,39	0,42	1,52	0,01	1,67	32,47	0,66	0,43	7,64	47,33	748,64
CM	69-72	10,93	73,66	11,07	14,89	0,20	2,24	0,07	1,88	40,20	2,75	0,42	7,62	49,76	657,05
	C <sub>M</sub>	11,05	8,97	1,62	10,14	0,23	0,89	0,04	0,83	12,22	0,87	0,18	9,01	99,68	1080,03
	SD	2,83	16,18	2,62	3,05	0,17	0,52	0,03	0,43	9,53	0,92	0,14	1,98	43,78	334,15

					(	Capivar	i Meio								
Estação de	Profundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Κ	Ca
amostragem	Profundidade (CIII)							μg.g <sup>-1</sup>							
СМ	0-3	116,04	340,08	1278,27	12,90	3,65	1,53	0,07	0,99	21,63	1,53	3,83	3,26	305,30	371,96
CM	3-6	90,24	302,88	924,04	9,25	3,24	1,01	0,10	0,94	16,95	0,40	2,76	3,00	434,40	289,71
CM	6-9	117,10	367,82	1168,89	13,57	4,01	1,95	0,11	1,48	27,65	1,52	4,40	3,63	458,53	394,44
CM	9-12	97,86	354,70	1192,84	12,19	4,18	1,50	0,16	1,16	28,07	1,27	3,72	3,78	427,32	408,63
CM	12-15	106,73	388,21	1360,46	15,80	4,26	1,35	0,13	1,15	33,91	1,38	4,17	4,09	511,85	458,58
CM	15-18	93,06	314,61	954,90	13,59	4,04	1,83	0,12	1,36	31,06	1,17	3,69	4,18	497,74	408,87
CM	18-21	85,96	310,66	810,26	10,53	2,67	1,19	0,11	1,51	29,69	4,27	4,15	3,57	40,67	270,53
CM	21-24	74,03	265,56	746,72	8,19	2,77	0,97	0,08	0,96	22,51	3,82	3,29	2,84	83,58	217,24
CM	24-27	80,34	290,08	892,38	8,87	2,77	1,36	0,09	1,24	23,76	4,57	3,97	3,11	70,51	236,16
CM	27-30	68,81	247,39	712,02	7,89	1,87	1,15	0,11	0,93	15,08	1,54	2,35	2,16	118,20	179,86
CM	30-33	71,32	260,29	772,14	9,25	1,96	0,98	0,09	0,44	21,23	1,30	3,60	2,69	146,84	207,96
CM	33-36	60,14	262,31	691,34	6,95	2,05	1,10	0,05	1,12	18,80	1,88	2,85	2,42	157,84	175,49
CM	36-39	64,16	254,10	759,93	6,94	2,42	1,40	0,11	1,07	21,55	3,47	3,47	2,68	170,37	195,45
CM	39-42	55,83	247,78	689,53	5,72	2,30	1,73	0,10	0,79	24,28	3,43	2,91	2,65	180,58	201,57
CM	42-45	69,02	288,20	695,02	6,93	2,15	1,13	0,19	1,44	35,42	2,00	3,46	4,22	191,05	356,11
CM	45-48	52,16	236,73	681,56	5,91	1,57	0,69	0,07	0,68	12,79	2,25	2,12	1,82	199,47	143,79
CM	48-51	44,88	248,71	663,85	5,64	2,11	1,24	0,09	0,83	16,80	3,06	2,81	1,80	200,75	132,24
CM	51-54	46,84	251,12	730,11	5,41	2,65	1,15	0,14	0,92	17,30	2,41	3,90	1,85	201,76	117,25
CM	54-57	37,01	245,92	603,99	2,44	1,88	0,93	0,00	0,65	8,47	2,98	2,94	0,99	200,70	59,28
CM	57-60	28,92	217,20	672,93	1,37	2,09	0,30	0,06	0,56	9,57	1,96	1,93	0,85	200,69	43,74
CM	60-63	37,77	278,26	1214,58	4,77	3,74	0,93	0,10	0,68	20,26	3,69	3,90	2,09	203,89	127,58
CM	63-66	25,27	213,85	764,05	3,27	2,67	0,75	0,17	0,74	17,06	3,17	2,94	1,72	189,84	113,52
CM	66-69	36,40	274,97	842,77	4,03	2,99	0,82	0,13	0,98	22,30	3,47	3,99	1,89	206,51	124,04
CM	69-72	46,74	314,28	1098,78	2,85	3,37	0,68	0,16	1,40	21,80	2,44	6,53	1,81	210,36	106,51
	C <sub>M</sub>	66,94	282,32	871,72	7,68	2,81	1,15	0,10	1,00	21,58	2,46	3,49	2,63	233,70	222,52
	SD	27,08	46,33	224,78	3,89	0,82	0,39	0,04	0,30	6,98	1,11	0,93	0,97	133,81	120,75

Tabela 18A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S2 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem intermediária do rio Capivari (CM)

Tabela 19A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S3 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem intermediária do rio Capivari (CM)

	Capivari Meio Si Al Fe Mn Cu Co Cd Ni Zn Ph Cr Sr K														
Estação de	Drofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	Κ	Ca
amostragem	Frotundidade (CIII)							µg.g <sup>-1</sup>							
CM	0-3	446,36	1345,24	5756,60	67,92	2,47	2,86	0,25	2,07	32,99	3,63	14,29	1,82	49,62	198,28
CM	3-6	449,10	1240,35	4951,46	60,42	2,56	2,57	0,20	2,10	29,88	3,51	11,79	1,66	40,22	144,01
CM	6-9	485,00	1179,28	6319,88	46,06	3,15	2,60	0,15	2,26	35,88	4,92	14,37	1,95	44,21	184,14
CM	9-12	506,56	1051,53	6723,47	39,65	3,09	2,56	0,25	2,09	37,96	4,16	14,86	2,34	43,65	226,20
CM	12-15	573,08	1272,69	5950,81	48,61	2,29	3,07	0,24	2,19	41,25	2,94	14,07	2,34	48,82	229,85
CM	15-18	551,33	1169,64	6847,72	89,60	2,70	3,89	0,30	2,72	45,76	3,56	16,49	2,44	43,96	205,71
CM	18-21	536,94	1129,63	6967,98	124,36	2,01	5,16	0,20	3,63	57,55	6,97	21,45	2,42	66,75	141,30
CM	21-24	525,87	1159,41	6186,06	78,55	1,83	3,55	0,21	3,32	43,41	4,89	17,56	1,99	47,32	130,53
CM	24-27	617,31	1275,92	8012,17	74,94	2,36	4,28	0,13	3,12	53,43	5,91	23,07	2,52	37,22	132,13
CM	27-30	494,38	1124,38	6490,69	97,21	1,11	3,89	0,14	2,02	34,01	5,92	15,94	1,61	36,39	115,65
CM	30-33	503,75	1161,90	7097,07	96,80	1,86	3,70	0,11	2,21	41,74	5,26	19,88	1,67	28,22	90,70
CM	33-36	473,72	1166,88	5630,57	83,02	1,90	3,56	0,26	2,50	41,43	4,30	19,08	1,61	30,31	80,38
CM	36-39	523,02	1157,59	7020,22	75,63	2,34	3,59	0,15	2,98	47,27	6,19	20,07	2,05	31,62	120,73
CM	39-42	478,57	1161,15	6407,50	98,95	1,29	3,67	0,20	2,77	49,48	5,09	17,40	1,92	22,83	112,87
CM	42-45	497,10	1181,89	5716,69	104,76	1,84	4,06	0,14	2,92	60,21	4,82	19,13	2,39	31,38	145,78
CM	45-48	474,13	1221,05	6445,31	170,45	1,00	4,60	0,15	1,88	32,57	6,30	14,03	1,40	26,62	90,25
CM	48-51	470,03	1232,15	6146,98	103,11	1,46	3,24	0,17	2,52	43,73	5,98	18,41	1,44	22,07	84,39
CM	51-54	468,21	1131,73	5607,18	76,70	1,57	3,16	0,19	2,27	44,30	4,37	18,21	1,50	13,41	71,22
CM	54-57	410,11	1081,67	4557,61	41,63	1,20	2,35	0,17	1,69	29,22	5,57	15,37	1,64	31,55	135,76
CM	57-60	356,71	977,07	4033,42	33,51	1,35	2,37	0,19	1,12	27,28	3,91	11,01	1,07	13,26	50,64
CM	60-63	493,08	1226,13	6010,62	46,08	1,72	2,95	0,15	3,02	57,29	4,98	19,34	2,03	20,65	110,28
CM	63-66	463,65	1192,35	6002,72	40,74	1,80	2,27	0,13	2,50	52,72	7,74	19,43	1,63	16,47	85,06
СМ	66-69	455,42	1113,81	6158,83	35,40	0,92	1,83	0,19	2,41	53,12	5,19	17,67	1,50	7,78	76,14
CM	69-72	465,96	1136,30	7015,80	39,33	1,82	2,09	0,22	2,57	49,68	4,16	21,53	1,14	10,08	44,76
	C <sub>M</sub>	488,31	1170,41	6169,06	73,89	1,90	3,24	0,19	2,45	43,42	5,01	17,27	1,84	31,85	125,28
	SD	52,61	77,10	861,93	33,47	0,62	0,84	0,05	0,55	9,58	1,17	3,10	0,42	14,66	52,42

					C	Capivari I	Neio								
Estação de	Drofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	K	Ca
amostragem	Profuticidade (CIII)							µg.g <sup>-1</sup>							
CM	0-3	246,83	1827,46	217,22	13,54	7,87	1,01	0,02	0,72	7,41	0,81	8,44	0,73	21,93	75,92
CM	3-6	251,86	2052,77	197,82	11,23	6,69	0,77	0,00	0,64	6,70	0,10	7,92	0,62	13,82	52,21
CM	6-9	285,92	2481,80	351,94	10,82	10,16	0,94	0,04	1,01	9,18	0,66	10,65	0,82	20,99	69,26
CM	9-12	287,83	2507,48	373,83	9,00	9,93	0,91	0,01	0,83	9,39	0,56	10,52	0,86	21,65	73,36
CM	12-15	352,26	2546,09	359,12	10,49	10,47	1,03	0,04	1,02	10,55	0,45	10,03	0,86	20,58	80,08
CM	15-18	329,40	2625,56	369,40	18,94	11,11	1,18	0,03	1,04	12,92	1,27	12,59	1,00	26,65	81,98
CM	18-21	267,26	2099,57	218,76	17,12	7,15	1,37	0,06	1,39	11,78	2,74	13,62	0,69	9,69	42,78
CM	21-24	292,19	2100,98	194,36	11,59	6,21	1,08	0,10	0,72	9,54	1,95	12,19	0,58	11,15	33,62
CM	24-27	317,15	2593,46	346,29	13,28	8,30	1,19	0,04	0,90	13,67	0,68	14,14	0,84	16,46	46,06
CM	27-30	271,84	1803,92	238,23	12,86	5,53	1,45	0,08	0,51	7,57	0,95	9,23	0,62	12,89	52,33
CM	30-33	247,86	2004,95	301,88	14,91	6,31	0,99	0,03	0,48	9,63	1,84	11,45	0,57	8,61	32,01
CM	33-36	253,35	1913,59	233,64	12,28	5,86	0,76	0,02	0,90	9,11	1,26	10,63	0,50	6,71	27,50
CM	36-39	253,62	2051,88	251,31	11,05	6,34	1,16	0,04	0,53	10,23	2,26	11,85	0,63	9,40	39,97
CM	39-42	278,92	2268,75	253,41	14,38	7,45	0,84	0,00	0,70	11,00	1,43	13,64	0,59	9,72	31,41
CM	42-45	280,85	2077,60	240,46	15,50	7,25	1,19	0,16	1,15	13,69	0,36	13,05	0,66	5,14	38,44
CM	45-48	272,95	1863,12	221,93	22,78	4,95	1,08	0,06	0,60	7,39	1,91	7,99	0,40	7,23	28,78
CM	48-51	259,15	2054,64	201,22	14,17	5,88	0,67	0,04	0,90	9,05	3,38	11,79	0,47	5,92	27,40
CM	51-54	283,66	2113,04	176,91	11,46	6,36	0,90	0,01	0,94	10,70	2,23	13,57	0,53	6,97	29,15
CM	54-57	238,21	1541,73	90,60	4,81	3,11	0,47	0,03	0,66	5,61	1,59	8,82	0,35	4,58	24,70
СМ	57-60	218,61	1328,39	73,34	3,62	2,83	0,60	0,06	0,23	4,48	2,39	5,94	0,30	4,31	19,96
СМ	60-63	259,27	2200,58	214,89	7,53	6,57	0,66	0,09	1,30	12,62	3,10	13,95	0,71	5,15	35,30
СМ	63-66	243,61	2034,23	167,34	5,87	6,01	0,58	0,02	0,73	10,69	2,24	13,43	0,51	4,69	25,73
СМ	66-69	295,43	2277,90	236,68	5,54	7,41	0,71	0,05	1,30	12,99	1,50	16,62	0,56	8,67	34,76
CM	69-72	263,33	2274,76	272,93	6,53	7,69	0,69	0,04	1,36	12,57	3,62	18,10	0,51	2,40	26,67
	C <sub>M</sub>	272,97	2110,18	241,81	11,64	6,98	0,93	0,04	0,86	9,94	1,64	11,67	0,62	11,05	42,89
	SD	30,18	316,87	79,27	4,61	2,04	0,26	0,04	0,30	2,53	0,98	2,84	0,17	6,82	19,31

Tabela 20A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S4 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem intermediária do rio Capivari (CM)

						Capiv	/ari Foz								
Estação de	Drofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Са
amostragem	Profuncidade (cm)							μg.	g <sup>-1</sup>						
CF	0-3	7,60	3,72	2,37	3,43	0,02	0,26	0,09	0,84	13,22	2,93	0,30	1,68	44,10	245,05
CF	3-6	5,87	4,03	1,16	2,68	0,06	0,45	0,04	0,13	5,07	0,73	0,16	0,97	50,84	73,02
CF	6-9	4,70	8,96	1,80	2,23	0,39	0,65	0,03	0,28	2,45	3,01	0,12	0,88	53,53	56,93
CF	9-12	4,16	16,73	3,72	1,69	0,00	0,49	0,01	0,56	3,68	0,79	0,00	0,71	47,10	48,39
CF	12-15	2,92	36,81	5,68	1,83	0,15	0,65	0,11	0,22	1,55	1,91	0,27	0,66	40,42	50,56
CF	15-18	2,36	39,93	5,25	1,55	0,55	1,04	0,03	0,33	1,67	0,00	0,00	0,69	40,78	53,44
CF	18-21	2,95	60,28	5,89	1,60	0,26	0,25	0,07	0,35	3,89	1,64	0,27	0,91	44,63	74,00
CF	21-24	9,30	135,09	1,92	1,76	0,78	0,78	0,08	0,36	1,92	0,59	0,15	1,44	41,65	101,09
CF	24-27	12,31	126,73	0,91	1,34	0,79	1,05	0,03	0,36	1,56	2,55	0,12	1,77	48,48	91,03
CF	27-30	10,64	5,89	0,91	9,51	0,62	0,85	0,01	0,09	0,19	2,16	0,10	2,99	37,62	179,64
CF	30-33	11,53	13,07	1,02	14,92	0,32	1,30	0,01	0,38	1,89	1,37	0,23	3,18	50,63	239,03
CF	33-36	13,83	48,28	2,71	14,82	0,50	1,50	0,03	0,37	2,95	0,00	0,29	3,25	58,95	261,66
CF	36-39	14,73	72,49	6,87	15,08	0,43	1,48	0,05	0,47	5,21	1,96	0,30	3,11	56,65	257,99
CF	39-42	9,10	57,28	11,12	14,42	0,76	1,06	0,07	0,46	3,40	3,06	0,09	2,64	42,51	233,28
CF	42-45	13,75	105,07	7,56	11,18	0,51	1,32	0,09	0,10	1,65	4,23	0,29	2,25	46,84	200,89
CF	45-48	16,27	172,74	5,14	8,94	1,05	0,92	0,00	0,47	2,17	2,07	0,24	1,82	48,13	167,71
CF	48-51	17,31	234,53	9,76	7,66	0,77	1,66	0,02	0,21	3,67	2,17	0,19	1,86	46,89	175,50
CF	51-54	19,09	158,92	3,87	6,37	0,61	1,13	0,12	0,20	3,85	0,10	0,27	2,80	45,39	282,22
	C <sub>M</sub>	9,91	72,25	4,31	6,72	0,48	0,94	0,05	0,34	3,33	1,74	0,19	1,87	46,95	155,08
	SD	5,31	68,39	3,08	5,41	0,30	0,42	0,04	0,18	2,80	1,19	0,10	0,94	5,66	85,83

Tabela 21A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S1 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximo à foz do rio Capivari (CF)
	Capivari Foz														
Estação de	Drofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profundidade (Cill)							μg.g	-1						
CF	0-3	42,07	136,80	526,47	10,91	2,50	0,74	0,09	0,37	53,60	2,31	0,64	0,41	36,16	57,06
CF	3-6	32,46	109,87	219,52	1,90	0,48	0,40	0,07	0,24	2,33	0,11	0,44	0,14	51,93	5,96
CF	6-9	17,92	79,96	215,43	1,22	0,49	0,15	0,11	0,01	1,25	0,13	0,13	0,11	93,75	5,39
CF	9-12	17,73	87,19	257,86	0,90	0,40	0,57	0,06	0,18	0,73	2,16	0,44	0,06	106,12	4,13
CF	12-15	25,19	112,99	347,97	1,19	0,47	0,81	0,07	0,29	0,55	0,23	0,76	0,09	130,89	4,67
CF	15-18	20,92	103,56	218,88	0,81	0,59	0,13	0,04	0,02	0,52	0,86	0,54	0,08	141,20	3,59
CF	18-21	37,58	161,18	281,33	1,21	0,68	0,47	0,08	0,03	1,35	2,39	0,81	0,12	157,30	6,90
CF	21-24	44,53	324,41	114,03	1,49	0,53	0,26	0,09	0,08	0,89	4,75	0,48	0,19	167,71	8,53
CF	24-27	48,33	293,24	23,60	0,72	0,34	0,24	0,07	0,00	0,34	4,71	0,05	0,13	170,14	3,93
CF	27-30	54,04	248,67	25,89	4,53	0,42	0,63	0,01	0,19	0,16	3,57	0,18	0,18	172,09	8,46
CF	30-33	38,48	209,05	239,38	6,25	1,27	0,60	0,05	0,00	1,85	5,63	0,36	0,28	180,12	14,43
CF	33-36	56,54	252,08	500,43	5,47	1,13	0,53	0,00	0,02	1,24	4,16	0,66	0,28	167,75	17,12
CF	36-39	44,10	260,55	697,65	5,49	1,16	0,29	0,08	0,06	1,63	5,60	1,11	0,30	162,09	18,01
CF	39-42	34,37	250,94	815,43	6,94	1,04	0,48	0,14	0,27	1,56	6,92	1,25	0,28	163,34	19,25
CF	42-45	38,74	278,89	419,61	3,49	0,91	0,39	0,04	0,00	0,75	5,23	0,76	0,18	178,08	11,50
CF	45-48	53,98	288,81	306,26	2,56	1,00	0,55	0,03	0,03	0,73	5,75	0,47	0,16	102,05	9,24
CF	48-51	40,14	210,53	345,27	2,31	0,77	0,17	0,11	0,00	0,67	4,70	0,40	0,14	151,11	9,91
CF	51-54	62,74	273,70	230,03	2,40	1,12	0,42	0,10	0,00	1,21	2,33	0,68	0,28	184,00	18,47
	C <sub>M</sub>	39,44	204,58	321,39	3,32	0,85	0,43	0,07	0,10	3,96	3,42	0,56	0,19	139,77	12,59
	SD	13,18	81,35	209,02	2,77	0,51	0,20	0,04	0,12	12,40	2,17	0,31	0,09	44,24	12,32

Tabela 22A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S2 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximo à foz do rio Capivari (CF)

	Capivari Foz														
Estação de	Brofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profundidade (Cill)						h	lg.g <sup>-1</sup>							
CF	0-3	231,34	561,28	1932,29	17,37	1,26	1,10	0,22	0,58	22,00	4,94	3,15	0,38	45,74	60,97
CF	3-6	193,74	463,78	1392,54	10,33	0,30	0,88	0,18	0,36	4,43	0,67	2,21	0,31	32,11	24,82
CF	6-9	200,16	500,37	1621,79	11,10	0,18	0,86	0,17	0,17	3,67	2,41	2,38	0,36	32,05	33,48
CF	9-12	171,97	447,79	1667,04	11,09	0,19	0,58	0,26	0,50	3,79	3,81	2,71	0,23	21,36	33,18
CF	12-15	221,64	545,03	1964,68	12,23	0,00	0,88	0,15	0,31	3,67	2,97	2,85	0,21	20,49	18,27
CF	15-18	224,93	572,41	1899,22	12,00	0,74	0,96	0,16	0,19	3,42	3,19	3,11	0,23	22,23	14,29
CF	18-21	268,02	718,11	2383,65	17,49	0,46	1,29	0,15	0,09	4,82	4,52	3,79	0,28	17,96	20,65
CF	21-24	327,15	1294,90	3067,27	24,70	0,37	0,73	0,16	0,00	4,14	4,64	3,86	0,23	12,67	26,22
CF	24-27	307,26	1080,17	3267,53	15,00	0,28	0,85	0,18	0,00	1,54	2,75	3,17	0,04	4,12	2,27
CF	27-30	296,37	909,75	3408,80	63,50	0,11	3,38	0,14	0,04	1,38	7,48	2,34	0,10	1,45	9,43
CF	30-33	327,56	1120,17	3398,60	25,33	0,66	3,18	0,14	0,15	5,43	4,32	4,41	0,20	3,50	11,13
CF	33-36	339,84	1044,02	3695,79	8,16	0,51	2,24	0,07	0,61	4,36	5,84	4,76	0,22	4,03	16,73
CF	36-39	379,09	1159,19	4039,31	7,95	0,34	2,47	0,15	0,45	6,59	3,68	5,77	0,30	5,90	22,86
CF	39-42	360,58	1234,60	3536,51	12,73	0,36	2,54	0,22	0,37	8,13	7,04	6,07	0,35	2,93	18,21
CF	42-45	336,16	1355,18	3861,39	6,38	0,75	1,65	0,17	0,22	3,24	4,97	6,73	0,32	2,41	35,08
CF	45-48	355,01	1283,29	4401,76	7,65	0,72	1,19	0,14	0,05	2,25	4,43	5,84	0,14	-1,41	6,79
CF	48-51	394,02	1050,78	3474,75	7,20	0,15	1,44	0,17	0,07	2,88	4,59	5,26	0,19	1,30	17,76
CF	51-54	384,84	1074,54	3940,19	10,18	0,56	1,02	0,19	0,04	3,08	6,02	6,06	0,19	-0,48	16,48
	C <sub>M</sub>	295,54	911,96	2941,84	15,58	0,44	1,51	0,17	0,23	4,93	4,35	4,14	0,24	12,69	21,59
	SD	72,05	323,33	972,36	13,16	0,31	0,87	0,04	0,20	4,57	1,66	1,50	0,09	13,74	13,36

Tabela 23A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S3 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximo à foz do rio Capivari (CF)

	Capivari Foz														
Estação de	Drofundidada (am)	Si	AI	Fe	Mn	Cu	Со	Cd	Ni	Zn	Pb	Cr	Sr	К	Ca
amostragem	Profundidade (cm)							μg.g <sup>-1</sup>							
CF	0-3	147,54	416,75	49,85	1,41	1,25	0,28	0,01	0,15	2,23	2,74	0,90	0,21	9,53	28,14
CF	3-6	154,78	340,38	49,66	0,92	0,40	0,67	0,04	0,00	0,91	2,20	0,91	0,20	7,85	23,93
CF	6-9	188,54	362,74	41,28	0,92	0,51	0,34	0,00	0,00	0,72	0,16	0,99	0,14	13,19	11,46
CF	9-12	180,57	377,01	52,74	1,02	0,64	0,68	0,02	0,00	1,05	2,38	0,68	0,19	9,79	17,17
CF	12-15	169,66	430,46	53,74	1,21	0,81	0,18	0,15	0,00	1,16	2,16	1,03	0,12	7,30	10,92
CF	15-18	181,94	490,67	51,79	1,23	0,45	0,58	0,09	0,26	1,19	0,11	1,11	0,23	10,22	24,99
CF	18-21	221,08	689,29	59,57	1,78	1,10	0,34	0,01	0,00	1,45	3,19	1,72	0,16	11,18	15,64
CF	21-24	255,31	1241,22	22,45	2,67	1,08	0,15	0,04	0,00	0,98	2,36	1,94	0,10	5,32	17,51
CF	24-27	248,45	1127,89	18,80	1,80	0,74	0,78	0,09	0,00	0,91	1,41	0,39	0,16	6,38	23,08
CF	27-30	210,85	1045,06	26,34	8,10	0,87	1,11	0,04	0,00	0,75	1,71	0,24	0,00	6,26	3,28
CF	30-33	253,61	1390,55	25,68	3,96	1,37	1,01	0,04	0,01	1,68	3,01	1,60	0,13	5,54	18,60
CF	33-36	288,14	1392,40	25,62	1,74	1,26	0,98	0,04	0,18	1,56	1,69	1,39	0,13	3,43	14,16
CF	36-39	279,64	1428,20	28,30	1,52	1,71	0,84	0,02	0,01	1,58	2,32	2,26	0,18	6,97	20,35
CF	39-42	273,02	1432,42	38,43	2,22	2,14	0,84	0,08	0,18	1,85	4,97	2,66	0,19	7,17	20,69
CF	42-45	253,63	1470,26	22,53	1,40	1,57	0,92	0,03	0,00	1,30	2,81	2,15	0,16	7,08	24,50
CF	45-48	271,26	1489,47	21,75	1,51	0,69	0,57	0,00	0,00	0,72	0,75	2,02	0,05	-0,58	6,80
CF	48-51	289,12	1571,04	36,73	1,58	1,53	0,63	0,00	0,00	1,27	3,23	1,93	0,07	2,04	8,65
CF	51-54	261,39	1432,97	26,56	1,79	1,08	0,38	0,07	0,00	1,21	3,34	2,47	0,04	-0,32	6,05
	C <sub>M</sub>	229,36	1007,15	36,21	2,04	1,07	0,63	0,04	0,04	1,25	2,25	1,46	0,14	6,57	16,44
	SD	47,89	483,65	13,57	1,67	0,48	0,30	0,04	0,08	0,41	1,19	0,72	0,06	3,70	7,32

Tabela 24A - Concentração química (µg.g<sup>-1</sup>) dos principais elementos potencialmente tóxicos e demais espécies químicas de interesse extraídos na fase S4 (trocável + solúvel), dos sedimentos de fundo em perfil de profundidade, na estação de amostragem próximo à foz do rio Capivari (CF)

		Jundiaí	Nascente				Jundiaí Foz									
Excursões	Amostras	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> Ν	C/N	Excursões	Amostras	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N	C/N			
19/04/2011	JN-1	2,53	0,23	-25,25	6,31	10,84	19/04/2011	JF-1	3,05	0,39	-22,78	4,08	7,92			
17/05/2011	JN-2	3,64	0,30	-25,95	5,00	11,96	17/05/2011	JF-2	5,18	0,65	-22,92	2,14	7,93			
14/06/2011	JN-3	3,20	0,27	-25,52	5,80	11,75	14/06/2011	JF-3	3,05	0,49	-22,69	2,68	6,24			
19/07/2011	JN-4	4,34	0,40	-25,48	4,52	10,94	19/07/2011	JF-4	11,47	1,46	-23,12	-0,48	7,89			
30/08/2011	JN-5	3,35	0,31	-25,35	5,62	10,67	30/08/2011	JF-5	5,97	0,99	-23,54	1,58	6,03			
20/09/2011	JN-6	4,83	0,42	-25,92	4,79	11,60	20/09/2011	JF-6	10,73	1,54	-23,51	1,75	6,98			
01/11/2011	JN-7	3,43	0,34	-25,17	5,12	10,21	01/11/2011	JF-7	5,14	0,42	-23,22	3,21	12,33			
11/12/2011	JN-8	2,35	0,22	-24,41	8,09	10,93	11/12/2011	JF-8	1,83	0,19	-22,56	5,57	9,48			
17/01/2012	JN-9	2,26	0,20	-24,45	7,17	11,42	17/01/2012	JF-9	2,10	0,22	-22,91	5,51	9,77			
18/01/2012	JN-10	1,89	0,16	-23,53	5,50	11,56	18/01/2012	JF-10	2,15	0,23	-23,11	6,12	9,52			
16/02/2012	JN-11	2,79	0,26	-25,02	7,20	10,73	16/02/2012	JF-11	2,26	0,22	-23,02	3,78	10,14			
20/06/2012	JN-12	1,74	0,21	-23,67	7,43	8,36	20/06/2012	JF-12	1,71	0,17	-21,45	4,21	9,88			
28/08/2012	JN-13	-	-	-	-	-	28/08/2012	JF-13	-	-	-	-	-			
26/11/2012	JN-14	2,67	0,27	-24,35	8,68	9,83	26/11/2012	JF-14	2,93	0,31	-22,02	4,40	9,46			
16/12/2012	JN-15	2,24	0,13	-23,93	7,03	17,78	16/12/2012	JF-15	2,10	0,08	-22,45	5,93	27,57			

Tabela 1B - Resultados de COP, NOP,  $\delta^{13}$ C,  $\delta^{15}$ N e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na nascente (JN) e foz (JF) do rio Jundiaí para o período estudado.

		Capivari	Nascente				Capivari Foz									
Excursões	Amostras	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> Ν	C/N	Excursões	Amostras	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N	C/N			
19/04/2011	CN-1	4,56	0,49	-23,92	8,91	9,40	19/04/2011	CF-1	4,43	0,36	-23,81	4,32	12,30			
17/05/2011	CN-2	3,46	0,64	-25,40	8,88	5,41	17/05/2011	CF-2	2,44	0,27	-21,84	10,19	9,18			
14/06/2011	CN-3	5,92	0,46	-23,67	7,78	12,90	14/06/2011	CF-3	2,51	0,28	-22,42	9,58	8,98			
19/07/2011	CN-4	2,16	0,21	-25,57	9,04	10,33	19/07/2011	CF-4	5,19	0,56	-24,10	5,18	9,24			
30/08/2011	CN-5	5,60	0,64	-25,23	7,85	8,75	30/08/2011	CF-5	5,30	0,80	-26,99	2,73	6,66			
20/09/2011	CN-6	6,06	0,65	-25,24	8,18	9,27	20/09/2011	CF-6	12,42	1,89	-28,46	4,52	6,59			
01/11/2011	CN-7	7,40	0,74	-23,86	8,62	10,01	01/11/2011	CF-7	5,95	0,25	-25,01	4,70	23,60			
11/12/2011	CN-8	3,00	0,31	-21,63	7,67	9,73	11/12/2011	CF-8	2,02	0,17	-21,31	5,14	11,81			
17/01/2012	CN-9	3,07	0,34	-22,75	8,60	9,00	17/01/2012	CF-9	2,00	0,19	-21,22	7,36	10,73			
18/01/2012	CN-10	4,09	0,49	-24,66	6,94	8,43	18/01/2012	CF-10	1,57	0,16	-21,22	6,67	9,67			
16/02/2012	CN-11	5,67	0,48	-24,54	7,54	11,74	16/02/2012	CF-11	1,50	0,14	-21,66	7,29	10,90			
20/06/2012	CN-12	2,15	0,28	-22,07	8,47	7,61	20/06/2012	CF-12	1,01	0,14	-19,27	6,98	7,40			
28/08/2012	CN-13	-	-	-	-	-	28/08/2012	CF-13	-	-	-	-	-			
26/11/2012	CN-14	3,84	0,52	-21,35	8,14	7,38	26/11/2012	CF-14	2,29	0,30	-22,87	11,95	7,75			
16/12/2012	CN-15	3,62	0,22	-21,43	8,05	16,67	16/12/2012	CF-15	1,61	0,15	-19,34	9,96	10,94			

Tabela 2B - Resultados de COP, NOP, δ<sup>13</sup>C, δ<sup>15</sup>N e a razão C/N das amostras de sedimentos finos em suspensão (FSS) determinados na nascente (CN) e foz (CF) do rio Capivari para o período estudado.

	Jur	ndiaí Nas	cente – JI	N		Jundiaí Meio – JM							Jundiaí Foz – JF						
Prof. (cm)	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N	C/N	Prof. (cm)	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N	C/N	Prof. (cm)	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N	C/N		
0-3	1,42	0,10	-23,71	4,99	13,93	0-3	1,67	0,17	-22,00	0,74	9,76	0-3	1,98	0,16	-23,24	3,49	12,22		
3-6	2,74	0,19	-24,60	7,56	14,26	3-6	1,90	0,20	-21,55	1,70	9,62	3-6	2,23	0,21	-22,88	3,54	10,76		
6-9	2,43	0,18	-24,13	7,01	13,25	6-9	1,62	0,17	-21,36	1,66	9,51	6-9	2,98	0,29	-22,54	3,35	10,35		
9-12	4,03	0,23	-23,77	5,19	17,21	9-12	1,91	0,19	-21,71	1,29	10,15	9-12	1,90	0,20	-22,25	4,11	9,30		
12-15	2,50	0,17	-23,46	6,15	15,16	12-15	1,23	0,13	-21,76	1,07	9,53	12-15	1,25	0,12	-22,80	5,39	10,39		
15-18	2,26	0,16	-20,48	5,83	13,80	15-18	1,12	0,12	-22,11	1,52	9,48	15-18	0,75	0,07	-22,90	6,99	10,40		
18-21	2,41	0,18	-19,45	6,23	13,09	18-21	1,11	0,19	-21,64	2,04	5,92	18-21	0,57	0,06	-22,27	4,39	9,64		
21-24	2,00	0,16	-20,31	7,34	12,58	21-24	0,49	0,05	-22,34	3,06	9,88	21-24	1,11	0,10	-22,38	2,87	10,90		
24-27	1,88	0,14	-22,23	6,76	13,42	24-27	0,92	0,09	-24,40	3,50	10,56	24-27	1,19	0,10	-23,01	2,78	12,04		
27-30	1,53	0,12	-22,64	6,58	12,45	27-30	1,89	0,20	-21,61	2,60	9,39	27-30	0,76	0,07	-22,21	4,22	10,81		
30-33	1,37	0,12	-21,89	7,17	11,83	30-33	2,95	0,32	-21,88	2,21	9,27	30-33	1,05	0,10	-21,93	4,66	10,44		
33-36	1,28	0,11	-21,97	7,65	11,81	33-36	3,05	0,42	-21,72	0,27	7,27	33-36	0,87	0,08	-21,77	4,36	10,72		
36-39	1,53	0,13	-22,94	7,19	11,43	36-39	4,73	0,50	-22,23	0,85	9,50	36-39	1,04	0,09	-22,16	4,12	11,11		
39-42	1,51	0,14	-23,16	6,07	11,15	39-42	5,62	0,60	-22,20	1,27	9,38	39-42	0,69	0,06	-22,30	3,08	11,90		
						42-45	5,43	0,69	-21,81	1,31	7,88								
						45-48	3,84	0,18	-22,08	3,55	21,10								
						48-51	1,70	0,15	-21,69	3,37	11,03								
						51-54	1,50	0,15	-22,13	2,39	10,37								
						54-57	1,63	0,15	-21,90	2,38	11,10								

Tabela 1C - Resultados de COP, NOP,  $\delta^{13}$ C,  $\delta^{15}$ N e a razão C/N das amostras de sedimentos de fundo em perfil de profundidade determinados na nascente (JN), meio (JM) e foz (JF) do rio Jundiaí.

	Capivari Nascente – CN					Capivari Meio – CM							Capivari Foz – CF						
Prof. (cm)	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N	C/N	Prof. (cm)	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ¹⁵N	C/N	Prof. (cm)	COP (%)	NOP (%)	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N	C/N		
0-3	1,86	0,15	-20,27	8,43	12,31	0-3	1,58	0,15	-21,68	4,64	10,57	0-3	0,191	0,015	-22,89	7,58	12,7		
3-6	2,45	0,19	-20,53	7,83	12,75	3-6	1,17	0,11	-22,39	5,24	10,76	3-6	0,094	0,009	-22,93	9,33	10,4		
6-9	2,29	0,18	-20,91	7,03	12,74	6-9	1,58	0,15	-22,20	4,49	10,88	6-9	0,078	0,010	-23,34	6,57	7,8		
9-12	2,52	0,18	-19,21	6,52	14,34	9-12	1,81	0,17	-22,38	3,97	10,59	9-12	0,087	0,008	-23,28	6,96	10,9		
12-15	2,74	0,18	-17,87	6,52	15,12	12-15	2,19	0,21	-22,45	4,03	10,52	12-15	0,113	0,012	-23,08	8,88	9,4		
15-18	2,40	0,16	-17,63	6,75	14,93	15-18	1,85	0,18	-22,47	4,69	10,58	15-18	0,125	0,013	-23,11	9,18	9,6		
18-21	1,98	0,14	-18,44	6,85	14,43	18-21	1,75	0,17	-22,10	4,88	10,43	18-21	0,216	0,021	-22,32	8,65	10,3		
21-24	1,39	0,09	-17,85	7,14	15,93	21-24	1,42	0,13	-22,01	4,83	10,71	21-24	0,251	0,028	-21,07	8,91	9,0		
24-27	1,35	0,10	-19,56	7,44	14,19	24-27	1,95	0,18	-21,66	4,99	10,73	24-27	0,089	0,017	-20,66	7,48	5,2		
27-30	1,34	0,10	-20,29	7,42	13,30	27-30	1,45	0,13	-22,59	5,80	10,99	27-30	0,066	0,014	-21,21	4,85	4,7		
30-33	1,54	0,12	-20,29	6,72	13,42	30-33	1,58	0,14	-22,17	5,29	11,15	30-33	0,262	0,035	-21,19	6,04	7,5		
33-36	1,16	0,08	-19,63	6,61	14,62	33-36	1,47	0,13	-22,83	4,96	11,32	33-36	0,294	0,039	-21,63	5,56	7,5		
36-39	1,07	0,08	-20,23	7,18	13,87	36-39	1,61	0,15	-22,80	4,95	11,00	36-39	0,371	0,045	-21,6	5,82	8,2		
39-42	1,52	0,11	-21,03	7,46	14,17	39-42	1,79	0,16	-23,35	5,10	11,32	39-42	0,494	0,056	-21,47	5,74	8,8		
42-45	2,39	0,16	-21,21	7,03	14,73	42-45	1,70	0,16	-22,68	5,10	10,65	42-45	0,315	0,043	-21,34	6,02	7,3		
45-48	3,17	0,22	-21,87	6,01	14,65	45-48	1,33	0,13	-21,80	6,30	10,41	45-48	0,230	0,035	-20,68	6,2	6,6		
48-51	2,95	0,21	-21,51	5,85	14,09	48-51	1,39	0,13	-22,47	6,95	10,98	48-51	0,264	0,037	-21,53	5,55	7,1		
51-54	3,10	0,22	-21,57	5,88	14,40	51-54	1,29	0,11	-22,59	5,60	11,34	51-54	0,263	0,037	-21,09	5,63	7,1		
54-57	3,46	0,25	-21,88	6,11	14,10	54-57	0,75	0,07	-23,17	5,87	11,04								
57-60	2,73	0,20	-21,26	6,29	13,90	57-60	0,63	0,06	-23,44	6,65	11,20								
60-63	3,21	0,22	-20,49	5,67	14,58	60-63	1,51	0,13	-22,80	4,98	11,65								
63-66	3,31	0,22	-19,75	5,42	15,12	63-66	1,37	0,12	-22,86	5,42	11,11								
66-69	3,21	0,22	-21,69	6,31	14,45	66-69	1,68	0,15	-23,22	4,93	11,33								
69-72	3,72	0,28	-22,41	6,79	13,44	69-72	1,62	0,16	-23,23	5,87	10,19								
72-75	3,13	0,22	-21,97	7,02	14,16														
75-78	3.59	0.26	-22.50	7.06	13.80														

Tabela 2C - Resultados de COP, NOP,  $\delta^{13}$ C,  $\delta^{15}$ N e a razão C/N das amostras de sedimentos de fundo em perfil de profundidade determinados na nascente (CN), meio (CM) e foz (CF) do rio Capivari.