

## Impacto Antropogênico no Arroio Sapucaia (RS): Aplicação de Balanço de Massas aos Fluxos Hidrogeoquímicos e Índices de Contaminação nos Sedimentos

Melissa Franzen

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS

maismel@yahoo.com.br

Ana Maria Pimentel Mizusaki, Maria Lídia Vignol Lelarge, Teresinha Guerra

Instituto de Geociências, UFRGS – ana.mizusaki@ufrgs.br, lidia.vignol@ufrgs.br, tg@ecologia.ufrgs.br

Recebido: 13/06/03 revisado: -/-/- aceito: 17/10/05

---

---

### RESUMO

As concentrações de nutrientes, elementos maiores e elementos-traço nas águas e sedimentos do Arroio Sapucaia foram empregadas numa análise geoquímica-ambiental do impacto antropogênico sobre este recurso hídrico. Os fluxos totais de P, NO<sub>3</sub>, SiO<sub>3</sub>, Al, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd e V foram utilizados em modelos de Balanço de Massas, buscando a identificação de segmentos críticos em termos de adição de cargas antropogênicas. A dinâmica de transferência das cargas contaminantes entre cinco segmentos fluviais e a contribuição antrópica são discutidos. A qualidade dos sedimentos superficiais de fundo também foi avaliada com o uso de Índices de Contaminação, o que demonstrou a acumulação de P, Zn, Ni, Cu e V, compondo um cenário em que P, Ni e V apresentaram enriquecimento em ambos os compartimentos, sedimentar e fluvial. A contaminação do Arroio Sapucaia está relacionada com o lançamento de efluentes domésticos e industriais gerados principalmente nos cursos médio e inferior do arroio, onde há grande densidade demográfica e industrial. Incrementos de fluxo menos expressivos e/ou negativos no segmento inferior do arroio refletem a diminuição da vazão e apontam a importância dos processos de sedimentação e fixação dos poluentes nos sedimentos.

**Palavras chave:** geoquímica-ambiental; balanço de massas; índices de contaminação em sedimentos

---

---

### INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Arroio Sapucaia situa-se numa área densamente povoada da região metropolitana de Porto Alegre, ocupando uma área de aproximadamente 133 Km<sup>2</sup>. Suas nascentes localizam-se nos municípios de Gravataí, Sapucaia do Sul e Novo Hamburgo e, ao longo do seu percurso, recebe águas residuárias nos municípios de Cachoeirinha, Esteio e Canoas, indo desaguar no Rio dos Sinos, do qual é considerado um dos afluentes mais impactados. As atividades antrópicas lá desenvolvidas têm início ainda na área rural, onde é comum a prática de extração mineral próximo às nascentes. No curso médio, o Arroio Sapucaia recebe despejos de origem principalmente doméstica e o curso inferior é marcado por intensa atividade industrial.

No alto e médio curso da bacia, a água é utilizada para consumo humano (áreas rurais) e irrigação de hortifrutigranjeiros. No baixo curso (região de influência de indústrias) ocorrem despejos do-

mésticos e industriais, lixívia de lixo e irrigação de culturas de arroz localizadas nas margens, próximo à foz. Grande parte dos moradores usuários da água habita as regiões rurais mais próximas às nascentes, mas no médio e baixo curso, é comum o banho ou travessia nas vilas ribeirinhas ao arroio. A demanda de água na bacia do Arroio Sapucaia é de 69,7% para o suprimento da população urbana; 14,41% para irrigação e de 11,2% para o abastecimento industrial, sendo que estes três usos correspondem a mais de 95% do total (Guerra *et al.*, 1999).

As diversas atividades industriais na bacia incluem o setor petroquímico, metal-mecânico, plástico, químico e metalúrgico, resultando na geração de uma considerável variedade de tipos e quantidades de resíduos industriais. Os efluentes líquidos são, por vezes, lançados *in natura*, principalmente por médias e pequenas empresas, ou tratados, característica que se observa em efluentes de algumas das grandes indústrias (METROPLAN, 2001)

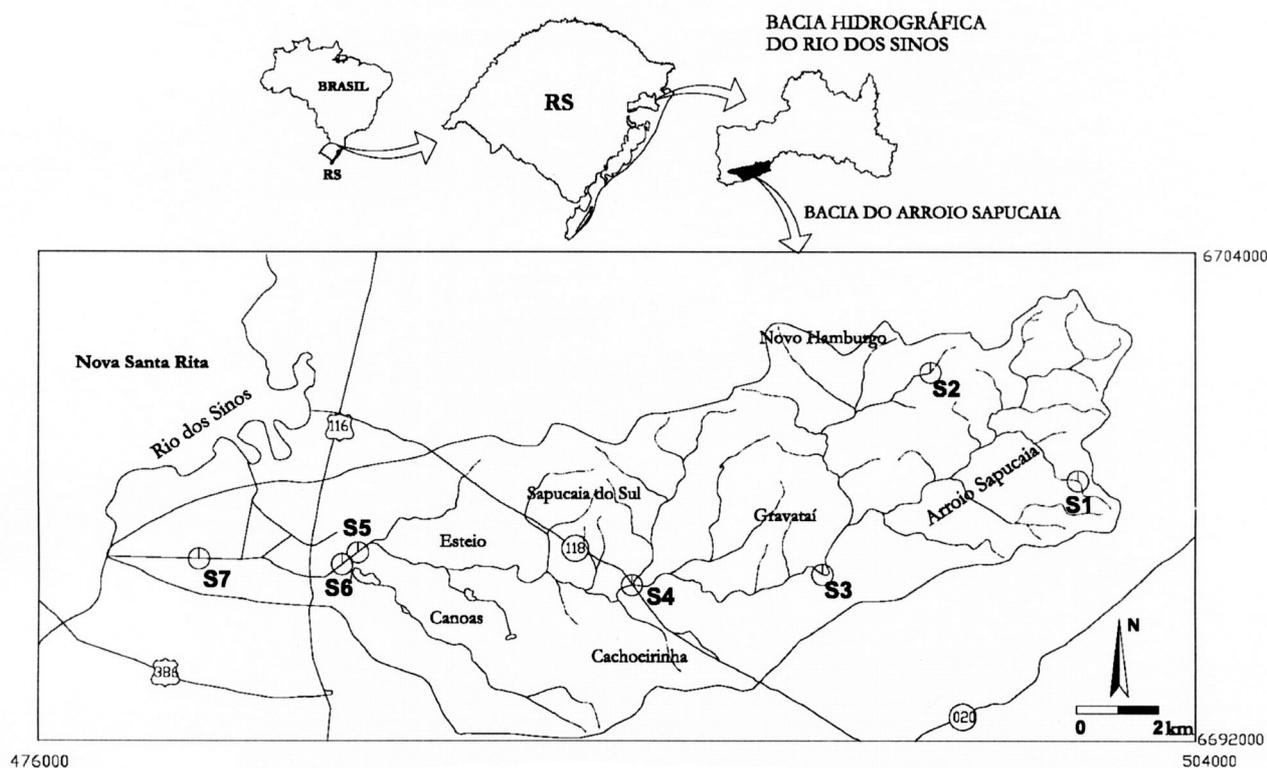


Figura 1 – Localização da área de estudo, principais acessos e estações de amostragem (S1 a S7).

Com o intuito de investigar a possibilidade de que a intensa atividade industrial possa estar contribuindo para a contaminação das águas, procedeu-se à análise de elementos maiores, elementos-traço e nutrientes nas águas e sedimentos de fundo do Arroio Sapucaia.

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Situada nos Domínios Morfoestruturais das Bacias e Coberturas Sedimentares, a bacia do Arroio Sapucaia tem como Unidade de Relevo a Depressão Periférica da Bacia do Paraná (Ramgrab *et al.*, 1997). As altitudes variam desde cerca de 6 metros acima do nível do mar, na foz do Arroio Sapucaia, até cerca de 300 metros, na porção norte da Bacia, onde o relevo passa de coxilhas suaves a morros com formas tabulares e cônicas. A Unidade de Relevo Planície Fluvial, representada na área de estudo pela planície aluvial do Rio dos Sinos e foz do Arroio Sapucaia, é caracterizada por ser uma área sazonalmente alagada, ocupada pela cultura do arroz. A bacia do Arroio Sapucaia está inserida em região de clima úmido a subúmido, com temperatura média anual de 19,7°C (IBGE, 1986).

A área ocupada pela bacia hidrográfica do Arroio Sapucaia abrange rochas paleozóicas da Bacia do Paraná e sedimentos quaternários. As unidades que afloram na área de estudo pertencem ao Grupo Passa Dois (Formação Rio do Rasto), Grupo Rosário do Sul (Formação Sanga do Cabral) e Grupo São Bento (Formações Botucatu e Serra Geral), conforme mapeamento geológico da Folha de São Leopoldo executado por Zeltzer *et al.* (1992).

A Formação Rio do Rasto é a unidade sedimentar mais antiga presente nesta região (Paleozóico, Permiano Superior), aflorando junto ao leito do Arroio Sapucaia e imediações, composta por arenitos finos, siltitos e argilitos. As diversas argileiras presentes na área da bacia encontram-se nesta unidade e, por esta razão, muito próximas ao leito do arroio, ocasionando turbidez na água ainda no curso superior. Por outro lado, seria esta unidade responsável pela proteção, ainda que parcial, das águas subterrâneas na região norte, onde estão localizadas áreas de disposição de resíduos sólidos, como o aterro Santa Tecla, no município de Gravataí e o lixão de Sapucaia do Sul.

A Formação Sanga do Cabral, pertencente ao Grupo Rosário do Sul, é a unidade aflorante na

maior parte da área da bacia, ocupando as cotas intermediárias do relevo. Esta formação é composta predominantemente por arenitos grossos a finos, associados a escassos siltitos. Nesta unidade destacam-se problemas associados à erosão e assoreamento do arroio, provocados pela remoção da cobertura vegetal, seja para fins de agricultura, extração mineral ou loteamentos abandonados.

O Grupo São Bento é formado pelas formações Botucatu e Serra Geral (Zeltzer *et al.*, 1992). A Formação Botucatu é caracterizada por arenitos avermelhados, finos a médios, normalmente bimodais e quartzosos, com estratificações cruzadas de grande porte. Esta unidade evidencia-se nos morros de cotas mais altas da região, como nos Morros Sapucaia, da Pedreira e das Cabras, sendo nestes últimos localizadas inúmeras frentes de exploração de arenito (pedra grés).

A Formação Serra Geral está representada na área por intrusões localizadas de *sills* e diques de diabásio. A ocorrência mais significativa é a intrusão de olivina gabro, aflorante em uma área de aproximadamente 6 km, no município de Gravataí, localidade de Santa Tecla (Viero & Roisenberg, 1992), onde ocorre a extração de brita. Os impactos dessa atividade são evidentes pela formação de terraços tecnogênicos de aproximadamente um metro de espessura nas nascentes do Arroio Sapucaia, em decorrência da erosão e acúmulo de sedimentos e brita. Além disso, a retirada de grande quantidade de água do arroio, para fins de refrigeração dos britadores, contribui na redução da vazão e perda da qualidade da água.

O Quaternário é representado por sedimentos recentes depositados principalmente ao longo da calha e da zona de várzea do Arroio Sapucaia. Constituem-se essencialmente de grânulos, areias quartzosas na calha e lamas na várzea.

A vegetação ribeirinha está restrita às áreas rurais e de banhado no curso inferior do arroio. A mata ciliar praticamente não existe e, nos raros pontos onde ela ainda existe, é composta por maricás, cinamomos e taquarais (CEPEMAR, 1998).

## CONDIÇÕES SÓCIO-ECONÔMICAS E AMBIENTAIS

Das atividades econômicas desenvolvidas na bacia do Arroio Sapucaia destacam-se a pecuária e a agricultura no curso superior do arroio, o comércio no curso médio e as indústrias de transformação no curso inferior.

A ocupação do solo urbano na bacia do Arroio Sapucaia ocorre com maior frequência nos municípios de Esteio, Sapucaia do Sul e Canoas.

Como a maior parte da população da bacia concentra-se no trecho entre as rodovias BR 116 e RS 118, junto aos municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul, acentua-se a problemática em relação aos resíduos sólidos. Nos períodos de cheias, a elevação do nível das águas inunda as áreas marginais, inseridas nas planícies aluviais e seus tributários. O problema se agrava nas áreas urbanas dos municípios de Esteio e Sapucaia do Sul, particularmente suscetíveis à erosão devido a grande quantidade de solos expostos.

O contexto social desses municípios faz com que uma parcela significativa da população viva em áreas de ocupação irregular ou imprópria (encostas, planícies de inundação, etc.), contribuindo para o assoreamento da rede de drenagem.

## METODOLOGIAS

A obtenção de dados primários foi realizada em 24 de janeiro de 2000 por meio da coleta de amostras de água e sedimentos superficiais de fundo, em 7 estações de amostragem (Fig. 1), para análises de nutrientes (fósforo total e nitratos), elementos maiores (Si, Al, Fe) e elementos-traço (Zn, Ni, Pb, Cd, V e Cu). A vazão foi medida pelo Método do Tubo de Pitot (Fill, 1987).

O material utilizado na preparação das amostras foi previamente lavado com HNO<sub>3</sub> 0,1N e enxaguado com água destilada e deionizada. As coletas de água foram realizadas no eixo central da seção, em uma profundidade de 15 cm da superfície, aclimatando o frasco com água do arroio antes da coleta. As amostras de água foram imediatamente refrigeradas e entregues aos laboratórios para a preparação das análises. O material da camada superficial dos sedimentos de fundo no arroio foi coletado com amostrador do tipo 'mudsnapper', preservando do efeito de lavagem e perda da fração fina. O condicionamento dos sedimentos úmidos foi feito em frascos de polietileno de boca larga, resfriados e, em laboratório, foram congelados até o momento da preparação para análise química.

A abertura das amostras de água seguiu a metodologia proposta por Perkin Elmer (1982) e APHA (1995) para análise das concentrações de metais totais, passando por uma lenta digestão nítrica à quente. O nitrato foi determinado através do método do Salicilato de Sódio de acordo com APHA (1995). Para o fósforo total foi utilizado o método do Ácido Ascórbico (NBR 12772 – ABNT, 1992). A determinação da sílica foi realizada de acordo com Golterman *et al.* (1978). As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Águas do Centro de

Ecologia da UFRGS. Os elementos Fe e Zn foram determinados por Espectrofotometria de Atomização em Chama de Ar/Acetileno, em aparelho Perkin Elmer, Modelo 2380. Os metais Al, Cd, Cu, Pb e Ni foram determinados por Espectrofotometria de Atomização Eletrotérmica em aparelho Perkin Elmer, Modelo SIMAA 6000.

A utilização do balanço de massas envolve a quantificação de toda massa contaminante que entra, sai ou se acumula no sistema, ou segmento de sistema, sempre com limites estabelecidos, neste caso, segmentos contíguos de um arroio. O esquema genérico para balanço de massa adaptado por Bidone (1992) assume a seguinte forma:

Transferência de Massa	Fluxo Afluente	Fluxo Efluente	Massa Interna
(exportação, acumulação ou equilíbrio)	= ('input')	- ('output')	± (adicionada, transformada ou suprimida)

As concentrações obtidas foram empregadas no cálculo dos fluxos hidrogeoquímicos totais, definidos unicamente pelo produto das variáveis: vazão e concentração. O cálculo do Incremento de Fluxo (termo "Massa Interna") é utilizado para separar a contribuição de cada segmento considerado, estimado pela diferença entre o fluxo total afluente e efluente dos elementos analisados.

Para avaliar a origem do incremento de fluxo e segregá-lo em suas componentes natural e antrópica, diversos autores utilizaram a estratégia baseada na Assinatura Geoquímica de Fonte, originalmente proposta por Bidone (1992) e testada por Travassos (1994), Laybauer (1995) e Hatje (1996), onde se utiliza um elemento químico de comportamento conservativo e abundante como fonte natural de contribuição. Neste estudo os elementos testados (Si, Al) tiveram significativa variação ao longo dos pontos de amostragem, por isso foi escolhido um elemento que apresentou comportamento aproximadamente constante como padrão de origem natural, neste caso o Pb.

A equação geral empregada no balanço de massas pode, então, ser sintetizada, conforme Hatje *et al.* (1998):

$$CA = (FEMe - FAME) - [(FEEi - FAEi) \times (FEMeC / FEEiC)]$$

Onde:

**CA** é a componente antrópica do incremento total de fluxo no segmento considerado;  
**FEMe** o fluxo efluente do metal;  
**FAME** o fluxo afluente do metal;

**(FEMe - FAME)** é o incremento total do fluxo do metal no segmento considerado; **FEEi** o fluxo efluente do elemento indicador de fonte natural; **FAEi** o fluxo afluente do elemento indicador de fonte natural;

**(FEEi - FAEi)** é o incremento total de fluxo do elemento indicador de fonte natural no segmento considerado;

**FEMeC** o fluxo efluente do metal no segmento de controle ('background');

**FEEiC** o fluxo efluente do elemento indicador de fonte natural no segmento de controle;

**(FEMeC / FEEiC)** é a razão entre os fluxos efluentes do metal e do elemento indicador de fonte natural na saída do segmento de controle; e assim, tem-se que

**[(FEEi - FAEi) × (FEMeC / FEEiC)]** corresponde à componente natural do incremento total de fluxo no segmento fluvial considerado.

A caracterização dos sedimentos superficiais de fundo incluiu análises granulométrica e mineralógica da amostra total, mineralogia da fração fina por técnicas de Difração de Raios-X e estimativa do teor de matéria orgânica (M.O). A individualização do percentual de silte e argila foi adotada apenas nos casos onde a fração de finos foi superior a 5 % do peso da amostra total.

A preparação dos sedimentos para análise química da fração fina incluiu o lento descongelamento das amostras e a segregação da fração siltico-argilosa a úmido, em peneira inerte em pvc para evitar a contaminação metálica. As análises químicas foram determinadas por Fluorescência de Raios-X em aparelho Rigaku Modelo RIX 2000, no Laboratório de Geoquímica do CPGq, Instituto de Geociências, incluindo a quantificação de elementos maiores e elementos-traço.

A concentração total dos metais na fração fina (< 62µm) dos sedimentos foi utilizada no cálculo de dois Índices de Poluição. O Fator de Contaminação (FC), definido como um quociente entre a concentração do metal e o seu nível de base natural (NBN) ou *background* no sedimento (Tomlinson *et al.*, 1980 *apud* Forstner, 1989), como segue:

$$FC = Me_s / NBN_{Me}$$

Onde:

**FC** = Fator de contaminação;

**Me<sub>s</sub>** = concentração do metal no sedimento;

**NBN<sub>Me</sub>** = "*background*" ou concentração natural do metal na área de estudo.

O Índice de Geoacumulação (Igeo) é utilizado como um indicador de poluição causada por metais pesados no ambiente aquático. Este índice é agrupado numa escala de sete intervalos (0 a 6), representando graus de poluição crescentes, estabelecidos com base nos sedimentos do Rio Reno (Müller, 1979):

$$Igeo = \log_2 C_n / (1,5 \times B_n)$$

Onde:

**Igeo**= Índice de Geoacumulação;

**C<sub>n</sub>** = Concentração do elemento no sedimento;

**B<sub>n</sub>** = *background* geoquímico do elemento no folheto padrão;

**1,5** = fator que minimiza variações de *background* causadas por diferenças litológicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de vazão medidos neste estudo (Quadro 1), são compreendidos entre 0,01 m<sup>3</sup>/s e 0,76 m<sup>3</sup>/s, caracterizando uma situação de *déficit* hídrico e menor capacidade de diluição dos poluentes. A escolha do período de amostragem objetivou justamente caracterizar um cenário onde o nível d'água é baixo e o clima é de temperaturas elevadas. No quadro 1 encontram-se listadas a localização dos pontos de amostragem, área da seção de medição da vazão e área drenada.

**Quadro 1 - Localização dos pontos de amostragem no Arroio Sapucaia: coordenadas, área da seção, vazão e área drenada.**

Pontos	Coordenadas UTM	Área seção	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Área drenada
S1	501161,45 6698376.99	0,02	0,01	0,67
S2	497587,93 6701039.75	0,05	0,02	1,08
S3	494972,72 6696062.43	0,30	0,14	48,07
S4	490336,36 6695807.55	0,47	0,20	74,26
S5	483692,78 6696610.83	0,45	0,19	105,80
S6	483312,08 6696318.33	0,39	0,25	120,49
S7	479867,70 6696456.78	0,34	0,15	128,77

As concentrações totais de nutrientes, elementos maiores e elementos-traço nas águas (Tabela 1) foram utilizadas na identificação de incrementos de fluxo e avaliação da contribuição antrópica em cada segmento fluvial (Tabela 2).

**Tabela 1 - Concentração total de nutrientes elementos maiores e elementos-traço nas águas do Arroio Sapucaia**

Parâmetros e Unidade	Pontos Amostrados						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
P tot (mg/L)	0,06	0,05	0,05	0,05	0,92	1,32	0,97
NO <sub>3</sub> (mg/L)	0,1	0,15	0,42	1,86	0,19	0,14	0,09
SiO <sub>4</sub> (mg/L)	15,8	4,85	25,4	3,64	30,3	24,2	13,3
Fe (mg/L)	12,3	0,48	1,73	1,73	1,15	2,94	2,08
Al (mg/L)	0,20	0,07	0,34	0,13	0,48	0,26	0,18
Zn (mg/L)	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06
Ni (µg/L)	3,34	1,11	3,79	4,79	10,0	4,02	23,1
Cu (µg/L)	1,6	1,44	1,93	1,47	2,44	2,64	1,45
Cd (µg/L)	0,03	0,03	0,06	0,03	0,01	0,04	0,05
Pb (µg/L)	1,16	0,46	1,46	1,1	2,6	1,77	1,27
V (µg/L)	1,75	3,53	2,51	1,77	1,81	1,6	3,04

Para a análise dos incrementos de fluxo foram considerados os pontos de amostragem e os limites de cinco segmentos fluviais denominados A, B, C, D e E, apresentados na Tabela 2. Como as estações S1 e S2 representam duas nascentes diferentes do arroio, procedeu-se à soma dos fluxos totais nestes pontos considerando a área de influência da drenagem dos pontos S1 e S2 como o segmento A.

Os resultados obtidos no Balanço de Massas (Tabela 2) demonstram que os incrementos de fósforo total são predominantemente de origem antrópica em todos os segmentos (89%), sendo inexpressiva a componente natural (11%). Há exportação de fósforo em todos os segmentos do arroio, com exceção do segmento E. Já o nitrato tem uma contribuição antrópica elevada apenas no segmento B, entre o curso superior e o curso médio do arroio. Os valores negativos de suas cargas indicam que o nitrato está sendo retirado da coluna d'água, possivelmente num processo de sedimentação expressiva, principalmente no segmento C (-242,5 t/ano) que caracteriza-se pela origem natural do incremento, e de forma menos expressiva nos segmentos D e E, curso inferior do Arroio Sapucaia

A sílica nos segmentos A, C, D e E é inteiramente de origem natural, tendo significatica com

**Tabela 2 - Resultados do Balanço de Massas: segregação das componentes Natural e Antrópica dos incrementos de fluxos (t/ano) de nutrientes, elementos maiores e elementos-traço nas águas do Arroio Sapucaia**

	<b>Incremento</b>	<b>P total</b>	<b>NO<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>4</sub></b>	<b>Fe</b>	<b>Al</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Cd</b>	<b>V</b>
<b>A</b>	<b>S3-(S1+S2)</b>	4,5	39,8	2,4	136,5	32,5	3,9	0,4	0,18	0,0054	0,2
	NATURAL	0,5	1,5	2,4	4,7	32,5	0,4	0,4	0,18	0,0054	0,2
	ANTRÓPICO	4,0	38,4	0,0	131,8	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>B</b>	<b>S4 - S3</b>	2,4	227,8	-1,9	81,9	-14,95	1,9	0,3	0,02	-0,0020	0,012
	NATURAL	0,3	0,8	0,0	2,5	0,0	0,2	0,3	0,02	0,0	0,012
	ANTRÓPICO	2,1	227,0	-1,9	79,4	-14,95	1,7	0,0	0,0	-0,0020	0,0
<b>C</b>	<b>S5 - S4</b>	119,1	-242,5	3,6	-91,9	48,1	2,6	0,7	0,12	-0,0024	-0,007
	NATURAL	12,9	-242,5	3,6	0,0	48,1	2,6	0,7	0,12	0,0	0,0
	ANTRÓPICO	106,1	0,0	0,0	-91,9	0,00	0,0	0,0	0,0	-0,0024	-0,007
<b>D</b>	<b>S6 - S5</b>	111,2	-0,9	0,2	371,0	-20,2	2,5	-0,7	0,14	0,006	0,04
	NATURAL	12,1	0,0	0,2	116,0	0,0	2,5	0,0	0,14	0,006	0,04
	ANTRÓPICO	99,1	-0,9	0,0	255,0	-20,2	0,0	-0,7	0,0	0,0	0,0
<b>E</b>	<b>S7 - S6</b>	-74,5	-10,1	-2,1	-179,3	-15,65	-1,1	3,2	-0,23	0,0014	0,22
	NATURAL	-8,1	-10,1	-2,1	-77,7	-15,65	-1,1	0,0	-0,23	0,0	0,0
	ANTRÓPICO	-66,4	0,0	0,0	-101,7	0,00	0,0	3,2	0,0	0,0014	0,22

tribuição das nascentes nos segmentos A (2,4 t/ano) e C (3,6 t/ano). No segmento B a sílica é de origem antrópica, porém salienta-se que os valores negativos dos incrementos indicam sua deposição. Isto pode ser ocasionado pelo alargamento da calha do arroio e influência de áreas de extração de argila. Da mesma forma, o Al apresenta expressiva contribuição natural nos segmentos A (32,5 t/ano) e C (48,1 t/ano), sendo retirado nos segmentos B (-14,95 t/ano) e D (-20,2 t/ano), possivelmente pela precipitação de oxi-hidróxidos de Al e Fe. O Fe, por sua vez, apresenta expressiva contribuição antrópica já nas nascentes (ressalta-se a contribuição de S2 a este segmento) e nos segmentos B (81,9 t/ano) e D (371 t/ano).

Embora a solubilidade dos elementos maiores (SiO<sub>4</sub>, Al e Fe) seja relativamente baixa em águas superficiais de pH em torno da neutralidade, como é o caso do Arroio Sapucaia, a alta mobilidade pode estar relacionada à lixiviação do horizonte A do solo rico em ácidos orgânicos, esses sim, capazes de quelatar Fe e Al, solubilizando-os.

Com relação aos incrementos de fluxo dos elementos-traço analisados neste trabalho, no segmento A, os elementos Ni, Cu, Cd e V têm participação essencialmente da componente natural, enquanto Zn tem participação expressiva da componente antrópica. Possivelmente a principal fonte natural deste elemento-traço, juntamente com o Fe, seria o intemperismo e o mau uso do solo, associado

aos processos erosivos das partes mais elevadas, junto às nascentes do arroio.

No segmento B as cargas naturais e antrópicas são atenuadas para todos os metais pela baixa declividade da área da bacia de drenagem, pelo aumento da largura da calha, pela conseqüente redução da energia hidrológica e, principalmente, pela diluição.

No segmento C a ocorrência de incrementos antrópicos negativos de Fe, Cd e V indicam a retirada das cargas, seja por processos de sedimentação seja por diluição. São expressivos os incrementos naturais positivos de Zn (2,6 t/ano), Ni (0,7 t/ano) e Cu (0,12 t/ano) neste segmento.

No segmento D a contribuição do Fe (371 t/ano) é significativa tanto como componente antrópica (68,73%), quanto natural (31,27%). Com relação ao Al, este apresenta incrementos antrópicos de -20,2 t/ano indicando sua deposição junto aos sedimentos superficiais do Arroio Sapucaia.

O segmento E apresenta incrementos negativos para o fósforo, nitrato, sílica, Fe, Zn, Cu e Al indicando a retirada das cargas poluentes por processos de sedimentação e não por processos de diluição visto que neste segmento houve redução na vazão. Os elementos-traço Ni, Cd e V apresentam incrementos de fluxos antrópicos positivos, ou seja, estes elementos-traço são exportados para o rio dos Sinos.

Neste trabalho, procurou-se dar especial atenção à caracterização dos sedimentos de fundo,

através da análise do comportamento de alguns parâmetros físicos e químicos, bem como do conteúdo de elementos-traço, seu potencial de mobilização e formação de estoques de origem antrópica.

Os metais pesados retidos nos sedimentos geralmente encontram-se nas frações mais finas (silte e principalmente argila), constituindo um estoque, que é utilizado quando o sistema precisa se reequilibrar (Förstner & Schoer, 1984). Mudanças oxi-redutoras do ambiente aquoso podem liberar os contaminantes sob a forma de íons, tornando-os disponíveis para serem integrados na cadeia alimentar.

As estações S5 e S7 apresentaram as maiores porcentagens de fração fina nos sedimentos analisados, correspondendo a 23,4% e 55%, respectivamente. Portanto, os sedimentos localizados no curso inferior do Arroio Sapucaia, por suas características granulométricas, são mais suscetíveis em reter elementos-traço e poluentes.

Os teores de matéria orgânica (MO) variam de 12,2 a 22,1%. Nos pontos S1 e S2 os teores observados (17,4% e 22,1%) são de origem vegetal. Nos pontos S6 e S7, os teores de matéria orgânica (20,0% e 15,1%) são de origem antropogênica, proveniente do esgoto e resíduos sólidos.

A mineralogia dos sedimentos da camada superficial de fundo do Arroio Sapucaia, em termos semi-quantitativos, constitui-se essencialmente de: quartzo (70-80%), feldspato (5-10%), opacos (óxidos) (5-15%) e acessórios (5-10%). Difratogramas de Raios-X em amostra total (silte + argila), demonstraram a presença de quartzo, feldspato, caolinita e secundariamente, traços de ilita, goethita e magnetita. Na fração FF < 2 µm, identificam-se caolinita, ilita e, por vezes, interestratificados ilita/esmectita.

A composição química dos elementos analisados neste estudo foi determinada na F < 62 µm e apresentada sob forma de óxidos. Os resultados encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3 - Composição química dos elementos maiores nos sedimentos sob forma de óxidos (%)**

Pontos	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
S1	0,46	51,3	10,6	16,6
S2	0,26	40,0	15,6	19,4
S3	0,19	57,4	5,1	20,0
S4	0,34	56,5	6,6	18,5
S5	0,51	60,7	4,7	16,1
S6	0,76	53,1	4,9	16,6
S7	0,62	55,5	5,8	19,5

Os níveis de base naturais (NBN) utilizados neste estudo para o cálculo do Fator de Contaminação (FC) são os encontrados na região das nascentes, mais especificamente no sopé do Morro Itacolomi (S1). Nesta área, o relevo é de colinas suaves e o substrato sedimentar. As concentrações totais dos elementos traços nos sedimentos do Arroio Sapucaia são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Concentração dos elementos-traço nos sedimentos do Arroio Sapucaia (mg/kg)**

Pontos	Zn	Ni	Cu	Cd	Pb	V
S1	61	20	21,1	0,09	38	132
S2	145	436	89,9	0,13	17	323
S3	97	72	32	0,08	24	141
S4	87	34	25,3	0,08	30	139
S5	290	26	45,3	0,07	36	121
S6	643	71	48	0,07	36	189
S7	458	50	49,8	0,07	32	155

As concentrações de metais encontradas em S1 e utilizadas como *background* para o cálculo do Fator de Contaminação dos sedimentos estão dispostas na Tabela 5, bem como aquelas concentrações definidas para o folhelho padrão e os valores médios mundiais dos sedimentos.

**Tabela 5 - Concentrações em S1, no folhelho padrão e média mundial em sedimentos (mg/kg).**

Nível de Base Natural (NBN)	Zn	Ni	Cu	Cd	Pb	V
NBN em S1 <sup>1</sup>	61	90	21,1	0,09	38	132
Folhelho padrão <sup>2</sup>	120	68	39	0,22	23	130
Média mundial <sup>3</sup>	95	52	33	0,30	19	250

<sup>1</sup> Concentração do ponto S1 nas nascentes do Arroio Sapucaia;

<sup>2</sup> EPA apud Rodrigues (1997); <sup>3</sup> Turekian & Wedepohl (1961)

As concentrações de Zn, Ni, Cu e Cd no ponto S1, que correspondem ao *background* ou nível de base natural da região estudada, apresentam valores abaixo das concentrações destes metais no folhelho padrão e abaixo dos valores médios mundiais para sedimentos.

A concentração de Pb no ponto S1 encontra-se acima do valor médio para o folhelho padrão e duas vezes superior à concentração média mundial para os sedimentos. De acordo com Baisch (1994) o Pb é o único elemento que tem altos valores nos sedimentos a montante do Rio dos Sinos, também observado para os rios Caí e Gravataí.

O Fator de Contaminação (FC) relaciona a concentração do metal no sedimento e a sua concentração natural na região. Os valores do FC calculados para os metais nas estações do Arroio Sapucaia são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Fator de Contaminação (FC) por metais nos sedimentos do Arroio Sapucaia**

Pontos	Zn	Ni	Cu	Cd	Pb	V
S3	1,59	3,60	1,52	0,89	0,63	1,07
S4	1,43	1,70	1,20	0,89	0,79	1,05
S5	4,75	1,30	2,15	0,78	0,95	0,92
S6	10,54	3,55	2,27	0,78	0,95	1,43
S7	7,51	2,50	2,36	0,78	0,84	1,17

FC < 1: não há enriquecimento nos sedimentos.

FC ≥ 1: há enriquecimento por metais nos sedimentos.

Para os elementos Zn, Ni, Cu e V observa-se enriquecimento a partir do ponto S3 do Arroio Sapucaia, considerando-se para tanto os valores superiores à unidade. Salienta-se que no ponto S6 os sedimentos apresentam-se mais enriquecidos para estes metais, justamente à jusante do recebimento dos efluentes da REFAP. Os sedimentos do Arroio Sapucaia não registram contaminação para os elementos Cd e Pb.

O Índice de Geoacumulação (Igeo) (Müller, 1979) dos metais nos sedimentos do Arroio Sapucaia foi estimado em relação ao folhelho padrão (Tabela 7).

**Tabela 7 - Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Arroio Sapucaia utilizando como NBN\* o folhelho padrão**

Pontos	Zn	Ni	Cu	Cd	Pb	V
S1	0,03	0,04	0,08	0,00	0,15	0,04
S2	0,04	0,09	0,11	0,00	0,12	0,04
S3	0,04	0,06	0,09	0,00	0,13	0,04
S4	0,04	0,05	0,08	0,00	0,14	0,04
S5	0,05	0,05	0,09	0,00	0,15	0,04
S6	0,05	0,06	0,10	0,00	0,15	0,04
S7	0,05	0,06	0,10	0,00	0,14	0,04

\*NBN=Nível de base natural

A análise dos dados obtidos, estimados a partir do folhelho padrão, mostrou uma só classe de enriquecimento em metais, ou seja, os metais Zn, Ni, Cu, Cd, Pb e V apresentam acumulação nos se-

dimentos entre 0 (zero) e 1 (um), podendo ser classificados como pouco à moderadamente poluídos, se comparados aos sedimentos do Rio Reno (Müller, *op cit.*).

## CONCLUSÕES

As águas do Arroio Sapucaia apresentam concentrações elevadas de ferro em suas nascentes, de alumínio em toda sua extensão e fósforo muito acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 20/86 nos cursos médio e inferior do arroio. As concentrações de elementos-traço nas águas fluviais apresentam valores sistematicamente inferiores aqueles limites de classes de usos das águas estabelecidos pelos CONAMA. Entretanto, a análise do Balanço de Massas demonstra que incrementos significativos são adicionados ou suprimidos ao longo do Arroio Sapucaia, confirmando o lançamento das cargas antrópicas.

Nos sedimentos superficiais de fundo do arroio há predominância da fração areia nos sedimentos desde as nascentes até o ponto S6 e da fração fina (silte + argila) nos pontos S5 e S7. Apesar disto, os teores de metais pesados nos sedimentos da estação S7 são sensivelmente menores que em S6, podendo estar sendo absorvidos pela vegetação de banhado e cultura de arroz. Os teores de matéria orgânica nos sedimentos do curso superior do Arroio Sapucaia são de origem vegetal enquanto que nos cursos médio e inferior são de origem antrópica.

O teor de SiO<sub>2</sub> nos sedimentos tem o mesmo comportamento das concentrações de sílica na água e o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> apresenta teores semelhantes ao longo do arroio de montante a jusante.

A composição química dos sedimentos superficiais de fundo do Arroio Sapucaia mostrou que, de uma maneira geral, o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tem um acréscimo de montante para jusante, com exceção do ponto S3. Com relação às concentrações de elementos-traço no curso inferior do arroio, o Zn, Ni, V e Cu apresentam incrementos de concentração. Houve um enriquecimento de Zn e Ni ao longo do arroio, com concentrações mais altas no curso inferior.

Os incrementos de fluxo dos elementos maiores (Si, Al) e elementos-traço Ni, Cu, Cd e V, no segmento A, tem origem natural, enquanto que para o Fe e Zn a maior participação é da componente antrópica (97% e 90%), assim como para os nutrientes. Este segmento já sofre influência antrópica, uma vez que o aterro de Santa Tecla localiza-se pró-

ximo de uma nascente do Arroio Sapucaia situada neste segmento.

No segmento B as cargas naturais e antrópicas nas águas são atenuadas para todos os metais pela baixa declividade da área, por mudanças na largura da calha, pela conseqüente redução de energia hidrológica e, principalmente, pela diluição. Com relação aos nutrientes, o nitrato sofre um incremento de 572,4% nas águas no segmento C em relação ao segmento A; e o incremento de fósforo, embora menor, é de contribuição antrópica, havendo sua acumulação também nos sedimentos.

No segmento C observam-se incrementos naturais positivos de Al, Zn, Ni e Cu, e antrópicos negativos de Fe, Cd e V indicando retirada das cargas, seja por processos de sedimentação, seja por diluição. O fósforo total sofre o maior incremento nas águas dentre todos os segmentos e aumento também nos sedimentos, refletindo a contribuição da drenagem urbana, de resíduos domésticos e, provavelmente, do lixão de Sapucaia do Sul. Nos sedimentos, ocorrem aumentos de concentração de Zn, Cu e Pb.

No segmento D, o Fe apresenta grande incremento de concentração (371 t/ano), 69 % de contribuição antrópica e 31 % natural, enquanto que o Al apresenta incrementos antrópicos negativos. Os elementos Zn, Cu, Cd e V apresentam incrementos de contribuição natural. Neste segmento ocorre retirada de Ni, que é adicionado ao compartimento sedimentar juntamente com Zn, V e Cu.

O segmento E apresenta incrementos negativos para o Fe, Zn, Cu e Al indicando retirada das cargas poluentes por processos de sedimentação. Exclui-se a retirada destas cargas por processos de diluição visto que houve redução na vazão. Os metais Ni, Cd e V são exportados para o Rio dos Sinos, pois apresentam incrementos de fluxos antrópicos positivos. Nos sedimentos, a foz do Arroio Sapucaia é marcada pelo aumento de concentração dos elementos maiores e atenuação dos elementos-traço. Esta situação coincide com o decréscimo de concentração da matéria orgânica, fato que deve estar associado à diminuição da concentração de metais pesados nas águas e sedimentos, em detrimento da exportação para o Rio dos Sinos.

O Fator de Contaminação, com base no nível de base natural dos sedimentos analisados, mostrou que houve enriquecimento de Zn, Ni, Cu e V a partir do ponto S3, ou seja, a partir do curso médio do arroio, porém os sedimentos apresentam-se mais enriquecidos nestes metais a partir do ponto S6, à jusante da entrada dos efluentes da REFAP. Já o Índice de Geoacumulação, com base nos dados do

folhelho padrão, enquadra os sedimentos do Arroio Sapucaia como pouco a moderadamente poluídos para os metais analisados.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o apoio dos Profs. Drs. Milton Laquintinie Formoso, Ruth Hinrichs e Arthur Bastos do Instituto de Geociências da UFRGS; ao Centro de Ecologia da UFRGS; a Geógrafa Shirley Nielsen da Metroplan e ao CNPq. O presente trabalho faz parte da dissertação de mestrado da primeira autora.

## REFERÊNCIAS

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – *NBR 12.772/1992: Água - Determinação de fósforo*. Método de ensaio. 9 p.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1995. *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*. Washington. 1298 p.
- BAISCH, P.R. 1994. *Les oligo-elements metalliques du systeme fluvio-lagunaire dos Patos (Brasil) - Flux et Devenir*. Tese de Doutorado em Geologia Marinha, L'Université de Bordeaux I. France. 230 p.
- BIDONE, E.D. 1992. *Geoquímica dos processos supergênicos* (Notas de Aula). Niterói. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, UFF. 60 p.
- CEPEMAR – Engenharia Meio Ambiente e Energia. 1998. *Ampliação da REFAP – Relatório de Impacto Ambiental Refinaria Alberto Pasqualini – REFAP*. Relatório Técnico. 171 p.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 1992. *Resoluções CONAMA: 1984 A 1991*. Brasília. 4ªed. 245 p.
- FILL, H.D. 1987. Informações hidrológicas. In: Barth, F.T.; Pompeu, C.T.; Fill, H.D.; Tucci, C.E.M.; Kelman, J. & Braga Jr., B.P.F. *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo. Coleção ABRH v. 1, p. 95-210.
- FÖRSTNER, U. 1989. Environment impact. In: Bhattacharji, S.; Fridman, G.M.; Neugebauer, H.J., **Contaminated sediments**. Berlin, Springer-Verlag, Lecture Notes in Earth Sciences, 21 Berlin, Springer-Verlag, p.1-157.
- FÖRSTNER, U. & SCHOER, J. 1984. Some typical examples of the importance of the role of sediments in the propagation and accumulation of pollutants. In: IAEA – TECDOC – 302. *Sediments and Pollution in Waterways*. Viena: IAEA, p.137-158.
- GOLTERMAN, H. L., CAYNO, R. S., OHNSTAD, M. A. M. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of freshwater*. IBP Handbook, n. 8., 2ª ed., Oxford Blacwell Sci. Publ.
- GUERRA, T.; PEDROZO, C.; ARENZON, A.; HARTZ, S. M.; HASENACK, H.; CAON, J. E. M. de A.; PORTELA, C. M. S.;

- GUNTZEL, C. E.; BECKER, F. G.; SPANEMBERG, G.; MENDES, I. L. V.; ZANCAN F., L. C.; MONTEIRO, N. J. C.; PADILHA, R. S.; BORDIM, A. G.; REBELLO, A.; OLIVEIRA, E.; PULGATI, F. H.; STANKIEVICH, F. J.; MACIEL, J. B. R.; CARVALHO, J. M. M.; TUCHTENHAGEN, L.; CASAREGGIO J., L. R.; MACEDO, M. A.; DENICOL, M. R.; PULGATI, M. H.; ZAVALIK, M. T.; BAGINSKI, M.; CASTRO, N. de; PIMENTEL, P.; GINAR, R.; BUSIN, R. & OLIVEIRA, W. T. F. 1999. *Avaliação ambiental da micro-bacia do Arroio Sapucaia, RS*. Relatório do Curso Técnico em Controle e Monitoramento Ambiental. Porto Alegre, Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HATJE, V. 1996. *Contaminação por metais pesados no Rio dos Sinos - RS: Uma abordagem dinâmica a partir de balanços de massa*. Niterói, RJ. 101p. Dissertação de Mestrado em Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense.
- HATJE, V.; BIDONE, E.D. & MADDOCK, J.L. 1998. *Estimation of the natural and anthropogenic components of heavy metal fluxes in fresh water Sinos River, Rio Grande do Sul State, South Brazil*. Environmental Technology, vol. 19, p.483-487.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1986. Levantamento dos recursos naturais. *Projeto RADAM-BRASIL*, vol. 33. Rio de Janeiro. 796 p.
- LAYBAUER, L. 1995. *Análise das transferências de metais pesados em águas e sedimentos fluviais na região das Minas do Camaquã, RS*. Porto Alegre. 164p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- METROPLAN – Fundação para o Planejamento e Desenvolvimento da Região Metropolitana de Porto Alegre. 2001. *Caracterização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Sapucaia*. Relatório do Programa Integrado de Recuperação de Áreas Degradadas, Porto Alegre, RS.
- MÜLLER, G. 1979. Schwermetallen in den Sedimenten des Rheins. *Veranderrugen seit, Umschau*, 79: 778 - 783.
- PERKIN-ELMER. 1982. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*. 332 p.
- RAMGRAB, G.E., WILDNER, W. & CAMOZZATO, E. 1997. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Porto Alegre. Folha SH.22-Y-B. Estado do Rio Grande do Sul*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). 140p.
- RODRIGUES, M.L.K. 1997. *Diagnóstico da poluição por elementos-traço no sedimento da bacia hidrográfica do Rio Caí*. Porto Alegre. 124p. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TRAVASSOS, M.P. 1994. *Gestão em poluição ambiental: Caso da poluição por metais pesados no rio Caí - RS*. Niterói, RJ. 204p. Dissertação de Mestrado em Geoquímica. Universidade Federal Fluminense.
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. American*, 72: 175-192.
- VIERO, A. P. & ROISENBERG, A. 1992. Evolução magmática de uma intrusão mesozóica de olivina gabro, em Gravataí, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. *Anais...*São Paulo, SBG. p.450-451.
- ZELTZER, F., PAULA, C. de C. & NOWATZKI, C.H. 1992. Mapa Geológico da Folha de São Leopoldo - RS. In: *Acta Geológica Leopoldensia: Estudos Tecnológicos*, Série Mapas n.1, São Leopoldo, p. 3-14.

### **Anthropogenic Impact in Sapucaia Stream (RS)- Applying Mass Balance to Hydrogeochemical Fluxes and Contamination Indexes in the Sediments**

#### **ABSTRACT**

*The hydrographic basin of Sapucaia stream, located in the Metropolitan Region of Porto Alegre has its sources in the rural area. But, the middle and lower portions of this stream are located in urban areas characterized by a diversity of anthropogenic activities. Concerning the possibility that the stream may present specific contamination problems and in order to verify this, an evaluation of water and streambed sediments was performed from the geochemical-environmental perspective. Nutrients and major and trace elements were analyzed. The dynamic approach based on mass balance models, associated with the determination of natural and anthropogenic fluxes of the elements identified were used to study the geochemical behavior of streamwater. The streambed sediments were analyzed applying the contamination index that led to identifying the sources and distribution of possible contaminants. The results obtained for nutrient concentrates, major and trace elements in the water were compared to water quality standards as determined by current legislation. Concerning nutrients, the water of the Sapucaia are Class 3, indicating domestic effluent contamination. For the major elements, concentrates are higher than the medium Class 2 values and the trace elements are systematically lower than established by the CONAMA 20/86 class limit. The streambed sediments are clearly contaminated and classified as moderately polluted. Therefore, analyzing all points, it can be said that the methodology applied here is appropriate to achieve the desired objectives. The data obtained can be used to provide further information to improve environmental management of the Sapucaia hydrographic basin.*

*Keywords: geochemical-environmental, mass balance, nutrients, major and trace elements, sediments contamination index.*