



**KELLEN MURADÁS**

**ANÁLISE DO IMPACTO ANTRÓPICO NO SISTEMA BANHADO DO TRECHO  
INFERIOR DO RIO DOS SINOS-RS ATRAVÉS DE INDICADORES ISOTÓPICOS  
DE C E N**

**Orientadores**

**Prof. Dr. Márcio M. Pimentel**

**Prof. Dr. Vitor P. Pereira**

Porto Alegre, dezembro de 2012.

**KELLEN MURADÁS**

**Projeto Temático em Geologia**

**ANÁLISE DO IMPACTO ANTRÓPICO NO SISTEMA BANHADO DO TRECHO  
INFERIOR DO RIO DOS SINOS-RS ATRAVÉS DE INDICADORES ISOTÓPICOS  
DE C E N**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Muradas, Kellen

Análise do impacto antrópico no sistema banhado do trecho inferior do Rio dos Sinos-RS através de indicadores isotópicos de C e N. / Kellen Muradas - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2012.

112 f. il.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2012.

Orientador: Márcio M. Pimentel

Orientador: Vitor P. Pereira

1. Banhados. 2. Rio dos Sinos. 3 Isótopos de  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  e razões C/N. 4. Contaminação. I. Título.

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Geociências - UFRGS  
Renata Cristina Grün CRB 10/1113

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“ANÁLISE DO IMPACTO ANTRÓPICO NO SISTEMA BANHADO DO TRECHO INFERIOR DO RIO DOS SINOS-RS ATRAVÉS DE INDICADORES ISOTÓPICOS DE C E N”**, elaborado por **“KELLEN MURADÁS”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. Dr. Ari Roisenberg

---

Prof. Dr. Osmar G. Wöhl Coelho

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aqueles que são cheios de boa intenção e ação e, a Josef, que está sempre ao meu lado.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Dr. Márcio Pimentel e Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira, por acreditarem no meu trabalho, por me apoiarem e pela amizade.

Agradeço também as instituições colaboradoras como Secretaria Municipal do Meio Ambiente de São Leopoldo (SEMMAN) por disponibilizar o barco e funcionários da fiscalização, João e Anderson, que gentilmente me acompanharam de barco nas diversas coletas de água no Rio dos Sinos e nos banhados. Agradeço a União Protetora do Meio Ambiente (UPAN), Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (COMITESINOS), Museu Histórico de São Leopoldo e SEMMAN pelas primeiras conversas sobre a realidade do Rio dos Sinos e os parabéns pelo envolvimento na causa ambiental.

Ao pessoal da hidrometria do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Gilnei, Raupp, Pedro, pelas medições de vazão e momentos bem-humorados que passamos à beira do Rio dos Sinos.

Aos Doutorandos Rodrigo Cancelli e Renato Macedo, da Palinologia, pelo campo que fizemos juntos para obter os testemunhos e que vão gerar futuros trabalhos.

Ao Doutorando Diego Vendramini, Dr. Alexandre Fernandes e equipe de Hidrogeoquímica e Isótopos Estáveis do CENA/USP. Foi no treinamento em 2010 que a geoquímica de isótopos estáveis entrou no meu caminho e fico muito feliz de ter conhecido a pesquisa de qualidade e os profissionais exemplares que viraram amigos.

Ao Prof. Dr. Elírio Toldo (CECO) por revisar os dados de hidrometria e ao Prof. Dr. Norberto Dani por revisar os difratogramas.

Ao Fernando (Habib) Georges e Cristiane Krause, ex-químicos do LGI. Agradeço pelo que me ensinaram no lab, são exemplos de pessoas comprometidas e que fazem a diferença e me fizeram aflorar mais ainda o gosto pela química.

Em suma, agradeço a todos que me oportunizaram aprender.

*“à proteção à natureza [...] baseia-se sobre o princípio da ética natural, que considera imoral a destruição desnecessária ou inconsiderada de tesouros de beleza nativa”*

*Pe. Balduino Rambo*

## RESUMO

A análise isotópica no sistema solo-planta-atmosfera tem se tornado uma importante ferramenta nos estudos de processos de mobilidade e enriquecimento de nutrientes, bem como na melhor compreensão sobre os ciclos biogeoquímicos e traçadores de elementos de fontes naturais e antropogênicas. Os isótopos de interesse para esse sistema são o C e N por fazerem parte da nutrição e crescimento das plantas, fotossíntese, além de constituírem os resíduos orgânicos dispostos no ambiente. O emprego da análise isotópica no estudo da dinâmica da matéria orgânica é bastante eficiente porque não se observa alterações significativas no registro isotópico entre o material de origem e o material decomposto. Partindo dessa premissa, este trabalho objetivou analisar o sedimento de fundo e em suspensão do sistema banhado no trecho inferior do Rio dos Sinos/RS para a investigação de fontes naturais e antropogênicas. O banhado é um ecossistema ameaçado pela ocupação irregular e não planejada, construção de diques, contaminação proveniente de descarte de resíduos e da própria dinâmica hídrica do rio, que transporta materiais particulados com variada composição. Os banhados do Rio dos Sinos passam por estes impactos além de ter perdido uma parte da fauna desde a ocupação da colonização alemã do século 19. A escolha dos banhados para amostragem, controle da sedimentação e fonte do material particulado foi baseada nos argumentos e interesses de órgãos ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, como Secretaria municipal do Meio Ambiente de São Leopoldo, UPAN e COMITESINOS. Os banhados incluídos no projeto foram: 1) Jusante do Arroio Portão, município de Portão, contígua a área industrial (B1); 2) Banhado adjacente ao Arroio João Correa, município de São Leopoldo (B2); 3) Banhado na margem oposta a do bairro Imperatriz de São Leopoldo, devido à ocupação urbana e programa municipal de reconstituição deste banhado (B3); 4) Jusante do Arroio Preto em Novo Hamburgo, por apresentar grande descarga de efluente doméstico (B4). A metodologia proposta deste estudo está fundamentada na utilização de isótopos de  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  e a razão C/N que permite estabelecer relações entre as propriedades hidrodinâmicas deste ecossistema e composições isotópicas de acordo com as diversas fontes do material particulado. A partir dos resultados obtidos, os banhados foram separados em dois tipos, abertos e mais restritos, de acordo com a geometria e tipos de conexões com o rio e arroios. Ocorrem, portanto, duas fontes predominantes de contaminação bem definidas nos banhados: a industrial e o esgoto doméstico. Todos os banhados apresentam Ni e Cr acima do limite PEL (CCME). Os banhados B1, B2 e B4 apresentam o processo de eutrofização,  $\delta^{13}\text{C}$  -29 a -33‰ e C/N em torno de 8. O B3 apresenta  $\delta^{13}\text{C}$  -23,69‰ e C/N em torno de 9, caracterizando contribuição de esgoto, assim como todos os pontos amostrados no Rio dos Sinos. Todas as plantas amostradas fazem parte do grupo fotossintetizante das plantas C3. Os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  para a espécie *Ingá* vera (*Ingá*) é -31,51‰; *Salvinia* (*Salvinia* cf. *auriculata*), -30,01‰; *Mimosa bimucronata* (*Maricá*), -28,1‰; *Hymenachne amplexicaulis* (*Cana d'água*), -28,76‰; e *Eichhornia azurea* (*aguapé-de-baraço*), -28,8‰. Os perfis têm contribuição da decomposição das plantas no nível superior e composição isotópica variada em profundidade. O perfil João Correa é o mais bem preservado em relação a esgoto doméstico. A caracterização por DRX indica que a caulinita e a esmectita são os minerais que contribuem para a sorção de contaminantes, sendo a caulinita preferencialmente detrítica e a esmectita podendo ser formada *in situ*.

**Palavras-Chave:** banhados; Rio dos Sinos; contaminação; isótopos de  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  e razões C/N.



## ABSTRACT

Isotopic analysis in the soil-plant-atmosphere system has become an important tool in studies of mobility processes and nutrient enrichment, as well as better understanding of the biogeochemical cycles and tracers of natural and anthropogenic sources. The isotopes of interest for this system are the C and N by being part of the nutrition and plant growth, photosynthesis, besides being organic waste disposed in the environment. The use of isotope analysis to study the dynamics of organic matter is very efficient because it is not observed significant changes in the isotopic record from the source material and the material decomposed. From this premise, this research aims to analyze the bottom sediment and suspended wetland system Sinos River for the investigation of natural and anthropogenic sources in particulate matter. The wetland is an ecosystem threatened by irregular and unplanned construction of dams, pollution from waste disposal and water dynamics of the river, carrying particulate materials with varied composition. The wetlands of Sinos River go through these impacts and has lost a part of wildlife since the occupation of the German colonization of the 19th century. The selection of wetlands for sampling, control of sedimentation and source of the particulate matter was based on the concerns of the environmental agencies of Rio dos Sinos Watershed, as Municipal Secretary of Environment of São Leopoldo, UPAN and COMITESINOS. The wetlands included in the project are: 1) Portão river, the city of Portão adjacent industrial area (B1), 2) Wetland adjacent to João Correa river in Sao Leopoldo (B2), 3) Imperatriz river in São Leopoldo due adjacent to urban occupation and city program to reconstitute this wetland (B3), 4) Preto river in New Hamburgo for presenting large discharge of wastewater (B4). The methodology proposed in this study is based on the use of isotopes  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  isotope and C/N ratio for establishing relationships between the hydrodynamic properties of this ecosystem and isotopic signatures according to the various sources of particulate matter. From the results, the wetlands were divided into two types, open and more restricted in accordance with the geometry and types of connections to the Sinos river and small rivers. Occur, thus two predominant sources of contamination in the wetlands well defined: the industrial and domestic sewage. All wetlands have Ni and Cr above the PEL (CCME). The B1, B2, B4 wetlands show the process of eutrophication  $\delta^{13}\text{C}$  -29 to -33 ‰ and C/N around 8. The B3 has  $\delta^{13}\text{C}$  -23.69 ‰ and C/N around 9, featuring contributions from sewage, as well as all points sampled in Sinos River. All sampled plants are part of the C3 photosynthetic plants group.  $\delta^{13}\text{C}$  data for the species *Inga vera* is -31.51 ‰; *Salvinia* (*Salvinia* cf. *Auriculata*), -30.01 ‰; *Mimosa bimucronata*, -28.1 ‰; *Hymenachne amplexicaulis*, -28.76 ‰, and *Eichhornia azurea*, -28.8 ‰. The profiles have contribution from the decomposition of plants on the upper level and isotopic composition varied. João Correa profile is better preserved with respect to domestic sewage. The characterization by XRD shows that the smectite and kaolinite are minerals that contribute to sorption of contaminant with preferably a detrital kaolinite and smectite may be form *in situ*.

**Keywords:** wetlands, Sinos River, contamination,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  isotope and C/N ratio.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Caracterização do problema .....	2
1.2 Justificativa .....	3
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo geral.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
2. ESTADO DA ARTE .....	7
2.1 Banhado: corpo hídrico e ecossistema .....	7
2.2 Biogeoquímica do carbono e nitrogênio.....	9
2.3 Fundamentos de geoquímica isotópica do carbono e nitrogênio .....	16
2.4 Isótopos estáveis como indicador de qualidade ambiental.....	19
2.5 Espécies de metais pesados .....	19
3. ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO.....	23
3.1 Geomorfologia e solos .....	23
3.2 Geologia .....	25
3.3 Estudos preliminares do background de metais na Bacia dos Sinos .....	27
4. METODOLOGIA .....	28
4.1 Monitoramento de propriedades hidrodinâmicas.....	30
4.1.1 Hidrometria .....	30
4.1.2 Cálculo de transporte do sedimento.....	31
4.2 Análise de sedimento, plantas e resíduos.....	32
4.2.1 Protocolo de análise do sedimento em suspensão - rio e banhado .....	33
4.2.2 Protocolo de análise do sedimento em profundidade .....	36
4.2.3 Análise de plantas .....	36
4.3 Análise isotópica de C e N .....	39
4.4 Análises complementares: Difractometria de raios X .....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	45
5.1 Hidrometria .....	46
5.2 Análise quimioestratigráfica.....	53
5.2.1 Sedimento dos perfis nos banhados Arroio Preto e Arroio João Correa .....	54
5.2.2 Sedimento em suspensão dos banhados, arroios e Rio dos Sinos.....	61

5.3 Difractometria de raios X .....	63
5.4 Levantamento da flora e análise isotópica .....	68
5.5 Análise isotópica de sedimento .....	70
6. CONCLUSÕES.....	75
7. REFERÊNCIAS.....	81
ANEXOS .....	84

## SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1: Produtividade de biomassa em relação ao fluxo da água. Fonte: Odum (1988) pelo estudo de Conner e Day, "Productivity and composition of a bald cypress water tupelo sand and a bottomland hardwood side in a Louisiana swamp" de 1976. A linha pontilhada mostra a produtividade média de florestas não sujeitas a inundação.....	7
Figura 2: Elementos arquiteturais do sistema fluvial meandrante, característico do Rio dos Sinos. Fonte: Kenitiro (2003) modificado de Allen 1964.....	8
Figura 3. Quadro resumo do processo de degradação da matéria orgânica.....	11
Figura 4. Diagrama de especiações do CO <sub>2</sub> - em relação ao pH. Fonte: Manahan 2005.....	12
Figura 5: Modelo de distribuição de carbono no rio e o aporte sedimentar sendo acrescentado na planície de inundação. Ilustração baseada no modelo para lagos de Tundisi & Tundisi (2005), Manahan, Esteves, Crosby(1998) e estratigrafia.....	14
Figura 6. Relação entre $\delta^{13}\text{C}$ ‰ e C/N e diferentes graus de decomposição da matéria orgânica. Fonte: Moraes 2011. ....	18
Figura 7: Localização da área de estudo. Rio dos Sinos - trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, região metropolitana de Porto Alegre. Os números indicam os locais de coleta, o ponto de referência de <i>background</i> será a noroeste de São Leopoldo.....	23
Figura 8: Unidade 2 associada aos arenitos Botucatu e Pirambóia (mais ao sul), relevo suave ondulado. Unidade 3 associada ao ambiente fluvial meandrante, curso e foz do Arroio Portão, planície de inundação, relevo plano. Área urbana de São Leopoldo (Scharlau) (2); Planície de inundação do Rio dos Sinos (3); Planície de inundação e plantação de arroz (4); Rio dos Sinos (5); Arroio Portão (6) b-foz do Arroio Portão; Afloramento do Arenito Pirambóia (7). A linha amarela tracejada separa as Unidades fotogeológicas 2 e 3. A unidade 1 que não consta na figura corresponde a Fm. Serra Geral, norte da sub-bacia do Arroio Portão (Fonte: Muradás, K. 2011).....	24
Figura 9: Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. A área demarcada pelo retângulo corresponde ao trecho inferior do Rio dos Sinos, área de estudo. Fonte: CPRM 2008. ....	25
Figura 10: Etapas que constituem a metodologia da pesquisa. ....	29
Figura 11. Medida de vazão na seção do rio a jusante e a montante de cada banhado.....	31
Figura 12. Coleta de sedimento em suspensão dos banhados.....	32
Figura 13. Amostragem dos testemunhos com o amostrador <i>Russian Peat Borer</i> (a), retirada do material para a calha de PVC (b,c) e preservação do testemunho (d). ....	33

Figura 14: Protocolo analítico para o sedimento em suspensão.....	34
Figura 15. a) Filtragem do material particulado da água coletada no rio e nos banhados. b) Filtro sendo retirado depois da filtragem.....	35
Figura 16. Retirada das alíquotas para análise de C e N.....	36
Figura 17. Quadro-resumo de objetivos e obtenção de dados. ....	38
Figura 18. Parte do espectrômetro de massa de C e N. A parte interna mostra componentes de retenção de água e oxigênio das amostras.....	39
Figura 19 a) Goniômetro 2 $\theta$ do difratômetro de raios X; neste caso, a amostra é um filtro fibra de vidro. b) Ultrassom para auxiliar na desagregação das partículas. c) Centrífuga para concentração e separação de fração. ....	41
Figura 20 Programa que calcula o tempo de decantação para a separação da fração. As variáveis são o tamanho da fração que se quer separar, o número de rotações por segundos da centrífuga e a temperatura da solução (quadro em vermelho). ....	41
Figura 21 Diferentes conexões de água (setas amarelas 1 e 2) que contribuem para o aporte de sedimento, os pontos de medidas de vazão, coleta para análise química e o perfil. Fonte: Imagem <i>Google Earth</i> 2012. ....	47
Figura 22. Diferentes conexões de água (setas amarelas 1, 2 e 3) que contribuem para o aporte de sedimento, os pontos de coleta para análise química do banhado B3, o qual possui influência do Bairro Imperatriz. Fonte: Imagem <i>Google Earth</i> 2012. ....	48
Figura 23. Diferentes conexões de água (setas amarelas 2) que contribuem para o aporte de sedimento, os pontos de coleta para análise química e o perfil. Fonte: Imagem <i>Google Earth</i> 2012. ....	49
Figura 24. Caracterização do banhado adjacente ao Arroio Portão (B1). Imagem <i>Google Earth</i> 2012.....	50
Figura 25. Curva de permanência do rio dos Sinos. Os pontos sob a curva são os valores de vazões medidas em campo a jusante e montante dos banhados. Para valores muito próximos, marcou-se a média dos valores. ....	51
Figura 26. Concentração de sedimento em suspensão (C <sub>ss</sub> ) na estação de Campo Bom. Fonte ANA (sítio Hidroweb, acesso maio de 2012). ....	52
Figura 27 Classificação em faixas de qualidade do sedimento de acordo com CETESB/ <i>Canadian Council of Ministers of the Environment</i> . ....	54
Figura 28. Relação da composição química do sedimento banhado do Arroio João Correa em diferentes profundidades com os limiares PEL e TEL. ....	56

Figura 29. Relação da composição química do sedimento banhado do Arroio Preto em diferentes profundidades com os limiares PEL e TEL. ....	58
Figura 30. Análise química de sedimento em suspensão e lodo (limites estabelecidos pelo “Canadian Council of Ministers of the Environment”). ....	62
Figura 31. Difractogramas das amostras de sedimentos de testemunho, 15 cm de profundidade do Banhado Arroio Preto. Caulinita: picos 7,1 Å e 3,57 Å; quartzo 3,33 Å e 4,2 Å. ....	63
Figura 32. Difractogramas das amostras de sedimentos de testemunho, 25 cm de profundidade do Banhado Arroio João Correa. Caulinita com picos 7,1 Å e 3,568 Å; quartzo com picos 3,33 Å e 4,24 Å, esmectita “pico” 17 Å (natural) e na calcinada 10,4 Å. ....	64
Figura 33. Difractogramas das amostras de sedimentos em suspensão do Banhado Arroio João Correa. Caulinita: picos 7,1 Å e 3,569 Å; quartzo 3,33 Å e 4,239 Å; esmectita “pico” 15Å (natural) e na calcinada 10,88 Å. ....	65
Figura 34. Difractogramas da amostra B2B (sedimento em suspensão do banhado João Correa - São Leopoldo). Em preto, amostra natural e em vermelho, ataque de peróxido e amostra aquecida na chapa elétrica. ....	65
Figura 35. Difractogramas das amostras de sedimentos em suspensão do Rio dos Sinos, analisada sobre filtro de fibra de vidro. ....	66
Figura 36. Difractogramas do perfil do Arroio Preto. ....	67
Figura 37. Difractogramas do perfil João Correa. ....	68
Figura 38. Cinco espécies mais representativas do ecossistema banhado, destinada para análise isotópica. a) Ingá vera (Ingá), b) Salvinia (Salvinia cf. auriculata), c) Mimosa bimucronata (Maricá), d) Hymenachne amplexicaulis (Cana d’água), e) Eichhornia azurea (aguapé-de-baraço).....	69
Figura 39. Análise isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ em sedimento do perfil do banhado João Correa e plantas coletas nos banhados. ....	70
Figura 40. Análise isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ em sedimento do perfil do banhado Arroio Preto e plantas coletas nos banhados. ....	71
Figura 41. Relação entre $\delta^{13}\text{C}$ e C/N. SSB = Sedimento em suspensão dos banhados; SBR = sedimento em suspensão do Rio dos Sinos; SSAP = Sedimento em suspensão do Arroio Preto; SSAPo = Sedimento em suspensão do Arroio Portão e (a) são referências bibliográficas de Krusche et al 2002 para o Rio Piracicaba, Bacia Piracicaba e Rio Amazonas. Círculo preto: influência de esgoto doméstico; polígono laranja: eutrofização. ....	72
Figura 42 Relação dos valores isotópicos de $^{13}\text{C}$ com a profundidade. ....	73

## LISTA DE ABREVIações

### Abreviaturas e símbolos

$\delta$  – delta

C - carbono

CID – carbono inorgânico dissolvido

cm - centímetro

C/N – razão entre carbono orgânico total e nitrogênio total

COD – carbono orgânico dissolvido

COP – carbono orgânico particulado

DBO – demanda bioquímica de oxigênio

DRX – difração de raios X

kV- kilovolt

L- litro

m – metro

mL - mililitro

mA - micro ampère

MEV- microscopia eletrônica de varredura

N - nitrogênio

NE- nordeste

NOP – nitrogênio orgânico particulado

NW- noroeste

OD – oxigênio dissolvido

Pb – chumbo

pH – potencial hidrogeniônico

V – saturação de base

### Siglas

ANA – Agência Nacional de Águas

ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

B1 – banhado 1

COMITESINOS – Comitê da Bacia do Rio dos Sinos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

FEE - Fundação de Economia e Estatística

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente Henrique Luis

Roessler/RS

IDESE - Índice de Desenvolvimento Socioeconômico

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

ONG - Organização Não Governamental

PDI - Processamento Digital de Imagens

PLANOSINOS - Plano de Gestão da Bacia do Rio dos Sinos

SEMMAM – Secretaria Municipal do Meio Ambiente - São Leopoldo

*SSB - sedimento em suspensão dos banhados*

*SSR - sedimento em suspensão do Rio dos Sinos*

*SSAP - sedimento em suspensão do Arroio Preto*

*SSAPo - sedimento em suspensão do Arroio Portão*

*TSb – Transporte de sedimento para o banhado*



## 1. INTRODUÇÃO

O banhado é um ecossistema típico do bioma Pampa<sup>1</sup> (ISA 2008), caracterizado por áreas alagadas adjacentes ao rio, constituindo um reservatório natural de nutrientes para uma grande biodiversidade e biomassa. É formado por uma considerável diversidade de macrófitas submersas e emergentes, microfítos e perifítos (Tundisi & Tundisi 2008). O banhado possui também a biodiversidade de animais adaptados às áreas alagadas, em especial aves, anfíbios, peixes, moluscos e mamíferos. Estes últimos são representados no Rio dos Sinos principalmente pelas capivaras, preás e ratões-do-banhado, o qual atribuiu o nome indígena ao rio: Cururuai<sup>2</sup> (Aveline 1995). Assim, o banhado pode também ser considerado um importante reservatório genético.

O aporte hídrico é proveniente das águas do rio em período de cheia, e de descarga no período de estiagem, sendo um importante regulador da vazão do rio, estabelecendo equilíbrio hidrodinâmico e reduzindo a erosão das margens. A mesma dinâmica que dissipa água do rio para as áreas de várzea na época das cheias, também fornece cargas poluentes.

Contudo, o sistema banhado é constituído de plantas e solos que contribuem para os processos de sorção desses poluentes. O banhado, como um corpo hídrico, é considerado uma barreira geoquímica de acordo com fatores edáficos a exemplo do acúmulo de matéria orgânica e sedimentos finos.

---

<sup>1</sup> O bioma Pampa é um dos sete biomas brasileiros, caracterizado por um conjunto de ecossistemas em extensas planícies com altitudes que não ultrapassam 200 m e suaves ondulações das coxilhas ocupadas por gramíneas, campos nativos, mata ciliar.

<sup>2</sup> “Cururuá” significa ratão-do-banhado e “i”, água e rio em Tupi-guarani.

Desde a colonização alemã do século XIX na região do Vale do Rio dos Sinos e a contínua expansão da população, as áreas de banhado têm sido ocupadas e degradadas. Diversos tipos de impacto são verificados neste ecossistema, como descarte de esgoto doméstico e industrial, plantio de arroz bastante presente nas margens do Rio dos Sinos, retificação e construção de diques, ocupação urbana nas margens do rio, entre outros. Neste caso, existe a preocupação de compreender esse ambiente modificado em relação ao aporte hídrico, impacto na biota e sua validade ainda como um ecossistema.

Os indicadores geoquímicos para análise de impacto ambiental de origem antrópica são amplamente utilizados para dar suporte ao controle de fontes poluidoras. Considerando a complexidade dos processos biogeoquímicos e as particularidades de cada ambiente em análise, o objetivo desses indicadores é identificar processos de acumulação de espécies químicas danosas ao meio.

Isótopos estáveis de diferentes elementos químicos são indicadores geoquímicos de qualidade ambiental, pois permitem o rastreamento de fontes poluidoras de acordo com razões isotópicas identificadas.

## 1.1 Caracterização do problema

Os dados do IDESE<sup>3</sup> (FEE 2009) para condições de saneamento e domicílio mostram índice baixo para Sapucaia do Sul (0,49), Portão (0,197) e Novo Hamburgo (0,493) e médio para São Leopoldo (0,609), confirmando a necessidade de aprimoramento do planejamento ambiental desses municípios. Indicadores apontam a necessidade de proteção desse ecossistema, pois configuram situação de risco a espécies vegetais, animais e o homem. Alguns animais que habitavam o Rio dos Sinos e estão extintos na região são a lontra, o jacaré-do-papo-amarelo, o cisne do pescoço preto e o colhecuira (Aveline *et al.* 1995).

<sup>3</sup> IDESE - Índice de Desenvolvimento Socioeconômico, (*website* da Fundação de Economia e Estatística-FEE 2009). Valores do IDESE: baixo, menor que 0,499; médio, de 0,5 a 0,799 e alto, a partir de 0,8.

O local de maior nível de poluição em São Leopoldo é o Arroio João Correa, canalizado na década de 80 e utilizado para escoamento do esgoto urbano. Outros pontos críticos, como a foz do Arroio Portão (que conecta ao norte com o Arroio Estância Velha) e o Arroio Luiz Rau em Novo Hamburgo, apresentam os piores valores do Índice de Qualidade da Água (IQA), classificados em “muito ruim” e “ruim” de acordo com a soma anual dos parâmetros estabelecidos pela Resolução 357/05 do CONAMA com dados de até 2010 (FEPAM 2010). Esses parâmetros incluem oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, concentrações médias das espécies exigidas pela referida resolução.

Além desse quadro crônico que se arrasta por mais de um século na história do Rio dos Sinos, o fato marcante no cenário ambiental nacional foi o desastre ambiental de outubro de 2006, quando morreram toneladas de peixes na época de desova e reprodução. Este fato causou a mobilização de várias entidades, COMITESINOS, ONG's (UPAN, AGAPAN, INSTITUTO MARTIN PESCADOR) e eventos no meio estudantil, além de projetos socioambientais e o plano de gestão da bacia (PLANOSINOS).

## **1.2 Justificativa**

As grandes áreas de banhados nas adjacências do Rio dos Sinos no trecho inferior da Bacia Hidrográfica deste rio são motivo de pesquisa devido à densa ocupação urbano-industrial, englobando os municípios de Portão, São Leopoldo e Novo Hamburgo. As atividades industriais desses municípios são predominantemente coureiro-calçadista, metal-mecânico e petroquímico, com produção e descarte de resíduos perigosos, além do esgoto doméstico descartado *in natura* devido ao saneamento insuficiente. Historicamente, esses municípios contribuem para a contaminação do ecossistema banhado e fazem parte do trecho

inferior da bacia hidrográfica, área com alto potencial poluidor. Por esses motivos, foram delimitadas como áreas para a execução do presente estudo.

A escolha dos banhados para amostragem, controle da sedimentação e fonte do material particulado foi baseada nos argumentos e interesses de órgãos ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, como Secretaria municipal do Meio Ambiente de São Leopoldo, UPAN e COMITESINOS. Os banhados incluídos no projeto são: 1) Jusante do Arroio Portão, município de Portão, devido à localização de área industrial; 2) Banhado sob influência de diques nas margens do Rio dos Sinos no município de São Leopoldo; 3) Parque Imperatriz de São Leopoldo, devido a ocupação urbana adjacente e programa municipal de reconstituição deste banhado; e, 4) Jusante do Arroio Preto em Novo Hamburgo, por apresentar grande descarga de efluente doméstico.

A aplicação de isótopos estáveis como rastreadores de fontes naturais e antrópicas na origem da sedimentação a este tipo de ecossistema de áreas alagadas é bastante inovador considerando a dinâmica hídrica e características de fauna e flora particulares a este ambiente. Os perfis em profundidade podem indicar o comportamento acumulativo de matéria orgânica ao longo do tempo sob variações de fontes e fases adsortivas.

A problemática do presente trabalho concentra-se na caracterização de fontes natural e antrópica, relações entre as propriedades hidrodinâmicas do ecossistema banhado, processos adsortivos com a matéria orgânica e distribuição de metais.

As principais premissas que estruturam a pesquisa contam que a razão isotópica de C e N é preservada no processo de decomposição na matéria orgânica; as espécies químicas diferentes possuem “composições isotópicas” diferentes e, a água fluvial contribui para o aporte de sedimento, assim como de contaminantes.

A partir disso, pretende-se compreender se existe relação das composições isotópicas do sedimento em suspensão do rio e do banhado, quais são as características do aporte de sedimentação dos banhados, qual é a evolução nas

composições isotópicas de C e N no depósito recente e quais são as contribuições das composições isotópicas destes elementos. As premissas e hipóteses estão desenvolvidas detalhadamente nos capítulos seguinte.

Para alcançar os objetivos propostos desta pesquisa foi feita a revisão da disponibilidade de utilização dos equipamentos para os protocolos de amostragem e de análise. Foi feito um orçamento prévio do material de laboratório, das análises feitas em outra instituição, assim como o suporte para as coletas em campo. O estudo se consolida na colaboração de órgãos ambientais, e existe o comprometimento do retorno destes resultados, os quais já foram solicitados pela a comunidade do Vale do Rio dos Sinos. Este projeto conta com a colaboração do/a:

- Secretaria municipal do Meio Ambiente de São Leopoldo para as coletas e utilização de barco;

-COMITESINOS e UPAN como suporte técnico e fontes de referências bibliográficas;

-CENA-USP como suporte técnico para análises isotópicas.

São poucos os estudos que aplicam isótopos estáveis em banhados, destacando que este ecossistema é bastante particular ao bioma pampeano. Trabalho similar é apresentado por Chang *et al.* (2009) executado na Florida, EUA. De acordo com a situação de degradação do ambiente da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, espera-se que as técnicas aqui aplicadas sejam eficientes indicadores geoquímicos para não somente confirmar tipos de impactos antrópicos, mas sim, traçar fontes de contaminação e relações com as propriedades hídricas, sendo este, outro diferencial desta pesquisa.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

Analisar o sedimento de fundo e em suspensão do sistema banhado do trecho inferior da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos através de isótopos de  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  e as razões C/N a fim de estabelecer fontes de contribuição natural e antrópica, relações entre as propriedades hidrodinâmicas deste ecossistema, processos adsortivos e distribuição desses elementos.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Descrever as propriedades hidrodinâmicas do sistema banhado no trecho inferior do curso do Rio dos Sinos.
- Descrever atuais impactos no Rio dos Sinos e os banhados em estudo.
- Levantar os dados de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  do material particulado em suspensão e de sedimento de fundo em variações texturais e estruturais dos perfis.
- Levantar dados florísticos e valores isotópicos  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  e C/N a fim de comparar com processos naturais de degradação da matéria orgânica do meio.
- Identificar fontes naturais e antrópicas através das composições isotópicas provenientes do fracionamento isotópico de  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ , razão C/N e análises complementares incluindo a vegetação predominante e verificar sua possível correlação com os sedimentos em suspensão e em perfil.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 Banhado: corpo hídrico e ecossistema

Os banhados são ecossistemas que se desenvolvem em planícies de inundação, relevo de baixa declividade e possuem inundações sazonais controladas pelo aporte do rio. As variações no fluxo de água nas áreas alagadas influenciam diretamente a variação de concentrações de nutrientes e nas espécies que habitam, porque muitas das espécies apresentam limite de tolerância em relação à correnteza (Odum 1988). A figura 1 ilustra que a produtividade de matéria orgânica aumenta em ambientes que apresentam variabilidade do aporte hídrico, pelo fornecimento de nutrientes, gases e material particulado.

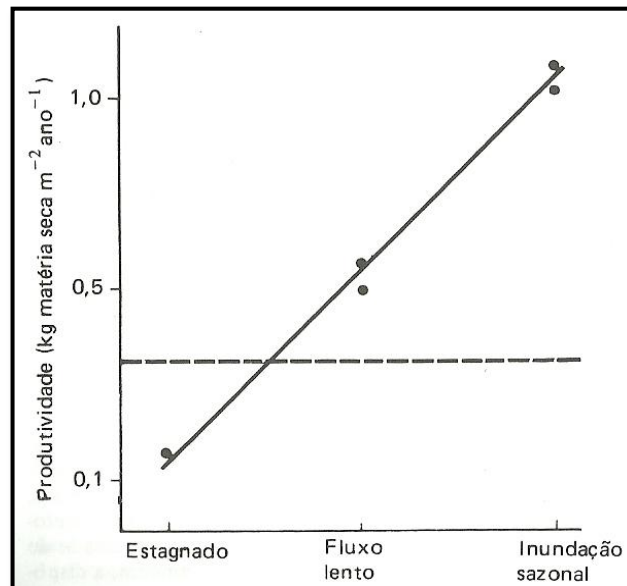


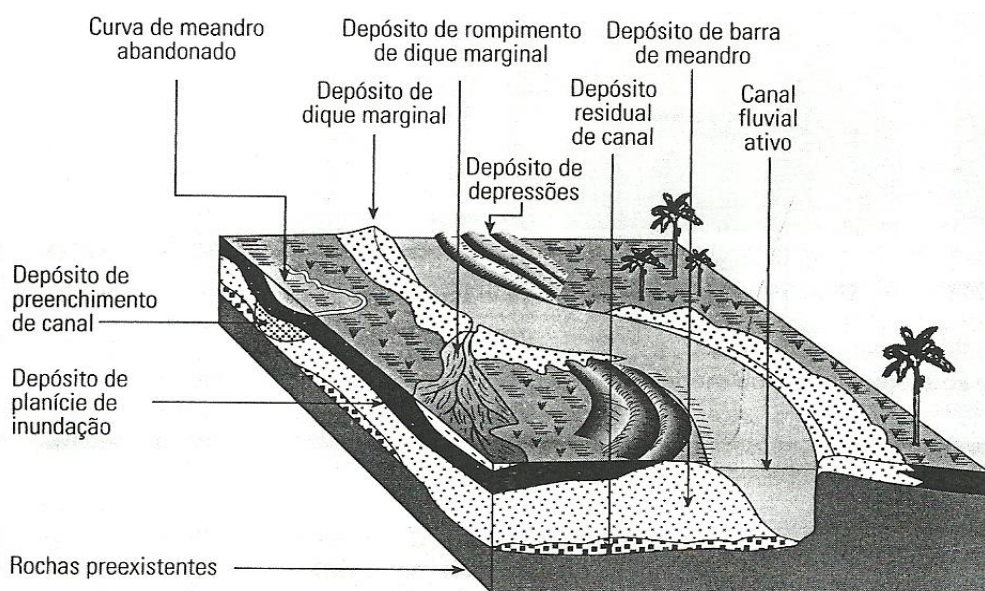
Figura 1: Produtividade de biomassa em relação ao fluxo da água. Fonte: Odum (1988) pelo estudo de Conner e Day, "Productivity and composition of a bald cypress water tupelo sand and a bottomland hardwood side in a Louisiana swamp" de 1976. A linha pontilhada mostra a produtividade média de florestas não sujeitas a inundação.

Além disso, segundo Odum (1988), as condições de ambiente estagnado provocam estresse para o ecossistema pela renovação de oxigênio e nutrientes serem escassas, enquanto que condições de flutuações no fluxo de água colaboram para o aumento da taxa de produtividade de matéria orgânica. A alternância sazonal implica que ora ocorra degradação da matéria orgânica e ora ocorra preservação dessa biomassa pela alternância das concentrações de oxigênio dissolvido, ambientes assim também favorecem a eutrofização e, portanto, aumento de biomassa.

O banhado está associado a ambientes de baixa energia, mas que apresenta variação de fluxo de acordo com a sazonalidade e eventos de chuva, sendo inserido em uma planície fluvial, com um canal principal, que pode ser meandrante, como o Rio dos Sinos.

No baixo Sinos, o canal migra lateralmente formando os depósitos de barras de meandro, meandros abandonados, depósitos de diques marginais e de rompimento dos diques.

A figura 2 mostra um esquema dos elementos arquiteturais do sistema fluvial meandrante descrito por Kenitiro (2003).



**Figura 2: Elementos arquiteturais do sistema fluvial meandrante, característico do Rio dos Sinos. Fonte: Kenitiro (2003) modificado de Allen 1964.**



Os diques marginais se desenvolvem preferencialmente nas margens côncavas e formam um obstáculo para a drenagem da planície de inundação, enquanto que os constantes rompimentos de diques podem formar novas conexões aos banhados. As estruturas sedimentares mais comuns são laminações cruzadas, ondulações, acamamentos horizontais com laminações paralelas e bioturbações.

Rambo (1942) já descrevia a paisagem do baixo Sinos: “Descontando a lombada arenítica de Morretes [limite oeste da área de estudo do presente trabalho], entre as barras do Rio dos Sinos e do Caí, com 49 m de altitude, todo o resto da região fica abaixo dos 10 m de altitude, sendo, por isso, inundável e paludoso”. Na época da descrição do Pe. Balbuíno Rambo, as baixadas do Sinos ainda eram pouco habitadas, sendo que sob inundações “a vegetação baixa desaparece, ressaltando tanto mais o parque de maricá, os salgueiros verde-amarelos, os angicos verde-claros e a galeria escura de ingás e figueiras da barranca” e ainda “pouco resta das belas matas ribeirinhas de outrora, substituídas por milharais e plantações de arroz”.

## 2.2 Biogeoquímica do carbono e nitrogênio

O carbono está em diferentes proporções na atmosfera, litosfera e hidrosfera devido principalmente a sua mobilidade no processo fotossintético e da decomposição da matéria orgânica, interconectando ecossistemas e por isso, não conservativo (Martinelli *et al.* 2009; Esteves 2011). Além disso, armazena e transporta energia nas transformações entre forma orgânica e inorgânica, sendo o macronutriente mais abundante nos organismos. Esse macronutriente está concentrado em matéria orgânica viva, particulada morta e em decomposição e dissolvidas na água como substâncias húmicas, formas inorgânicas e outras.

Este elemento faz parte do processo intempérico na forma de ácido carbônico, além de soluções-tampão em ambientes eutróficos e pouco ácidos (Esteves 2011).

Constitui compostos orgânicos até suas fases de decomposição como substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos). As substâncias húmicas são a parte mais resistente que resulta da degradação da matéria orgânica (MO), formadas por compostos aromáticos combinados com produtos de decomposição de proteínas e polissacarídeos.

O processo de degradação da MO envolve os seguintes produtos, segundo Odum (1988): a formação de detritos particulados e matéria orgânica dissolvida no sistema aquático por ação física e biológica; a formação de húmus com a atuação de saprótrofos e a mineralização do húmus de forma lenta (quadro resumo na figura 3). A modificação para a forma inorgânica é dificultada pela presença de anéis de benzeno aromáticos ou fenólicos, nitrogênio cíclico, cadeias laterais com nitrogênio e resíduos de carboidrato (Odum 1988). A biodegradação da matéria orgânica ocorre principalmente pelos processos de oxidação, epoxidação por auxílio de enzimas como desoxigenase (ou dioxigenase, quebra dos anéis aromáticos com a reação de  $O_2$ ), hidroxilação e hidrólise com enzimas de amidase, esterase e hidrolase (Manahan 2005).

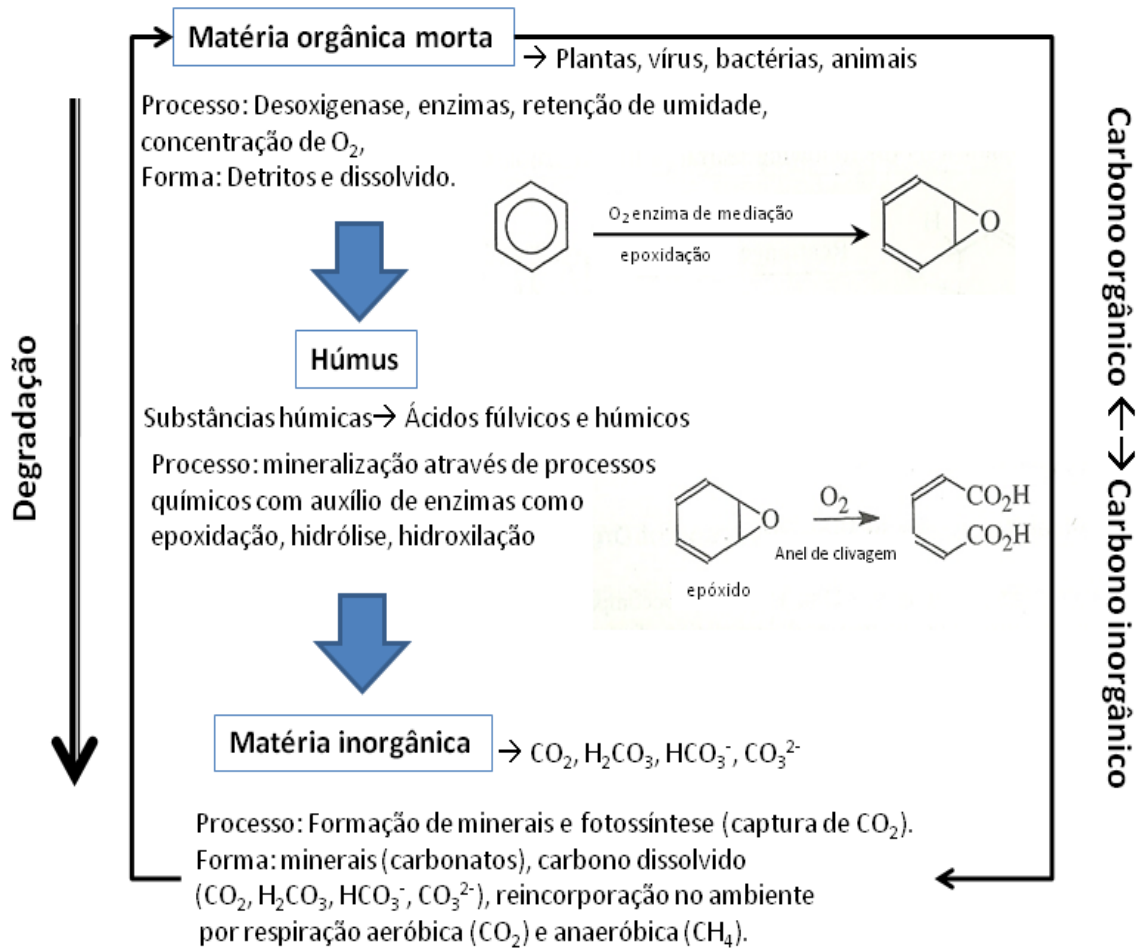


Figura 3. Quadro resumo do processo de degradação da matéria orgânica.

A mineralização é o processo onde os elementos que se ligam para formar compostos orgânicos e fazem parte da funcionalidade de organismos são retornados ao estado inorgânico, a exemplo do ácido carbônico, dióxido de carbono e carbonatos (Manahan 2005; Esteves 2011). Essas espécies se apresentam no meio controladas pelo pH, como mostra a figura 4 para temperatura de 25°C. Os ambientes ácidos estão relacionados à produção de  $CO_2$  pela respiração de organismos, degradação de matéria orgânica e ambiente com alta lixiviação. A espécie do outro extremo do diagrama, os carbonatos, se forma em ambientes básicos, intemperismo menos intenso e maior concentração de oxigênio dissolvido.

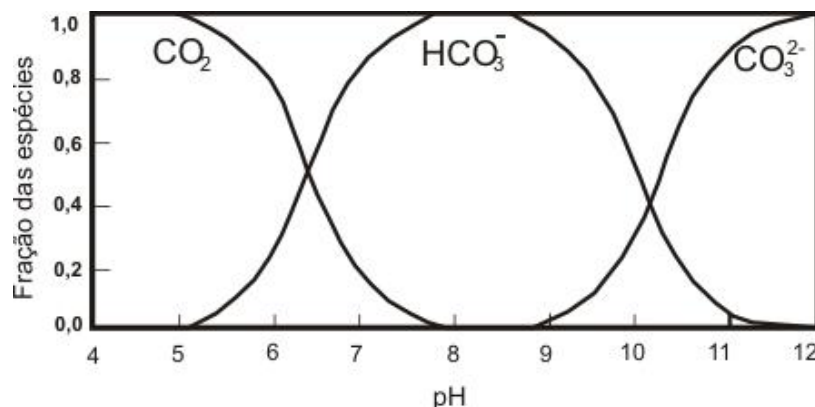
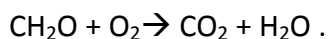


Figura 4. Diagrama de especiações do CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> em relação ao pH. Fonte: Manahan 2005.

As formas de dióxido de carbono estão presentes na forma dissolvida pelo intemperismo do substrato e por trocas atmosféricas (Martinelli *et al.* 2009). A degradação da biomassa ocorre pela presença de oxigênio (respiração aeróbica, caracterizando ambientes oxidantes), ou seja, oxidação da matéria orgânica que é a principal reação em que as bactérias obtém energia para suas necessidades, como para seu metabolismo, representada pela reação abaixo:



Na presença de oxigênio, a respiração resulta na mineralização completa do carbono orgânico em inorgânico como dióxido de carbono e na ausência de oxigênio (respiração anaeróbica) ocorre pela reação abaixo com a produção de metano, caracterizando ambientes redutores:



Os ecossistemas eutrofizados possuem maiores concentrações de carbono inorgânico e diminuição de oxigênio nas camadas mais profundas em função da diminuição de produção e aumento da respiração (Esteves 2011). Algas e plantas fixam o dióxido de carbono como carboidrato através do processo fotossintético:



A energia solar utilizada na junção dos reagentes da reação acima é armazenada em energia química dos compostos. Quando as algas morrem, a decomposição bacteriana ocorre através da respiração no processo reverso pela fotossíntese, energia é liberada e oxigênio é consumido.

Pode ocorrer pela oxidação bacteriana, pela qual poluentes são desagregados e aqueles que contêm enxofre, carbono e nitrogênio são convertidos para as formas inorgânicas de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{N}_2$  (Crosby 1998). A degradação da matéria orgânica favorece a reciclagem de nutrientes, ou seja, elementos que servem como nutrientes para organismos são liberados no meio e adsorvidos por processos de quelação e complexação.

Outro benefício ocorre aos organismos detritívoros, que se alimentam desse material particulado fino, além dos sedimentívoros que possuem estreita relação ao intemperismo biológico. Os líquens, por exemplo, secretam espécies químicas que dissolvem a rocha lentamente e contribuem na retenção de umidade.

A matéria orgânica (MO) em decomposição fornece três grupos de moléculas de carbono: carbono inorgânico dissolvido (CID), carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono orgânico particulado (COP), sendo que a soma destes grupos na água é o carbono total (CT) (Esteves 2011).

O grupo de COD é constituído por diversas moléculas orgânicas como proteínas, ácidos carboxílicos, açúcares e as substâncias húmicas que podem constar entre 50 a 95% do COD (Esteves, 2011). O grupo de COP é representado por organismos, matéria orgânica particulada e em decomposição (detrital). O COD e COP designam o tamanho dos compostos que são separados por filtração em 0,45; 0,7 ou 1,2  $\mu\text{m}$ , dependendo do autor.

A figura 5 ilustra as diferentes formas em que o carbono inorgânico e orgânico se encontra, ocorrendo ciclagem entre essas especiações pelas reações de fotossíntese, respiração, incorporação do carbono na água, trocas com a atmosfera. Os processos alóctones ao sistema lêntico que fornecem essas espécies de carbono são representados pelo aporte de sedimento em inundações do rio, cuja incorporação ocorre pela mobilização na coluna d'água e adsorção além da lixiviação do substrato rochoso, troca atmosférica, chuva, água subterrânea e entre outros origens e processos (Esteves 2011).

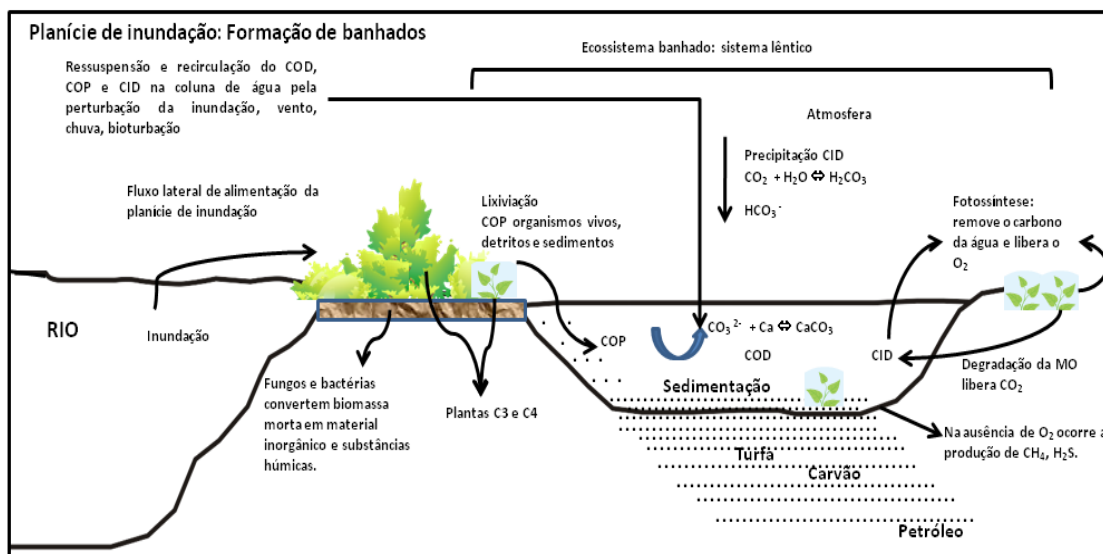


Figura 5: Modelo de distribuição de carbono no rio e o aporte sedimentar sendo acrescentado na planície de inundação. Ilustração baseada no modelo para lagos de Tundisi & Tundisi<sup>4</sup> (2005), Manahan (2005), Esteves (2011) e Crosby (1998).

As fontes autóctones envolvem a degradação da matéria orgânica (produtores e consumidores) e excreção, produção de substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos), assim, o carbono é liberado como COD por lixiviação ou pela forma de COP; além disso, precipitação de minerais como carbonatos, aprisionamento de dióxido de carbono para formação de matéria orgânica na fotossíntese, respiração dos organismos. A distribuição do dióxido de carbono na água é função das atividades dos seres vivos, além de fatores abióticos como o potencial hidrogeniônico e temperatura.

A decomposição microbiana da matéria orgânica é o passo fundamental para a formação de turfas, carvão, folhelhos e petróleo.

O COD e COP ficam suspensos na água e podem retornar a coluna pela turbulência das correntes hídricas como bioturbação, assim como se agregar ao sedimento límico por decantação seguido de sedimentação.

No meio hídrico, a decomposição da matéria orgânica e a respiração dos organismos aumenta a produção de  $CO_2$ , tornando o ambiente mais redutor que no

<sup>4</sup> Destaca-se que na região central-sudeste do país as áreas alagadas podem ser descritas como elemento do tipo *ox bow lake* interpretados como lagos adjacentes a rios, tendo como influência a sedimentação do rio. Neste trabalho, serão utilizados os termos *banhado* e *planície de inundação*.

principal canal do rio. Nos locais de maior turbulência e oxigênio dissolvido, a produção de glicose no processo fotossintético diminui o carbono inorgânico dissolvido no ambiente. Com o aumento do pH, o  $\text{CO}_2$  forma o bicarbonato e este termo final está associado diretamente a produtividade do ecossistema. Em ambientes altamente impactados pelo homem deve ser ainda considerada a possível produção de  $\text{HCO}_3^-$  devido ao lançamento de efluentes domésticos sem tratamento prévio no corpo d'água.

O nitrogênio está contido em aminoácidos, proteínas e é fundamental na constituição de organismos e na sua falta limita a produtividade de matéria orgânica. Este elemento faz parte de diversos processos como denitrificação, nitrificação, fixação biológica e amonificação. O grande reservatório de  $\text{N}_2$  é pouco utilizado devido a estabilidade desse gás. As plantas utilizam na especiação amônia ou nitrato e os animais, na forma de aminoácidos (Odum 1988).

A primeira etapa é a fixação do nitrogênio por bactérias que é a transformação do gás  $\text{N}_2$  em amônia e nitrato. A amônia é usada na síntese de aminoácidos através de enzimas chamadas nitrogenases. A amônia também pode ser formada na decomposição de diversos compostos orgânicos.

A nitrificação é a oxidação da amônia pelas bactérias para a formação de nitrito e liberação de energia para formar novos compostos orgânicos e depois, para nitrato. A desnitrificação é a oxidação de compostos orgânicos (respiração anaeróbica) em ambiente redutor pelas bactérias utilizando nitrato para formar  $\text{N}_2$ . Assim, fecha-se o ciclo novamente com a fixação de  $\text{N}_2$  pelas bactérias e incorporação deste nos compostos orgânicos no protoplasma.

Quando há excesso de nitratos e compostos orgânicos no meio, principalmente em sistemas fechados, pode ocorrer o aumento excessivo de algas, processo chamado de eutrofização. Uma das consequências é a redução do oxigênio dissolvido, aumento de microorganismos, perda ou deslocamento de biodiversidade e toxicidade, dependendo das algas que se proliferarem. Após esse processo alcançar o "clímax", o sistema pode ter o grau de poluição diminuído.

O complexo ciclo biogeoquímico do nitrogênio é demonstrado pela comum variação do  $\delta^{15}\text{N}$  (maior que  $\delta^{13}\text{C}$ ) principalmente pela atividade de bactérias e outros organismos que envolvem estes processos.

### 2.3 Fundamentos de geoquímica isotópica do carbono e nitrogênio

Os isótopos são formas diferentes de um mesmo elemento químicos que possuem números diferentes de neutrons, a exemplo do Carbono 12, 13 e 14, onde os dois primeiros são estáveis e o terceiro é instável (decaimento radioativo). A abundância natural de  $^{12}\text{C}$  para  $^{13}\text{C}$  é de 100:1 (Alves *et al.* 2008) e do nitrogênio é 0,3663% de  $^{15}\text{N}$  em relação ao N total. O carbono 12 é o mais leve e apresenta a maior proporção em relação ao total de carbono na natureza (98,89%) e o  $^{13}\text{C}$  representa somente 1,11% do total.

Geralmente essa proporção se mantém em qualquer material constituído de carbono existente na natureza (minerais, planta, animais,  $\text{CO}_2$ ), porém quando este elemento passa de um estado físico-químico para outro, ocorre uma separação entre os dois isótopos, ou seja, um isótopo enriquece em relação ao outro.

Importante destacar que os isótopos do mesmo elemento passam pelas mesmas reações, porém em taxas diferentes de acordo com o peso e o tamanho dos átomos (Alves *et al.* 2008), sendo assim, as reações biológicas e químicas produzem modificações nas proporções entre esses isótopos. Esse comportamento está relacionado com a propriedade em que os isótopos estáveis leves têm, o fracionamento, por possuir ligações mais fracas em relação ao isótopo mais pesado; isso faz com que a razão isotópica seja diferente em organismos e ambientes diferentes (Pereira & Benedito 2007).

Os isótopos estáveis podem ser utilizados como biogeoindicadores, pois o fracionamento registra processos físicos e metabólicos de organismos, além do impacto antrópico de efluentes industriais, domésticos e atividades agrícolas.

Portanto, os isótopos estáveis formam uma ferramenta de análise da mobilidade de elementos que marcam a assimilação de compostos no meio



envolvendo ciclos biogeoquímicos. Essa mobilidade é feita pela comparação com padrões, quanto ao empobrecimento ou enriquecimento do elemento.

Uma razão isotópica é geralmente designada por  $\delta$  que representa partes por mil de diferença do isótopo da amostra em relação ao padrão, sendo bastante utilizado para carbono é o padrão de PDB (*Pee Dee Belemnite*). Os valores do desvio  $\delta$  são relacionados ao isótopo da amostra e do padrão. A amostra pode ser relativamente “mais leve” em relação ao padrão, então o desvio é negativo. Quando os valores de  $\delta$  forem positivos, a amostra analisada é mais “pesada” ou enriquecida em relação ao padrão (Pereira & Benedito, 2007).

O conceito mais utilizado para descrever a composição isotópica é o Fator de Enriquecimento a partir de um padrão comparando as razões isotópicas de um elemento (pesado e leve) da amostra e do padrão, como na equação 1 abaixo para o  $\delta^{13}\text{C}$ , onde “x” é a amostra e PDB é o padrão.

$$\delta^{13}\text{C} = \left\{ \left[ \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_X}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{VPDB}}} \right] - 1 \right\} \times 1000 \quad (\text{eq.1})$$

A composição isotópica do CID em rios e lagos é controlada pela composição isotópica das fontes de carbono, trocas de  $\text{CO}_2$  com a atmosfera e, fotossíntese e respiração. É comum que ocorra uma mistura de CID originado da decomposição de carbonatos ( $\delta^{13}\text{C} = 0\text{‰}$ ) com CID gerado biogenicamente (Martinelli *et al.* 2009). Isso se vê por valores de  $-13,2 \pm 1,3\text{‰}$  em águas do rio Amazonas mais próximas aos Andes e  $-23,4 \pm 2,6\text{‰}$  para tributários de Águas Pretas.

Os fitoplânctons de água doce apresentam  $\delta^{13}\text{C}$  mais negativos que de água salgada e foram analisados por Krusche *et al.* 2002 na fração fina do carbono orgânico particulado. As plantas do tipo C3 e C4 apresentam valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em torno de  $-24\text{‰}$  a  $-38\text{‰}$  e  $-11\text{‰}$  a  $-15\text{‰}$  respectivamente. A depleção em  $^{13}\text{C}$  nas plantas C3 é explicada pela forma de fracionamento que ocorre na fotossíntese na etapa de fixação do  $\text{CO}_2$  (Martinelli *et al.* 2009).

Mortatti *et al.* 2004 obtiveram variação isotópica para o  $\delta^{13}\text{C}$  do COP entre -23 a -25‰ para efluente de esgoto e para COD, entre -21 a -26‰.

A relação carbono/nitrogênio (C/N) indica o processo de decomposição da matéria orgânica, o equilíbrio entre o processo de estabilidade da matéria orgânica e mineralização, além do aporte de N para as plantas. A matéria orgânica em decomposição disponível no meio ambiente aumenta a população microbiana e, por conseguinte, a demanda de oxigênio, nutrientes, energia e carbono aumentam.

Os valores de C/N entre 20 e 30 indicam que há fornecimento de nitrogênio para a reprodução microbiana, não havendo mineralização (imobilização do nitrogênio pela síntese bacteriana). Quando esse valor é menor que 20, indica que há excesso de N no meio, disponível para as plantas e também que a degradação da matéria é mais rápida (exemplo das leguminosas). Se a relação C/N for maior, significa que a degradação da matéria orgânica é mais lenta (exemplo das gramíneas) e no caso do ambiente, que os microrganismos buscarão outras fontes de N para satisfazer a demanda, causando deficiência no aporte para a necessidade das plantas. A figura 6 ilustra a relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ e C/N.

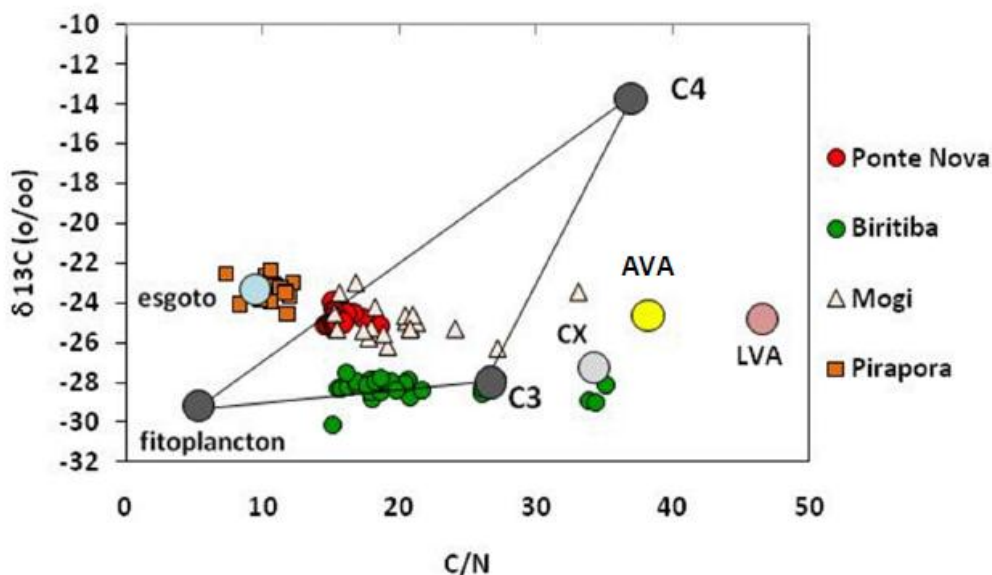


Figura 6. Relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ e C/N e diferentes graus de decomposição da matéria orgânica. Fonte: Moraes 2011.

## 2.4 Isótopos estáveis como indicador de qualidade ambiental

A composição e razão dos isótopos estáveis dependem de processos dos diversos segmentos de um ecossistema, atribuindo-lhes uma assinatura isotópica associada a dinâmica de circulação do elemento em ciclos e processos biogeoquímicos como processos metabólicos, interações complexas entre fontes de nutrientes e reservatórios e, fontes de impactos antropogênicos (Martinelli *et al.* 2009). As assinaturas de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  mostram interações complexas entre fontes de nutrientes, tamanho do reservatório de nutrientes, processos biogeoquímicos e manipulação antrópica.

As plantas podem ser classificadas de acordo com seu ciclo metabólico em plantas do ciclo metabólico C3 e C4. As plantas C3 apresentam valores  $\delta^{13}\text{C}$  que variam entre -22 e -30 ‰ e as do tipo C4, representadas por gramíneas, possuem valores mais enriquecidos em  $^{13}\text{C}$ , da ordem de -6 a -12‰ (Martinelli *et al.* 2009; Chang *et al.* 2009).

As plantas aquáticas atuam na fixação e transporte de carbono inorgânico dissolvido (CID) a exemplo das macrófitas que apresentam maior resistência a falta de oxigênio dissolvido e conseguem transportar gases e fixar  $\text{HCO}_3^-$  na fotossíntese a partir de estruturas próprias (Tundisi & Tundisi 2008). Portanto, a eficiência da pesquisa em geoquímica do sistema banhado depende da compreensão dessas variáveis e suas interações.

Mais especificamente, os processos de acumulação em um sistema banhado depende de diversas variáveis como direção do fluxo alimentador do banhado, direção de fluxo e carga fluvial associada ao banhado, variação de matéria orgânica e granulometria, pH, Eh, entre outros.

## 2.5 Espécies de metais pesados

Na década de 60 a 70 surgiu no cenário mundial o interesse e a necessidade de desenvolver práticas de remediação ao acúmulo de resíduos pela atividade industrial. Uma possibilidade é a reciclagem do descarte pelas atividades

microbianas no solo, que começou a ser estudada na década de 90 como um subproduto para as atividades agrícolas, a exemplo de fertilizantes (Tedesco et al. 2008). A distribuição das espécies e o acúmulo de elementos químicos no organismo têm sido bioindicadores eficientes nas análises e monitoramento ambiental da geoacumulação de substâncias nocivas (Benetti e Bidone 1993; Baird 2002).

Baird (2002) classifica três mecanismos de remediação de contaminantes pelas plantas:

- Ingestão direta e acumulação no tecido da planta.
- Liberação de oxigênio e substâncias bioquímicas que auxiliam na biodegradação do poluente, a exemplo das enzimas .
- Degradação de microorganismos associados a interface solo-planta, como fungos.

Devido à extensa exposição a solos contaminados por décadas, muitas plantas tornaram-se resistentes a presença de contaminantes como metais pesados. A resistência da planta em relação depende do contaminante, o grau de toxicidade do resíduo e resistência do microorganismo.

Dos elementos cromo, cobre e chumbo, apenas o último não possui função biológica conhecida. O cromo pode estar envolvido no metabolismo do açúcar nos mamíferos. Já o cobre é essencial para todos os organismos, auxilia no processo redox nas enzimas e no transporte de oxigênio na pigmentação (McBride 1994). A tabela 1 indica níveis de toxicidade em plantas e mamíferos. Os valores em parênteses indicam a concentração do elemento no tecido da planta em  $\mu\text{g/g}$  em peso seco ou partes por milhão (ppm).

**Tabela 1: Toxicidade de elementos traço. Fonte: Murray B. McBride, 1994.**

<b>Elemento</b>	<b>Fitotoxicidade (ppm)</b>	<b>Toxicidade em mamíferos</b>
Chumbo	Média (30-300)	Alta
Cobre	Média a alta (20-100)	Média
Cromo	Média a alta (5-30)	Alta ( $\text{Cr}^{+6}$ ), Média ( $\text{Cr}^{+3}$ )

Como visto, a toxicidade é mais baixa nas plantas. Porém, o que ocorre é que os animais herbívoros se tornam suscetíveis a acumulação destes metais pela ingestão, comprometendo toda cadeia alimentar e conseqüentemente o ecossistema. Os metais pesados, quando associados ao carbono e enxofre, elevam o grau de toxicidade ao inibir a atividade enzimática de células. Outra consideração é a especiação, que se trata de como o metal está quimicamente disponível.

Baird (2002) cita três fatores para a retenção de metais pesados no solo:

I) adsorção sobre as superfícies dos minerais como óxidos, hidróxidos e argilominerais.

II) complexação dos íons metálicos e grupos  $^-COOH$  de ácidos húmicos e fúlvicos e substituição do metal  $M^{+2}$  em íons  $H^+$  na estrutura de anel benzênico; formação de anéis quelatos (estáveis em determinadas condições e quantidades) com os metais;

III) reações de precipitação. A precipitação ocorre quando o ambiente é ácido para haver mobilidade suficiente, exemplo do ácido monossilícico  $H_4SiO_4$ .

Banat et al.(2005) indicam a eficiência da fração argila-silte na retenção de metais. Se o solo for ácido, há maior liberação do lixiviado devido à repulsão de cargas positivas, então a dispersão e transporte do elemento será mais intensa.

Na seqüência são descritos três metais pesados que apresentam destaque no histórico de contaminação dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos em ordem de maior ocorrência, segundo últimos relatórios da FEPAM (2010): Cromo, Chumbo e Cobre.

O  $Cr^{+3}$  é uma espécie muito imóvel no solo e se associa fortemente à matéria orgânica e óxidos e argilominerais, sempre em muito baixo pH. Este íon pode facilmente substituir o  $Fe^{+3}$ . A formação de hidróxido de cromo,  $Cr(OH)_3$ , ocorre em alta pH. Em condições de alto pH, uma parte de  $Cr^{+3}$  oxida formando a espécie muito tóxica, o cromo hexavalente ( $Cr^{+6}$ ), formando o cromato  $CrO_4^{-2}$ . Como o cromato adsorve menos a matéria orgânica, sua mobilidade aumenta, além disso, o normal é essa espécie ser reduzida para  $Cr^{+3}$  no ambiente.

O chumbo pode ocorrer em duas espécies,  $Pb^{+2}$  e  $Pb^{+4}$ . O primeiro se torna insolúvel em solos reduzidos e quando associado a matéria orgânica. No contrário,

a sorção em óxidos e argilominerais são facilitados pelo pH mais baixo. Existe maior afinidade a óxidos de manganês. O chumbo é o metal que apresenta menor mobilidade nos solos e a lixiviação para camadas inferiores pode levar anos. Uma característica interessante é que o chumbo tende a não se acumular no topo das plantas, concentrando nas raízes (McBride 1994).

A maior ocorrência é na espécie  $\text{Cu}^{+2}$ , mas pode reduzir para  $\text{Cu}^{+1}$ . Tem facilidade de se associar ao enxofre, pois é calcófilo. Quando reduzido na forma  $\text{CuS}$  tem baixa mobilidade. A adsorção ocorre facilmente a óxidos de ferro e manganês, além da matéria orgânica e argilominerais e com o aumento do pH. A mobilidade é favorecida exceto em condições de pH alto.

### 3. ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Os banhados desse estudo fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. A área de estudo está localizada na região metropolitana de Porto Alegre, aproximadamente 35 km da capital (figura 7).

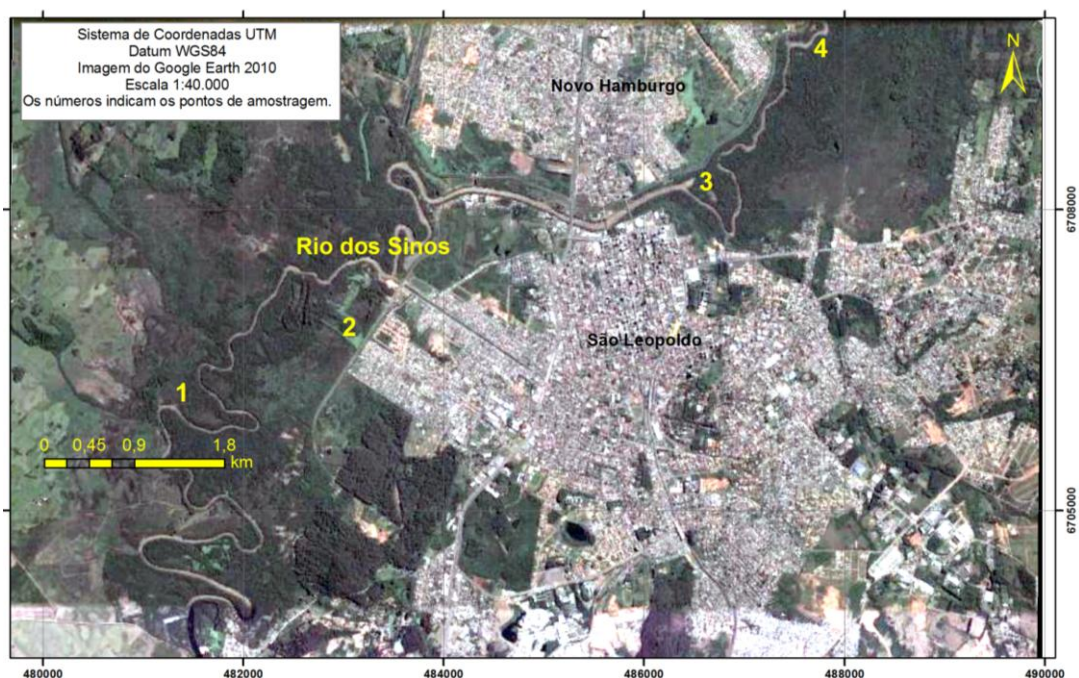


Figura 7: Localização da área de estudo. Rio dos Sinos - trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, região metropolitana de Porto Alegre. Os números indicam os locais de coleta.

#### 3.1 Geomorfologia e solos

A área é rebaixada, tem aporte sedimentar proveniente da erosão dos arenitos Botucatu, Pirambóia e, mais a montante, das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. O relevo é plano, formado pela grande planície de inundação.

As sinuosidades desta etapa do curso do rio estão associadas a perda de competência pela posição jusante na bacia hidrográfica, baixas altitudes e as rochas sedimentares friáveis que compõem a região. A distribuição da drenagem predominante dos arroios apresenta tendência entre retilínea e dendrítica em rochas de textura média (figura 8) Os arroios principais são Bopp, Kruse, Pampa, Passos das Canas e Peão.

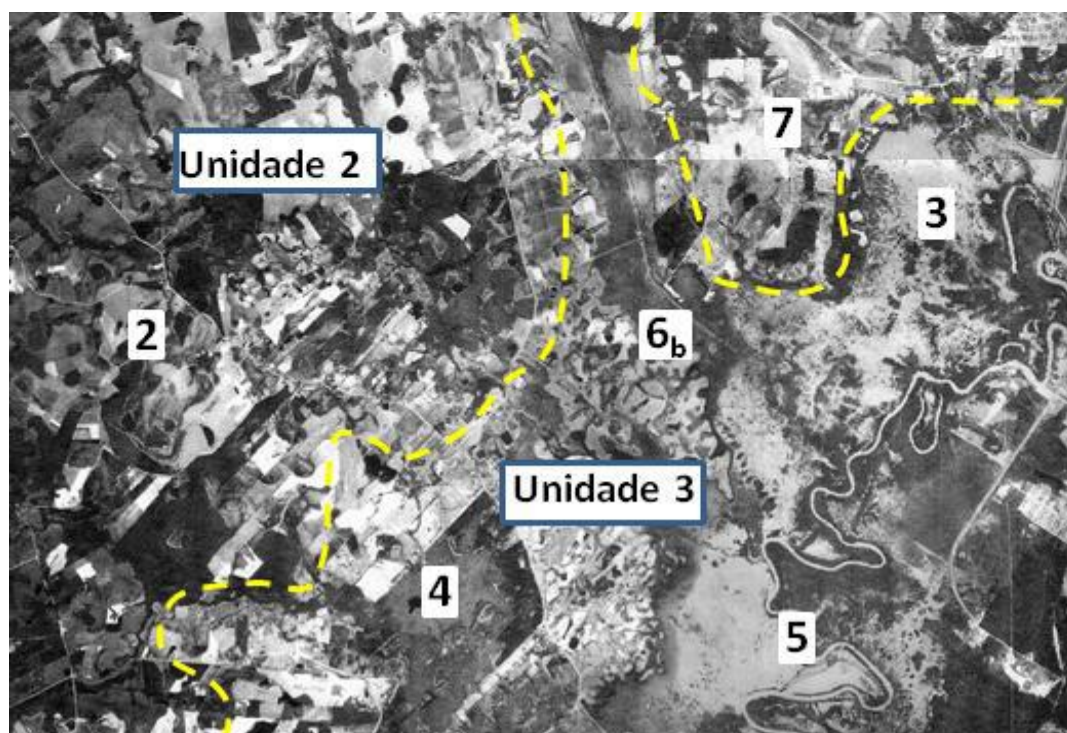


Figura 8: Unidade 2 associada aos arenitos Botucatu e Pirambóia (mais ao sul), relevo suave ondulado. Unidade 3 associada ao ambiente fluvial meandrante, curso e foz do Arroio Portão, planície de inundação, relevo plano. Área urbana de São Leopoldo (Scharlau) (2); Planície de inundação do Rio dos Sinos (3); Planície de inundação e plantação de arroz (4); Rio dos Sinos (5); Arroio Portão (6) b-foz do Arroio Portão; Afloramento do Arenito Pirambóia (7). A linha amarela tracejada separa as Unidades fotogeológicas 2 e 3. A unidade 1 que não consta na figura corresponde a Fm. Serra Geral, norte da sub-bacia do Arroio Portão (Fonte: Muradás, K. 2011).

Pela classificação de solos de Streck *et al* (2008), a região é composta por planossolo háplico eutrófico arênico a espessarênico, solo típico de áreas de várzea, com saturação de bases alta ( $V \geq 50\%$ ) no horizonte B. Caracterizam-se por solos mal drenados por dois motivos: está em ambiente saturado devido a cota topográfica

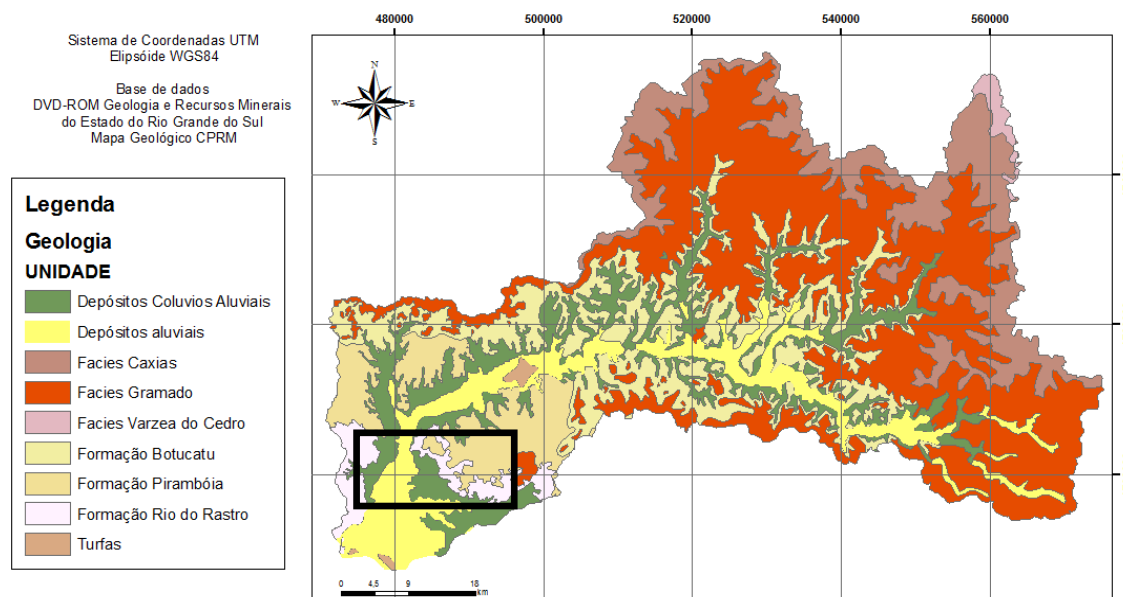


(disposição no relevo em áreas de baixa declividade, plano a suave ondulado), e possui composição textural argilosa e com acúmulo de matéria orgânica.

A unidade 3 (figura 8) apresenta relevo rebaixado e os lineamentos já não aparecem com clareza nos fotogramas aéreos, tratando-se de um material menos coeso, no caso, sedimentar. As macroformas são suavizadas, homogêneas, com uso do solo em plantações, padrão de drenagem com textura fina e subdentrítica; nestas áreas predominam a vegetação de campo e plantações.

### 3.2 Geologia

O mapa geológico compilado de CPRM (2008), figura 9, mostra a variação litológica, constituída de rochas sedimentares da Formação Pirambóia e Botucatu sob os derrames da Formação Serra Geral.



**Figura 9:** Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. A área demarcada pelo retângulo corresponde ao trecho inferior do Rio dos Sinos, área de estudo. Fonte: CPRM 2008.

As formações sedimentares registram ambientes flúvio-lacustres a eólicos, desde o final do paleozóico ao mesozóico, onde culmina com a sequência magmática da Serra Geral.

Faccini *et al.*(2003) descreveram a Formação Pirambóia na localidade de São Vicente do Sul. Esta Formação apresenta duas fácies: as dunas eólicas e as interdunas. As interdunas, que expressam elementos diagnósticos para a distinção de fácies, caracterizam-se por: I) arenitos tabulares amalgamados, compostos por arenitos com laminação plana; II) maciços ou bioturbados e III) fácies de pelitos lenticulares laminados ou maciços. Os fácies indicam ambiente de sedimentação continental eólico, fluvial e lagos rasos.

A Formação Botucatu caracteriza ambiente desértico, sendo constituída por três associações faciológicas no Rio Grande do Sul, descritas por Scherer *et al.* (2000). Os depósitos da base da Formação são interpretados como lençóis de areia e fluxos torrenciais e são sobrepostos por depósitos referentes a migração de dunas com estratificação cruzada e ainda dunas lineares. Faccini, Giardin e Machado (2003) descrevem a Formação Botucatu em dois conjuntos de fácies: dunas e interdunas. As dunas se caracterizam por: I) arenitos finos a grossos, bimodais (duas classes são mais frequentes) com estratificações cruzadas acanaladas e tangenciais dominantes e planares mais raras; II) as estratificações acanaladas evidenciam dunas de cristas sinuosas. As interdunas se caracterizam por arenitos médios a finos tabulares horizontalizados com estratificações cruzadas de baixo ângulo ou laminações paralelas ocorrendo ondulações transladantes, raros intraclastos pelíticos na matriz arenosa.

Wildner *et al.*(2003) descrevem o Fácies Gramado, que correspondem a um conjunto de derrames que afloram no norte da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. Segundo estes autores, esse fácies trata-se de uma sequência de derrames básicos com espessura de 12 a 40 m. A cor predominante é cinza melanocrático (presença de minerais máficos de 65 a 90%) e tamanho de grão fino a médio. Também é diferenciada por baixa relação Ti/Y e baixa sílica, sendo composição de basaltos e basaltos andesito. Estes derrames estão em contato com a Formação Botucatu apresentando lavas com fluxo pahoehoe, contendo estrutura vesicular e amigdalóide preenchidos por zeólitas e carbonatos.

De acordo com as referências descritas, nas áreas adjacentes ao banhado ocorrem arenitos Pirambóia (Permotriássico) e Botucatu (Cretáceo). Os arenitos da Formação Pirambóia têm cor rosa claro a rosa avermelhado, por vezes esbranquiçado devido ao processo de caulinitização (Muradás *et al.* 2010), e cor avermelhada pela presença de óxido de ferro. Os arenitos são bimodais, friáveis e com maior teor de argila que a Formação Botucatu. Ao norte da bacia hidrográfica ocorre a Fácies Gramado da Formação Serra Geral. O basalto apresenta-se densamente fraturado e alterado, amigdaloidal (carbonatos e/ou zeolitas) (Heine 2008).

Os depósitos quaternários predominam associados ao retrabalhamento da água nas margens dos corpos d'água como arroios e de erosão hídrica dos solos. Os depósitos de movimento de massa, oriundos da erosão dos derrames de basalto, são controlados pela variação de gradiente no relevo ondulado e de encosta formando uma franja coluvial. Esses tipos de depósitos são predominantes na transição de terraços.

### 3.3 Estudos preliminares do background de metais na Bacia dos Sinos

Robaina (1999) estabeleceu valores de nível de base para os metais Cr, Pb, Cu, Zn e Ni para solos sobre a planície de inundação. Os sedimentos têm contribuição de litologias vulcânicas e sedimentar na proporção de 1:1 de acordo com a área de influência e distância entre a área fonte e a área de deposição. Para solos hidromórficos, as concentrações em ppm são: Pb=23,04, Cu=69,64, Zn=97,08, Ni=87,00 e Cr=114,05. Para solos podzólicos, as concentrações em ppm são: Pb=36,08, Cu=31,92, Zn=77,65, Ni=45,79 e Cr=74,17. O Cd foi estabelecido sempre como 1ppm para o limite de poluição. O autor também apresenta teores dos referidos metais para as rochas sedimentares e vulcânicas.

## 4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o estudo de impacto ambiental através da análise isotópica é fundamentada em quatro etapas. A primeira se concentrou na integração de informações e consulta a órgãos ambientais como COMITESINOS e UPAN. Também foi consultado o relatório de análises físico-químicas de arroios do trecho inferior da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, publicado pela FEPAM (2010). Nesta etapa foram definidos os banhados a serem estudados.

A etapa 2 resultou da compilação de dados da etapa 1, onde foram utilizadas imagens de satélite do *Google Earth* de 1996 a 2010. Com esses dados, foi onde ocorre inundação dos banhados e algumas macroformas que deixam os banhados mais restritos. Essa interpretação permitiu identificar os pontos de amostragem. Os hidrogramas do Rio dos Sinos foram obtidos do *site* da Agência Nacional da Água (ANA), onde constam dados desde 1970. Os dados anuais de vazão da ANA quando comparados aos dados de campo junto à quantidade de sedimento em suspensão adquiridos nesta pesquisa, permitiram obter a relação de aporte de sedimento nos banhados.

Na etapa 3 consta os métodos de amostragem e de análise, que focam os objetivos propostos nesta pesquisa, e que são descritos com maior detalhe neste capítulo. As análises de isótopos de C e N são aplicadas ao sedimento em suspensão dos banhados e rio nos pontos jusante e montante ao banhado e sedimento de fundo que foi obtido por sondagem com trado através de testemunhos.

A etapa 4 inclui as análises que auxiliaram na interpretação dos dados da etapa anterior. A seguir é apresentado um fluxograma (figura 10) que integra as etapas supracitadas, em função dos objetivos propostos.

### Análise de impactos nos banhados através de indicadores isotópicos

Caracterização de fontes natural e antrópica, relações entre as propriedades hidrodinâmicas do ecossistema banhado, processos adsorptivos com a matéria orgânica e distribuição de elementos químicos com ênfase em C e N.

#### PREMISSAS

- ✓ A razão isotópica de C e N é preservada no processo de decomposição na matéria orgânica.
- ✓ Espécies químicas diferentes possuem "assinaturas isotópicas" diferentes.
- ✓ A água fluvial contribui para o aporte de sedimento, assim como de contaminantes.

#### HIPÓTESES

- ✓ Existe relação das assinaturas isotópicas do sedimento em suspensão do rio e do banhado?
- ✓ Quais são as características do aporte de sedimentação dos banhados?
- ✓ Quais são as contribuições das composições isotópicas destes elementos?

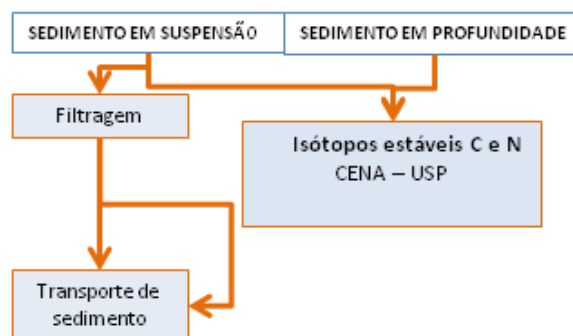
#### ETAPA 1

- ✓ Integração de informações e consulta a órgãos ambientais para escolha dos banhados.

#### ETAPA 2

- ✓ imagens de satélite do Google Earth de 1996 a 2010
- ✓ Hidrometria
- ✓ Saída de campo para coleta dos testemunhos.
- ✓ Saída de campo para coleta de sedimento em suspensão do rio.
- ✓ Saída de campo para o inventário florístico e coleta de sedimento em suspensão nos banhados.
- Saída de campo para identificação de fontes de contaminação (óleo, esgoto e outros) em toda área de estudo.

#### ETAPA 3



#### ETAPA 4

Análises complementares

Figura 10: Etapas que constituem a metodologia da pesquisa.

## 4.1 Monitoramento de propriedades hidrodinâmicas

### 4.1.1 Hidrometria

A medida de vazão foi realizada no período de estiagem e cheia do Rio dos Sinos nos pontos a montante e a jusante de cada banhado a ser estudado. Observa-se que nesta etapa do trabalho também foram utilizados hidrogramas obtidos na Agência Nacional da Água, onde consta o histórico de chuva da região.

Para a medida de vazão é instalado uma régua para referência arbitrária de nível do terreno. Os equipamentos utilizados são o conta-giros (em detalhe na figura 13a), guincho e molinete (com a hélice que gira de acordo com a velocidade em determinada altura na coluna d'água. O número de voltas do conta-giros em 30 segundos é obtido em cada ponto, em três medidas: no fundo do canal, 60 % dessa altura e na superfície. A equação 2 para o cálculo da velocidade do rio  $V$  no ponto é descrita a seguir:

$$V = PP \times n \times t \text{ (equação 2), onde}$$

$PP$  é a profundidade do ponto,  $n$  é o número de voltas no conta-giro e  $t$  é o tempo de pulsação do rio.

O tempo de 30 segundos é escolhido devido ao tempo de pulsação do rio. Essas três medidas retratam comportamentos diferentes e representativos na variação da velocidade na coluna d'água. A área da seção transversal é obtida através das medidas de profundidade em cada estação, espaçadas a cada 3 metros. Da velocidade de todos os pontos calculados e a área total da seção, obtém-se a vazão média, a qual será utilizada para o cálculo de transporte de sedimento no rio (4.1.2). A figura 11 ilustra os procedimentos de medida na seção transversal do rio.

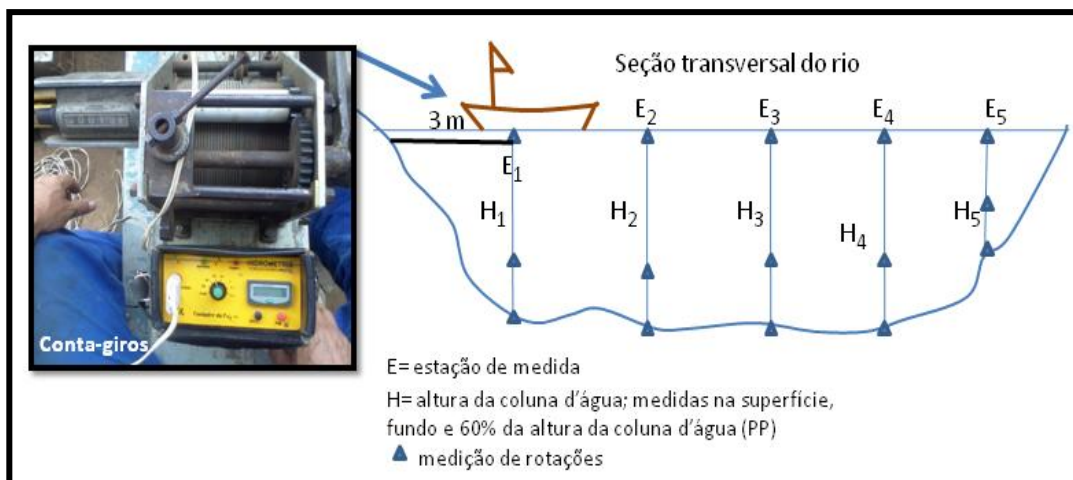


Figura 11. Medida de vazão na seção do rio a jusante e a montante de cada banhado.

#### 4.1.2 Cálculo de transporte do sedimento

O cálculo de transporte do sedimento para os banhados tem como base a coleta da água do rio e dos banhados, assim como a determinação do peso em gramas de sedimento por litro. Para isso, a água coletada é filtrada, como descrito no item 4.2.1. O transporte é relacionado à concentração de sedimento com a vazão medida, e que pode ser descrito pela equação 3 abaixo:

$$T = k \cdot Q \cdot C \text{ (equação 3), onde}$$

T é o transporte de sedimento em toneladas por ano, sendo resultante do produto de uma constante k (=8,64); com a vazão Q (m<sup>3</sup>/s) e C, que é a concentração de sedimento (mg/l). Esse cálculo foi determinado em rios de zonas tropicais (Fernandes 2012).

Todas as medidas de vazão foram feitas no Rio dos Sinos, tanto na entrada como na saída do banhado. Pelo fato de o método de medição de vazão ser bastante detalhado e levar tempo, as medidas ocorreram em datas diferentes, porém, a medida de vazão de entrada e saída do banhado foi feita sempre no mesmo dia. A coleta de sedimento em suspensão foi realizada sempre em duplicata, a 40 cm de profundidade e ao meio do canal.

## 4.2 Análise de sedimento, plantas e resíduos

Para este estudo foram amostrados sedimentos em suspensão do rio e do banhado, sedimento em profundidade do banhado, plantas e resíduos urbanos e industriais.

A amostragem de sedimento em suspensão no rio foi realizada em períodos de vazão baixa e vazão média a alta, em duas campanhas (figura 12). Nestes momentos também foi realizada a medição da vazão nos pontos a jusante e a montante de cada banhado, como relatado no item 4.1.2. Observa-se que as amostragens de sedimento em suspensão nos banhados foram realizadas logo após o evento de vazão média a alta do rio.



**Figura 12. Coleta de sedimento em suspensão dos banhados.**

A coleta foi feita sempre na metade da altura da coluna da água em dois frascos de polietileno de 500 mL, sem preservação com ácido para poder fazer a microtitulação do bicarbonato, descrito na 4.2.1. Já nos banhados, além dessa coleta outra foi feita em galões de 20 L para análises isotópicas de C e N. Os frascos utilizados para coleta de sedimento em suspensão são limpos com ácido clorídrico 10M duas vezes e lavados com água deionizada.

A amostragem dos testemunhos nos banhados foi realizada no período de estiagem, em janeiro de 2012. Os testemunhos foram coletados no banhado a



jusante do Arroio Preto do município de Novo Hamburgo (poço 1) e no banhado a jusante do Arroio Portão (poço 4) no município de Portão.

O principal acesso aos pontos de coleta foi pela rodovia BR 171. Os testemunhos foram coletados com aparelho *Russian Peat Borer* (figura 13a), obtidos em calhas a cada 50 cm de profundidade, e com raio em torno de 2,5 cm, que preserva as relações estruturais e texturais do sedimento (figura 13b). Posteriormente à coleta, o sedimento é retirado por arraste com cuidado do amostrador para a calha de PVC (figura 13c). A seguir a calha é envolvida com filme plástico e depois com papel alumínio, a fim de proteger da luz (figura 13d). Após o trabalho de campo, os testemunhos foram mantidos em um congelador.



Figura 13. Amostragem dos testemunhos com o amostrador *Russian Peat Borer* (a), retirada do material para a calha de PVC (b,c) e preservação do testemunho (d).

#### 4.2.1 Protocolo de análise do sedimento em suspensão - rio e banhado

A figura 14 ilustra o fluxograma explicativo do protocolo para análise de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  e  $^{13}\text{C}/^{15}\text{N}$  do sedimento em suspensão.

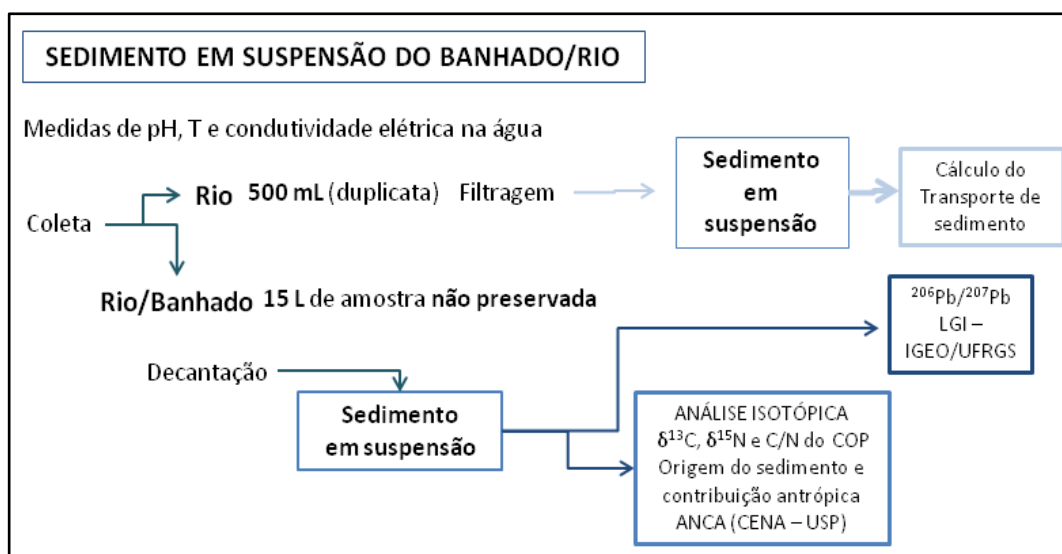


Figura 14: Protocolo analítico do projeto integral de análise isotópica em sedimento em suspensão<sup>5</sup>.

#### MEDIDAS DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NO CAMPO

As medidas de condutividade, temperatura e pH foram feitas localmente e a amostra não preservada foi destinada para medir a alcalinidade.

#### FILTRAGEM E DECANTAÇÃO

A amostra, preservada em frasco de polietileno (figura 15a,b), é filtrada com o uso de uma bomba de vácuo 60 Hz, 1,25 A. O microfiltro inorgânico utilizado (MN GF-6) possui espessura 0,35  $\mu\text{m}$ , é composto de fibra de vidro para não haver contaminação com carbono, e possibilitou a retenção de partícula de 0,6  $\mu\text{m}$ . Os filtros comuns de celulose foram evitados neste experimento. O filtro escolhido é usualmente aplicado para estudo em poluição da água, assim como retenção de clorofilados, microalgas e óxidos de ferro. A referência para retenção de partículas do microfiltro atende às necessidades de retenção do COP, de acordo com os valores citados por Esteves (2011) para separar o COD do COP.

<sup>5</sup> De forma paralela a este projeto, análise isotópica de Pb está sendo encaminhada para as mesmas amostras.



Figura 15. a) Filtragem do material particulado da água coletada no rio e nos banhados. b) Filtro sendo retirado depois da filtragem.

O microfiltro foi pesado em balança analítica antes e depois da filtragem, assim foi obtido o peso de material particulado por volume de água do frasco. O volume de água coletado no *holder* foi sempre conferido com auxílio de um béquer e proveta. Os microfiltros foram retirados cuidadosamente do *holder* da bomba de vácuo com pinça de plástico, evitando a contaminação, depois foram armazenados em placas de Petri e destinados ao dissecador por dois dias para serem pesados (microfiltro + material particulado). Todo o material foi lavado com água deionizada.

A separação dos sedimentos provenientes dos banhados foi feita por meio de decantações sucessivas. As amostras foram colocadas em béquer para secagem e após separadas para análises de C e N.

#### ANÁLISE ISOTÓPICA DE C e N

O microfiltro com sedimento foi levado para estufa a aproximadamente 50°C. O material particulado por litro (g/L) foi relacionado com a vazão obtida no ponto de coleta para poder ser inferido o transporte de sedimento em suspensão no rio. Posteriormente, esse microfiltro com sedimento foi destinado para análise isotópica de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  (ANCA *spectrometer*).

#### 4.2.2 Protocolo de análise do sedimento em profundidade

Os testemunhos foram marcados a cada 5 cm e retiradas as unidades de amostras para descrição na lupa, sendo observadas as heterogeneidades (figura 16).

O material dos poços a ser analisado dos poços foi retirado das camadas ricas em matéria orgânica e de outras ricas em material detrítico/argiloso, sendo separada uma alíquota para análises isotópicas de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  (ANCA spectrometer). Nestes casos, foi retirada a parte mais interna do testemunho, onde não há contato com as paredes do amostrador.

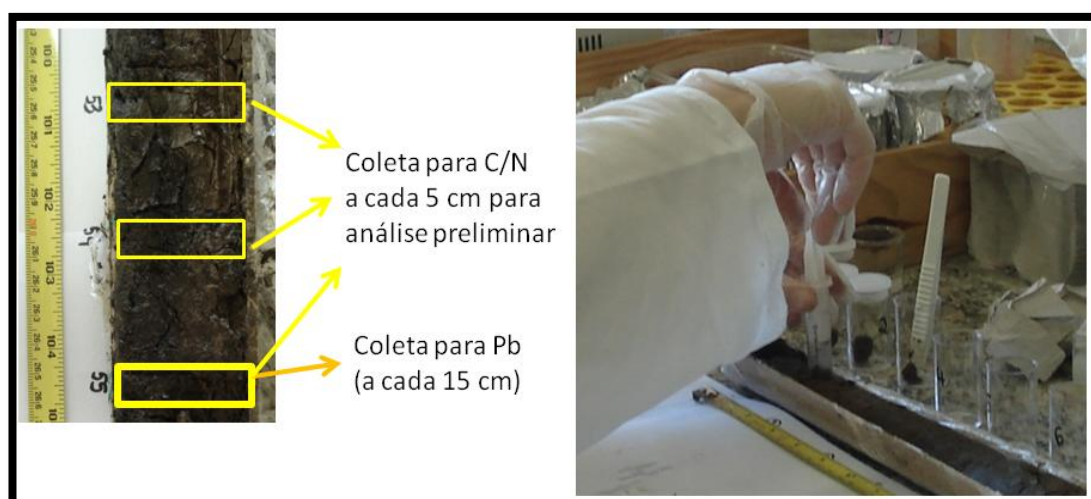


Figura 16. Alíquotas para análise de C e N.

#### 4.2.3 Análise de plantas

O inventário florístico foi feito de forma simplificada com auxílio de um profissional das Ciências Biológicas, a fim de identificar os exemplares de plantas mais abundantes, comuns e raras, além do seu hábito nas áreas de várzea. As mais abundantes foram destinadas para análises de isótopos de C e N. A coleta teve o acompanhamento de funcionários da SEMMAN (Secretaria Municipal do Meio Ambiente) de São Leopoldo, que cederam o uso de barco para acesso aos

banhados. As folhas das plantas foram lavadas com água deionizada, secas em estufas e trituradas.

O quadro-resumo (figura 17) apresentado a seguir reúne de forma esquemática as etapas deste trabalho com os fundamentos e procedimentos.

Material de estudo	Objetivo	Análise/Dados	Infra-estrutura	Interpretação
<b>Sedimento em suspensão</b>	Obter composições isotópicas de C, N e integração com os dados de hidrometria.	$\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$	CENA USP (ANCA)	Fonte do sedimento, fases de sorção, origem antrópica e natural.
	Descrever a mineralogia, composição textural e composicional	DRX/Lupa	LDRX IGEO (SIEMENS D5000)/ LGI-IGEO UFRGS	Fonte do sedimento, fases de sorção.
	Descrever a distribuição geoquímica	Elementos químicos	ACME	Circulação e retenção de metais; concentração total de Pb; comparação com concentração dos resíduos.
<b>Sedimento em profundidade</b>	Obter composições isotópicas do sedimento	$\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$	CENA USP (ANCA)	Dominâncias de grupos de plantas C3, C4, CAM
	Descrever a mineralogia, composição textural e composicional	DRX/Lupa	LDRX (SIEMENS D5000), LGI-IGEO UFRGS	Descrição textural e composicional, caracterização dos argilominerais.
	Descrever a distribuição geoquímica	Elementos químicos	ACME	Circulação e retenção de metais; concentração total de Pb; comparação com concentração dos resíduos
<b>Resíduo</b>	Identificar contaminação	Elementos químicos	ACME	Contribuição das fontes de resíduos nos banhados
<b>Planta</b>	Obter composições isotópicas	$\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$	CENA USP (ANCA)	Diferentes tipos de plantas, comparação das composições isotópicas no sedimento em suspensão e profundidade, interpretação da origem do material particulado.

Figura 17. Quadro-resumo de objetivos e obtenção de dados.

### 4.3 Análise isotópica de C e N

As amostras de plantas, resíduos e sedimentos foram enviadas para o laboratório do CENA/USP e analisadas no *Automated Nitrogen Carbon Analysis* para gás, sólidos e líquidos (ANCA-GSL). Este equipamento mede o nitrogênio e carbono total além de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ . A amostra sofre combustão e reage com perclorato de magnésio removendo a umidade, passa por uma coluna de redução do excesso de oxigênio. Os componentes de interesse são separados ao passar pela ionização de acordo com a massa no espectrômetro de acordo com a massa.

A figura 18 mostra uma parte do espectrômetro, sendo que na parte superior é onde se coloca a amostra que será ionizada (parte interna esquerda). A amostra gaseificada passa por colunas de purificação (parte direita interna) e depois é destinada para a cromatografia de massa.

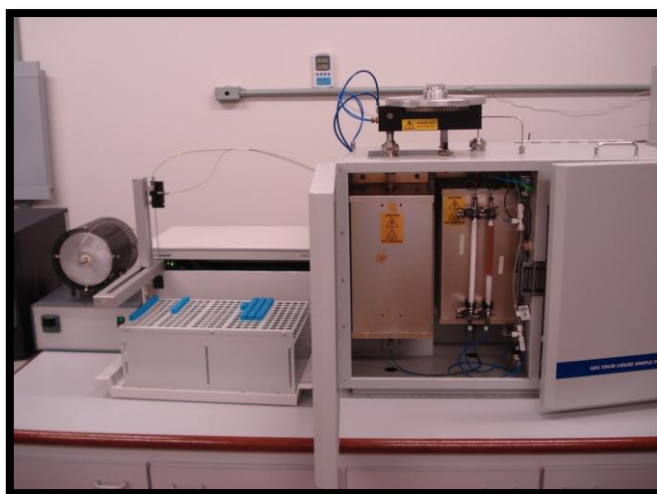


Figura 18. Parte do espectrômetro de massa de C e N. A parte interna mostra componentes de retenção de água e oxigênio das amostras.

As partículas de interesse são aceleradas pelo eletroímã e sua trajetória é diretamente proporcional a massa, sendo coletadas em copos de Faraday para partículas de mesma massa. É importante salientar que moléculas de mesma

massa e não separadas nas colunas, são dependentes também da diferença de potencial aplicada, sendo este o critério para separação de isótopos.

#### 4.4 Análises complementares: Difratometria de raios X

As amostras foram preparadas para análise de mineralogia total e argilominerais para análises por difratometria de raios X com o equipamento Brüker – SIEMENS AXS Modelo D5000 do Laboratório de Difratometria de Raios X do Instituto de Geociências - UFRGS.

As amostras são comumente em pouca quantidade, em torno de 300 mg e isso é um fator limitante para análise de argilominerais, sendo necessária a centrifugação (decantação forçada). Algumas amostras são provenientes da filtragem da água do rio, e o sedimento em suspensão foi analisado sob o filtro de fibra de vidro. De acordo com o tipo de amostra, a metodologia padronizada foi adaptada, conforme descrito em detalhes abaixo.

Para as amostras em profundidade – testemunho no Banhado do Arroio João Correa e de sedimento de fundo do Arroio Portão foram utilizadas as condições analíticas para o método do pó (mineralogia total) utilizou-se a amostra moída colocada em uma lâmina de vidro com um orifício com diâmetro menor que 1 cm. A variação do ângulo de varredura dos raios X é de 2° a 72° com tempo de incidência dos raios X de 3s, tubo de cobre, 40 kV e 25 mA (figura 20a).

O primeiro passo para análise de argilominerais foi a retirada de matéria orgânica com peróxido de hidrogênio, pois esta é um grande interferente na dispersão dos raios X (aumentando o *background*) e na identificação de estruturas cristalinas.

Colocou-se a amostra em um béquer com água deionizada e defloculante, pois o material formava grumos devido às forças eletrostáticas entre as moléculas, provavelmente a matéria orgânica é o componente que mais colaborava para este fenômeno. Antes de colocar o béquer na centrífuga, a amostra foi destinada ao ultrassom por 5 minutos (figura 19 b,c).



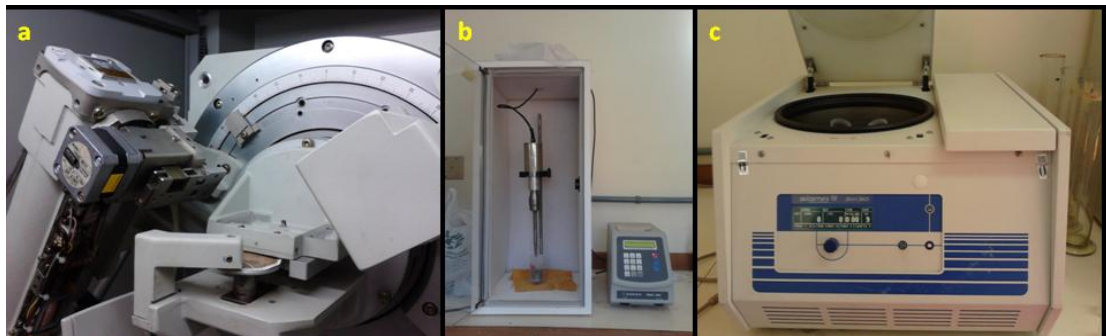


Figura 19 a) Goniômetro 2 $\theta$  do difratômetro de raios X; neste caso, a amostra é um filtro fibra de vidro. b) Ultrassom para auxiliar na desagregação das partículas. c) Centrífuga para concentração e separação de fração.

Para separar a fração menor que 4 $\mu$ m, utilizou-se a Lei de Stokes em centrífuga (figura 20), devido a quantidade reduzida, a separação é feita na centrífuga para obter essa fração no sobrenadante da solução.

Sedimentação por centrifugação (método SYERBERG & PEDERSEN, 1940) - GEOMETRIA PERPENDICULAR:													
temper	viscosid	altura	gravidade	dens. Pa	dens. Mg	d1-d2	diam mic	diam. Cm	raio	tempo [s]	tempo [m]	tempo [horas]	
20	0.01005	13.11	5	2.622	0.96394	2	0.0002	1000	104.716	2.5	0.998	1502	264.686
												4.41144	0.07352
												4.41144	24.6862
<b>PARÂMETROS DE ENTRADA:</b>													
diâmetro da partícula (microns): 2													
velocidade angular (rotações por min): 1000													
temperatura (°C): 20													
viscosidade (gf/cm.s): 0.01005													
distância do eixo de rotação a partir do fundo dos frascos: -													
centrífugadores R (cm): 13.11													
distância do eixo de rotação e o nível superior da suspensão (cm): 5													
densidade das partículas (gf/cm <sup>3</sup> ): 2.5													
densidade do líquido (gf/cm <sup>3</sup> ): 0.998													
<b>TEMPO DE CENTRIFUGAÇÃO NA TEM 20 °C</b>													
EM HORAS: 0 horas													
EM MINUTOS: 4 minutos													
EM SEGUNDOS: 24 segundos													
<b>TEMPO DE CENTRIFUGAÇÃO NA TEM 20 °C</b>													
EM HORAS: 0 horas													
EM MINUTOS: 3 minutos													
EM SEGUNDOS: 39 segundos													
<b>Sedimentação por decantação (Lei de Stoke):</b>													
temper	viscosid	altura	gravidade	dens. Pa	dens. Mg	d1-d2	diam mic	diam. Cm	raio	tempo [s]	tempo [m]	tempo [horas]	
20	0.00804	8	980	2.5	0.997	1.503	4	0.0004	0.0002	4312.62	81.8771	1.36462	21.8771
												1	21
												52	52
<b>PARÂMETROS DE ENTRADA:</b>													
altura ou distância de decantação a partir da superfície (cm): 8													
aceleração da gravidade (cm/s <sup>2</sup> ): 980													
temperatura (°C): 20													
viscosidade (gf/cm.s): 0.00804													
densidade das partículas em queda (gf/cm <sup>3</sup> ): 2.5													
densidade do meio líquido ou gasoso (gf/cm <sup>3</sup> ): 0.997													
diâmetro da partícula (microns): 4													
<b>DADOS DA TABELA I</b>													
razão densidade/viscosidade na temperatura de 20°C: 149.5													
razão densidade/viscosidade na temperatura de trabalho: 180													
<b>TEMPO DE DECANTAÇÃO NA TEMP I 20 °C</b>													
1 horas													
21 minutos													
52 segundos													
<b>TEMPO DE DECANTAÇÃO NA TEMP I 25 °C</b>													
1 horas													
8 minutos													
0 segundos													
<b>TABELA I</b>													
Razão densidade/viscosidade													
TEMPERATURA	2.65	2.5	2.2	1.8									
20	164.4	149.5	119.6	79.8									
21	168.4	153.2	122.6	81.8									
22	172.5	156.7	125.4	83.7									
23	176.5	160.5	128.4	85.7									
24	180.8	164.4	131.6	87.8									
25	185	168	134.5	89.8									
26	189.2	172	137.6	91.8									
27	193.4	175.8	140.7	93.9									
28	197.8	180	144.1	96.3									
29	202.2	183.7	147.1	98.3									
30	206.6	187.8	150.4	100.4									
31	211	191.8	153.6	102.6									
32	215.6	195.9	156.8	104.8									
33	220	200.1	160.2	107.1									
34	224.7	204.2	163.6	109.3									
35	229	208.2	166.7	111.4									

Figura 20 Programa que calcula o tempo de decantação para a separação da fração. As variáveis são o tamanho da fração que se quer separar, o número de rotações por segundos da centrífuga e a temperatura da solução (quadro em vermelho).

O cálculo do tempo de decantação envolve as seguintes variáveis: tamanho da fração que se quer obter, temperatura da solução e rotações/segundo da centrífuga. A separação para fração <4  $\mu$ m não foi

eficiente, como mostra a figura 21 a,b, onde pouco material estava nessa fração e fundamentalmente constituído de matéria orgânica. Optou-se pela centrifugação por 10 minutos para concentrar o pouco material disponível.

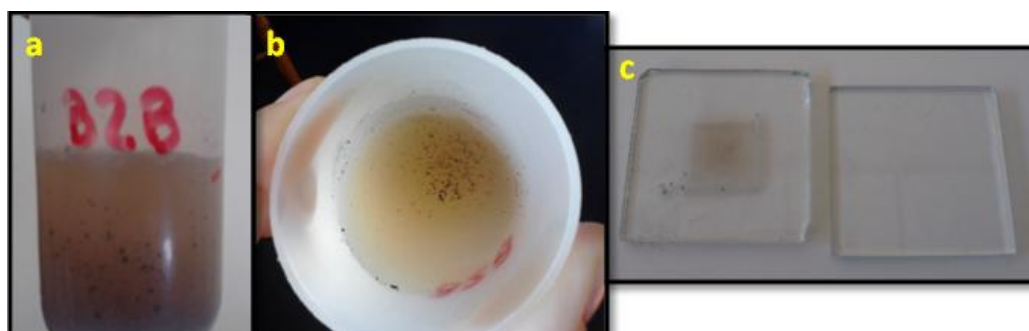


Figura 21. a) Material centrifugado. b) Detalhe mostrando que a fração  $<4 \mu\text{m}$  não foi bem sucedida e que era composta de matéria orgânica. c) Lâminas para deposição de amostras, a esquerda, com cavidade, para amostra destinada à análise de mineralogia total (método do pó) e, a direita, lâmina lisa para deposição de amostra destinada a análise de argilominerais (natural, glicolada e calcinada).

Depois de retirar o sobrenadante, já em um volume reduzido no tubo de ensaio, a amostra foi transferida para um frasco de teflon onde foi adicionado peróxido de hidrogênio. O frasco foi levado a uma chapa pouco aquecida ( $\pm 30^\circ\text{C}$  para não haver destruição dos argilominerais).

A solução foi colocada sobre uma lâmina de vidro com auxílio de pipeta. A difratometria de raios X para análise dos argilominerais é feita em duas lâminas, sendo três análises: 1) uma lâmina para a deposição da solução que é seca ao ar (*air dried*), chamada de “amostra natural”, é lida pelo difratômetro; depois 2) calcinada por 2 h em uma mufla a  $550^\circ\text{C}$ , chamada de “amostra calcinada”, novamente analisada pelo difratômetro a fim de verificar possíveis colapsos na estrutura, sendo um dos critérios para distinção entre espécies de argilominerais. A calcinação das amostras a  $550^\circ\text{C}$  é o método próprio para distinguir a caulinita de outros argilominerais, pois a sua estrutura colapsa, reduzindo ao “background”, (ex. a caulinita colapsa o seu principal eixo – pico principal no DRX em torno de  $7,1 \text{ \AA}$ ) e 3) e 3) uma segunda lâmina de vidro com a amostra fracionada seca e adicionada etilenoglicol (expansivo) a fim de

verificar se a estrutura cristalina passa ou não por expansão e como se caracteriza essa expansão.

As amostras em suspensão do rio e do banhado foram filtradas utilizando uma bomba de vácuo e filtro de fibra de vidro com porosidade de 0,6  $\mu\text{m}$ . Essa porosidade corresponde a fração de interesse do estudo, porém, seria interessante a porosidade do filtro ser menor para aumentar o range de tipos de argilominerais, incluindo os que ocorrem em menor fração. Mesmo assim, deu-se prosseguimento a análise por Difratomia de Raios X.

Outra observação é que a análise foi realizada em um filtro, portanto não foi executada a separação de fração pela lei de Stokes, metodologia rotineira para análise específica de argilominerais. O filtro com sedimento é diretamente colocado no difratômetro de raios X. , o tempo de incidência dos raios X é de 3s com variação do ângulo de 2° a 35° em condições analíticas de 40 kV e 25 mA. Como algumas amostras não tiveram sinal durante esse ângulo, algumas amostras foram lidas de 2 a 72°.

A identificação das fases cristalinas é feita a partir da comparação dos picos observados no difratograma com um banco de dados denominado "Powder Diffraction File" (PDF). Esse banco de dados consiste de fichas nas quais estão presentes diversas informações sobre o mineral, tais como as distâncias interplanares da fase, a simetria do cristal, a composição química, a intensidade relativa dos picos referentes a diferentes famílias de planos, entre outras informações. A identificação dos planos cristalinos é feita pela aplicação da lei de Braag:

$$n\lambda = 2 \times d \times \sin 2\theta, \text{ onde:}$$

d é a distância interplanar;

$\theta$  é o ângulo de incidência dos raios X;

n é a ordem de difração (1 que dá o pico 001 de  $d=7,1 \text{ \AA}$ , 2 que dá o pico 002 de  $d=3,57 \text{ \AA}$  no caso da caolinita); e

$\lambda=1,54 \text{ \AA}$  é o comprimento de onda dos raios X oriundos da interação com tubo catódico de filamento de Cu.

As distâncias interplanares “d” foram devidamente identificadas pelos picos. Para que seja feita a identificação de um pico verdadeiro ele deve ter uma contagem de pelo menos três vezes maior que a oscilação do “background”. As amostras do sedimento de fundo serão destinadas para análise granulométrica de acordo com disponibilidade de material no perfil e variações texturais significantes, além do teor de matéria orgânica, que é calculada pela diferença de peso antes e depois da calcinação.

Com a retirada da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio, as amostras serão preparadas para análise de mineralogia total e de argilominerais por difratometria de raios X com o equipamento Brüker – SIEMENS AXS Modelo D5000 do Laboratório de DRX do Instituto de Geociências - UFRGS.

Para a determinação da mineralogia total pelo método do pó serão realizadas análises no intervalo entre  $2^\circ$  a  $70^\circ 2\theta$ , com corrente elétrica de 40 kV e 25 mA e com velocidade de leitura de  $0,02^\circ 2\theta$  por segundo. Para a determinação dos argilominerais, o tempo de incidência dos raios X será de 3s, e as leituras serão realizadas no intervalo entre  $2^\circ$  e  $35^\circ 2\theta$ .

Serão separadas em torno de 2g de amostra para análise dos argilominerais. O próximo passo foi separar a fração menor que  $4 \mu\text{m}$  utilizando a Lei de Stokes. Devido à quantidade reduzida de amostra, foi utilizada uma centrífuga para obter essa fração no sobrenadante da solução. A difratometria de raios X para análise dos argilominerais deve ser feita em três lâminas: (i) fração fina seca ao ar (*air dried*), (ii) fração fina com etilenoglicol (expansivo) e (iii) amostra calcinada por 2 h em uma mufla a  $550^\circ\text{C}$ .

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir estão relacionados a alguns dos diversos impactos antrópicos no trecho inferior do Rio dos Sinos. Os impactos mais intensos no Rio dos Sinos foram registrados e podem ser verificados na figura 22.

O descarte contínuo de produtos orgânicos como detergentes e outros derivados geram floculação e foram verificados na saída do Arroio Gauchinho e Arroio Preto (a).

A extração de areia é constantemente fiscalizada no trecho do município de São Leopoldo (b). Essa atividade, quando executada perto das margens do rio, causa erosão das margens, desestabilização das encostas e quedas de árvores no canal do rio, além do assoreamento. A figura 22c mostra uma lagoa de decantação de efluentes (c). Geralmente o risco associado às lagoas é o vazamento. O descarte de resíduos nos arroios é uma situação generalizada (d, f). A figura 22e mostra coletas de óleo e provável lodo de curtume, as quais foram destinadas a análise de isótopos de Pb.



Figura 22. Impactos identificados na área estudada.

## 5.1 Hidrometria

O banhado 4 (B4 - adjacente ao Arroio Preto) possui circulação restrita em relação ao Rio dos Sinos principalmente pelo diques marginais com aproximadamente 8m de altura em relação a calha do rio. A figura 23 ilustra o banhado 4 e os pontos de coleta de sedimento em suspensão, análise química e isotópica de C e N, medidas de vazão e o perfil em profundidade. Existem outras conexões que contribuem para o aporte de sedimento neste banhado que é a

bifurcação do Arroio Preto (seta 1), além da conexão lateral às águas do Rio dos Sinos (seta 2).



Figura 23 Diferentes conexões de água (setas amarelas 1 e 2) que contribuem para o aporte de sedimento, os pontos de medidas de vazão, coleta para análise química e o perfil. Fonte: Imagem Google Earth 2012.

De acordo com os dados de hidrometria obtidos em campo, a seção no canal do Rio dos Sinos a montante do banhado possui 51 m de largura, 1,90 m de profundidade e vazão de 87,08 m<sup>3</sup>/s. A média da concentração de sedimento (C<sub>ss</sub>) foi de 0,092g/L e transporte diário de 69,72 g/dia para a vazão obtida. A seção do canal a jusante possui 46 m de largura, 2,58 m de profundidade e vazão de 81,93 m<sup>3</sup>/s. A média da C<sub>ss</sub> foi de 0,095g/L e transporte diário de 67,44 g/dia.

O banhado 3 (B3 - adjacente ao Arroio Imperatriz) é um sistema mais aberto em relação ao B4 e possui permanente conexão ao Rio dos Sinos, principalmente na parte jusante. A figura 24 ilustra o banhado 3 e os pontos de coleta de sedimento em suspensão, análise química e isotópica de C e N e medidas de vazão.



Figura 24. Diferentes conexões de água (setas amarelas 1, 2 e 3) que contribuem para o aporte de sedimento; pontos de coleta para análise química do banhado B3. Fonte: Imagem Google Earth 2012.

A saída de água do banhado em direção a jusante também serve de entrada de água quando a vazão é mais baixa. Essa entrada a jusante é facilitada pela curva do rio e possui barras centrais que dividem o fluxo quando expostas, ocorrendo áreas de remanso (entrada) e saída de água. Entende-se aqui que as águas do Arroio Imperatriz contribuem para a contaminação deste banhado e as análises químicas serão discutidas na sequência.

A seção no canal do rio a montante do banhado 3 possui 27 m de largura, 4,16 m de profundidade e vazão de 81,59 m<sup>3</sup>/s. A média da concentração de sedimento (Css) foi de 0,100 g/L e transporte diário de 70,83 g/dia para a vazão obtida. A seção do canal a jusante possui 65 m de largura, 2,79 m de profundidade e vazão de 91,34 m<sup>3</sup>/s. A média da Css foi de 0,107 g/L e transporte diário de 84,96 g/dia.



Os dados de vazão para B4 e B3 expressam valores de vazão média a alta no Rio dos Sinos

O banhado 2 (B2 - adjacente ao Arroio João Correa) foi separado em dois segmentos, a parte externa, mais próxima ao rio, conectado pelo meandro abandonado e a segunda parte, mais afastada do rio, limitada pela construção do dique. Mesmo em período de seca e sendo uma área aberta, a parte interna do banhado apresentou coluna d'água rasa, entre 10 a 30 cm, durante as visitas de campo. A figura 25 ilustra o banhado 2 e os pontos de coleta de sedimento em suspensão, análise química e isotópica de C e N, medidas de vazão e o perfil em profundidade.

A seção no canal do rio a montante do banhado 2 possui 46 m de largura, 3,36 m de profundidade e vazão de 31,62 m<sup>3</sup>/s. A média da concentração de sedimento (C<sub>ss</sub>) foi de 0,048 g/L e transporte diário de 13,28 g/dia para a vazão obtida. A seção do canal a jusante possui 40 m de largura, 3,34 m de profundidade e vazão de 29,53 m<sup>3</sup>/s. A média da C<sub>ss</sub> foi de 0,045 g/L e transporte diário de 11,55 g/dia.



Figura 25. Diferentes conexões de água (setas amarelas 1 e 2) que contribuem para o aporte de sedimento e pontos de coleta para análise química e o perfil. Fonte: Imagem Google Earth 2012.

O banhado 1 (B1 - adjacente ao Arroio Portão) também é um banhado do tipo aberto como o B3, e em todas as visitas de campo mostrou-se diretamente conectado ao Rio dos Sinos. A figura 26 ilustra o banhado 4 e os pontos de coleta de sedimento em suspensão, análise química e isotópica de C e N e medidas de vazão.

A seção a jusante do B2 é a seção montante do B1.

A seção no canal do rio a jusante do banhado 1 (B1 - adjacente ao Arroio Portão) possui 41 m de largura, 4,10 m de profundidade e vazão de 28,51 m<sup>3</sup>/s. A média da (C<sub>ss</sub>) foi de 0,047 g/L e transporte diário de 11,74 g/dia.

As vazões medidas nas seções do canal relativas à B2 e B1 são consideradas vazões médias a baixas.

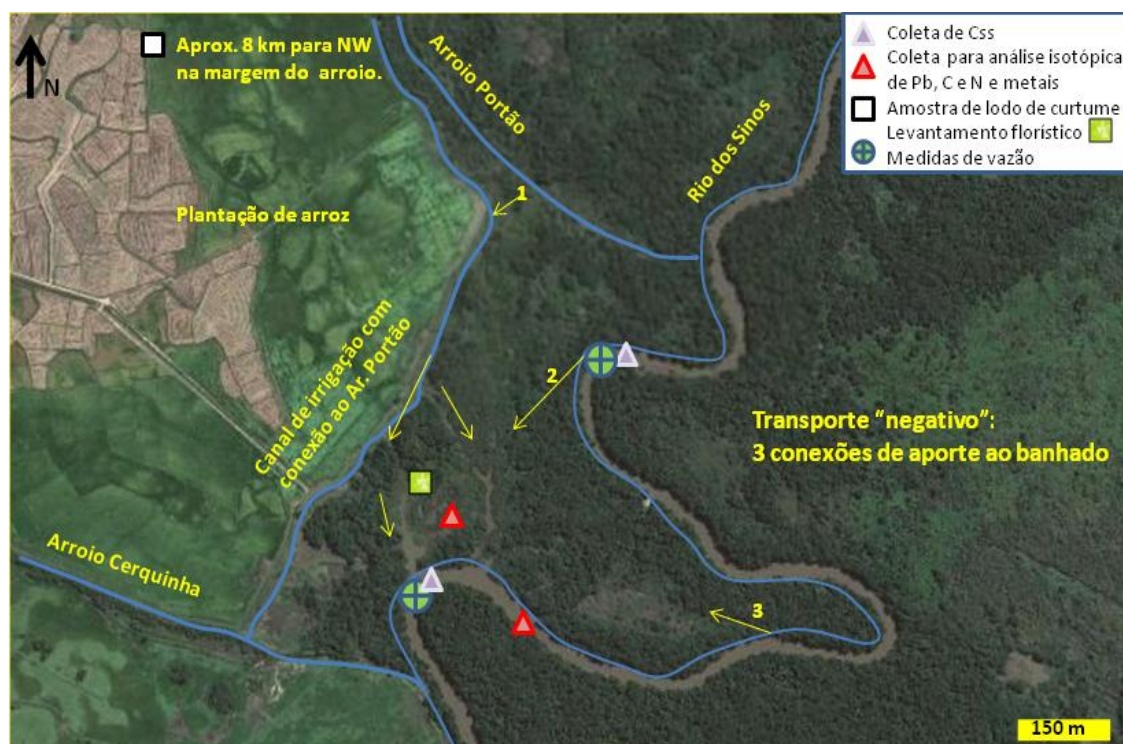
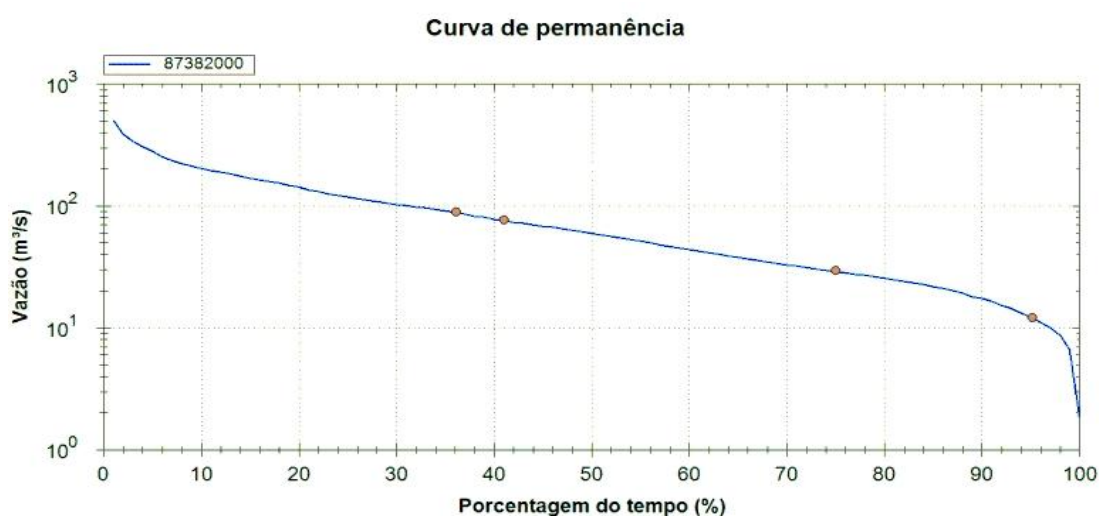


Figura 26. Caracterização do banhado adjacente ao Arroio Portão (B1). Diferentes conexões entre o banhado, o arrozal e o rio (setas amarelas 1 e 2) que contribuem para o aporte de sedimento e pontos de coleta para análise química. Imagem *Google Earth* 2012.

As séries históricas retiradas do sítio da ANA (Hidroweb) permitiram construir a curva de permanência do Rio dos Sinos (figura 27) com dados de vazão

mínima, média e máxima de 1973 a 2012. Os dados das medidas em campo se sobrepõem à curva de permanência (pontos amarelos na figura 47) sob os valores de vazão de aproximadamente  $Q^{695\%}$ ,  $Q^{75\%}$ ,  $Q^{41\%}$  e  $Q^{36\%}$ . Esses valores correspondem à vazão respectivamente de 11 a  $12\text{m}^3/\text{s}$  (baixa vazão); 28,5 a  $31,6\text{m}^3/\text{s}$  (baixa a média vazão) e de 81,6 e  $91,3\text{m}^3/\text{s}$  (média a alta vazão).



**Figura 27.** Curva de permanência do Rio dos Sinos. Os pontos sob a curva são os valores de vazões medidas em campo a jusante e montante dos banhados. Para valores muito próximos, marcou-se a média dos valores.

A vazão mínima para alimentação dos banhados não foi identificada por necessitar de acompanhamento diário do nível do rio, entretanto, as observações de campo indicam que os banhados do trecho estudado necessitam de diferentes vazões para serem alimentados. Enquanto os banhados 3 e 1 são facilmente conectados ao Rio dos Sinos por não apresentarem barras contínuas ou diques marginais, os banhados 2 e 4 encontram-se em maior altitude em relação a calha do rio e apresentam uma dinâmica de alimentação mais complexa. Nesses dois últimos, há conexão com arroios adjacentes ou meandros abandonados do rio que liberam água de forma intermitente.

<sup>6</sup> Vazão com valor igual ou maior corresponde ao gráfico que permanece em um intervalo de tempo em porcentagem do hidrograma anual do rio (100% = 1 ano); exemplo:  $Q^{95}$  ( $12\text{m}^3/\text{s}$ ) = em 95% do tempo no ano os valores de vazão igual ou que excedem a  $12\text{m}^3/\text{s}$ .

O cálculo de transporte de sedimentos para o banhado (TSb) foi aplicado para situações pontuais sobre as vazões citadas. O fato dos valores de Q serem relativamente altos, em uma primeira análise não seriam adequados para o cálculo do TS visando vazões maiores ( $\sim Q_5$ ) para o influxo nos banhados. Como citado anteriormente, os banhados respondem de forma diferente às vazões devido à sua geometria e conectividade, podendo não ser exatamente a  $Q_5$  a que realmente retrata a vazão de alimentação.

Os dados da concentração de sedimento em suspensão (C<sub>ss</sub>) para a estação de Campo Bom mostram valores médios em torno de 20 mg/L (figura 28).

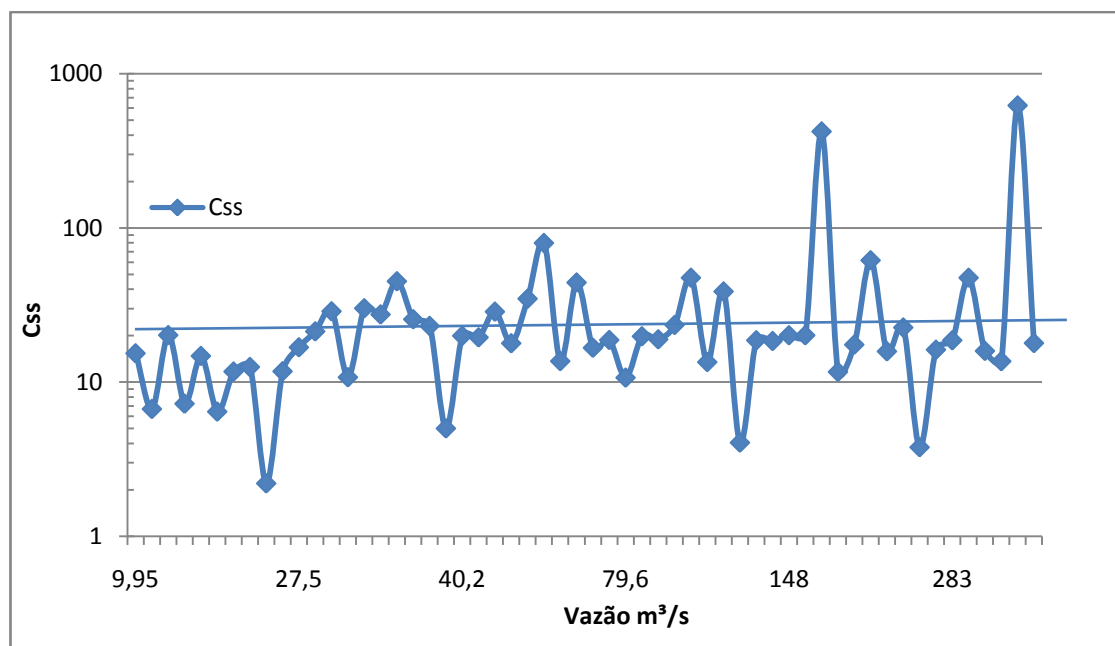


Figura 28. Concentração de sedimento em suspensão (C<sub>ss</sub>) na estação de Campo Bom. Fonte ANA (sítio Hidroweb, acesso maio de 2012).

Na tabela 2 foram colocados os dados de vazões medidas em campo com respectiva C<sub>ss</sub> (mg/L) e os dados de C<sub>ss</sub> (mg/L) obtidos pela ANA (sítio da Hidroweb) para estação Campo Bom para vazões aproximadas das obtidas em campo.

**Tabela 2 Relação do C<sub>ss</sub> das medições de campo com dados da ANA e transporte de sedimento.**

Vazão do rio (m <sup>3</sup> /s)	C <sub>ss</sub> mg/L	C <sub>ss</sub> mg/L para vazões aproximadas (dados da ANA)	Transporte g/s
12,795	13,53	7,26	173,12
11,977	19,05	20,2	228,16
87,082	92	23,49	8011,54
81,928	90	23,49	7373,52
81,589	100,5	19,85	8199,69
91,342	107,5	47,55	9819,27
31,621	48,60	45,12	1536,97
29,531	45,26	28,83	1336,58
28,513	47,67	21,36	1359,40

Os dados de C<sub>ss</sub> convergem, exceto para vazões muito altas. O transporte de sedimento (g/s) foi calculado pontualmente para cada vazão.

A tabela 3 apresenta os valores resultantes do TS<sub>b</sub>, sendo subtraído o transporte de sedimento de entrada do de saída que foram descritos (em anexo está o registro das informações coletadas em campo).

**Tabela 3. Transporte de sedimento para o banhado.**

Pontos	Transporte resultante (g/dia)
4	2,10918
<b>3</b>	<b>(-) 14,135</b>
2	1,731361
1	(-) 0,19719

Verifica-se que justamente os banhados 1 e 3 são aqueles que se mostraram sempre conectados ao rio, apresentam valores negativos de TS<sub>b</sub>.

## 5.2 Análise quimioestratigráfica

As localizações das amostragens para análise química de metais estão nas figuras 26 a 29. A distribuição metais nos estratos dos perfis e no sedimento de

suspensão nos banhados, lodo de curtume, rios e arroio são descritos nas seções seguintes.

### 5.2.1 Sedimento dos perfis nos banhados Arroio Preto e Arroio João Correa

Os parâmetros utilizados para análise da qualidade de sedimento são os propostos pela CETESB baseados nos valores estabelecidos pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment*. Nestes parâmetros incluem-se os metais (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni e Zn), arsênio e compostos orgânicos. Os mesmos valores de referência destes parâmetros são publicados no anexo da Resolução CONAMA 344/04, que estabelece a qualidade do sedimento a ser dragado, separando em dois níveis: “nível 1 com limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota e nível 2 com limiar acima, do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota”. Esses níveis são respectivamente o TEL (*Threshold Effect Level*) e o PEL (*Probable Effect Level*) na classificação canadense. Os valores entre TEL e PEL indicam possível ocorrência de efeito adverso à biota. Os resultados a serem apresentados tratam-se do arsênio e dos metais indicados acima com exceção do Hg.

A figura 29 ilustra o quadro de classificação de contaminantes químicos em cinco faixas de qualidade. Os valores de TEL são os valores limites entre qualidade ótima e boa e os valores de PEL são os valores limites entre regular e ruim.

QUALIDADE	ÓTIMA	BOA	REGULAR	RUIM	PÉSSIMA
As (µg/g)	< 5,9	5,9 – 11,5	> 11,5 - < 17,0	17,0 – 25,5	> 25,5
Cd (µg/g)	< 0,6	0,6 – 2,1	> 2,1 - < 3,5	3,5 – 5,3	> 5,3
Pb (µg/g)	< 35,0	35,0 – 63,2	> 63,2 - < 91,3	91,3 – 137,0	> 137,0
Cu (µg/g)	< 35,7	35,7 – 116,4	> 116,4 - < 197,0	197,0 – 295,5	> 295,5
Cr (µg/g)	< 37,3	37,3 – 63,7	> 63,7 - < 90,0	90,0 – 135,0	> 135,0
Ni (µg/g)	< 18	18 – 27	> 27 - < 36	36 - 54	> 54
Zn (µg/g)	< 123	123 – 219	> 219 - < 315	315 - 473	> 473

Figura 29 Classificação em faixas de qualidade do sedimento de acordo com CETESB/*Canadian Council of Ministers of the Environment*.

A amostragem de testemunho no banhado João Correa atingiu 3,5 m de profundidade e as análises químicas das amostras analisadas possibilitaram verificar que os valores de Cu estão abaixo dos valores de TEL (figura 30), enquanto Zn, Cd e Pb mostram alguns valores entre TEL e PEL. Cd oscila no limite do TEL, apresentando anomalia no estrato a 40 cm de profundidade e está relacionado a um nível de argila com microfiteclastos (figura 31). O Pb ultrapassa o limite do TEL (35 ppm) somente nos primeiros 15 cm e depois cai para valores baixos, com concentrações em torno de 20 ppm. Zn apresenta uma tendência semelhante aos demais elementos, concentrando-se entre os níveis mais superficiais até a profundidade de 100 cm, intervalo este representado por sedimentos argilosos. Cr e o Ni ultrapassam o limite do PEL indicando contaminação até a profundidade máxima do testemunho, com maiores concentrações nos níveis superficiais de 15 e 20 cm respectivamente, ambos alcançando a qualidade péssima e risco letal a animais bentônicos e plantas que vivem no substrato deste ambiente.

A distribuição geoquímica, com base no perfil da figura 31, mostra duas características gerais: i) os maiores teores estão presentes nos níveis superficiais com exceção ao Cu e Cd, onde são constituídos de sedimento tamanho silte-argila com folhas, fitoclastos e cutículas alongados; e, ii) os teores tendem a ser constante no perfil, porém apresentam anomalias pontuais para cada elemento. O Zn e Cd apresentam anomalia positiva em sedimento fino sem fitoclastos. O Cu apresenta anomalia positiva em sedimento fino sem fitoclastos e também em sedimento fino com microfiteclastos. O Ni apresenta anomalia positiva em sedimento fino sem fitoclastos e com fitoclastos alongados. O Cr apresenta anomalia negativa em sedimento fino sem fitoclastos e com fitoclastos alongados. Os teores tendem a baixar na base do perfil, caracterizado por maior teor de areia.

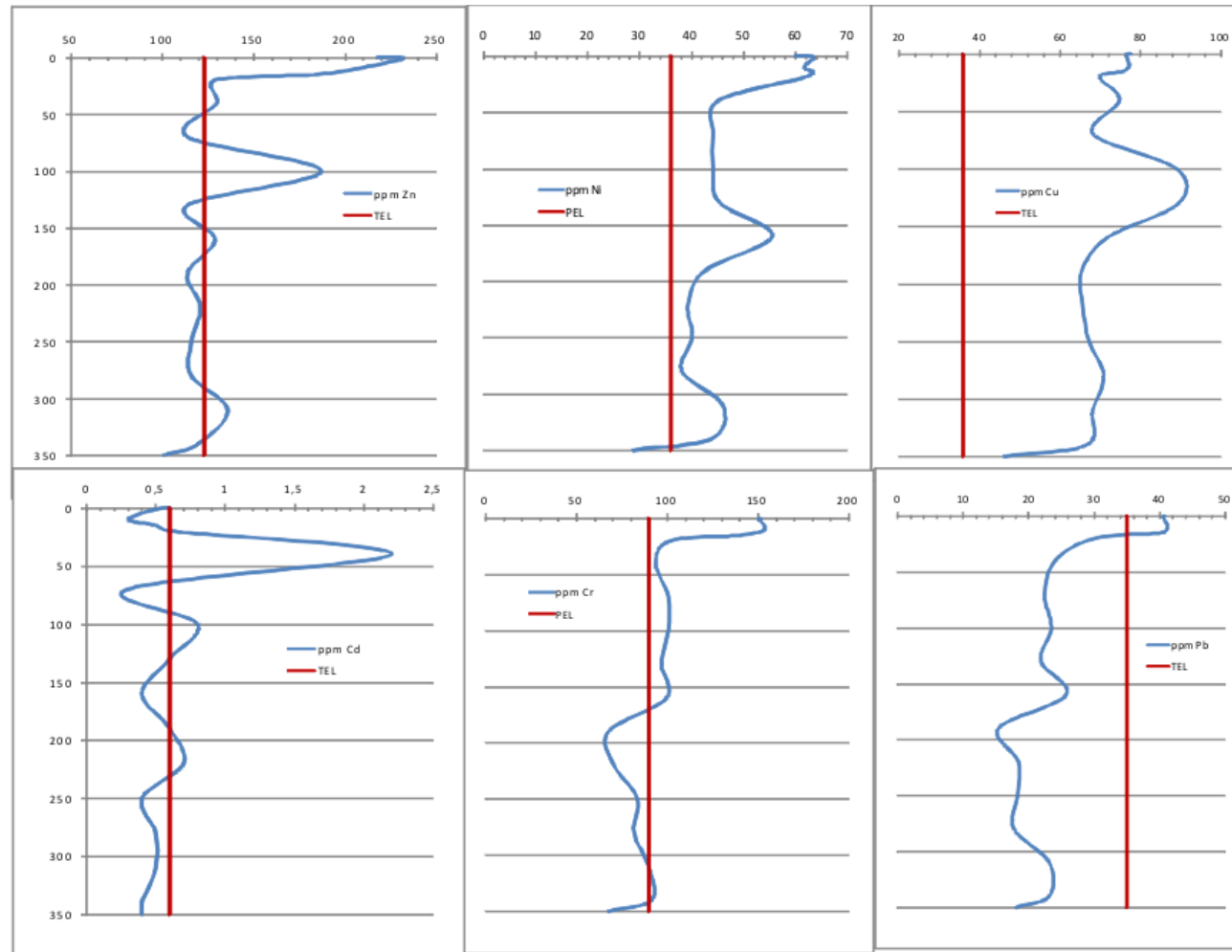


Figura 30. Relação da composição química do perfil Arroio João Correa em diferentes profundidades com os limiares PEL e TEL.



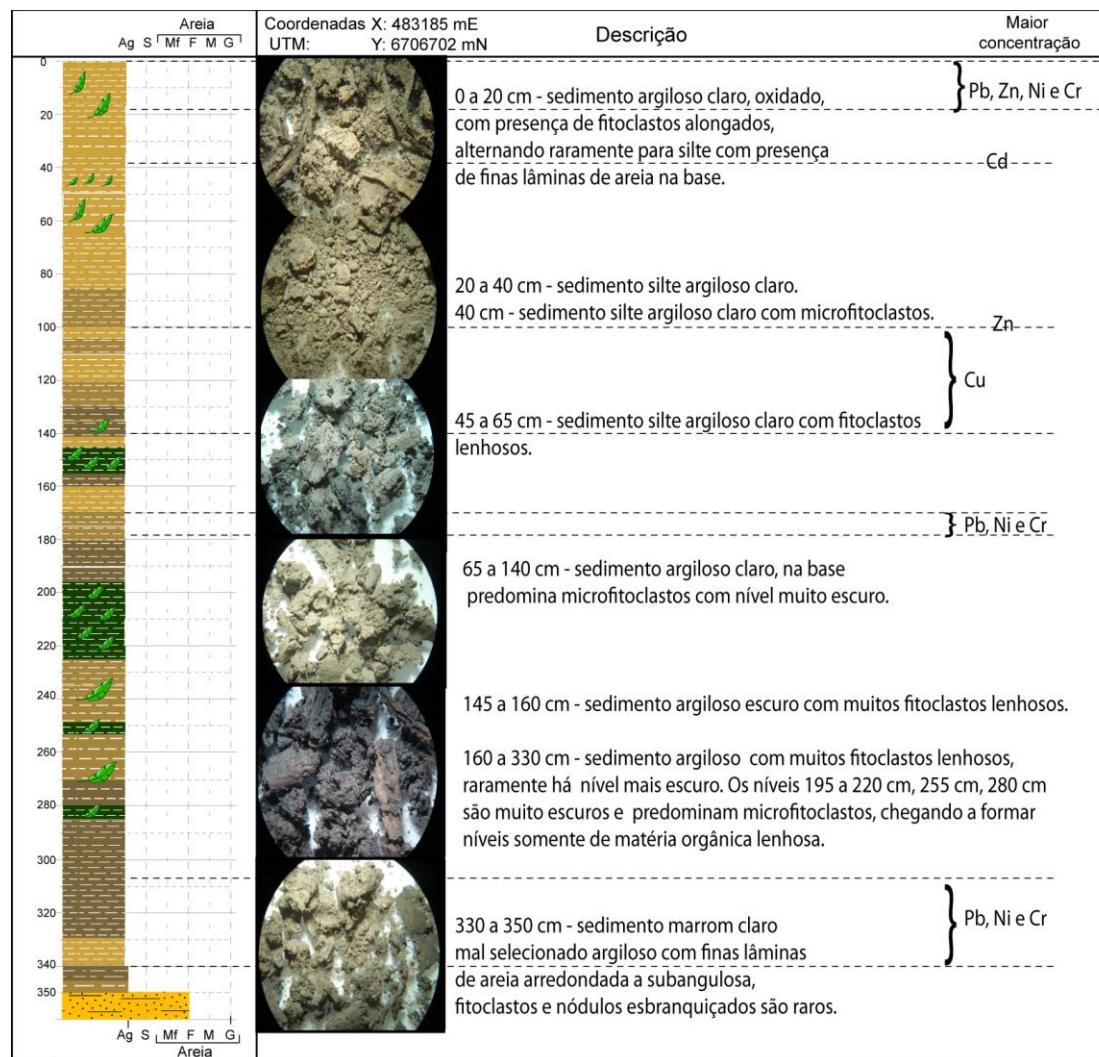


Figura 31. Perfil estratigráfico do banhado do Arroio João Correa.

A amostragem de testemunho no banhado adjacente ao Arroio Preto alcançou 0,75 m de profundidade. A análise química mostrou que os valores de Cu, Cd e Pb estão abaixo dos valores de TEL (figura 32). Os teores mais altos de Pb correspondem a níveis argilo-siltosos, assim como nos níveis mais superficiais com presença de fitoclastos (figura 33).

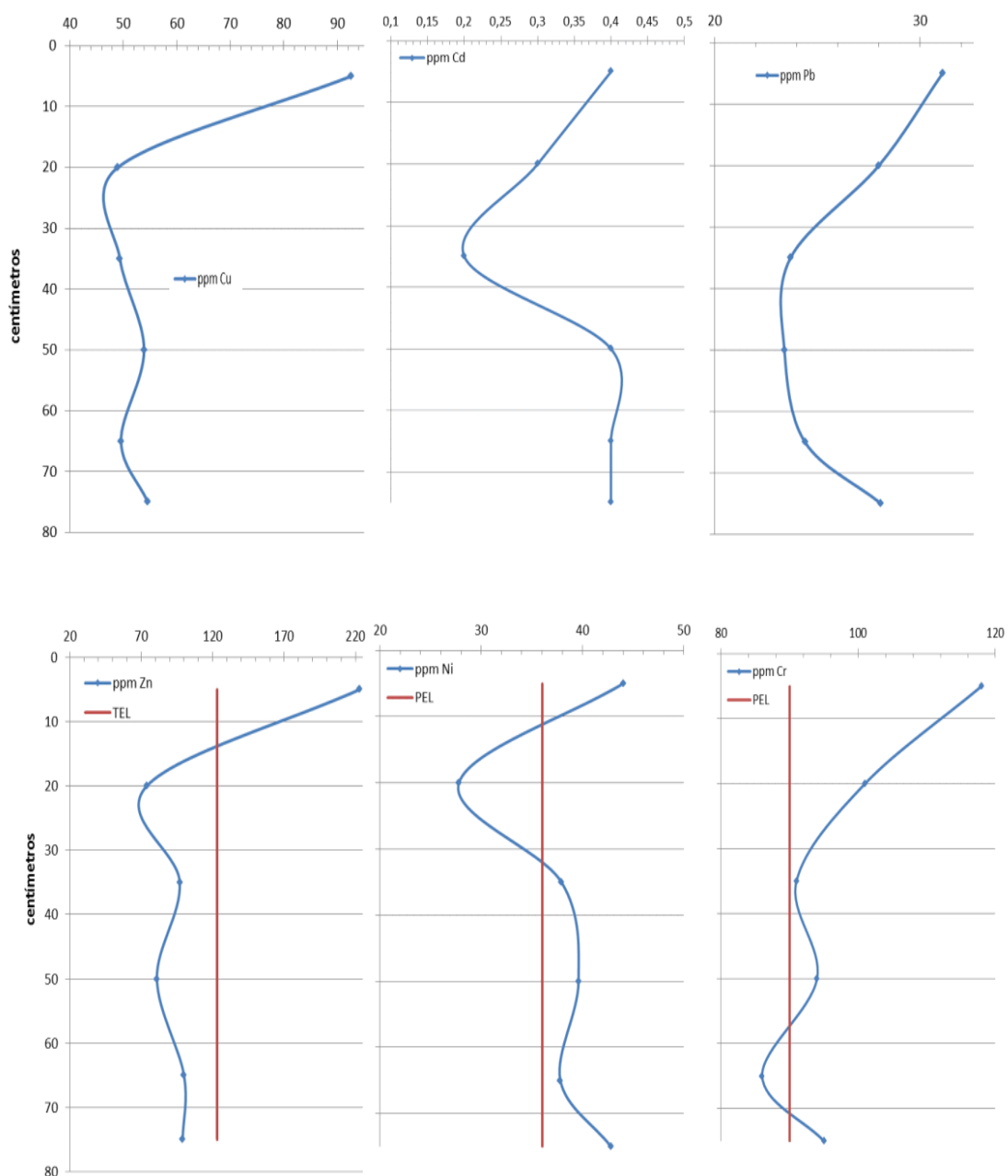


Figura 32. Relação da composição química do sedimento banhado do Arroio Preto em diferentes profundidades com os limiares PEL e TEL.

Zn mostrou, em geral, teores inferiores aos dos valores de referência TEL, mas nos níveis próximos à superfície (até 15 cm de profundidade) os valores ficam entre TEL e PEL, chegando a 232 ppm. Ni e o Cr ultrapassam o limite PEL e assim como no perfil anterior, também indicam contaminação até a profundidade máxima do testemunho; com maiores concentrações nos níveis superficiais de 10 cm para o Ni e até 35 cm de profundidade para o Cr. Abaixo destas profundidades, as concentrações tendem a acompanhar a linha limítrofe PEL. Esses dois últimos elementos alcançam a qualidade péssima e risco letal a animais bentônicos e plantas que vivem no substrato deste ambiente.

A distribuição geoquímica, com base no perfil da figura 33, no sedimento mostra duas características gerais: i) os maiores teores estão presentes no nível de 5 cm, que é constituído de sedimento tamanho silte-argila bastante oxidado, com folhas, fitoclastos e cutículas alongados, onde os teores dos metais decaem até os primeiros 20 a 35 cm; ii) os teores tendem a ter uma leve inflexão positiva e tornam-se constantes no perfil abaixo dos 35 cm, onde a granulometria muda de sedimento arenoso para sedimento constituído por silte e argila, porém apresentam anomalias pontuais para cada elemento. O Ni apresenta anomalia negativa na mudança do nível de sedimento fino com fitoclastos para o nível arenoso e o Cd no contato do nível arenoso com o argiloso a 35 cm de profundidade. A partir desse nível, ocorre uma camada de argila, que parece ter sido uma barreira geoquímica para o Pb e que possui maior acumulação de Cd, Cu, Ni. Os teores destes elementos tendem a aumentar na base do perfil, que é caracterizado por sedimento muito fino.

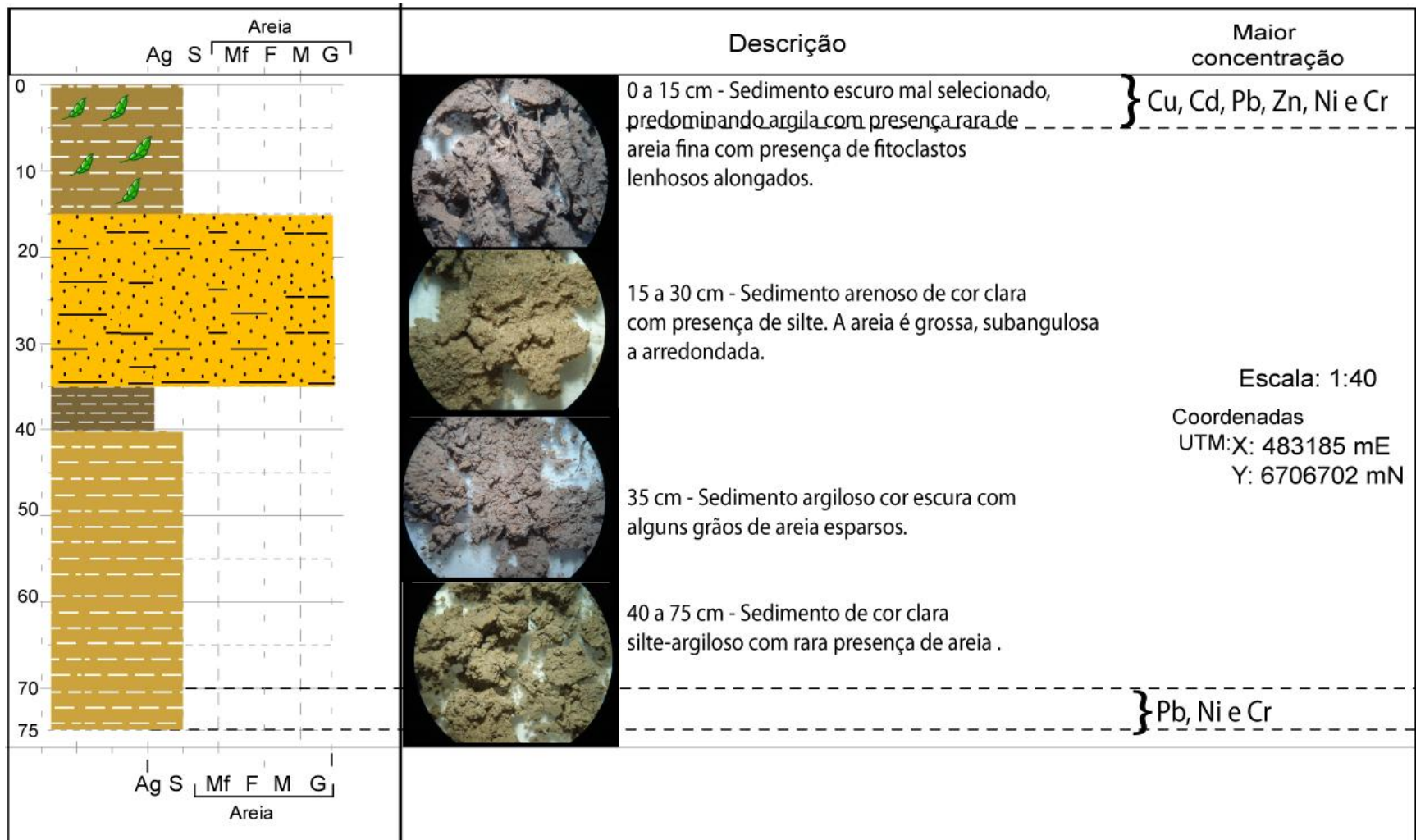


Figura 33. Perfil Arroio Preto com caracterização textural e zonas de maior concentração dos metais.

### 5.2.2 Sedimento em suspensão dos banhados, arroios e Rio dos Sinos

A figura 34 ilustra as análises químicas nos sedimentos em suspensão dos banhados, Arroio Preto, Rio dos Sinos e o lodo de curtume. Os banhados 1 a 3 apresentam teores de Ni e Cr acima dos valores de referência PEL, indicando teores de toxicidade para a fauna e/ou flora. O banhado 4 parece ser o melhor preservado, pois os teores ficam entre o limite TEL e PEL, indicando impacto relativamente menor. O Cd e o Cu se enquadram na faixa “ótima” da classificação. Quanto ao Zn, os banhados apresentam teores diversos, sendo que a parte externa do B2 se enquadra acima do PEL, enquanto o B2 interno e o B3 estão entre os limites TEL e PEL e B1 e B4 encontram-se na faixa “ótima”.

O lodo coletado do curtume é caracterizado por possuir altos conteúdos de Ni e Cr, sendo que o Cr não foi plotado no gráfico por extrapolar o valor de 10.000 ppm.

O Arroio Preto (SSAP) possui Pb e Cd na faixa “ótima”, porém os outros elementos encontram-se no limite ou possuem teor superior aos da PEL.

A amostra do Rio dos Sinos (SSR) possui teores Zn, Ni e Cr superiores aos da PEL.

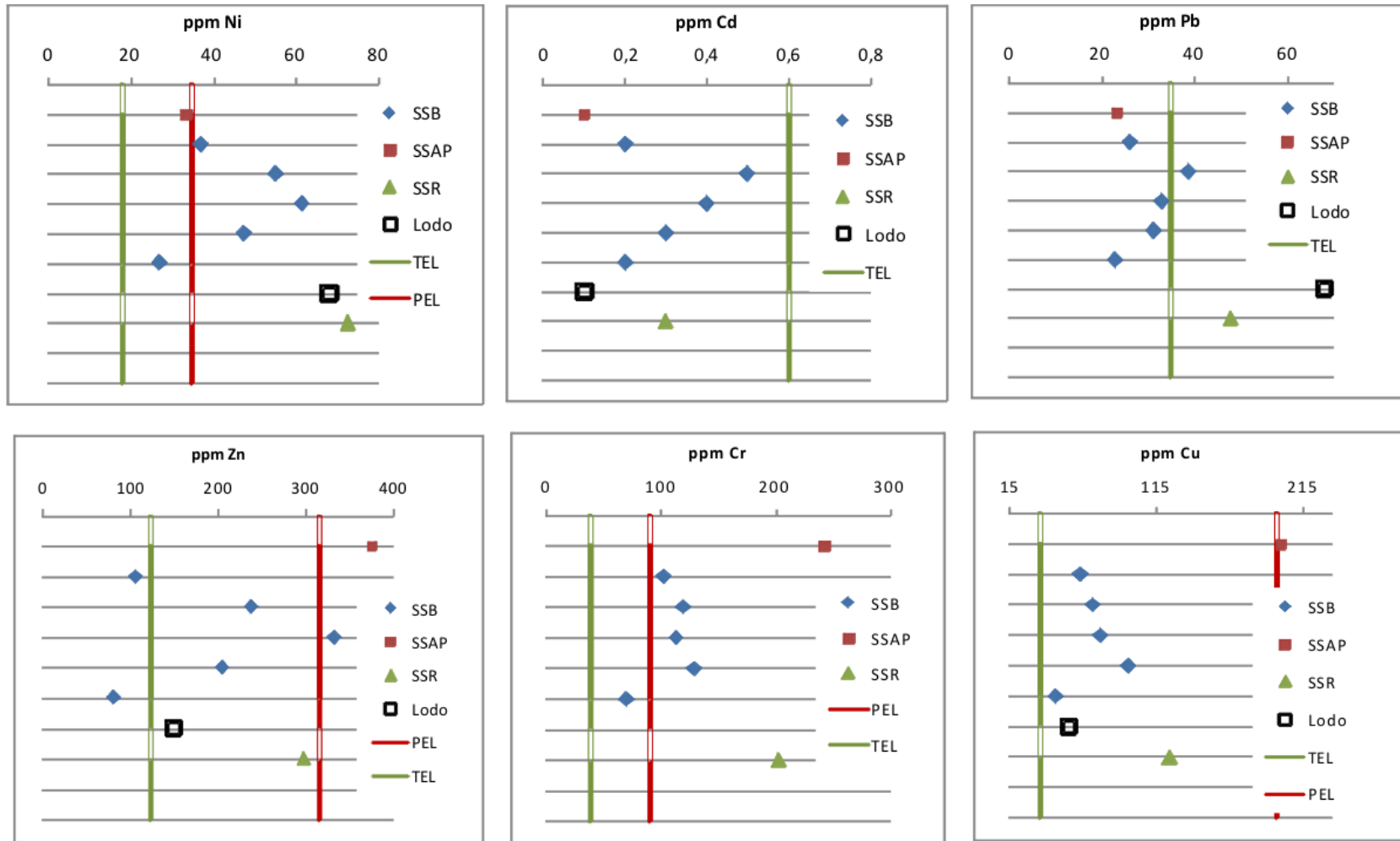
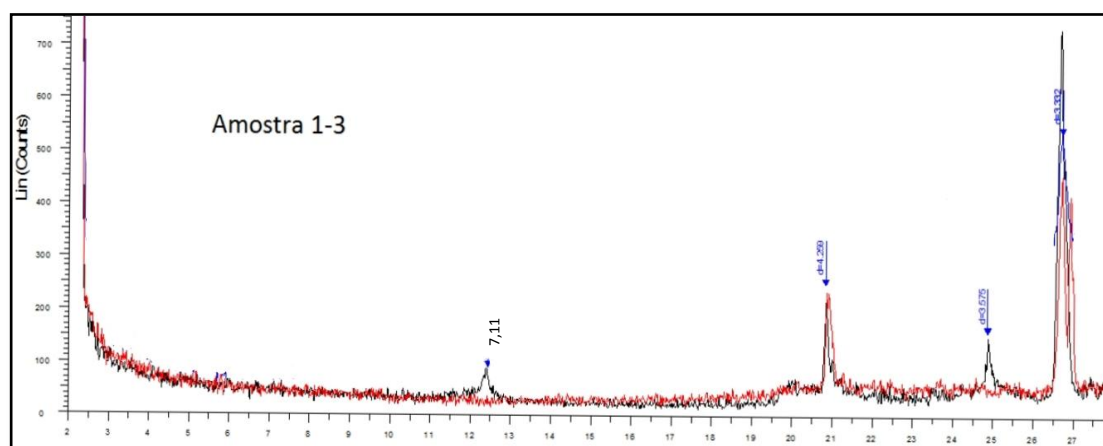


Figura 34. Análise química de sedimento em suspensão e lodo (limites estabelecidos pelo “Canadian Council of Ministers of the Environment”). SSB - sedimento em suspensão dos banhados, SSR - sedimento em suspensão do Rio dos Sinos, SSAP - sedimento em suspensão do Arroio Preto.

### 5.3 Difractometria de raios X

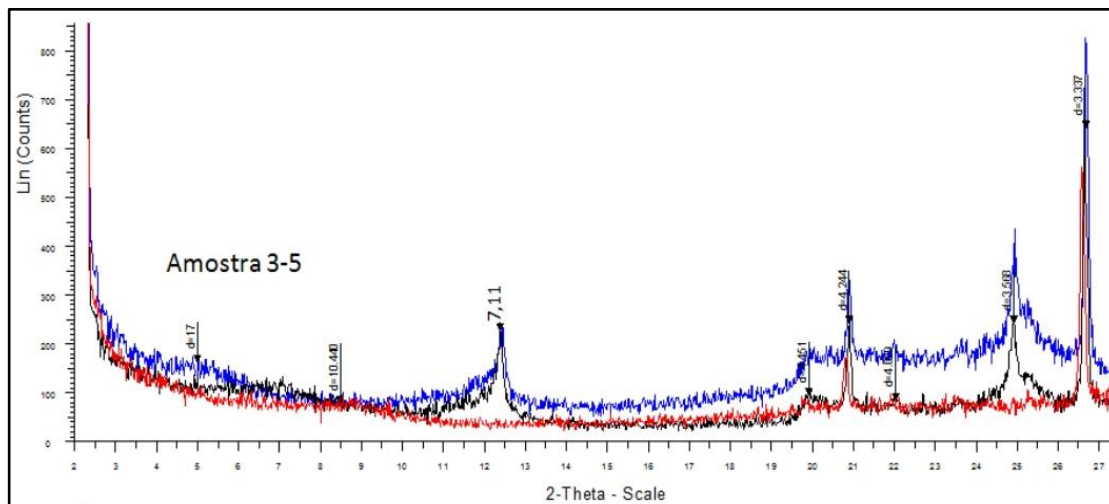
As amostras que foram destinadas para difratometria de raios X foram dos banhados 2 e 4 e Rio dos Sinos perto destes banhados (localização nas figuras 22 e 24). A figura 35 ilustra os difratogramas das técnicas natural (cor preta) e calcinada (cor vermelha) do sedimento a 15 cm de profundidade do perfil Arroio Preto.



**Figura 35.** Difratomogramas das amostras de sedimentos de testemunho, 15 cm de profundidade do Banhado Arroio Preto. Caulinita: picos 7,1 Å e 3,57 Å; quartzo 3,33 Å e 4,2 Å.

Neste difratograma é possível identificar os picos característicos da caulinita com distâncias interplanares de 7,1 Å e 3,57 Å. A amostra glicolada não foi incluída por ter muita influência da matéria orgânica e ter absorvido os raios X a ponto de não conseguir identificar nenhum pico.

A figura 36 ilustra os difratogramas das técnicas natural (cor preta), glicolada (cor azul) e calcinada (cor vermelha) de sedimento a 25 cm de profundidade do perfil Arroio João Correa.



**Figura 36.** Difratogramas das amostras de sedimentos de testemunho, 25 cm de profundidade do Banhado Arroio João Correa. Caulinita com picos 7,1 Å e 3,568 Å; quartzo com picos 3,33 Å e 4,24 Å, esmectita “pico” 17 Å (natural) e na calcinada 10,4 Å.

Pelos mesmos critérios, o argilomineral identificado foi a caulinita. Neste perfil foi também foi identificado esmectita que tem pico em 12-14 Å e, quando glicolada, expande para 17 Å e quando calcinada volta pra 10 Å. A esmectita apresenta muito baixa cristalinidade, possivelmente neoformada devido ao ambiente mais redutor, e de acordo com a litologia da área e influência dos sedimentos provenientes da erosão dos basaltos, a esmectita detrítica deveria apresentar cristalinidade.

A figura 37 ilustra o difratograma de sedimento em suspensão do banhado do Arroio João Correa, amostra B2B.



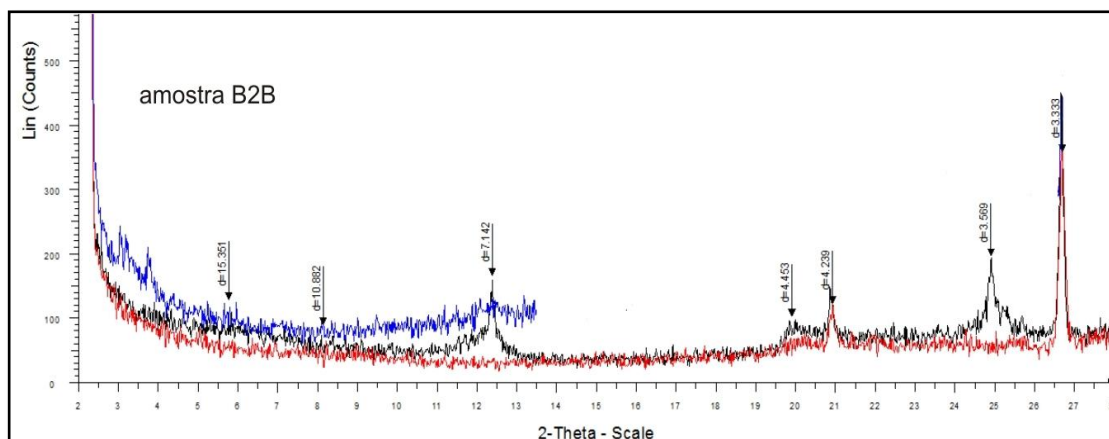


Figura 37. Difrátogramas das amostras de sedimentos em suspensão do Banhado Arroio João Correa. Caulinita foi identificada pelos picos 7,1 Å e 3,569 Å; quartzo, 3,33 Å e 4,239 Å; esmectita, 15Å (natural) e na calcinada 10,88 Å.

Os minerais identificados foram caulinita, esmectita e quartzo.

Procurou-se fazer uma comparação didática da amostra B2B natural (preto) e outra amostra natural com ataque com peróxido de hidrogênio pouco aquecida em chapa elétrica (vermelho) (figura 38).

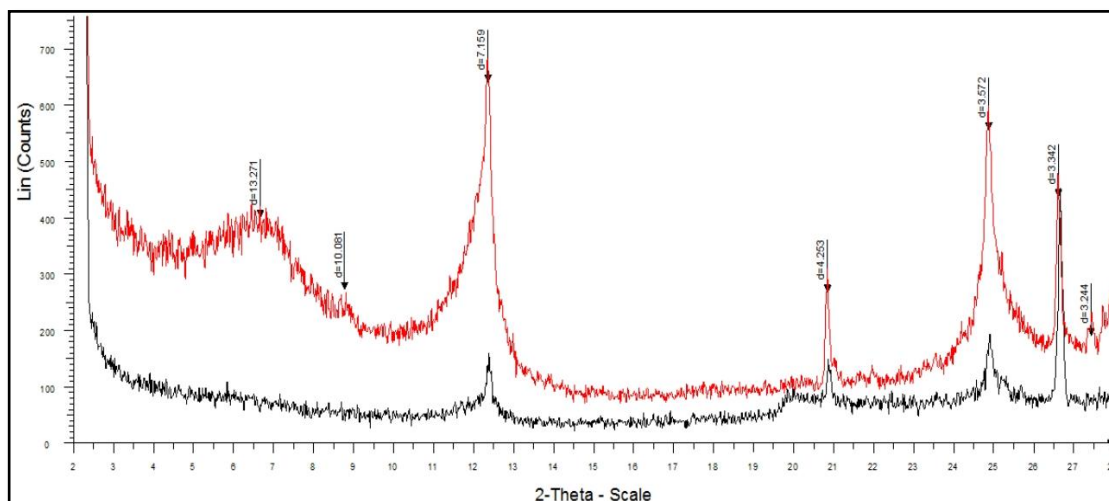


Figura 38. Difrátogramas da amostra B2B (sedimento em suspensão do banhado João Correa - São Leopoldo). Em preto, amostra natural e em vermelho, ataque de peróxido e amostra aquecida na chapa elétrica.

Na amostra B2B é possível verificar que a matéria orgânica dificulta a difração de raios X, apresentando maior interferência e menor cristalinidade e expressividade dos picos (contagens).

Já na amostra B2B-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é possível verificar uma banda em 13,27 Å e outros picos devido a redução na interferência da matéria orgânica porque absorve os raios X não permitindo o reconhecimento de estruturas cristalinas. Nesta amostra também é possível verificar o aumento na cristalinidade, que se reflete no aumento da intensidade dos picos, que também são mais agudos.

A figura 39 ilustra o difratograma de sedimento em suspensão do Rio dos Sinos a montante (R\_2M) e jusante (R\_2J) do Banhado Arroio João Correa e R\_4J, jusante do banhado Arroio Preto.

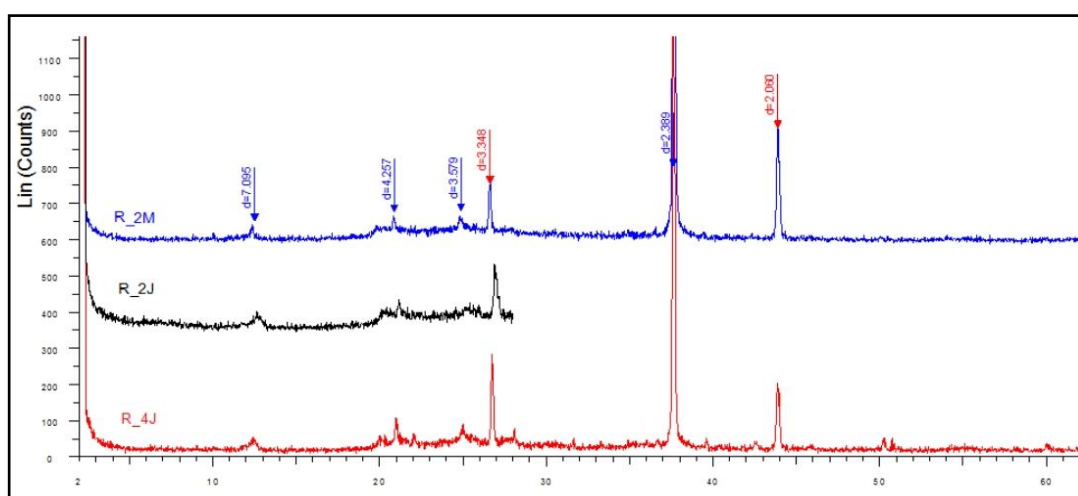


Figura 39. Difratogramas das amostras de sedimentos em suspensão do Rio dos Sinos, analisada sobre filtro de fibra de vidro.

Os minerais identificados foram caulinita e quartzo. O pico com distância interplanar de 2,389 Å apresenta intensidade e cristalinidade altas e, em um primeiro momento, foi atribuído ao filtro utilizado (figura 15b, 4.2). Percebe-se que a caulinita dos banhados é de origem detrítica proveniente do aporte de sedimentos do rio. A ausência de esmectita no sedimento em suspensão indica que este argilomineral não está associado ao aporte de sedimento proveniente do rio.

A figura 40 ilustra o conjunto de difratogramas do perfil Arroio Preto nos níveis 20, 40 e 70 cm de profundidade.

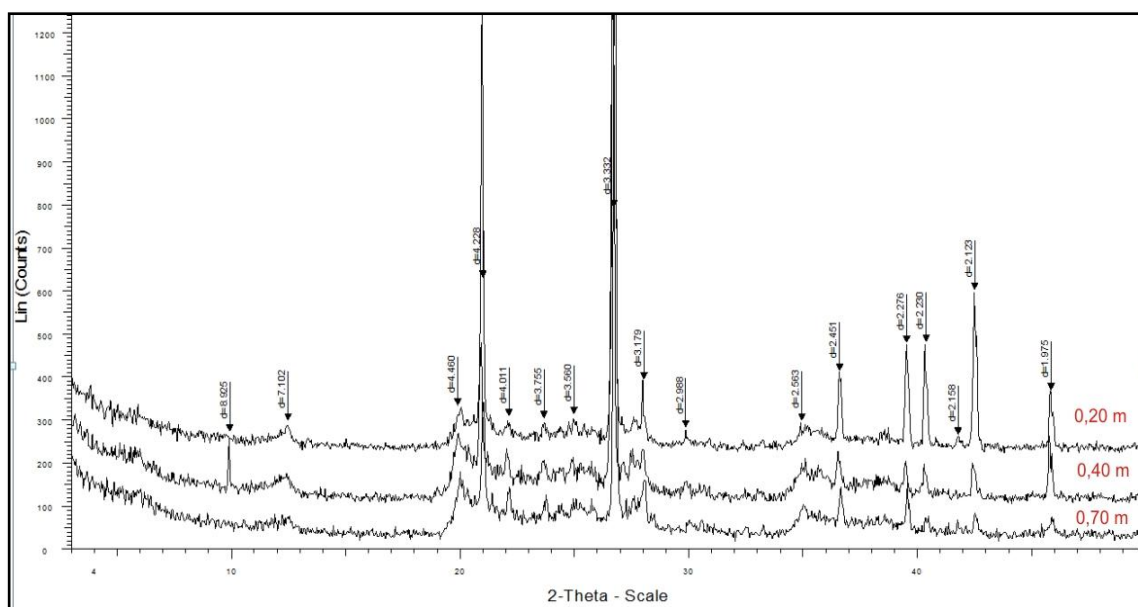


Figura 40. Difratogramas do perfil do Arroio Preto.

Os níveis apresentam caulinita (7,10 Å), mica detrítica (9,05 Å), quartzo (3,35 Å), óxidos de ferro podem encontrar-se na forma amorfa. A caulinita apresenta cristalinidade e intensidade baixas, característica típica de caulinita formada *in situ*.

A figura 41 ilustra o conjunto de difratogramas do perfil Arroio João Correa nos níveis 15, 25, 100, 155, 250 e 345 cm de profundidade.

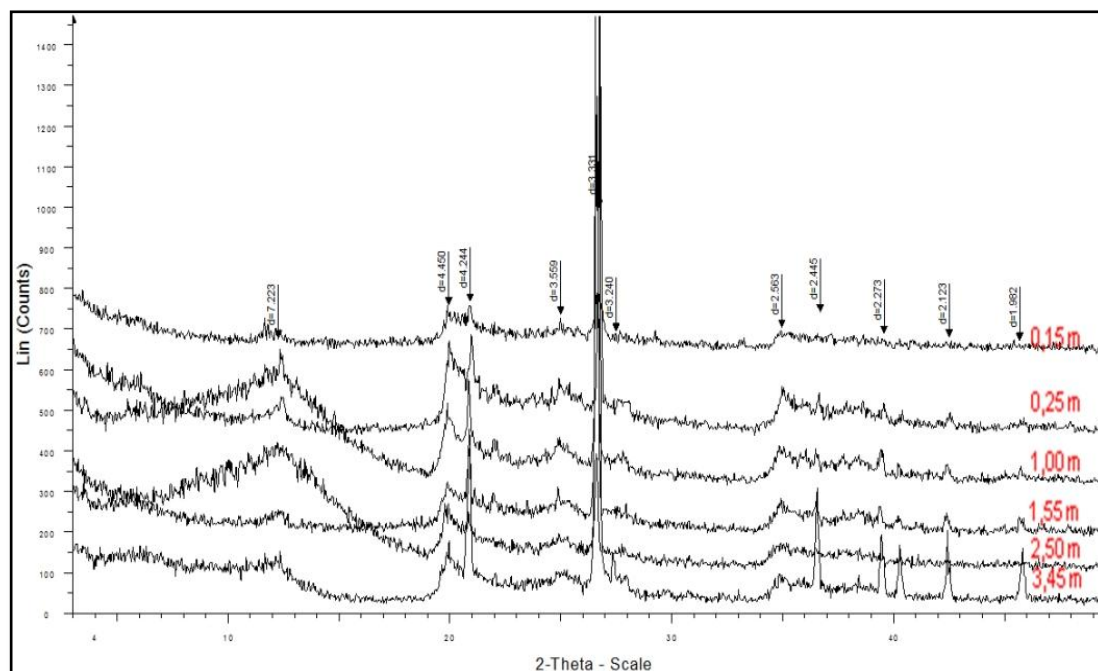


Figura 41. Difratomogramas do perfil João Correa.

Caolinita e quartzo estão presentes em todos os níveis do perfil João Correa e feldspato (4,4 Å e 3,2 Å) identificado no nível inferior de 3,45 m. O quartzo é mais abundante (maior contagem relativa de incidência de raios X) na base do perfil por ser um nível mais arenoso. Observa-se que o quartzo é menos expressivo que no perfil Arroio Preto. As amostras, em geral apresentam elevações no *background* devido à interferência da matéria orgânica ou do preparo da amostra.

#### 5.4 Levantamento da flora e análise isotópica

Através do levantamento da flora foram identificadas 59 espécies de plantas de 35 famílias diferentes (em anexo) das quais as cinco mais representativas foram Ingá vera (Ingá), *Salvinia* (*Salvinia* cf. *auriculata*), *Mimosa bimucronata* (Maricá), *Hymenachne amplexicaulis* (Cana d'água), *Eichhornia azurea* (aguapé-de-baraço) (figura 42).



Figura 42. Cinco espécies mais representativas do ecossistema banhado, destinada para análise isotópica. a) Ingá vera (Ingá), b) Salvinia (Salvinia cf. auriculata), c) Mimosa bimucronata (Maricá), d) Hymenachne amplexicaulis (Cana d'água), e) Eichhornia azurea (aguapé-de-baraço).

A tabela 4 indica os valores isotópicos de C e N e o hábito da planta. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para as amostras indicam que as plantas enquadram-se no grupo fotossintetizante de plantas C3, que compreende plantas que apresentam maior fracionamento em relação a sua fonte de carbono e em relação ao  $\text{CO}_2$  atmosférico ( $\delta^{13}\text{C} \approx -7,4$ , Martinelli et al 2009). As amostras apresentam valores isotópicos altos de  $\delta^{15}\text{N}$ , de 5,36 a 9,54 ‰, uma vez que os valores relatados para as famílias Fabaceae e Mimosaceae são -2,2 a 4,1 ‰ (Nardoto 2007 e Martinelli et al 2009).

Tabela 4 Valores isotópicos de C e N, N total, COT e hábito da planta.

Amostra-Nome	N total (%)	$\delta^{15}\text{N}$ Ar (‰)	Ctotal (%)	$\delta^{13}\text{C}$ PDB (‰)	C/N	Hábito
P1- Ingá vera (Ingá)	4,41	5,36	47,92	-31,51	10,86	Árvore
P2- Salvinia (Salvinia cf. auriculata)	1,51	8,57	31,63	-30,01	20,94	Erva aquática flutuante
P3- Mimosa bimucronata (Maricá)	3,87	8,06	50,44	-28,1	13,03	Árvore
P4 – Hymenachne amplexicaulis (Cana d'água)	3,29	9,54	36,08	-28,76	10,96	Erva anfíbia
P5 – Eichhornia azurea (aguapé-de-baraço)	2,91	8,81	43,08	-28,8	14,80	Erva aquática

As plantas C3 são muito mais suscetíveis as variações do meio. No caso das plantas aquáticas e anfíbias, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  podem indicar variações na composição da lâmina d'água nas quais estão imersas e a interação com o substrato, principalmente pelo fato de estarem em áreas cobertas de água e de baixa circulação em grande intervalo de tempo.

### 5.5 Análise isotópica de sedimento

Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  das amostras de sedimento do perfil João Correa em relação a profundidade do perfil e plantas foram plotados no gráfico ilustrado na figura 43. No perfil, os valores decrescem com a profundidade do perfil, sendo um comportamento inverso do descrito por Martinelli *et al.* 2009 em perfis de solos tropicais. No nível mais superficial o perfil é diretamente influenciado pela deposição das ervas aquáticas, com valores  $\delta^{15}\text{N}$  de 8,57‰ para *Salvinia* e 8,51‰ para *Aguapé-do-baraço* (a tabela completa dos valores isotópicos e C/N está em anexo).

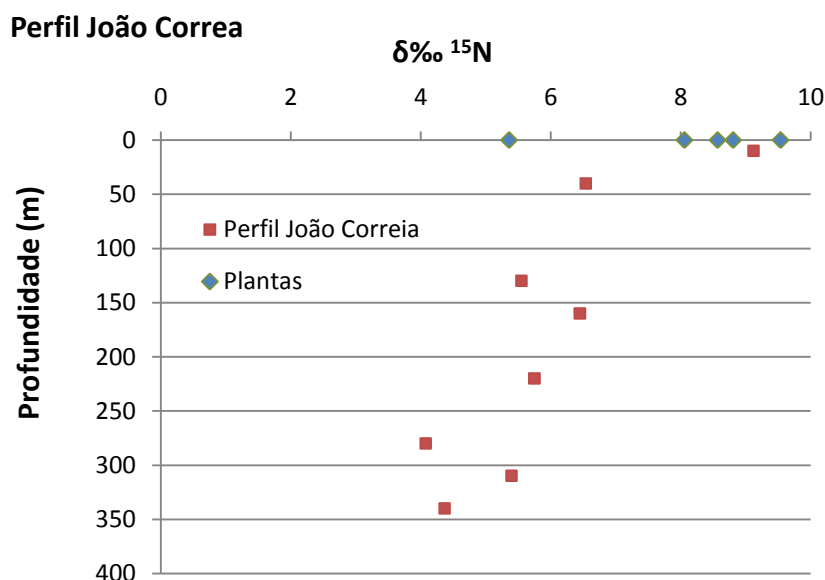


Figura 43. Análise isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  em sedimento do perfil do banhado João Correa e plantas coletas nos banhados.

A amostra de planta verificada com valor  $\delta^{15}\text{N}$  de 5,36 ‰ refere-se ao Ingá vera, que localmente encontrava-se mais afastado do ponto de coleta, predominando as plantas aquáticas e anfíbias. O empobrecimento em  $^{15}\text{N}$  e os valores constantes em relação a níveis mais profundos do perfil indicam que processos de mineralização do nitrogênio, como nitrificação, denitrificação e a volatilização são menos intensos. A explicação para isso é que áreas de inundação, que ficam encharcadas e secas periodicamente dificultam esses processos.

O perfil Arroio Preto (figura 44) está de acordo com o modelo para perfis tropicais de acumulação de matéria orgânica. O nível mais superficial apresenta influência de plantas arbustivas. Com a profundidade, ocorre enriquecimento dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . O perfil Arroio Preto é predominantemente arenoso, diferente do primeiro perfil, o qual apresenta muitos níveis de matéria orgânica e (micro) fitoclastos. Ao comparar a composição, textura e granulometria dos perfis, fica evidente o perfil Arroio Preto tem a acumulação de matéria orgânica concentrada na superfície e a mineralização do nitrogênio ocorre com maior eficiência na profundidade em maiores profundidades.

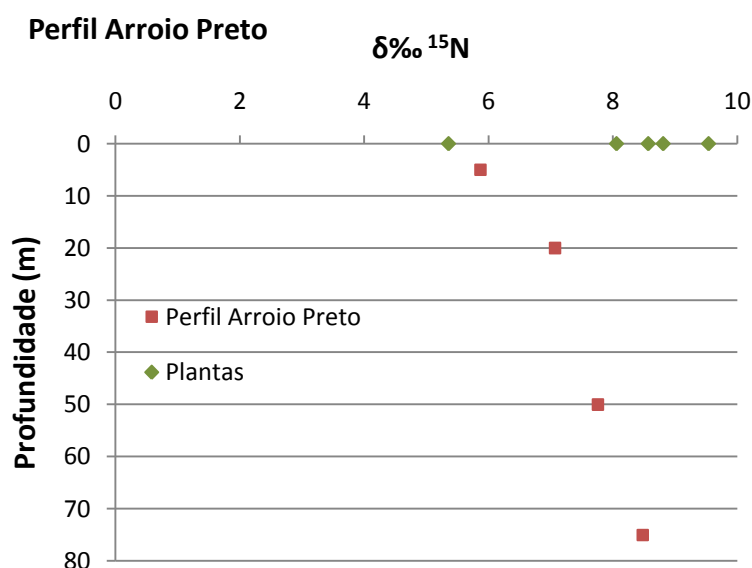


Figura 44. Análise isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  em sedimento do perfil do banhado Arroio Preto e plantas coletadas nos banhados.

A figura 45 ilustra a relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N. O sedimento de fundo do Arroio Preto (SSAP) foi coletado diretamente em contato com a descarga de esgoto. Assim, essa composição isotópica retrata a fonte antrópica de contaminação, apresentando  $\delta^{13}\text{C}$  -24,15 ‰ e C/N 7,23. O baixo valor de C/N indica decomposição rápida da matéria orgânica por microorganismos. Os sedimentos em suspensão do Rio dos Sinos nos pontos 1, 2, 3 e 4 (SSR) possuem comportamento semelhante (apontado pelo círculo na fig. 42) indicando contribuição de esgoto. Valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  e de C/N são observados nos níveis mais rasos do perfil do banhado do Arroio Preto e no sedimento em suspensão do Arroio Portão (SSAPo), indicando contribuição de esgoto.

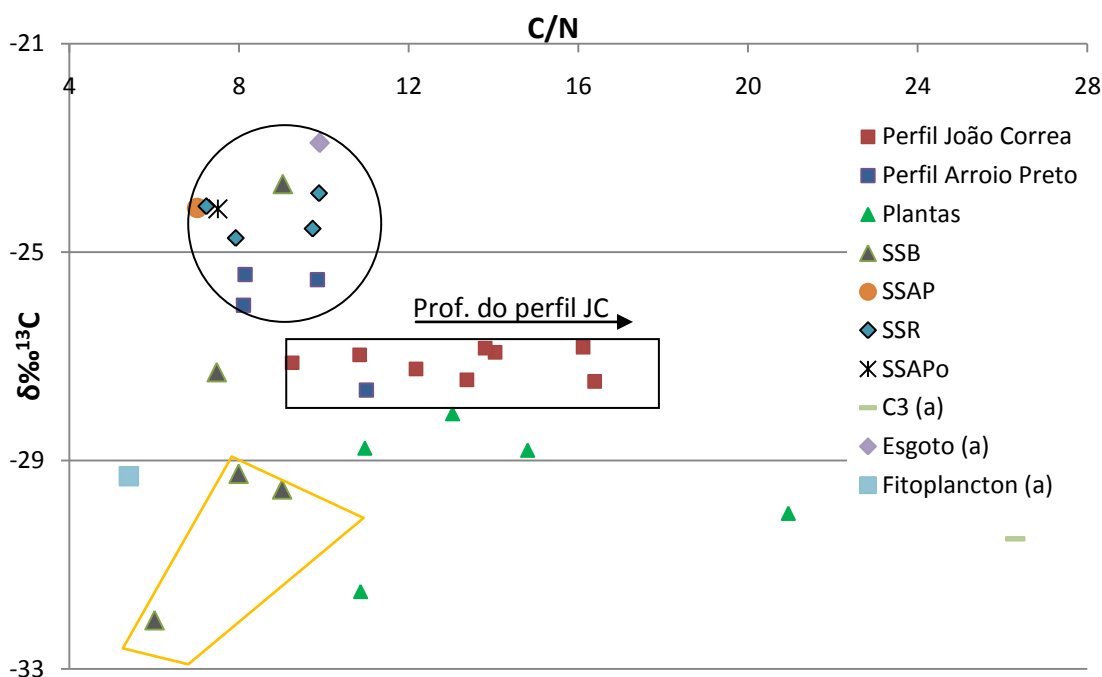


Figura 45. Relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N. SSB = Sedimento em suspensão dos banhados; SBR = sedimento em suspensão do Rio dos Sinos; SSAP = Sedimento em suspensão do Arroio Preto; SSAPo = Sedimento em suspensão do Arroio Portão e (a) são referências bibliográficas de Krusche et al 2002 para o Rio Piracicaba, Bacia Piracicaba e Rio Amazonas. Círculo preto: influência de esgoto doméstico; polígono laranja: eutrofização.

O perfil do Arroio Preto, nos níveis 20 e 50 cm apresenta influência de material derivado de esgoto e na superfície (0 a 5 cm) a contribuição é da



degradação de plantas tipo maricás e ervas anfíbias, que representam as plantas C3 mais abundantes na área (figura 36).

Outra relação importante é entre a C/N e a fração granulométrica. A matéria orgânica do solo/sedimento associada a tamanho de grão maior, tende ser pouco decomposta e ter alto C/N, ao contrário da matéria orgânica associada a silte/argila, que geralmente apresenta-se mais decomposta. Como a granulometria é mais grossa no perfil Arroio Preto e não há expressivos níveis de matéria orgânica, se esperaria valores de C/N mais altos, porém, estes valores são baixos, em torno de 8 a 10, juntamente com a composição isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  de plantas e indicam a influência de esgoto doméstico.

A figura 45, perfil João Correa, mostra valores crescentes de  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ com o aumento da profundidade, que não seria esperado, já que a taxa de degradação deveria aumentar com a profundidade, porém são amostras que concentram muita matéria orgânica e o perfil indica influência da decomposição das plantas. Os valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$ , assim como  $\delta^{15}\text{N}$ , também indicam as plantas Salvinia e Aguapé-de-baraço, que foram coletadas sobre esse perfil, as que mais se aproximam dos valores isotópicos do sedimento em superfície.

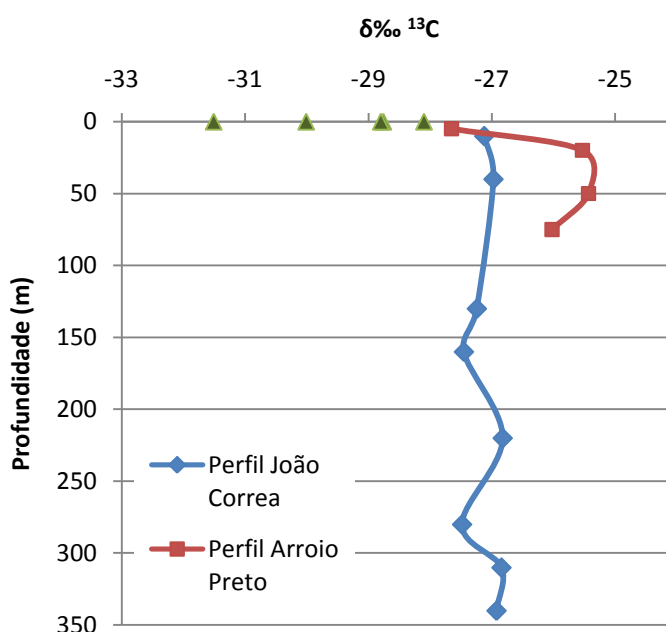


Figura 46 Relação dos valores isotópicos de  $^{13}\text{C}$  com a profundidade.

Destaca-se que todas as amostras possuem valores de C/N inferiores a 20 e apenas uma amostra de planta com valor de 20,94 (Salvínia, planta anfíbia – tabela 4) indicando que há liberação de nitrogênio para o ecossistema. Observa-se que os valores de C/N, em geral, são menores de 10. As demais amostras com valores de C/N maiores que 10 são plantas e camadas inferiores do perfil em profundidade João Correa. Não há correlação dos valores isotópicos associados a esgoto doméstico neste perfil.

Os valores de C/N das amostras de SSB são diferentes das plantas e semelhantes a do esgoto SSAP. Um dos impactos é que a composição orgânica dos esgotos trazida pelas águas do rio e dos arroios “seqüestra” o nitrogênio que seria utilizado para o desenvolvimento das plantas. Isso ocorre porque qualquer composto orgânico e a própria matéria orgânica do meio ambiente tende a diminuir a taxa C/N devido ao processo de degradação dos compostos.

O sedimento em suspensão dos banhados B1, B2 e B4 apresentam valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  em torno de -29 a -32‰ e taxa C/N menor que 10 (polígono laranja na figura 42) e, de acordo com observação de campo, atribuiu-se essa condição ao processo de eutrofização. O banhado B3 possui valor isotópico de  $\delta^{13}\text{C}$  -23,69 ‰ e C/N 9,02, similar a amostra do esgoto doméstico (amostra SSAP).

## 6. CONCLUSÕES

A caracterização da dinâmica de contaminação nos banhados foi consolidada tanto a partir da observação em campo, quanto a partir da distribuição das análises químicas na área estudada. Essa caracterização permitiu compreender quais são os processos que controlam a contaminação e quais são os tipos mais agressivos.

Nesta pesquisa foram identificados diferentes fluxos que contribuem para o aporte de sedimento em suspensão nos banhados. Isso se deve à geometria da planície, altura em relação à calha do rio, conexões com meandros abandonados e arroios adjacentes ou do próprio lençol freático em períodos de estiagem. Portanto, estes fatores demonstram que os banhados necessitam de vazões diferentes para estarem inundados ou simplesmente conectados com o rio.

O cálculo pontual do transporte de sedimento (TS) permitiu uma nova interpretação em relação às diferentes fontes de aporte. Foi possível verificar os sentidos de fluxo do rio para o banhado (e vice-versa) e buscar diferentes conexões de drenagem no banhado. A partir dos resultados de valores “positivos” e “negativos” do cálculo TS, as diferentes conexões foram identificadas e, os banhados puderam ser divididos em dois tipos. O primeiro, trata-se de banhados do tipo aberto, que são aqueles que possuem conexão quase que permanente com o rio e uma ou mais conexões adjacentes. De acordo com as medidas de vazão obtidas em campo, esse tipo de banhado mostrou conexão com o rio em Q75, então, propõe-se inicialmente, que a conexão nesse tipo de banhado ocorra para Q maior ou igual a Q75. O segundo trata-se de banhados com acesso mais restrito ao canal principal do rio, podendo ou não ter mais de uma conexão de aporte de

sedimento, mas com comunicação limitada pela altura, barreira, barra, dique marginal ou outro elemento morfológico/arquitetural.

A identificação de tipos de banhado e suas respectivas geometrias foi fundamental na compreensão da dinâmica da contaminação e deve ser considerada nos estudos ecológicos e de preservação desses corpos hídricos, principalmente pelo reconhecimento de diferentes aportes, renovação e circulação das águas.

A contaminação dos banhados ficou registrada pela presença de metais tanto no sedimento em suspensão como nos perfis. A dinâmica de contaminação passa por duas fases: i) o material particulado em suspensão é proveniente das conexões verificadas pelo estudo de hidrometria; ii) o fluxo do gradiente hidráulico conduz os contaminantes para a subsuperfície, como observado nos perfis estudados.

As concentrações de metais no sedimento em suspensão dos banhados foram comparadas com os valores-guia da qualidade de sedimento do Canadá (CCME) e indicaram contaminação por Ni e Cr acima do limite PEL em todos os banhados amostrados, o que representa alto potencial de toxicidade para a fauna e/ou flora. O único elemento cujas concentrações estão abaixo do limite TEL é o Cd, enquanto que os outros elementos apresentam concentrações entre os valores limites de TEL e PEL.

A contaminação por esgoto apresentou distribuição geoquímica diferente em relação à contaminação por metais. Esta última é muito mais agressiva e persistente. Através dos valores isotópicos foi possível distinguir processos diferentes. As análises isotópicas indicaram processo de eutrofização nos banhados B1, B2, B4, que apresentam valores de  $\delta^{13}\text{C}$  -27 e -33‰ e de C/N em torno de 8. A eutrofização é consequência da acumulação de nitratos e compostos orgânicos, que são alimentos para as algas, e pode ter sido estimulada pela descarga de resíduos. Esse processo também pode ocorrer naturalmente devido às condições de acumulação e lixiviação da matéria orgânica no meio, principalmente em circulação restrita e baixa renovação do  $\text{O}_2$  na água (baixa turbulência). Porém, dois fatores

que causam a eutrofização cultural são a descarga de esgoto doméstico, já que todos os pontos do Rio dos Sinos apresentam influência de esgoto e contribuem diretamente para o aporte de sedimento nos banhados; e, os fertilizantes, especificamente aplicados no plantio de arroz, área adjacente ao banhado B1.

O banhado B3 apresenta  $\delta^{13}\text{C}$  de -23,69‰ e C/N em torno de 9, caracterizando contribuição de esgoto, assim como todos os pontos amostrados no Rio dos Sinos. Neste banhado parece não ter um processo de depuração natural efetivo. Um fator agravante é que este banhado é do tipo aberto, já que a maior turbulência pode inibir a fixação e reprodução de algas que desenvolvem o processo de depuração.

O valor isotópico de  $\delta^{13}\text{C}$  do sedimento em suspensão do banhado B1 é -32,06 ‰, que é alto em relação aos demais banhados, e converge com os valores da assinatura isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  do arroz (planta C3), que pode variar entre -27 a -32‰.

Todas as plantas amostradas fazem parte do grupo fotossintetizante das plantas C3. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para a espécie *Inglá vera* (*Inglá*) é de -31,51‰; *Salvinia* (*Salvinia* cf. *auriculata*), -30,01‰; *Mimosa bimucronata* (*Maricá*), -28,1‰; *Hymenachne amplexicaulis* (*Cana d'água*), -28,76‰; e *Eichhornia azurea* (*aguapé-de-baraço*), -28,8‰.

Os perfis apresentam contribuição da decomposição das plantas nas porções mais rasas e composição isotópica variada em maiores profundidade. O perfil João Correa é o mais bem preservado quanto à contaminação por esgoto doméstico em relação ao perfil Arroio Preto. Os perfis nos banhados B2 e B4 mostraram que o banhado B4 é mais bem preservado quanto às alterações antropogênicas como indicado pelas análises químicas de metais.

O perfil do Arroio Preto (B4), nos níveis 20 e 50 cm apresenta interferência de esgoto e, pelo fato de ser mais arenoso e com pouca matéria orgânica, conclui-se que os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em torno de -25,5 ‰ e de C/N em torno de 8, podem ser explicados pelo fato da água contaminada seguir o fluxo do gradiente hidráulico. Na superfície (0 a 5 cm), devido ao acúmulo de material vegetal, a contribuição é da degradação de plantas tipo maricás e ervas anfibias.

O perfil João Correa (B2) possui altas concentrações de Ni e Cr ao longo de todo o perfil. A razão C/N é mais alta e tem comportamento inverso a taxa verificada no perfil Arroio Preto, onde os valores aumentam com a profundidade mostrando maior degradação na superfície e também composições isotópicas semelhantes as das plantas anfíbias.

É interessante observar que neste perfil os teores de C são maiores em relação aos de nitrogênio e correspondem principalmente aos níveis 220 e 280 cm, que contém matéria orgânica bastante decomposta e microfiteclastos, havendo perda de nitrogênio devido ao grau de decomposição. Não há correlação com os valores isotópicos de esgoto doméstico nesse perfil e nem no sedimento em suspensão. Isso se deve principalmente ao fato de se tratar de um banhado restrito, sendo conectado ao rio com influência do Arroio João Correa somente pelo meandro abandonado e durante grandes inundações.

A distribuição dos teores de metais em profundidade nos perfis indica que se aproximam dos valores estipulados como nível de base por Robaina (1999) sendo relacionados a contribuição natural das rochas da região. Esses valores podem estar superestimados no sentido de que a contribuição de metais, a partir da área fonte para a área estudada (trecho inferior do Rio dos Sinos), parece ser maior pelos alteritos. Isso implica que valores do *background* poderiam ficar entre 50 ppm a 114 ppm, ou seja, poderiam ser mais baixos e por conseguinte, ocorre maior influência antrópica por circulação de águas em subsuperfície .

Vale ressaltar que a contaminação controlada pelo gradiente hidráulico pode ser facilitada pelas condições apresentadas neste tipo de ambiente, como o pH baixo e a presença predominante de caolinita e matéria orgânica e que parece atuar efetivamente nos primeiros 35 cm de profundidade até os metais atingirem um limite de mobilidade geoquímica.

Observa-se que os perfis mostram maior acúmulo destes metais nos primeiros 20 a 35 cm. Independente da origem desses metais em profundidade terem contribuição natural, os teores de Ni e Cr ultrapassam os valores-guia de PEL, principalmente nos níveis mais superficiais.

No contexto geral, observa-se que os maiores teores de metais se concentram nos níveis de sedimentos argilosos e níveis mais rasos. Os níveis ricos em matéria orgânica, em sua maioria, são representados por fitoclastos lenhosos e possuem alta porosidade, portanto, com menor capacidade de retenção destes contaminantes. Os níveis de microfiteoclastos geralmente estão associados à presença considerável de argila. Já os níveis rasos apresentam maiores concentrações de metais devido à menor mobilidade dos elementos em ambiente redutor. Verificou-se que os níveis de sedimento argiloso são considerados uma barreira geoquímica mais eficiente que os níveis de matéria orgânica.

As análises por DRX realizadas nesse trabalho foram bastante relevantes, pois possibilitaram a identificação das espécies de argilominerais presentes. Foi possível verificar que a caulinita é o tipo de argilomineral predominante no sedimento em suspensão e nos perfis e que contribui com a sorção de contaminantes. Também foi verificada a existência de esmectita de forma menos expressiva e de óxido hidróxidos de ferro. No preparo das amostras para difratometria de raios X, o ataque com peróxido de hidrogênio, na amostra rapidamente aquecida em chapa elétrica até 50°C, foi bem sucedido na diminuição de interferentes, principalmente reduzindo a interferência da matéria orgânica.

Conclui-se que os resultados das análises isotópicas de C e N e das demais técnicas associadas foram úteis por mostrar que ocorre fluxo de contaminação de esgoto doméstico em todo o trecho analisado do Rio dos Sinos.

De acordo com os dados apresentados, vários componentes da biota encontram-se ameaçados pela presença de metais, principalmente os organismos detritívoros e sedimentívoros, que se alimentam do material particulado e do sedimento em suspensão, incluindo peixes de circulação restrita aos banhados. Os herbívoros podem assimilar os metais absorvidos pelas plantas. As plantas aquáticas *Salvinia* e *Aguapé-de-baraço* apresentam a importante função de fitorremediação por quelação, porém, de acordo com as análises químicas de metais do sedimento em suspensão, verificou-se que os teores extrapolam as condições de depuração pelas plantas.

A contaminação nos banhados é decorrente de fontes industriais, onde os curtumes são os principais responsáveis pela liberação de Cr e as indústrias metal-mecânicas são as que mais liberam Ni para o ambiente. Observa-se que a contribuição dos lodos de curtumes e óleos está sendo mais bem investigada em estudo geoquímico com isótopos de Pb.

O descarte de resíduos sólidos nos banhados não é expressivo como no Rio dos Sinos, porém, a qualidade do ecossistema banhado depende diretamente de suas conexões, ou seja, do rio e de seus afluentes. É importante destacar que as margens do Rio dos Sinos são áreas pouco utilizadas para atividades de lazer devido à falta de segurança e por serem muito depredadas, comprometendo o valor paisagístico.

Os banhados do rio dos Sinos sofreram enorme redução de tamanho no último século, devem ser resguardados a fim de manter a sua biodiversidade e a principal medida é o controle da ocupação imprópria.

Os dados apresentados mostram a suscetibilidade dos banhados à degradação e, com vistas à preservação de todo o ecossistema envolvido, salienta-se que as medidas necessárias incluem principalmente investimentos em saneamento e estações de tratamento de efluentes. Esses investimentos devem persistir na pauta do planejamento ambiental, principalmente dos órgãos de gerenciamento da Bacia hidrográfica do Rio dos Sinos.



## 7. REFERÊNCIAS

- ANA-Agência Nacional da água. [WWW.hidroweb.gov.br](http://WWW.hidroweb.gov.br) Acesso em maio de 2012.
- Alves, B.J.R.; Oliveira, O.C.; Boddey, M.; Urquiaga, S. 2008. **Métodos isotópicos**. In.: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (editores). Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais & subtropicais. Metrópole Editora, p.229-242.
- Aveline, C.C. (org.) **Os Banhados do Rio dos Sinos - E Por Que Devem Ser Preservados**. Um enfoque multidisciplinar. São Leopoldo. UPAN. Ed. Agatha, 1995.
- Baird, C.2002. **Química Ambiental**. -2ª ed. Porto Alegre: Bookman. 622p.
- Banat, K.M.; Howari, F.M.; Al-Hamad, A.A. 2005. **Heavy metals in urban soils of central Jordan: Should we worry about their environmental risks?** Environmental Research 97 (2005): 258-273.
- Benetti, A.; Bidone, F.1983. **O meio ambiente e os recursos hídricos**. In.: Carlos Tucci (org.) Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre. Ed. UFRGS, p. 849-875.
- CETESB – Norma de qualidade de sedimento. [www.cetesb.gov.sp.br](http://www.cetesb.gov.sp.br) Acesso: Abril de 2012.
- Chang, C.C.Y.; McCormick, P.V.; Newman, S.; Elliott, E.M. 2009. **Isotopic indicators of environmental change in a subtropical wetland**. Ecological Indicators 9 (2009) 825–836.
- CPRM- MME. 2008. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Sul**. In: Programa geologia do Brasil. Mapas estaduais 1:750.000-SIG. Formato em DVD.
- Crosby, Donald G. **Environmental toxicology and chemistry**. New York : Oxford University Press, 1998.
- Esteves, F.A. 2011. **Fundamentos de limnologia**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência. 760 p. :Il.
- Faccini, U.F.; Giardin, A e Machado, J.L.F. 2003. **Heterogeneidade litofaciológicas e hidrostratigrafia do Sistema Aquífero Guarani na região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. In: Paim, P. S. G.; Faccini, U. F.; Netto, R. G., (Orgs.) Geometria, arquitetura e heterogeneidade de corpos sedimentares: Estudos de caso. São Leopoldo: Ed. UNISINOS. p147-173.

- Fernandes, A. 2012 **Comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais e sub-superficiais em área com cultivo de cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado. CENA/USP Piracicaba.
- FEE - FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. 2009. **Pesquisa realizada no banco de dados em FEE DADOS** do site: [www.fee.tche.br/](http://www.fee.tche.br/), Acesso em outubro de 2011.
- FEPAM **Relatório de Qualidade Ambiental da Região Hidrográfica do Guaíba - Qualidade das águas da do Rio Dos Sinos**. Consulta ao site em out/2011 (dados 2010): [www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_sinos/sinos.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp)
- Heine C. A. 2008. **Análise de sustentabilidade de uso do Sistema Aquífero Guarani - SAG em Ivoti-RS**. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 173 p.
- ISA - Instituto Socioambiental 2008. **Almanaque Brasil Socioambiental**. Ed. ISA. 551p.
- Krusche, A.V.; Martinelli, L.A.; Victoria, R.L.; Bernardes, M.; Camargo, p.b.; Ballester, m.v.; Trumbore, S.E. 2002. **Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piraciaba River)**. Water Research 36. 2743-2752.
- Manahan, Stanley E. **Environmental chemistry**. 8ª edição. Ed. Boca Rotaon: CRC, 2005. 783 p.
- Martinelli, L.A.; Ometto, J.P.H.B. ; Ferraz, E.S.; Victoria, R.L.; Camargo, P.B.; Moreira, M.Z. 2009. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos. 144 pp.
- McBride, Murray B. 1994. **Environmental Chemistry of Soils**. New York, Ed. Oxford University Press. 406p.
- MMA- Ministério do Meio Ambiente. Legislação CONAMA. Acesso no site <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> em maio de 2011.
- Moraes, G. M. 2011. **Distribuição dos metais pesados em sedimentos de fundo na bacia do alto Tietê: Fatores de enriquecimento e classes de poluição**. Dissertação de Mestrado. CENA –USP Piracicaba.
- Mortatti, J. 2004. **Characterization of Domestic Sewage in Riverine System Using Carbon-13 and Nitrogen-15 Tracers**. Revista de Ciência & Tecnologia .V. 11, Nº 21 – pp. 37-44.
- Muradás, K.; Wöhl, O.G.C.; Wojahn, D. 2010. **Levantamento de dados geomorfológicos e hidrogeológicos para mapeamento de vulnerabilidade de contaminação do Aquífero Guarani nos municípios de Portão e Estância Velha/RS utilizando o método DRASTIC**. doi:10.4136/ambi-agua.XX. Revista Ambiáguas.
- Nardoto, G.B.; Ometto, J.B.H.B.; Ehleringer, J.R.; Higuchi, N.; Bustamante, M.M.C.; Martinelli L.A. (2008) **Understanding the Influences of Spatial Patterns on N Availability Within the Brazilian Amazon Forest Ecosystems** 11: 1234–1246 DOI:

- 10.1007/s10021-008-9189-1 Odum E.P. 1988. **Ecologia**. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara. Koogan, 434 pp.
- Pereira, A. L.; Benedito, E. 2007. **Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas**. Revista Biociências, Taubaté, v.13 n1-2, p. 16-27, jan/jul. 2007.
- Rambo, B. 1942. Fisionomia do Rio Grande do Sul – Ensaio de monografia natural. 3ª Ed. São Leopoldo: Ed. UNISINOS. 481 pp.
- Robaina, L.E.S. **Análise ambiental da região de influência do Rio dos Sinos entre o Arroio Campo Bom e o Canal João Correa com ênfase em metais pesados**. 1999. 2v. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências-UFRGS.
- Scherer, C. M. S.; Faccini, U.E.; Lavina, L.E. 2000. **Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná**. In: Holz, M & De Ros, L. F., Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, CIGO- Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. pp.335-354. Streck V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008.222p.
- Suguio, K. 2003. **Geologia sedimentar**. Ed. USP. 278p.
- Tedesco, Marino J.; Selbach, Pedro. A; Gianello, Clesio; Camargo, Flávio A.O. 2008. **Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente**. In: Santos, G. de A.; Silva, L. da S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A. de O. (Ed.), Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Ed: Metrópole. p113-135. Tundisi, J.; Tundisi, T.M. 2008. **Limnologia**. Ed. Oficina de Textos, 631 pp.
- Walker, R.G.; Cant, D.J. 1984. **Sandy Fluvial Systems**. In.: Walker, R.G. (Edit.). *Facies Models*. Hamilton Ontario: Geoscience Canada, Reprint Series 1:71-89.
- Wildner, W., Lopes, R. da C., Romanini, S., Camozzato, E. 2003. **Contribuição à estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná**. In: I Encontro sobre a estratigrafia do Rio Grande do Sul: escudo e bacias. pp. 204-210.



LABORATÓRIO  
DE  
GEOLOGIA ISOTÓPICA  
IG-UFRGS

*Análise do impacto antrópico no sistema banhado através de indicadores isotópicos de C e N*

*Curso de Geologia*

## **ANEXOS**

Hidrometria – Medidas de vazão

Banhado 4 - Adjacente ao Arroio Preto - Medida a montante (entrada de sedimento)						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
02/03/2012	1453	0,900	96,74	87,082	51,00	1,90
Banhado 4 - Adjacente ao Arroio Preto - Medida a jusante (saída de sedimento)						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
02/03/2012	2148	0,691	118,64	81,928	46,00	2,58
Banhado 3 - Adjacente ao Arroio Imperatriz - Medida a montante (entrada de sedimento)						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
02/03/2012	2116	0,726	112,33	81,589	27,00	4,16
Banhado 3 - Adjacente ao Arroio Imperatriz - Medida a jusante (saída de sedimento)						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
02/03/2012	2019	0,504	181,37	91,342	65,00	2,79
Banhado 2 - Adjacente ao Arroio João Correa - Medida a montante (entrada de sedimento)						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
08/03/2012	2063	0,205	154,52	31,621	46,00	3,36
Banhado 2 - Adjacente ao Arroio João Correa - Medida a jusante (saída de sedimento) montante do Banhado adjacente do Arroio Portão						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
08/03/2012	1911	0,221	133,41	29,531	40,00	3,34
Banhado 1 - Adjacente ao Arroio João Correa - Medida a jusante (saída de sedimento)						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
09/03/2012	1832	0,167	170,63	28,513	41,00	4,16

vazão sinos 1						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
23/11/2011	2670	0,167	76,75	12,795	72,00	1,07

vazão sinos 2						
Data	Cota [m]	Velocidade Média [m/s]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão Líquida [m <sup>3</sup> /s]	Largura Superficial [m]	Profundidade Média [m]
23/11/2011	3086	0,240	49,87	11,977	34,50	1,45

### Dados de campo – hidrometria/filtragem

data 23.11.11 PBS1 - VAZÃO BAIXA																				
Tabela de dados		Arroio Pampa		Condição do tempo nas últimas semanas					Bom		Observações/acompanhantes									
		Carro/barco	SIM	Condição do tempo no dia anterior e no dia					pouca chuva		Raupp, Pedrinho e Gilnei IPH									
PONTO	rio/banhado	nome no frasco	filtro	filtro (g)	filtro + sedimento (g)	sedimento (g)	sedimento (mg)	Volume do coletado	sedimento g/L	vazão do rio	Transporte g/dia	FATOR*E	pH	condutividade $\mu$ s	T (°C)	coluna d'água	prof. de amostragem	Hora	Coordenada	
montante	1	rio	11NP	1	0,1155	0,11986	0,00438	4,38	500	0,00876	12,795	0,9684075	8,64	7,67	124	24,2	0,6	0,3	12:30	sem GPS
	1	rio	11P	2	0,1171	0,12622	0,00915	9,15	500	0,0183	12,795	2,023043	8,64							
jusante	1	rio	12NP	3	0,1133	0,12141	0,00807	8,07	500	0,01614	11,977	1,6701879	8,64	8,08	117,4	24,5	1,31	0,4	13h30	
	1	rio	12P	4	0,1176	0,12861	0,01098	10,98	500	0,02196	11,977	2,2724489	8,64							
data 01.03.12 PBS2 - VAZÃO MÉDIA A ALTA																				
Tabela de dados		Condição do tempo nas últimas semanas					Bom		Observações/acompanhantes											
		Carro/barco	SIM	Condição do tempo no dia anterior e no dia					sem chuva na sexta pouca chuva ter/qua/qui		Raupp, Pedrinho e Gilnei IPH									
PONTO	rio/banhado	nome no frasco	filtro	filtro (g)	filtro + sedimento (g)	sedimento (g)	sedimento (mg)	Volume do coletado_L	sedimento g/L	vazão do rio	Transporte g/dia	FATOR*E g/dia	pH	condutividade $\mu$ s	T (°C)	coluna d'água	prof. de amostragem	Hora	Coordenada	
montante	4	rio	2 4M NP	x	x	x	x	x	x	87,082		8,64	7,24	149	25,1	1,9	0,4	10h20	487872	
	4	rio	2 4M P	14	0,1120	0,1609	0,0489	48,9	0,529	0,092	87,082	69,54971	8,64							6710114
jusante	4	rio	2 4J NP	9	0,1150	0,1626	0,0476	47,6	0,529	0,090	81,928	63,693832	8,64	6,99	56,6	25,1	2,58	0,4	11h20	487616
	4	rio	2 4J P	11	0,1126	0,1658	0,0532	53,2	0,529	0,101	81,928	71,187224	8,64							6709639
montante	3	rio	2 3M NP	8	0,1159	0,1629	0,0470	47	0,529	0,089	81,589	62,630739	8,64	7,04	56	25,3	4,16	0,4	12h45	486816
	3	rio	2 3M P	13	0,1115	0,1708	0,0593	59,3	0,529	0,112	81,589	79,021337	8,64							6708528
jusante	3	rio	2 3J NP	10	0,1102	0,1664	0,0562	56,2	0,529	0,106	91,342	83,842632	8,64	7,2	53,4	25,2	2,79	0,4	13h45	486423
	3	rio	2 3J P	12	0,1085	0,1662	0,0577	57,7	0,529	0,109	91,342	86,080425	8,64							6708205

data 08 e 09.03.12 PBS2 - VAZÃO MÉDIA																				
Tabela de dados	Carro/barco		SIM	Condição do tempo nas últimas semanas				Bom	Observações/acompanhantes											
				Condição do tempo no dia anterior e no dia				ensolarado, 35°C	Raupp, Pedrinho e Gilnei IPH											
	PONTO	rio/banhado	nome no frasco	filtro	filtro (g)	filtro + sedimento (g)	sedimento (g)	sedimento (mg)	Volume do coletado	sedimento g/L	vazão do rio	Transporte	FATOR*E	pH	condutividade µS	T (°C)	coluna d'água	prof. de amostrg	Hora	Coordenadas
montante	2	rio	2 2M NP	1	0,1159	0,1389	0,0230	23	0,538	0,042750929	31,621	11,67978647	8,64	6,75	76,4	26,3	x	0,4	10h45	483441
	2	rio	2 2M P	15	0,1126	0,1419	0,0293	29,3	0,538	0,054460967	31,621	14,87903233	8,64							6707432
jusante	2	rio	2 2J NP	2	0,1115	0,1223	0,0108	10,8	0,538	0,020074349	29,531	5,1219269	8,64	7,04	73,4	30,8	4,28	0,4	11h45	481753
	2	rio	2 2J P	16	0,1105	0,1484	0,0379	37,9	0,538	0,070446097	29,531	17,9741694	8,64							6706444
OBS: O ponto 2J é montante do ponto 1 => 2J=1M									0,538	0	0	8,64								
jusante	1	rio	2 1J NP	3	0,1090	0,1444	0,0354	35,4	0,538	0,065799257	28,513	16,20979949	8,64	7,14	79,4	28,1	x	0,4	9h34	481213
	1	rio	2 1J P	17	0,1141	0,13	0,0159	15,9	0,538	0,029553903	28,513	7,280672654	8,64							6705990



### Levantamento da Flora – Banhado 1 (Arroio Portão)

1	FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	HÁBITO	OCORRENCIA				LEGENDA
2	ANACARDIACEAE	<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira-vermelha	AR	Ocasional				HÁBITO
3	EUPHORBIACEAE	<i>Sebastiania commersoniana</i>	branquilho	AR	Comum			EAn	erva anfibia
4	EUPHORBIACEAE	<i>Sebastiania schottiana</i>	sarandi-de-espinho	AT	Ocasional			EAnF	erva aquática anfibia flutuante
5	FABACEAE	<i>Inga vera</i>	ingá-banana	AR	Comum			EAE	erva aquática emergente
6	FABACEAE	<i>Mimosa bimucronata</i>	maricá	AR	Comum			EAF	erva aquática flutuante
7	MELIACEAE	<i>Guarea macrophylla</i>	pau-de-arco	AR	Ocasional			EP	epifita
8	ONAGRACEAE	<i>Ludwigia cf. decurrens</i>	cruz-de-malta	EAn	Comum			ET	erva terrestre
9	POACEAE	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	cana-d'agua	Ean	Ocasional			PA	palmeira
10	POACEAE	<i>Hymenachne grumosa</i>	cana-d'agua	EA	Ocasional			AR	árvore
11	POLYGONACEAE	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	erva-de-bicho	EAn	Comum			AT	arvoreta
12								AB	arbusto

## Levantamento da Flora – Banhado 2 (Arroio João Correa)

1	FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	HÁBITO	OCORRENCIA			LEGENDA
2	ACANTHACEAE	<i>Hygrophila costata</i>		EAn	Comum			HÁBITO
3	ALISMATACEAE	<i>Echinodorus gradiflorus</i>	chapéu-de-couro	EAn	Comum		EAn	erva anfibia
4	ALISMATACEAE	<i>Echinodorus cf. longiscapus X grandiflorus</i>	chapéu-de-couro	EAn	Rara		EAnF	erva aquática anfibia flutuante
5	AMARANTHACEAE	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	carrapicho-do-brejo	EAn	Ocasional		EAE	erva aquática emergente
6	APIACEAE	<i>Eryngium sp.</i>	gravatá	EAn	Rara		EAF	erva aquática flutuante
7	ARALIACEAE	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	erva-capitão-do-brejo	EAF	Ocasional		EP	epífita
8	ASTERACEAE	<i>Enydra anagallis</i>		EAnF	Comum		ET	erva terrestre
9	BROMELIACEAE	<i>Tillandsia cf. gardneri</i>	cravo-do-mato	EP	Ocasional		PA	palmeira
10	CACTACEAE	<i>Rhipsalis teres</i>	-	EP	Rara		AR	árvore
11	COMMELINACEAE	<i>Commelina diffusa</i>	trapoeiraba	EAn	Ocasional		AT	arvoreta
12	CYPERACEAE	<i>Cyperus imbricatus</i>	tiririca	EAn	Ocasional		AB	arbusto
13	CYPERACEAE	<i>Cyperus odoratus</i>	tiririca	EAn	Ocasional			
14	CYPERACEAE	<i>Cyperus papyrus</i>		EAE	Rara			
15	CYPERACEAE	<i>Cyperus reflexus</i>	tiririca	EAn	Ocasional			
16	CYPERACEAE	<i>Cyperus sp.1</i>	tiririca	EAn	Ocasional			
17	EUPHORBIACEAE	<i>Sebastiania commersoniana</i>	branquilha	AR	Comum			
18	EUPHORBIACEAE	<i>Sebastiania schottiana</i>	sarandi-de-espinho	AT	Ocasional			
19	FABACEAE	<i>Inga vera</i>	ingá-banana	AR	Comum			
20	FABACEAE	<i>Mimosa bimucronata</i>	maricá	AR	Comum			
21	FABACEAE	<i>Sesbania punicea</i>	acacia-de-flores-vermelhas	AB	Rara			

21	FABACEAE	<i>Sesbania punicea</i>	acacia-de-flores-vermelhas	AB	Rara
22	JUNCACEAE	<i>Juncus sp.</i>	junquinho	EAn	Rara
23	MELIACEAE	<i>Guarea macrophylla</i>	pau-de-arco	AR	Comum
24	MORACEAE	<i>Morus nigra</i>	amoreira	AR	Ocasional
25	MYRTACEAE	<i>Eucalyptus sp.</i>	eucalipto	AR	Rara
26	MYRTACEAE	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	AR	Ocasional
27	ONAGRACEAE	<i>Ludwigia cf. decurrens</i>	cruz-de-malta	EAn	Ocasional
28	ONAGRACEAE	<i>Ludwigia peploides</i>	cruz-de-malta	EAnF	Comum
29	POACEAE	<i>Bambusa tuldoides</i>	taquara	ET	Rara
30	POACEAE	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	cana-d'agua	Ean	Comum
31	POACEAE	<i>Hymenachne grumosa</i>	cana-d'agua	EA	Comum
32	POACEAE	<i>Panicum aquaticum</i>		Ean	Ocasional
33	POLYGONACEAE	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	erva-de-bicho	EAn	Comum
34	PONTEDERIACEAE	<i>Eichhornia azurea</i>	aguapé-de-baraço	EAF	Rara
35	PRIMULACEAE	<i>Myrsine coriacea</i>	capororoca	AR	Ocasional
36	PRIMULACEAE	<i>Myrsine lorentziana</i>	capororoca	AR	Ocasional
37	RUBIACEAE	<i>Cephalanthus glabratus</i>	sarandi	AB	Comum
38	RUBIACEAE	<i>Diodia saporariifolia</i>	perna-de-pomba	EAn	Ocasional
39	RUBIACEAE	<i>Psychotria cf. carthagenensis</i>	cafeeiro-do-mato	AB	Ocasional
40	SALICACEAE	<i>Casearia sylvestris</i>	chá-de-bugre	AR	Comum
41	SALICACEAE	<i>Salix huboldtiana</i>	salso	AR	Ocasional
42	SAPINDACEAE	<i>Allophylus edulis</i>	chal-chal	AR	Comum
43	SAPINDACEAE	<i>Cupania vernalis</i>	camboatá-vermelho	AR	Ocasional
44	THYMELAEACEAE	<i>Daphnopsis racemosa</i>	embira	AT	Comum
45	PTERIDOPHYTA				
46	SALVINIACEAE	<i>Salvinia cf. auriculata</i>	salvinia	EAF	Comum

### Levantamento da Flora – Banhado 3 (Arroio Imperatriz)

1	FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	HÁBITO	OCORRENCIA						LEGENDA
2	ACANTHACEAE	<i>Hygrophila costata</i>		EAn	Comum						HÁBITO
3	ANACARDIACEAE	<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira-vermelha	AR	Ocasional					EAn	erva anfibia
4	ASTERACEAE	<i>Enydra anagallis</i>		EAnF	Comum					EAnF	erva aquática anfibia flutuante
5	BROMELIACEAE	<i>Tillandsia cf. gardneri</i>	cravo-do-mato	EP	Ocasional					EAE	erva aquática emergente
6	COMMELINACEAE	<i>Commelina diffusa</i>	trapoeiraba	EAn	Ocasional					EAF	erva aquática flutuante
7	EUPHORBIACEAE	<i>Sebastiania commersoniana</i>	branquilha	AR	Comum					EP	epífita
8	EUPHORBIACEAE	<i>Sebastiania schottiana</i>	sarandi-de-espino	AT	Comum					ET	erva terrestre
9	FABACEAE	<i>Inga vera</i>	ingá-banana	AR	Comum					PA	palmeira
10	FABACEAE	<i>cf. Lonchocarpus campestris</i>	rabo-de-bugio	AR	Rara					AR	árvore
11	MELIACEAE	<i>Guarea macrophylla</i>	pau-de-arco	AR	Comum					AT	arvoreta
12	MYRTACEAE	<i>Calyptantes concinna</i>	guamirim	AT	Rara					AB	arbusto
13	MYRTACEAE	<i>Myrciaria tenella</i>	camboim	AR	Ocasional						
14	ONAGRACEAE	<i>Ludwigia peploides</i>	cruz-de-malta	EAnF	Comum						
15	POACEAE	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	cana-d'agua	Ean	Comum						
16	POACEAE	<i>Hymenachne grumosa</i>	cana-d'agua	EA	Comum						
17	POACEAE	<i>Panicum aquaticum</i>		Ean	Ocasional						
18	POLYGONACEAE	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	erva-de-bicho	EAn	Ocasional						
19	RUBIACEAE	<i>Psychotria cf. carthagenensis</i>	cafeeiro-do-mato	AB	Ocasional						
20	SALICACEAE	<i>Salix huboldtiana</i>	salso	AR	Ocasional						
21	SAPINDACEAE	<i>Allophylus edulis</i>	chal-chal	AR	Comum						
22											

## Levantamento da Flora – Banhado 4 (Arroio Preto)

1	FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	HÁBITO	OCORRENCIA			LEGENDA
2	ACANTHACEAE	<i>Hygrophila costata</i>		EAn	Comum			HÁBITO
3	ANNONACEAE	<i>Rollinia rugulosa</i>	araticum	AR	Rara		EAn	erva anfíbia
4	ARECACEAE	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	gerivá	PA	Rara		EAnF	erva aquática anfíbia flutuante
5	BROMELIACEAE	<i>Tillandsia cf. gardneri</i>	cravo-do-mato	EP	Rara		EAE	erva aquática emergente
6	CACTACEAE	<i>Rhipsalis teres</i>	-	EP	Rara		EAF	erva aquática flutuante
7	COMMELINACEAE	<i>Commelina diffusa</i>	trapoeiraba	EAn	Ocasional		EP	epífita
8	CYPERACEAE	<i>Cyperus sp.2</i>		EAn	Rara		ET	erva terrestre
9	EUPHORBIACEAE	<i>Sebastiania commersoniana</i>	branquilho	AR	Comum		PA	palmeira
10	EUPHORBIACEAE	<i>Sebastiania serrata</i>	branquilho	AT	Rara		AR	árvore
11	FABACEAE	<i>Calliandra tweediei</i>	topete-de-cardeal	AB	Rara		AT	arvoreta
12	FABACEAE	<i>Inga vera</i>	ingá-banana	AR	Comum		AB	arbusto
13	FABACEAE	<i>Mimosa bimucronata</i>	maricá	AR	Comum			
14	LAURACEAE	<i>Nectandra megapotamica</i>	canela-merda	AR	Ocasional			
15	MELIACEAE	<i>Guarea macrophylla</i>	pau-de-arco	AR	Comum			
16	MORACEAE	<i>Morus nigra</i>	amoreira	AR	Ocasional			
17	MYRTACEAE	<i>Calytrantes concinna</i>	guamirim	AT	Rara			
18	MYRTACEAE	<i>cf. Myrcia pubipetala</i>		AR	Rara			
19	ONAGRACEAE	<i>Ludwigia cf. decurrens</i>	cruz-de-malta	EAn	Ocasional			
20	POACEAE	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	cana-d'agua	Ean	Comum			
21	POACEAE	<i>Hymenachne grumosa</i>	cana-d'agua	EA	Comum			
22	POACEAE	<i>Panicum aquaticum</i>		Ean	Ocasional			
23	POLYGONACEAE	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	erva-de-bicho	EAn	Ocasional			
24	PRIMULACEAE	<i>Myrsine coriacea</i>	capororoca	AR	Ocasional			
25	PRIMULACEAE	<i>Myrsine lorentziana</i>	capororoca	AR	Ocasional			
26	RUBIACEAE	<i>Psychotria cf. carthagenensis</i>	cafeeiro-do-mato	AB	Ocasional			
27	SALICACEAE	<i>Casearia sylvestris</i>	chá-de-bugre	AR	Ocasional			
28	SALICACEAE	<i>Salix huboldtiana</i>	salso	AR	Ocasional			
29	SAPINDACEAE	<i>Allophylus edulis</i>	chal-chal	AR	Comum			
30	SAPINDACEAE	<i>Cupania vernalis</i>	camboatá-vermelho	AR	Ocasional			
31	THYMELAEACEAE	<i>Daphnopsis racemosa</i>	embira	AT	Comum			

## Análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

1	Amostra	profundidade	N total (%)	$\delta^{15}\text{N}$ Ar	Ctotal (%)	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	C/N
2	S1		0,04	2,83	0,3	-24,17	7,5
3	PBS-3-68	340	0,26	4,37	3,65	-26,92	14,03846
4	PBS-3-62	310	0,51	5,4	7,04	-26,84	13,80392
5	PBS-3-56	280	0,7	4,08	11,47	-27,48	16,38571
6	PBS-3-44	220	0,72	5,75	11,6	-26,82	16,11111
7	PBS-3-32	160	0,43	6,45	5,75	-27,45	13,37209
8	PBS-3-26	130	0,46	5,55	5,6	-27,24	12,17391
9	PBS-3-08	40	0,44	6,54	4,77	-26,97	10,84091
10	PBS-3-02	10	0,36	9,12	3,33	-27,12	9,25
11	APR		1,69	4	11,85	-24,15	7,011834
12	R2		3,53	1,49	25,52	-24,12	7,229462
13	R1		3,09	4,39	30,54	-23,87	9,883495
14	B4		2,1	5,39	15,69	-27,3	7,471429
15	B2R		0,8	8,28	6,39	-29,25	7,9875
16	B1		1,58	-0,99	9,49	-32,06	6,006329
17	B2B		0,8	8,07	7,21	-29,55	9,0125
18	PBS-1-15	75	0,19	8,48	1,54	-26,02	8,105263
19	PBS-1-10	50	0,14	7,76	1,14	-25,43	8,142857
20	PBS-1-04	20	0,13	7,07	1,28	-25,53	9,846154
21	PBS-1-01	5	0,43	5,87	4,73	-27,65	11
22	R4		0,51	4,48	4,04	-24,73	7,921569
23	R3		0,6	4,61	5,84	-24,55	9,733333
24	B3		0,69	-4,42	6,23	-23,69	9,028986
25	P1	0	4,41	5,36	47,92	-31,51	10,86621
26	P2	0	1,51	8,57	31,63	-30,01	20,94702
27	P3	0	3,87	8,06	50,44	-28,1	13,03359
28	P4	0	3,29	9,54	36,08	-28,76	10,96657
29	P5	0	2,91	8,81	43,08	-28,8	14,80412

## Análise química de metais - PERFIS

		Cu	Pb	Zn	Cr	As	Ni	Cd
	cm	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
L.D.		0,1	0,1	1	1	1	0,1	0,1
Sample	cm	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
PBS-1-01	5	92,6	31,1	223	118	4	44	0,4
PBS-1-04	20	49	28	74	101	3	27,8	0,3
PBS-1-07	35	49,4	23,7	97	91	5	37,9	0,2
PBS-1-10	50	53,9	23,4	81	94	5	39,6	0,4
PBS-1-13	65	49,6	24,4	100	86	4	37,8	0,4
PBS-1-15	75	54,6	28,1	99	95	3	42,8	0,4
PBS-3-00	0	77,6	40,8	218	152	4	60,1	0,6
PBS-3-01	1	76,5	40,6	232	151	5	63,7	0,5
PBS-3-02	10	77,2	41,3	206	154	4	61,8	0,3
PBS-3-03	15	75,8	40,5	185	142	5	63,6	0,5
PBS-3-04	20	69,8	30,1	129	102	3	61,3	0,6
PBS-3-08	40	74,8	24,1	130	94	3	45,1	2,2
PBS-3-14	70	68,3	22,5	114	101	2	44,2	0,3
PBS-3-20	100	89	23,5	187	101	4	44,3	0,8
PBS-3-26	130	89,5	21,9	114	97	2	45,4	0,6
PBS-3-32	160	71,7	25,8	129	100	4	55,7	0,4
PBS-3-38	190	65,3	15,4	114	68	3	42,8	0,6
PBS-3-44	220	65,7	18,5	121	71	4	39,4	0,7
PBS-3-50	250	67,2	18,3	116	84	3	40,2	0,4
PBS-3-56	280	70,9	17,8	116	82	3	38,2	0,5
PBS-3-62	310	68,1	23,2	136	90	3	46,1	0,5
PBS-3-68	340	66,7	23,2	120	92	4	43,9	0,4
PBS-3-70	350	46,1	18,1	101	68	3	28,8	0,4

## Análise química de metais – SEDIMENTO EM SUSPENSÃO

		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
L.D.		0,1	1	0,1	0,1	0,1	1
ARROIO	1	0,1	242	200,4	33,6	23,4	375
B1	2	0,2	102	63	37,1	26,1	106
B2B	3	0,5	119	71,5	55,2	38,8	238
B2R	4	0,4	113	76,7	61,7	33	333
B3	5	0,3	129	95,9	47,5	31,2	205
B4	6	0,2	69	46,2	27	22,9	81
	0						
R3	8	0,3	202	124	72,6	47,9	297
S1	9	0,1	27	17,5	5,6	6,2	22
LODO	7	0,1	10000	55,6	68,1	68	149