



Número: 416/2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

TEHRA GOMES MENDONÇA

**GEOQUÍMICA DE SOLO, ÁGUA E TYPHA DOMINGUENSIS PERS. DE UM
FRAGMENTO DE FLORESTA HIGRÓFILA NA MATA DE SANTA GENEBRA,
CAMPINAS, SP, BRASIL.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Bernardino Ribeiro Figueiredo

Campinas – São Paulo
Fevereiro – 2010

© by Tehra Gomes Mendonça, 2010

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências/UNICAMP

M523g Mendonça, Tehra Gomes.
Geoquímica de solo, água e *Typha domingensis* Pers. de fragmento de floresta higrófila na Mata de Santa Genebra, Campinas, SP, Brasil / Tehra Gomes Mendonça-- Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

Orientador: Bernardino Ribeiro Figueiredo
DISSERTAÇÃO (MESTRADO) UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS,

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS.

1. Geoquímica - Aspectos ambientais. 2. Fitorremediação. 3. Mata Santa Genebra. I. Figueiredo, Bernardino Ribeiro. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em inglês. Geochemistry of superficial water, soil and *Typha domingensis* Pers. of fragment from a hygrophilous forest in São Paulo state, Brazil.

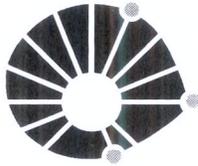
Keywords: - Geochemistry – Environmental aspects;
- Phyto-remediation;
- Mata Santa Genebra

Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais
TITULAÇÃO: MESTRE EM GEOCIÊNCIAS.

Banca examinadora: - Bernardino Ribeiro Figueiredo;
- Emmanoel Vieira da Silva Filho;
- Jacinta Enzweiler.

Data da defesa: 26/02/2010

Programa de Pós-graduação em Geociências



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

AUTORA: Tehra Gomes Mendonça

“Geoquímica de solo, água e *Typha dominguensis* Pers em um fragmento de floresta higrófila na Mata de Santa Genebra – Campinas/SP”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Bernardino Ribeiro de Figueiredo

Aprovada em: 26 / 02 / 2010

EXAMINADORES:

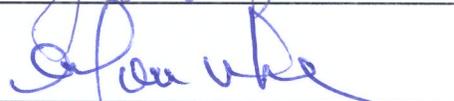
Prof. Dr. Bernardino Ribeiro de Figueiredo

 - Presidente

Profa. Dra. Jacinta Enzweiler



Prof. Dr. Emmanoel Vieira da Silva Filho



Campinas, 26 de fevereiro de 2010.

“Nós podemos explicar o azul-pálido desse pequeno mundo que conhecemos muito bem. Se um cientista alienígena, recém-chegado às imediações de nosso Sistema Solar, poderia fidedignamente inferir oceanos, nuvens e uma atmosfera espessa, já não é tão certo. Netuno, por exemplo, é azul, mas por razões inteiramente diferentes. Desse ponto distante de observação, a Terra talvez não apresentasse nenhum interesse especial. Para nós, no entanto, ela é diferente. Olhem de novo para o ponto. É ali. É a nossa casa. Somos nós. Nesse ponto, todos aqueles que amamos, que conhecemos, de quem já ouvimos falar, todos os seres humanos que já existiram, vivem ou viveram as suas vidas. Toda a nossa mistura de alegria e sofrimento, todas as inúmeras religiões, ideologias e doutrinas econômicas, todos os caçadores e saqueadores, heróis e covardes, criadores e destruidores de civilizações, reis e camponeses, jovens casais apaixonados, pais e mães, todas as crianças, todos os inventores e exploradores, professores de moral, políticos corruptos, "superastros", "líderes supremos", todos os santos e pecadores da história de nossa espécie, ali - num grão de poeira suspenso num raio de sol. A Terra é um palco muito pequeno em uma imensa arena cósmica. Pensem nos rios de sangue derramados por todos os generais e imperadores para que, na glória do triunfo, pudessem ser os senhores momentâneos de uma fração desse ponto. Pensem nas crueldades infinitas cometidas pelos habitantes de um canto desse pixel contra os habitantes mal distinguíveis de algum outro canto, em seus freqüentes conflitos, em sua ânsia de recíproca destruição, em seus ódios ardentes. Nossas atitudes, nossa pretensa importância de que temos uma posição privilegiada no Universo, tudo isso é posto em dúvida por esse ponto de luz pálida. O nosso planeta é um pontinho solitário na grande escuridão cósmica circundante. Em nossa obscuridade, no meio de toda essa imensidão, não há nenhum indício de que, de algum outro mundo, virá socorro que nos salve de nós mesmos. (...)"

Carl Sagan

*Aos meus pais Luizinho e Leninha, por me darem à vida.
Aos meus irmãos Renato e Nara por sempre acreditarem em mim.
Ao meu filho Leo, por me fazer compreender o sentido da vida
e por me dar motivos todos os dias para ser uma pessoa melhor.
A todos eles e os meus amigos pelos exemplos, pela força e compreensão.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Bernardino Ribeiro de Figueiredo pela dedicada orientação, pelo incentivo constante, pela amizade sincera e presente, pela sobriedade e otimismo contagiante, pela agradável e aventureira companhia nos trabalhos de campo. Agradeço por acreditar em minhas idéias e por confiar em mim, mesmo quando me sentia abalada pela insegurança de quem começa a trilhar os caminhos através dos próprios passos. Sobretudo, agradeço por me mostrar que as escolhas, os caminhos estão sempre ao nosso alcance e que acreditar nas nossas capacidades só depende de um olhar.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro para realização dos meus estudos.

Aos meus pais Luizinho e Leninha pelo amor, dedicação, compreensão e pela imensa ajuda prestada incondicionalmente. Amo vocês!

Ao meu filhote, Leo, que mesmo tão pequeno pôde compreender e respeitar as minhas ausências. Obrigada por curtir comigo as minhas conquistas. Mamãe te ama muito...

A Narinha que me emprestou gentilmente seu “brinquedinho novo” para que eu pudesse trabalhar.

Ao Tsu pela generosa e valiosa doação de seu antigo PC, sem a qual minhas madrugadas de trabalho jamais teriam existido e pela ajuda com a tradução do resumo!

Ao Renato e a Daniele Daluz pelo carinho, pela companhia nos momentos de descontração e muitas vezes só por me ouvir, mesmo sem entender patavina do que eu dizia!

As professoras Dr^a Sueli Yoshinaga Pereira e Dr^a Fresia Ricardi-Branco pelas sugestões no início do projeto.

Aos professores Dr. Wanilson Luis Silva e Prof^a Dr^a Jacinta Enzweiler, pelas dedicadas e cuidadosas correções da qualificação, pelos ensinamentos irrestritos a minha vida acadêmica, pelo exemplo e disponibilidade à conversas que certamente contribuíram com meu amadurecimento acadêmico.

As técnicas do Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da Unicamp, Aparecida Vendemiatto e Lúcia dos Santos Carvalho, pelo companheirismo e paciência imensurável nos procedimentos rotineiros e, sobretudo no auxílio com novos métodos.

Ao anjo iluminado na vida dos alunos de pós-graduação em Geociências (UNICAMP), a querida Valdirene Pinotti, pela amizade, paciência, alto astral e prontidão em ajudar no que for preciso. Muito, muito obrigada! A Edinalva, Aline e Gorete por toda disposição e ajuda nas resoluções de processos burocráticos, sem vocês resolver esses problemas seria terrível!

Aos meninos do setor de informática, Paulo, Ricardo, Maicom, Júlio pela prontidão e pelo socorro sempre prestados nos momentos de maior desespero, vocês são incríveis!!!

A Prof^ª Dr^ª Maria do Carmo Estanislau do Amaral e Dr. Volker Bitrich pela longa amizade e por me contagiarem com o encantamento pelas plantas de “brejo”.

Ao corpo científico de pesquisadores e profissionais da “Fundação José Pedro de Oliveira” pelos esclarecimentos sobre os fragmentos estudados e pelo apoio.

Agradeço ao Élcio Soares Marinho e ao Sr. Valdevino pela preciosa ajuda nos trabalhos de campo, localizando os pontos de amostragem, coletando materiais e por se aventurarem “brejo adentro”, “chuva afora”, sem medo se ser feliz! Sem vocês o trabalho de campo seria penoso e certamente não teria sido tão divertido. Meu sincero, obrigada.

Ao meu querido amigo Guile, que um dia me abriu os olhos para pesquisa científica, me incentivou e sempre acreditou que eu fosse capaz.

Aos meus companheiros de vida acadêmica e também amigos para todas as horas... Carolina, Ludimila, Patrícia, Veridiana, Érico, Sérgio, Aloísio e Guilherme. Tenho muito a agradecer a todos vocês. A disponibilidade para conversar e discutir geoquímica, o auxílio nos estudos, na elaboração de mapas, esclarecimentos sobre métodos, auxílio com tratamentos estatísticos, com atividades de campo, ajuda no laboratório e nas análises. Por tudo isso e por muito mais que se quer caberia falar aqui, certamente cada um sabe do que falo. Muito obrigada por dividirem suas experiências, pela companhia agradável nos congressos, pelos momentos de descontração, pela paciência, cuidado, carinho, amizade... Certamente sem vocês a vida acadêmica teria outras cores!

As amigas Ana Deckman, Carolina Scatolin, por me ouvirem com paciência tantas vezes e também por compartilharem um pouco das suas experiências acadêmicas.

Ao Anderson, meu querido, antes de tudo pela imensurável paciência e, sobretudo pela disposição em compartilhar desde as aflições e angústias até as primeiras vitórias e conquistas, sempre em prontidão para comemorar.

A tríplice aliança felina, Degas Francisco, Dindi Maria e Dalila Frenesi companheiros das longas noites de trabalho... o silêncio da madrugada seria uma tortura sem a sinfonia proporcionada por vocês.

E a todos que de alguma forma colaboraram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho, eu agradeço.

Biografia

A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.

(Albert Einstein)

TEHRA GOMES MENDONÇA cursou Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, graduando-se em 2000.

Durante a graduação deu início as suas atividades de pesquisa no Departamento de Botânica da Universidade Estadual de Campinas, sob a orientação da Prof. Dra. Maria do Carmo Estanislau do Amaral, onde teve a oportunidade de participar ativamente do Projeto Temático “Plantas Aquáticas e Palustres do Estado de São Paulo”. Neste período foi contemplada com bolsa de iniciação científica pela FAPESP com o projeto “Monocotiledôneas aquáticas do Estado de São Paulo”, vinculado ao projeto temático. Parte deste trabalho foi apresentada como monografia para obtenção do título de bacharel. O Projeto Temático resultou no livro “Guia de Campo para identificação de Plantas aquáticas e Palustres do Estado de São Paulo”, onde atuou em coletas, descrição de espécies e registro fotográfico das mesmas.

Em 2002 obteve bolsa de treinamento técnico, nível 3, pela FAPESP para atuar em atividades de laboratório, campo, identificação das espécies de plantas e insetos no Projeto Temático “Diversidade de Espécies e de Interações em Plantas e Insetos Fitófagos” coordenado pelo Prof. Dr. Thomas Michael Lewinsohn.

Entre 2005 e 2007 lecionou ciências e biologia para o ensino fundamental em escolas públicas da região de Campinas e biologia para o curso de ensino de jovens e adultos, bem como em curso pré-vestibular.

Em março de 2008 iniciou o mestrado em Geociências, na área de Geologia e Recursos Naturais na Universidade Estadual de Campinas. As publicações mais relevantes contemplam a área de biodiversidade, interações inseto-plantas, geoquímica de água, solo e plantas e encontram-se citadas abaixo:

ALMEIDA, A. M.; FONSECA, C. R.; PRADO, P.I.; ALMEIDA-NETO, M.; DINIZ, S. ; KUBOTA, U.; BRAUN, M.R. ; MENDONÇA, T. G. ; RAIMUNDO, R. L. G. ; ANJOS, L. A.; FUTADA, S.M. 2006. Assemblages of Endophagous Insects on Asteraceae in São Paulo Cerrados. *Neotropical Entomology*. **35**: 458-468.

ALMEIDA, A. M.; FONSECA, C. R.; PRADO, P.I.; ALMEIDA-NETO, M.; DINIZ, S. ; KUBOTA, U.; BRAUN, M.R. ; MENDONÇA, T. G. ; RAIMUNDO, R. L. G. ; ANJOS, L. A.; FUTADA, S.M. 2005. Diversidade e ocorrência de Asteraceae em cerrados de São Paulo. *Biota Neotropica*. **5(2)**:1-17.

MENDONÇA, T. G.; FIGUEIREDO, B. R. 2009. Estudo Geoquímico em fragmentos de Floresta Higrófila na Reserva Florestal da Mata Santa Genebra, Campinas, SP. In: XII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Ouro Preto, MG.

MENDONÇA, T. G.; FIGUEIREDO, B. R. 2009. Geoquímica de elementos-traço em água, solo e *Typha dominguensis* Per. em um fragmentos de Floresta Higrófila na Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Mata Santa Genebra, Campinas, SP. In: III Workshop de Biodegradação e Biorremediação, Campinas, SP.

Sumário

EPÍGRAFE	V
DEDICATÓRIA	VII
AGRADECIMENTOS	IX
BIOGRAFIA	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS	XVII
RESUMO	XIX
ABSTRACT	XXI
APRESENTAÇÃO	1
<i>PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DO PRESENTE ESTUDO</i>	2
INTRODUÇÃO	5
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E HISTÓRICO ATUAL	5
<i>OCORRÊNCIA DE METAIS NO AMBIENTE</i>	7
<i>BIOACUMULAÇÃO DE METAIS POR ESPÉCIES VEGETAIS</i>	10
<i>REFERÊNCIAS</i>	13
<i>GEOQUÍMICA DE ÁGUA SUPERFICIAL, SOLO E TYPHA DOMINGUENSIS PERS. DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA HIGRÓFILA NO ESTADO DE SÃO PAULO</i>	17
<i>RESUMO</i>	17
<i>INTRODUÇÃO</i>	19
<i>MATERIAIS E MÉTODOS</i>	21
<i>ÁREA DE ESTUDO</i>	21
<i>AMOSTRAGEM E ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUA, SOLO E PLANTA</i>	22
<i>TRATAMENTO DOS DADOS</i>	25
<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	26
<i>COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ÁGUAS E SOLO</i>	26
<i>CONCENTRAÇÃO E TRANSPORTE DE ELEMENTOS EM TYPHA DOMINGUENSIS PERS.</i>	31
<i>CONCLUSÕES</i>	37
<i>AGRADECIMENTOS</i>	38
<i>REFERÊNCIAS</i>	39
ANEXOS	43

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e pontos de amostragem	23
Tabela 1. Parâmetros físico-químicos das amostras de água superficial	27
Figura 2. Classificação das águas superficiais pelo Diagrama de Piper, (I) águas bicarbonatadas sódico-potássicas, (II) águas bicarbonatadas mistas	28
Figura 3. Diagramas indicando a influência da sazonalidade na concentração de alguns elementos em água.	29
Tabela 2. Composição química dos solos da área em estudo	30
Tabela 3. Concentração de elementos maiores e traços em folhas (FL) e raízes (RZ) de <i>Typha dominguensis</i> Pers.	32
Figura 4. Fator de concentração (FC) de elementos em <i>Typha dominguensis</i> Pers.	35
Figura 5. Comparativo entre as concentrações dos elementos no solo, água e em folhas e raízes de <i>Typha dominguensis</i> Pers.	36
Figura 6. Índices de translocação (%) de metais em <i>Typha dominguensis</i> Pers.	37
Tabela 6. Parâmetros físico-químicos e composição química de todos os elementos analisados para as amostras de água superficial	45
Tabela 7. Parâmetros físico-químicos e composição química de todos elementos analisados para as amostras de solo superficial	46
Tabela 8. Concentração química de elementos maiores e traço em folhas (FL) e em raízes (RZ) de <i>Typha dominguensis</i> Pers.	47
Tabela 9. Concentração dos elementos químicos em materiais de referência certificados para águas (SRM 164e, SRM 1640) e solos (GSS-2, GSS-5) utilizados neste estudo: valores certificados (VC) e valores obtidos (VO). Dados referentes às análises da primeira coleta (setembro 2008)	48
Tabela 10. Composição química dos solos da área em estudo comparada aos valores máximos obtidos por Pereira (2005) em solo formado pela associação de latossolo vermelho-amarelo com argissolo vermelho-amarelo	49
Tabela 11A. Matriz de correlação de elementos maiores e metais em água	51

Tabela 11B. Matriz de correlação de pH, matéria orgânica (MO), e metais em solo	52
Tabela 11C. Matriz de correlação dos elementos em <i>Typha dominguensis</i> Pers.	53
Figura 7A. Vista da área palustre (primeiro plano) e ao fundo a face sul da Mata de Santa Genebra	55
Figura 7B. Ponto P 01, pequeno lago	55
Figura 7C. Ponto P 02, lago grande com macrófitas flutuantes, espécies de pássaros aquáticos e muitos peixes.	56
Figura 7D. Ponto P 03, curso de água que deságua no ponto P 02	56
Figura 7E. Cultivo de cana-de-açúcar presente no entorno da área em estudo, visto de dentro da área palustre	57
Figura 7F. Coleta das amostras de água superficial para análises químicas	57
Figura 7G. Imagens de <i>Typha dominguensis</i> Pers. : (1) Hábito da planta em campo, (2) detalhe inflorescência madura - fotos Volker Bitrich; (3) detalhe inflorescência jovem – foto Tehra Mendonça; (4) desenho botânico por Kátia Sendra Tavares.	58
Figura 7H. Equipe de campo: (1) Tehra Mendonça e Prof. Dr. Bernardino R. Figueiredo; (2) auxiliares de campo Valdevino e Élcio Soares Marinho	59



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

GEOQUÍMICA DE ÁGUA, SOLO E *Typha dominguensis* Pers. DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA HIGRÓFILA NA MATA DE SANTA GENEBRA, CAMPINAS, SP, BRASIL.

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Tehra Gomes Mendonça

O presente estudo foi realizado em uma região de floresta higrófila, no entorno da Mata Santa Genebra, localizada no Município de Campinas, SP. A área apresenta um histórico uso de agroquímicos em vários tipos de culturas, incluindo cana-de-açúcar, implantação de indústrias e acelerado processo de urbanização de modo que alterações químicas do solo e das águas naturais são esperadas. O objetivo deste trabalho foi averiguar os prováveis impactos causados pela agricultura e urbanização em água superficial e solo dos fragmentos de floresta higrófila da Mata Santa Genebra. Nos mesmos locais pesquisados foram coletadas amostras de taboa (*Typha dominguensis* Pers), uma espécie vegetal nativa desse ambiente, com o intuito de observar atuação dessa espécie como bioindicadora e fitoacumuladora de metais de origem natural ou antrópica. Os parâmetros de qualidade de água foram medidos in situ e a sua composição química determinada por cromatografia iônica e ICP-MS. As amostras de solo foram analisadas por fluorescência de raios X e as plantas por ICP-MS. A água superficial apresentou pH no intervalo 5,1-6,4 e Eh variando de 79 a 462 mV exibindo baixas concentrações de OD. A maioria das amostras foi classificada como água bicarbonatada sódico-potássica e apenas as concentrações PO_4^{3-} (até 2 mg/L), Fe (até 5,1 mg/L) e Mn (184 $\mu\text{g/L}$) mostraram-se superiores aos limites regulamentados. As amostras de solo apresentaram pH ácido (4,5-5,5), teor de MO no intervalo 4 a 17% e concentrações excessivas de Ba (95 a 317 mg/kg), Cu (189 a 416 mg/kg) e V (184 a 381 mg/kg) quando comparadas aos valores de referência localmente aceitos. As concentrações da maioria dos elementos-traço em água e solo devem representar teores de fundo geoquímico que podem ser usados na avaliação de qualidade ambiental na região. Os metais que apresentaram as concentrações mais altas em planta foram Ba, Sr, Zn, Mn, Cu, V e Pb, especialmente nas raízes, exceto o Mn com acumulação maior nas folhas. Com base nos valores de enriquecimento dos metais em planta em relação ao solo e água foi possível comprovar a eficiência da *Typha dominguensis* Pers. como bioindicadora para esses metais, mesmo em ambiente com baixas concentrações. Estes resultados esclarecem também o papel dessa espécie na reciclagem de elementos-traço no ecossistema onde se insere.

Palavras chave: Floresta higrófila, *Typha dominguensis* Pers., fitorremediação, Mata Santa Genebra.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

GEOCHEMISTRY OF SUPERFICIAL WATER, SOIL AND *TYPHA DOMINGUENSIS* PERS. OF
FRAGMENT FROM A HYGROPHILOUS FOREST IN SÃO PAULO STATE, BRAZIL

ABSTRACT

MASTER SCIENCE DISSERTATION

Tehra Gomes Mendonça

This study was conducted in an area of swamp forest in the vicinity of Reserve Santa Genebra, located in Campinas, SP. The area has a history of deployment of industries, fast urbanization process and of usage of chemicals in different kinds of crops including sugar cane, thus changes in the soil and natural waters are expected. The objective of this study was to evaluate the likely impacts caused by agriculture and urbanization on surface water and soil fragments of swamp forest of the Mata Santa Genebra. In the same areas surveyed samples of Taboa (*Typha dominguensis* Pers.), a native plant species of that environment, were collected in order to observe the performance of this species as a metal bioindicator and phytocumulator. The water quality parameters were measured in situ and the chemical compositions were determined by ion chromatography and ICP-MS. In addition, the chemical composition of soil samples were determined by XRF and the plant roots and leaves were analyzed by ICP-MS. Surface water presented very low DO, pH 5.1 to 6.4 and Eh in the interval between 79-462 mV. Most samples were classified as Na-K bicarbonate water and their chemical compositions can be considered normal except for PO_4^{3-} (up to 2.1 mg/L), Fe (up to 5.1 mg/L) and Mn (up to 184 $\mu\text{g/L}$) contents that exceeded regulative values. Topsoil is acid (pH 4.5-5.5) and contains up to 17% organic matter. Chemical analyses of soil showed excessive Ba (95-317 mg/kg), Cu (189-416 mg/kg) and V (184-381 mg/kg) contents in comparison to local accepted reference values. The other trace-element concentrations in water and soil may represent geochemical background that can be used for environmental assessment studies in the region. The highest trace-element concentrations found in plant were Ba, Sr, Zn, Mn, Cu, V and Pb, especially in the roots with the exception of Mn that mostly accumulated in the leaves. On the basis of the values of enrichment obtained for trace-element in plant in relation to soil and water are suggestive of *Typha dominguensis* Pers. efficiency bioindicator for metals even in those environments with low metal concentrations. The present results clearly highlight the role of that species in recycling of trace-elements within the ecosystem it belongs to.

Keywords: Hygrophilous forest, *Typha dominguensis* Pers., phyto-remediation, Santa Genebra Reserve.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho apresenta-se em formato alternativo, de acordo com Informativo da Comissão Central de Pós-graduação do Instituto de Geociências, da UNICAMP (nº 001/2008). Constitui-se de uma introdução e um artigo científico intitulado: “Geoquímica de água superficial, solo e *Typha dominguensis* Pers. de um fragmento de floresta higrófila no Estado de São Paulo”.

A proposta do texto, a seguir, é introduzir ao leitor os aspectos mais relevantes sobre as características da área de estudo em seu contexto atual, bem como abordar alguns aspectos sobre a ocorrência de metais em ambientes naturais e seu acúmulo pelas plantas, possibilitando ao leitor uma melhor compreensão sobre o tema da presente pesquisa.

PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DO PRESENTE ESTUDO

Por representar um importante remanescente de Mata Atlântica da região e por estar situada em uma área de fácil acesso, dentro de um contexto urbano, próximo a centros de pesquisa e instituições de ensino com importância nacional (Unicamp, Instituto agrônomo de Campinas, Embrapa monitoramento por satélite) a Mata de Santa Genebra já foi foco de muitas pesquisas científicas de diversas áreas, a grande maioria voltada para ecologia vegetal ou animal, genética, polinização e ecologia de interações e processo de preservação associado à educação ambiental (Futada 2006). Apesar do importante papel exercido pelos fragmentos de floresta higrófila da Mata de Santa Genebra na proteção de mananciais hídricos são inexistentes trabalhos na área que abordem aspectos físico-químicos, geoquímicos da água ou solo. Também não existe relato de estudos sobre o acúmulo de metais por espécies vegetais na área estudada.

O objetivo deste trabalho foi de averiguar os prováveis impactos causados pela agricultura e urbanização em água superficial e solo dos fragmentos de floresta higrófila da Mata de Santa Genebra. Amostras da planta nativa desse ambiente, *Typha dominguensis* Pers, popularmente conhecida como taboa, foram coletadas nos mesmos locais pesquisados com o intuito de observar a atuação dessa espécie como bioindicadora e fitoacumuladora de metais de origem natural ou antrópica. Foi determinada a composição química de água superficial e do solo bem como a composição química de *Typha dominguensis* Pers.

Em água apenas as concentrações de PO_4^{3-} , Fe e Mn mostraram-se superiores aos limites regulamentados. As amostras de solo apresentaram concentrações excessivas de Ba, Cu e V quando comparadas aos valores de referência aceitos localmente. Os metais que

apresentaram as concentrações mais altas em *Typha* foram Mn, Sr, Ba, Zn, Cu e V, especialmente nas raízes, exceto o Mn com acumulação maior nas folhas.

As concentrações da maioria dos elementos-traço em água e solo devem representar teores de fundo geoquímico que podem ser usados na avaliação de qualidade ambiental na região. Com base nos cálculos de fatores de enriquecimento dos metais em planta em relação ao solo e água foi possível comprovar a eficiência da *Typha dominguensis* Pers como fitoacumuladora e bioindicadora para os metais citados, mesmo em ambiente com baixas concentrações, o que contribui também para a preservação do ecossistema em que essa planta se insere. Por refletirem a qualidade ambiental dos fragmentos estudados os dados servem como subsídio no acompanhamento, manutenção e administração dos impactos a que este ambiente está submetido. Quanto aos dados obtidos para planta espera-se que estes sirvam como valores referência para futuros estudos na área sobre acúmulo de metais em plantas.

INTRODUÇÃO

“Quando o homem aprender a respeitar até o menor ser da criação, seja animal ou vegetal, ninguém precisará ensiná-lo a amar seus semelhantes”.

Albert Schweitzer

*“Como um ser vivo, as cidades crescem à custa do que as rodeia
O grande alimento das cidades é a terra, que,
tomada no seu imediato sentido de superfície limitada,
ganha o nome de terreno, no qual, feita esta operação lingüística,
passa a ser possível construir.
E enquanto nós vamos ali comprar o jornal,
o terreno desaparece, e em seu lugar surge o imóvel”.*

José Saramago¹

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E HISTÓRICO ATUAL

Para discutir degradação ambiental e conservação de recursos naturais é necessário abordar um importante tema, a fragmentação de habitats. A fragmentação é o processo onde uma grande extensão de habitat é subdividida em um número de fragmentos menores, que apresentam menor área total e estão isolados um do outro (Wilcove et al. 1986). A destruição e a fragmentação de habitats são consideradas as principais ameaças à biodiversidade global (Wilcox & Murphy 1985, Wilcove et al. 1986, Quinn & Harrison 1988, Baur & Erhardt 1995), pois causam mudanças drásticas na geometria e atributos da paisagem alterando o microclima do habitat, expondo organismos à insolação, ventos e dessecação (Lovejoy et al. 1986), alterando dessa forma a dinâmica, composição, estrutura e interações da comunidade.

¹Saramago, J. 1986. A bagagem do viajante - As terras. 2ª Ed., Lisboa: Editorial Caminho. 244p.

Apesar de constituir uma unidade de conservação do grupo de uso sustentável ARIE (Área de Relevante Interesse Ecológico), a Mata de Santa Genebra encontra-se bastante impactada. Situada em área urbana, ao noroeste do município de Campinas - SP, dentro do Distrito de Barão Geraldo, é limitada pelas coordenadas UTM 7.472.950 m a 7.473. 253 m N e 284.078 m a 283.665 m E (Fig. 1). É também conhecida como o maior remanescente de Mata Atlântica do município de Campinas (252 ha.) e constitui a maior área contínua de vegetação nativa da região, sendo o maior remanescente de Mata Atlântica de Campinas e a segunda maior floresta urbana do país, depois da Floresta da Tijuca (RJ) (Morellato & Leitão-Filho 1995).

A Mata de Santa Genebra contém um fragmento de floresta higrófila formado por pequenos cursos d'água e lagoas rasas constituindo um ambiente flúvio-paludícola onde os processos geomorfológicos estão estreitamente ligados ao regime hídrico. No passado, esses fragmentos de floresta higrófila fizeram parte de um maciço contínuo de vegetação, que permitia o livre acesso da fauna da Mata aos mananciais que existem no fundo do vale, um rico complexo palustre de matas, brejos e pequenos lagos. Florestas higrófilas são formações ribeirinhas caracterizadas por ocorrerem em solo permanentemente encharcado e restrito a pequenos fragmentos junto a outros tipos vegetacionais. Também é conhecida como "Mata de brejo" (Leitão-Filho 1995) ou "floresta estacional semidecidual ribeirinha com influência fluvial permanente" (Marques et al. 2003).

No Estado de São Paulo as formações ribeirinhas encontram-se extremamente degradadas, situação essa causada principalmente pelo avanço das áreas de exploração agrícola (Marques et al. 2003).

Na área em estudo a situação não é diferente. A vegetação original deste ambiente palustre constitui-se em floresta higrófila, em possível associação ou não com campos

higrófilos. Porém, a maior parte dessa vegetação nativa, foi substituída por gramíneas plantadas para alimentação de gado, como por exemplo, o capim napier (*Pennisetum purpureum*), por gramíneas espontâneas, como por exemplo, o colonião (*Panicum maximum*), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no entorno e por taboas (*Typha domingensis* Pers.) nas áreas palustres (Coelho & Chiba 2006). As espécies vegetais encontradas nesses ambientes cujos solos ficam permanentemente úmidos ou alagados são chamadas de macrófitas aquáticas.

O fato da Mata de Santa Genebra localizar-se na transição entre as áreas urbana e rural e por ser limítrofe a loteamentos residenciais, ao maior entreposto da agroindústria do interior do estado de São Paulo (CEASA) e a diversos tipos de cultivos de monocultura (milho, cana, soja) torna-a suscetível aos impactos causados pela pressão da urbanização e agricultura local. A presença desses cultivos contribuiu para o processo de desflorestamento, impactando o ambiente, seus recursos hídricos e o solo.

OCORRÊNCIA DE METAIS NO AMBIENTE

O termo elemento-traço tem sido usado para definir metais e oxianions que normalmente ocorrem em baixas concentrações na crosta terrestre, inferiores a 1 g/kg ou 0,1% (Pierzynski 1994, Sparks 2003). Alguns autores também utilizam o termo elementos-traço para certos elementos como o Al, Fe e Ti, que, embora se apresentem em baixas concentrações em água, ocorrem em altas concentrações na litosfera, sobretudo em ecossistemas tropicais (Kabata-Pendias & Pendias 2001, Sparks 2003, Guilherme et al. 2005). Observa-se, porém, que o termo elementos-traço representa uma faixa de concentração de elementos presentes na crosta terrestre e o uso desta terminologia muitas vezes é empregado erroneamente na tentativa de se referir a um conjunto de elementos de importância ambiental. Recentemente este termo tem sido preferido em diversas

publicações científicas que tratam do assunto (Kabata-Pendias & Pendias 2001, Sparks 2003) em substituição a *metal pesado* termo que não foi definido por nenhum órgão oficial, como por exemplo, a IUPAC (Guilherme et al. 2005).

Apesar da abrangência da definição do termo, grande parte da literatura científica utiliza-se da expressão “metais pesados” para tratar os elementos que causam maiores preocupações ambientais (Andrade et al. 2007). No presente trabalho adotou-se o termo “*metais*” embora a abrangência de elementos estudados estenda-se também a não metais.

Segundo Guilherme et al. (2005), com os problemas ambientais crescentes, decorrentes da contaminação por metais, a partir de 1970 começaram a surgir artigos relacionando esses elementos à poluição ambiental, sendo exemplo disso o artigo de Alloway & Davies (1971), no qual são discutidos os resultado da avaliação de solos em uma área de mineração contaminada com Pb, Cd, Zn e Cu e que, segundo os autores, era a fonte de intoxicação de animais e plantas.

A produção de resíduos domésticos, industriais e agrícolas tem gerado diversos problemas, pois ocasionam a eutrofização de ambientes aquáticos, aumentam a carga dos sedimentos depositados, bem como a concentração de metais e outros elementos tóxicos na água e no solo. A poluição dos sistemas aquáticos por elementos-traço é um importante fator que afeta tanto o ciclo geoquímico desses elementos quanto à qualidade ambiental. Entretanto, nos últimos anos, especialmente na década de 1990, a poluição do solo por esses elementos tem merecido especial atenção, reconhecida mundialmente como um problema que pode representar sérios riscos à saúde humana e à qualidade do ambiente (Kabata-Pendias & Pendias 2001, Guilherme et al. 2005).

Os metais estão presentes naturalmente em solos e em sistemas aquáticos superficiais e subsuperficiais mesmo que não haja perturbação antrópica do ambiente, e o aumento em sua concentração pode ocorrer tanto em razão de processos naturais quanto por atividades antropogênicas (Accioly & Siqueira 2000). Os processos naturais que contribuem para o aparecimento de metais nos sistemas aquáticos são o intemperismo de rochas e a lixiviação no perfil do solo, enquanto as fontes antrópicas estão associadas, principalmente, a atividades de mineração (carvão e jazidas minerais) e industriais, agrícolas, além da geração de efluentes domésticos (Alloway 1995; Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Gimeno-Garcia et al. (1996) estudaram a incidência de metais, como impureza de fertilizantes e pesticidas aplicados aos solos agrícolas, tendo encontrado que as adições mais significativas foram de Mn, Zn, Cu e Pb. Tais metais fazem parte dos componentes ativos de vários agrotóxicos, sendo que o uso de sais de Zn, arsenatos de Cu e de Pb e compostos organometálicos elevam os níveis de contaminação dos solos por esses elementos. Portanto, o acúmulo de metais em solos agrícolas é frequentemente causado pelo uso repetido e excessivo de fertilizantes, pesticidas e resíduos orgânicos (Gimeno-Garcia 1996; Kabata-Pendias & Pendias 2001, Guilherme et al. 2005).

Apesar da existência de locais onde os teores de metais são naturalmente elevados, é principalmente a influência antrópica a responsável por danos ambientais relacionados à presença desses elementos. Após o advento da Revolução Industrial, esses danos foram ampliados especialmente porque vários destes elementos passaram a participar das diferentes fases dos processos de produção ou dos produtos finais das indústrias. Dessa forma, em algum momento do ciclo produtivo, no transporte, durante o uso ou no descarte final dos produtos pode ocorrer direta ou indiretamente a poluição do solo (Andrade et al. 2007).

Alguns metais têm funções ambientais importantes afetando substancialmente a nutrição das plantas e conseqüentemente a saúde humana. A aplicação de micronutrientes no solo, necessária para que se tenha uma produção agrícola contínua, enfatiza o papel do homem como principal ator de transformações biogeoquímicas na ciclagem destes elementos. Desta forma, entender o comportamento geoquímico dos metais nos solos e seu acúmulo pelas plantas é fundamental para tomada de decisões referentes ao manejo e nas definições de política públicas que envolvam a qualidade ambiental (Oliveira 2002).

BIOACUMULAÇÃO DE METAIS POR ESPÉCIES VEGETAIS

Organismos vivos, como algumas espécies de animais e plantas de um ecossistema, podem acumular metais devido à característica de adaptabilidade dos mesmos às variações químicas do ambiente (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Desta forma, tais organismos vivos podem ser utilizados como bioindicadores para informar a qualidade do ambiente ou como biomonitores para quantificar o acúmulo de elementos (Markert, 1993). O biomonitoramento de poluentes utilizando espécies acumuladoras baseia-se na capacidade que organismos vegetais ou animais possuem em acumular grandes quantidades de elementos poluentes, mesmo a partir de soluções bastante diluídas e sem efeitos nocivos aparentes. Desta forma pode-se avaliar a biodisponibilidade de poluentes em determinado ambiente.

Segundo Ravera (2003), macrófitas aquáticas são consideradas excelentes indicadores de poluição ambiental em ambientes aquáticos uma vez que concentram grandes quantidades de diferentes elementos químicos presentes no meio onde se encontram. As espécies de macrófitas exercem um importante papel na geoquímica dos ambientes aquáticos em virtude do transporte ativo e passivo de elementos. Elas podem absorver

metais do solo e sedimentos através das suas raízes ou rizomas que é o fenômeno denominado fitoacumulação (Bose et al. 2008).

As espécies vegetais metalófilas conseguem sobreviver em locais que contêm elevados teores de elementos tóxicos, porque toleram a presença excessiva destes, embora não sejam capazes de anular a sua toxidez. A tolerância é caracterizada pela capacidade relativa de absorver, translocar e concentrar metais. Assim as plantas podem ser consideradas como acumuladoras, indicadoras e excludoras, de acordo com as concentrações relativas dos metais presentes na raiz e parte aérea. As espécies tolerantes geralmente acumulam maiores concentrações de metais pesados na raiz em relação à parte aérea. Isso indica que as plantas que crescem em áreas poluídas, não conseguem evitar a absorção dos metais, mas limitam sua translocação (Andrade et al. 2007).

Mishra et al. (2008) realizaram um estudo experimental com macrófitas aquáticas de ocorrência natural (*Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhiza*) para verificar o potencial dessas espécies na fitorremediação de arsênio e mercúrio em área de mineração de carvão. Os autores observaram uma correlação entre a remoção destes elementos do ambiente com o acúmulo dos mesmos nas plantas e constataram que tais macrófitas são altamente eficientes na remoção de As e Hg, acumulando-os nas raízes, e apresentando, portanto um bom potencial como fitorremediadoras para esses elementos.

A macrófita aquática *Typha* sp têm sido objeto de várias pesquisas nos últimos anos. A sua capacidade de acumular elementos-traço possibilitou estudos como, por exemplo, no tratamento de efluentes da indústria de reciclagem de plásticos (Gondim, 2007) onde a espécie *Typha dominguensis* Pers. foi utilizada em leitos cultivados e obteve-se boas porcentagens na remoção amônia (52%), nitrato (47%) e para os metais Cd (72%), Pb

(89,8%), Cu (82%), Cr (82,7%) e Zn (74%) comprovando a eficiência da espécie como fitorremediadora neste processo.

Groudev et al. (2008), estudaram durante 10 anos áreas palustres (wetlands) naturais e construídas visando verificar a eficiência das espécies vegetais ali presentes, dentre elas uma espécie de *Typha*, na remoção de poluentes originários da drenagem ácida de mina de urânio. Apresentaram maior concentração de metais e urânio nas raízes as espécies vegetais que cresceram em ambientes com a água contaminada proveniente da mina. Foi comprovada a eficácia do sistema para o tratamento de águas residuais da drenagem ácida de mina de urânio e *Typha* foi a espécie que apresentou as maiores concentrações de metais com valores máximos para Mn (325mg/kg), Zn (225mg/kg), Cu (194mg/kg), Ni (100mg/kg).

Em estudo realizado por Freitas et al. (2007) em drenagem ácida de minas de carvão, os autores observaram a capacidade de *Typha dominguensis* Pers. em acumular Cu nas raízes e Zn nas folhas e raízes, concluindo que a espécie pode ser utilizada na fitoextração destes elementos.

De modo geral, diferentes espécies de *Typha* vêm sendo utilizadas em estudos de biomonitoramento ambiental em diversos lugares do mundo (Goulet & Pick 2000, Freitas et al. 2007, Martins et al. 2007, Almeida et al. 2007, Bose et al. 2008). O sucesso do tratamento empregando macrófitas aquáticas vai além do baixo custo pois a biomassa vegetal proveniente da fitorremediação pode ser reciclada para diferentes fins, dependendo do ambiente em que foi realizado tal processo, sendo utilizada como fertilizante, ração animal, geração de energia (biogás ou queima direta), fabricação de papel, extração de proteínas para o uso em rações, extração de substâncias quimicamente ativas de suas raízes para uso como estimulante de crescimento de plantas, etc (Glass 1998).

REFERÊNCIAS

- Accioly, A M.A.; Siqueira; J.O. 2002. Contaminação química e biorremediação do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*. **1**: 299-351p.
- Almeida, R.A; Oliveira, L.F.C; Kliemann, H.J. 2007. Deformação em inflorescência de taboa (*Typha angustifolia* L.) submetida a esgoto sanitário. *Pesq Agropec Trop* **37(2)**: 125-129.
- Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soils. 2nd ed.: Blackie & Academy Professional, 368p
- Alloway, B.J. & Davies, B.E. 1971. Trace element content of soils affected by base metal mining in Wales. *Geoderma*, **5**:197-208.
- Andrade, J.C.M; Tavares, S.R.L; Mahler, C.F. 2007. Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental. Oficina de textos. 176p.
- Baur, B. & Erhardt, A. 1995. Habitat fragmentation and habitat alterations: principal threats to most animal and plant species. *Gaia*. **4**: 221-226.
- Bose, S; Vedamati, J.; Rai, V.; Ramanathan, A.L. 2008. Metal uptake and transport by *Typha angustata* L. grown on metal contaminated waste amended soil: An implication of phytoremediation. *Geoderma*. **145**: 136-142.
- Coelho, R.M., Chiba, M.K. 2006. Levantamento detalhado de solos da Área de Bens Naturais, Fragmentos “C” e “D”, em Campinas, S.P - Relatório técnico - Centro de Solos e Recursos Ambientais Instituto Agronômico Campinas – S.P.
- Futada S. M. 2007. *Fragmentos remanescentes da bacia do ribeirão das Anhumas (Campinas-SP): evolução e contexto*. Dissertação de mestrado, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, 220p.
- Freitas, M.; Zocche, J.J.; Esemann, J.Q. 2007. Metais Pesados (Mn e Zn) em *Typha domingensis* Pers. em Áreas de Mineração de Carvão. *Revista Brasileira de Biociências*, **5(1)**: 789-791.

- Glass, D.J. 2000. "Economic Potential of Phytoremediation", in "*Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-Up the Environment*", B. Ensley & I. Raskin, eds., John Wiley & Sons, 15-31.
- Gimeno-Garcia, E.; Andreu, V.; Boluda, R. 1996. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental Pollution*, **92 (1)**: 19-25.
- Gondim, J.A. 2007. *Tratamento de efluente de indústria recicladora de plásticos utilizando reator anaeróbio compartimentado e leitos cultivados*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia agrícola, Unicamp. 286p.
- Goulet, R. & Pick, F. R. 2001. The effects of cattails (*Typha latifolia* L.) on concentrations and partitioning of metals in surficial sediments of surface-flow constructed wetlands. *Water, Air, and Soil Pollution*. **132**: 275–291.
- Groudev, S., Georgiev, P.; Spasova, I.; Nicolova, M. 2008. Bioremediation of acid mine drainage in a uranium deposit, *Hydrometallurgy*, **94**: 93-99.
- Guilherme, L.R.G; Marques, J.J.; Pierangeli, M.A.P; Zuliani, D.Q.; Campos, M.L.; Marques, G. 2005. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos Ci. Solo*, **(4)**: 345-390.
- Lovejoy, T. E., Bierregard Jr., R. O., Rylands, A. B., Malcolm, J. R., Quintela, C. E., Harper, L. H., Brown Jr., K. S., Powell, A. H., Powell, G. V. N., Schubart, H. O. R. & Hays, M. B., 1986, Edge and other effects of isolation on amazon forest fragments, pp. 257-285. In: M. E. Soulé (ed.), *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer, Sunderland.
- Kabata-Pendias, A & Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3^a ed. Boca Raton: CRC. Press. 413p.

- Markert, B. 1993. Plants as Biomonitors: Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment. Weinheim: VCH- Verlagsgesellschaftmbh, 645p.
- Marques, M. C. M., Silva, S. M., Salino, A. 2003. Florística e estrutura do componente arbustivo-arbóreo de uma floresta higrófila da bacia do rio Jacaré-Pepira, SP, Brasil. *Acta Bot. Bras.*, **17(4)**: 495-506.
- Martins, A.P.L.; Reissmann, C.B.; Favaretto, N.; Boeger, M.R.T.; Oliveira, E.B. 2007. Capacidade da *Typha dominguensis* Pers na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí – Paraná. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, **11(3)**: 324–330.
- Mishra, V.K.; Upadhyay, A.R.; Pathak, V.; Tripathi, B.D. 2008. Phytoremediation of Mercury and Arsenic from Tropical Opencast Coalmine Effluent Through Naturally Occurring Aquatic Macrophytes. *Water Air Soil Pollut.* **192**:303–31.
- Morellato P.C. & Leitão-Filho, H.F. 1995. Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra. Campinas, Editora da Unicamp. 136 p.
- Oliveira, R.C. 2002. *Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solo tratado com resíduo-calcário*. Dissertação de mestrado em solos e nutrição mineral de plantas. Universidade Federal de Lavras. 85p.
- Pierzynski, G.M.; Sims, J.T.; Vance, G.F.;. 1994. Soil and environmental quality. Boca Raton: Lewis Publishers, 313p.
- Quinn, J.F. & Harrison, S.P. 1988. Effects of habitat fragmentation and isolation on species richness: evidence from biogeographic patterns. *OECOLOGIA.*; **75**: 132-140.
- Ravera, O.; Cenci, R.; Beone, G. M; Dantas, M.; Lodigiani, P. 2003. Trace element concentrations in freshwater mussels and macrophytes as related to those in their environment. *J. Limnol.*, **62(1)**: 61-70.
- Sparks, D.L. 2003. Environmental soil chemistry. 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA.

Wilcove, D.S., Mclellan, C.H.; Dobson, A.P. 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: Soulé, M.S. (ed.) Conservation biology. Sunderland: Sinauer Associates. 237-256.

Wilcoux, B.A. & Murphy, D.D. 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *American Naturalis*. **125**: 879-887.

**GEOQUÍMICA DE ÁGUA SUPERFICIAL, SOLO E *Typha dominguensis* Pers. DE UM
FRAGMENTO DE FLORESTA HIGRÓFILA NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

RESUMO

As florestas higrófilas são formações ribeirinhas que ocorrem em solo permanentemente encharcado desempenhando importante papel na proteção de mananciais. Na região mais industrializada do país tais formações encontram-se freqüentemente degradadas como resultado do avanço das áreas de exploração agrícola, indústria e urbanização. Esse cenário ocorre no entorno da Mata Santa Genebra, localizada no Estado de São Paulo. Nessa área, que apresenta um histórico uso de agroquímicos em vários tipos de culturas, incluindo cana-de-açúcar, implantação de indústrias e acelerado processo de urbanização, alterações químicas do solo e das águas naturais são esperadas. Este trabalho foi realizado com o objetivo de averiguar os prováveis impactos causados pela agricultura e urbanização em água superficial e solo de fragmentos de floresta higrófila da Mata Santa Genebra. Nos mesmos locais pesquisados foram coletadas amostras de taboa (*Typha dominguensis* Pers.), uma espécie vegetal nativa desse ambiente, com o intuito de observar atuação dessa espécie como bioindicadora e fitoacumuladora de metais. Amostras de água, solo, planta foram coletadas em período de estiagem (setembro 2008) e de chuvas (março 2009). Os parâmetros de qualidade de água foram medidos in situ e a composição química determinada por cromatografia iônica e ICP-MS. As amostras de solo foram analisadas por espectrometria de fluorescência de raios X e as plantas por ICP-MS. A água superficial apresentou pH no intervalo 5,1-6,4 e Eh variando de 79 a 462 mV exibindo baixas concentrações de oxigênio dissolvido. A maioria das amostras foi classificada como água bicarbonatada sódico-potássica e apenas as concentrações PO_4^{3-} P (até 0,18 mg/L), Fe (até 5,1 mg/L) e Mn (184 $\mu\text{g/L}$) mostraram-se superiores aos limites regulamentados. As amostras de solo apresentaram pH ácido (4,5-5,5), teor de MO no intervalo 4 a 17% e concentrações excessivas de Ba (95 a 317 mg/kg), Cu (189 a 416 mg/kg) e V (184 a 381 mg/kg) quando comparadas aos valores de referência localmente aceitos. As concentrações da maioria dos metais em água e solo refletem a geoquímica do ambiente e podem ser usadas na avaliação de qualidade ambiental na região. Os metais que apresentaram as concentrações mais altas em planta foram Ba, Sr, Zn, Mn, Cu, V e Pb, especialmente nas raízes, exceto o Mn com acumulação maior nas folhas. Com base nos valores de enriquecimento dos metais em planta em relação ao solo e água foi possível comprovar a eficiência da *Typha dominguensis* Pers. como bioindicadora para os metais estudados, com destaque para o acúmulo de vanádio pelas raízes indicando o potencial da espécie como fitoacumuladora para tal elemento mesmo em baixas concentrações no ambiente. Estes resultados esclarecem também o papel dessa espécie na reciclagem de elementos no ecossistema onde se insere.

Palavras chave: Floresta higrófila, *Typha dominguensis* Pers., fitorremediação, Mata Santa Genebra.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico, econômico, agroindustrial e a crescente urbanização proporcionaram além de conforto e bem estar o surgimento de diversos problemas ambientais relacionados à contaminação de recursos naturais por despejos industriais e domésticos, contaminações por agrotóxicos, defensivos agrícolas, além das deposições atmosféricas provenientes da queima de combustíveis fósseis, entre outros. O cuidado com a qualidade de vida e a busca por uso racional dos recursos naturais na sociedade moderna trouxeram à tona a preocupação com a contaminação do solo e sistemas aquáticos que podem representar além de danos ambientais, problemas à saúde humana.

O crescente interesse nos estudos sobre contaminações por metais mesmo em baixas concentrações no ambiente servem de alerta para prevenir danos aos organismos vivos. Alguns desses elementos são considerados essenciais do ponto de vista biológico, porém, mesmo aqueles essenciais, sob condições específicas, podem causar impactos negativos a ecossistemas terrestres e aquáticos, constituindo-se assim, em contaminantes ou poluentes de solo e água. Elementos como Mo, Cu, Cr, Co que são micronutrientes essenciais para as plantas, são considerados tóxicos em concentrações elevadas, ao contrário dos elementos Ni, V, W, As, Hg, Ag, Sb, Cd, Pb e U que são elementos tóxicos aos organismos vivos mesmo em baixas concentrações (Guilherme et al. 2005).

A maior parte dos elementos químicos ocorre naturalmente nos solos e a concentração dos mesmos no solo e na água depende de inúmeras variáveis, dentre elas, a constituição química das rochas de origem e das deposições atmosféricas. A disponibilidade desses elementos às plantas bem como o nível de toxicidade depende da forma química dos mesmos, das interações solo-planta, água-planta e das atividades microbianas (Carranza-Álvarez et al. 2008).

Os organismos de um ecossistema como diversas espécies de plantas, podem acumular elementos químicos especialmente metais pesados devido à característica de adaptabilidade às variações químicas do ambiente (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Assim, esses organismos podem ser utilizados como bioindicadores ou biomonitores para informar a qualidade do ambiente (Markert 1993).

O biomonitoramento de poluentes utilizando espécies acumuladoras baseia-se na capacidade de organismos vegetais ou animais de acumular grandes quantidades de elementos poluentes, mesmo a partir de soluções bastante diluídas e sem efeitos nocivos aparentes. Segundo Ravera (2003), macrófitas aquáticas são consideradas excelentes indicadores de poluição ambiental em ambientes aquáticos uma vez que concentram grandes quantidades de diferentes elementos químicos presentes no meio onde se encontram.

A macrófita aquática *Typha* sp. tem sido objeto de vários estudos nos últimos anos. A capacidade dessa planta de acumular elementos-traço possibilitou sua utilização como fitorremediadora em diferentes áreas, como por exemplo, no tratamento de efluentes da indústria de reciclagem de plásticos (Gondim, 2007), no de drenagem ácida de minas de urânio (Groudev et al. 2008) e carvão (Freitas et al. 2007) e no biomonitoramento ambiental em diferentes lugares do mundo (Goulet & Pick 2001, Freitas et al. 2007, Martins et al. 2007, Almeida et al. 2007, Bose et al. 2008, Alonso-Castro et al. 2009).

Essa planta é comum nas áreas de floresta higrófila fazendo parte da Mata Santa Genebra que constitui o maior remanescente de Mata Atlântica da região e a segunda maior floresta urbana do país, depois de Floresta da Tijuca (RJ). É uma unidade de conservação do grupo de uso sustentável, categoria Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), e está situada em área urbana, ao noroeste do município de Campinas. Nas áreas úmidas, a

maior parte da vegetação nativa foi substituída por gramíneas espontâneas ou plantada, como o capim napier (*Pennisetum purpureum*) e colonião (*Panicum maximum*), por taboas (*Typha dominguensis* Pers) e pelo cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no entorno (Coelho & Chiba 2006).

O presente estudo contemplou estudos geoquímicos de água superficial, solo e planta com o objetivo de avaliar prováveis interferências antrópicas no ecossistema. Exemplares de *Typha dominguensis* Pers. também foram analisados para testar a eficiência dessa espécie como bioindicadora de metais e fitoacumuladora em seu habitat natural.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Esta pesquisa foi realizada na área de floresta higrófila contígua à Mata de Santa Genebra, conhecida como o maior remanescente de Mata Atlântica do município de Campinas (252 ha.), Estado de São Paulo, Brasil. Essa área é limitada pelas coordenadas UTM 7.472.950 a 7.473. 253 N e 284.078 a 283.665 W (Figura 1). O clima dominante é mesotérmico de inverno seco (Coelho & Chiba 2006).

O local constitui uma área de transição onde ocorrem diabásios cinza-escuros e gnaisses indiferenciados (Instituto Geológico 1993). Os solos situam-se numa planície fluvial com acentuada influência do lençol d'água. Segundo o mapa pedológico do município de Campinas (Coelho et al. 2008), o solo da área em estudo classifica-se como complexo de organossolos e gleissolos ambos háplicos e ocorrem normalmente em áreas baixas de várzeas, depressões e locais de surgências, sob vegetação higrófila, quer do tipo campestre ou florestal. O forte hidromorfismo, devido ao lençol freático permanecer elevado em grande parte do ano, favorece a ocorrência de condições anaeróbicas que limitam o processo de decomposição da matéria orgânica e o desenvolvimento

pedogenético resultando na acumulação expressiva de restos vegetais (Coelho & Chiba 2006).

Amostragem e análises químicas de água, solo e planta

As amostras de água, solo e *Typha domingensis* Pers foram coletadas em cinco pontos nas áreas semi-alagadas dos fragmentos de floresta higrófila (Reserva Mata de Santa Genebra, Fig. 1) em duas ocasiões, uma no período de estiagem (setembro/2008) e outra no período de chuvas (março/2009). As médias dos últimos dez anos relativas a precipitação e temperatura para a região de Campinas foram, 162,3 mm e 24,7 °C para março e 59,5 mm e 21,8 °C para setembro, consideradas normais para o período.

Os parâmetros de qualidade de água (pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais dissolvidos e Eh) foram medidos *in situ* no ato da coleta de amostras. Os valores de Eh medidos com eletrodo de Ag:AgCl combinado de platina e foram recalculados para o potencial padrão do hidrogênio (*Standard Hydrogen Electrode - SHE*), segundo procedimento sugerido por Nordstrom & Wilde (2005). A alcalinidade das águas foi determinada por titulação com HCl a 0,009 mol/L com indicador verde de bromocresol e vermelho de metila.

As amostras de água foram filtradas em membrana de acetato de celulose (0,45 µm) e separadas em duas alíquotas, uma para análise de elementos maiores por cromatografia iônica (Dionex, ICS 2500) e outra, estabilizada com HNO₃ Merck® suprapuro (1% v/v), para análise de elementos-traço por espectrometria de massa com fonte de plasma acoplado ICP-MS – X series II- Thermo que possui uma cela de colisão (CCT, Collision Cell Technology) para atenuação de interferentes poliatômicos, conforme descrito em Cotta & Enzweiler (2009).

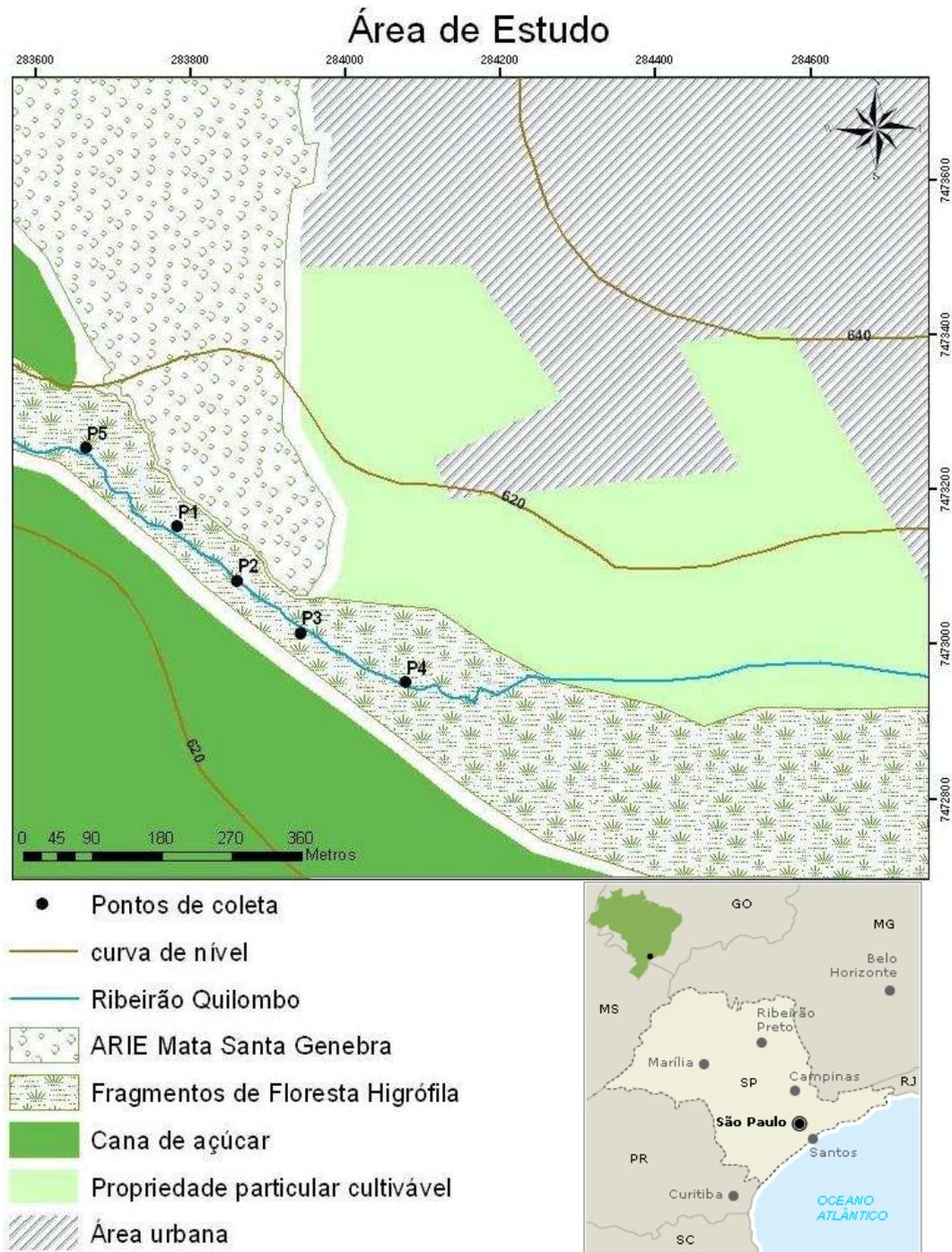


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e pontos de amostragem.

As amostras de solo foram coletadas a profundidades de até 20 cm, foram secas à temperatura ambiente, fragmentadas e homogeneizadas manualmente e peneiradas. A fração granulométrica inferior a 177 µm foi moída em moínho planetário com potes e bolas de ágata para a preparação de pastilhas prensadas (9,0 g da amostra de solo com 1,5 g de cera) e análise de elementos maiores e traço por espectrometria fluorescência de raios X (PW2404, Philips, com tubo de ródio) (Zambello & Enzweiler 2002).

O teor de matéria orgânica no solo (MO) foi determinado pelo método de Walkey & Black, adaptado pela EMBRAPA (1997). Neste método o carbono do solo é oxidado por uma solução ($K_2Cr_2O_7^{2-}$ em meio ácido, H_2SO_4 concentrado) oxidante. A titulação do dicromato de potássio é feita com uma solução de ferro reduzido ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) em meio ácido, empregando-se como indicador difenilamina. A partir desta titulação obtêm-se os valores em porcentagem para carbono orgânico (CO) que servirão de base para o cálculo da porcentagem de MO por meio da fórmula abaixo:

$$MO = \%CO \times 1,724, \text{ onde } 1,724 \text{ é o fator de correção de Van Bermmelen.}$$

Os valores de pH do solo foram medidos pelo método de pH em água (EMBRAPA 1997). Cerca de 10g de amostra seca e peneirada (177 µm) foi dissolvida em 25 mL de água desionizada, homogeneizada com bastão de vidro e deixada em repouso por uma hora. Após repouso foi novamente agitada e inserido o eletrodo na solução para realização da leitura.

As amostras de *Typha dominguensis* Pers. foram coletadas em duplicatas nos mesmos locais de coleta de água e solo. Uma das amostras foi utilizada para a confecção de exsiccatas necessárias na identificação da espécie. A outra, utilizada para análise de elementos-traço, foi lavada em água corrente e água desionizada. Após congelamento, o

material vegetal foi liofilizado por 72 h (Padaki 1992). As folhas e o rizoma foram triturados manualmente e enviados separadamente para análise química no *Acme Analytical Laboratories*, Vancouver/Canadá. Para a determinação dos elementos-traço uma alíquota de 1 g de amostra seca e peneirada (fração <177 µm) foi digerida inicialmente em ácido nítrico concentrado a frio por uma hora e em banho aquecido por mais uma hora adicional. Após o resfriamento foi adicionada água régia (3:1 HNO₃-HCl) e água desionizada até completar o volume de 6 mg/L. As amostras, então, foram acondicionadas em tubos de teste, aquecidas em banho a 95°C por duas horas. Após o resfriamento foram filtradas e posteriormente analisadas via ICP-MS (Perkim Elmer Elan 9000).

O controle de qualidade analítica foi assegurado pela análise de brancos, de amostras em replicatas e de materiais de referência certificados. Foi realizado o balanço iônico para os cátions e ânions maiores obtidos por cromatografia registrando porcentagens de eletroneutralidade que variaram de - 2,93% a 5,8% na primeira coleta e -3,29% a 3,61% na segunda. Foram utilizados os materiais certificados SRM 1640, SRM 1643e (Trace Elements in Water) e SLRS-4 (River Water Reference Material) nas análises de água por ICP-MS e os materiais GSS-2 e GSS-5 (stream sediments and a soil, IGGE, China) nas análises das amostras de solo. Para as amostras vegetais os materiais de referência utilizados pelo *Acme Analytical Laboratories* foram STD V14 e STD V16 que consistem em materiais internos utilizados pelo laboratório e que são certificados pela empresa British Columbia Certified Assayer.

Tratamento dos dados

Os resultados obtidos nas análises químicas de água, solo e *Typha dominguensis* Pers. foram tratados por estatística elementar (média, desvio padrão, coeficiente de variação,

matrizes de correlação) para permitir uma melhor análise dos dados. Os dados de composição química de água para os íons maiores foram processados pelo programa GW-CHART visando à elaboração de diagrama de Piper usado para classificação de águas.

Para as concentrações de metais em planta foram calculados o fator concentração (FC) e índice de translocação (IT) dos elementos. Segundo Salisbury & Ross (1992) o fator de concentração é a razão da concentração dos elementos na planta (folhas e raízes) em relação ao ambiente (solo e água). Os valores de IT indicam o movimento ou a transferência do íon, do local de absorção na raiz para outro ponto qualquer, dentro ou fora da raiz (Malavolta et al. 1997), portanto, o IT é representado pela porcentagem da quantidade total absorvida que foi transferida para a parte aérea da planta (Abichequer & Bohnen, 1998), como indicado na equação:

$$IT = 100 \times \left(\frac{\text{concentração dos elementos nas folhas}}{\text{concentração dos elementos na planta}} \right)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição química de água e solo

Na Tabela 1 constam os parâmetros físico-químicos e composições químicas das amostras de água superficial. A água é ácida e oxidante (período seco, temperatura média de 18°C) a levemente ácida (período chuvoso, temperatura média de 27°C) com pH variando de 5,16 a 6,44 e Eh entre 79 a 462 mV. Observa-se que as concentrações de oxigênio dissolvido são baixas (0,45 a 3,5 mg/L) e devem refletir as características de ambiente lântico, cujas águas apresentam-se estagnadas. Os valores obtidos para TDS variaram de 0,01 a 0,1 mg/L e para turbidez de 10 a 75 UNT. A alcalinidade (HCO_3^-) das

amostras de água variou no intervalo de aproximadamente 12 a 97 mg/L. A condutividade variou de 10 a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos e composição química de água superficial

	P 01		P 02		P 03		P 04		P 05		Conama	LD
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)		
pH	5,15	6,42	5,16	6,4	5,26	6,22	5,15	6,3	5,16	6,44	6 a 9	
cond. ($\mu\text{S}/\text{m}$)	80	180	70	70	10	20	90	110	80	130	-	
turb. (NTU)	41	10	10	10	75	17	48	20	66	10	< 40 UNT	
OD (mg/L)	0,45	0,82	2,1	1,87	3,5	2,51	1,5	0,45	0,66	0,83	> 6	
TDS (mg/L)	0,05	0,1	0,04	0,04	0,01	0,01	0,06	0,07	0,05	0,08	500 mg/L	
Eh (mV)	189	79	222	172	462	457	213	185	225	114	-	
HCO₃⁻ (mg/L)	63,7	96,95	79,95	35,1	12,5	15,15	68,7	95,4	58,6	93		
mg/L												
F⁻	0,12	0,17	0,08	0,07	<0,03	0,03	0,13	0,17	0,11	0,18	1,4	0,03
Cl⁻	7,4	12,1	21,8	11,3	1	1,2	9,9	12,4	6,7	12,3	250	0,02
SO₄²⁻	0,55	1,1	3,3	2,5	0,18	0,16	1,2	3,5	0,84	1,6	250	0,01
NO₃⁻-N	<0,02	0,02	0,17	0,01	0,07	<0,02	<0,02	0,06	<0,02	0,02	10	0,02
PO₄³⁻-P	0,06	0,16	0,4	0,07	<0,02	<0,02	0,04	0,11	<0,02	0,18	0,02	0,02
Na⁺	14,6	17,9	17	9,3	2,1	2,3	17,4	19,2	14,6	18,9	-	0,02
NH₄⁺	1	2,3	1	0,06	<0,05	<0,05	2	2,6	0,85	2,3	3,7	0,05
K⁺	2,2	5,4	32,1	8,9	0,13	0,56	2,9	5	1,9	4,9	-	0,05
Mg²⁺	2	2,9	3,4	1,7	0,79	0,85	2,2	3	1,9	2,9	-	0,03
Ca²⁺	7,4	11,6	8,7	5,2	1,3	1,7	8,3	11,8	7,1	11,3	-	0,05

P 01 a P 05 refere-se aos pontos de amostragem, os números entre parentes referem-se às datas da amostragem: **(1)** 01/09/2008 e **(2)** 11/03/2009; **LD** refere-se ao limite de detecção do instrumento analítico.

Foram calculadas as médias de ambas campanhas de amostragem para a classificação das águas pelo diagrama de Piper (Figura 2). As águas classificaram-se como bicarbonatadas sódico-potássicas, exceto a amostra P 03, que foi classificada como bicarbonatada mista. Os dados de composição química da água foram comparados à Resolução Federal do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA 357/2005 (classe I especial) que trata da qualidade de corpos hídricos superficiais destinados à preservação

do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Os íons que apresentaram maiores concentrações foram Na^+ (19,2 mg/L), Ca^{2+} (11,8 mg/L) e PO_4^{3-} P (0,18 mg/L) em todos os pontos amostrados exceto para o ponto P 03 que apresentou baixas concentrações para todos os elementos analisados. Por diferirem tanto nos parâmetros físico-químicos quanto na composição química, as amostras do ponto P 03 podem representar águas provenientes de uma nascente o que justificaria os baixos valores de condutividade, as baixas concentrações de elementos maiores, de metais e a sua classificação diferenciada pelo diagrama de Piper.

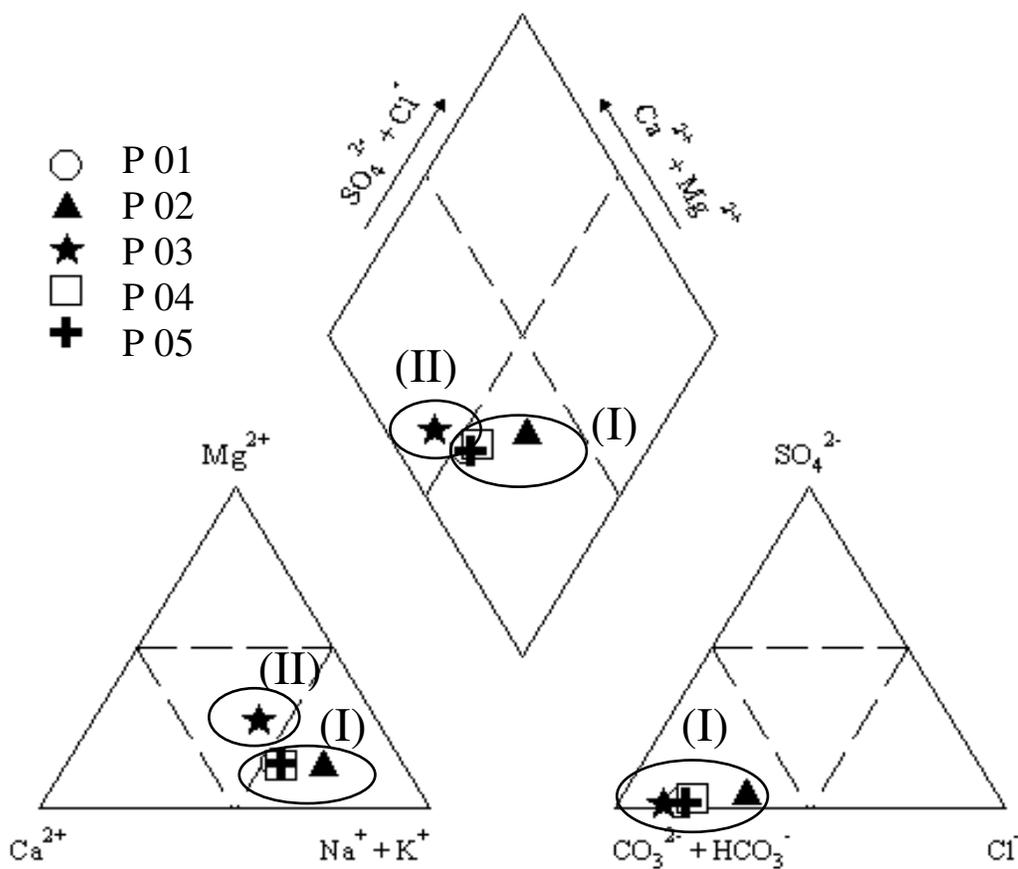


Figura 2 – Classificação das águas superficiais pelo Diagrama de Piper, (I) águas bicarbonatadas sódico-potássicas, (II) águas bicarbonatadas mistas.

Dentre os elementos analisados por ICP-MS em ambas coletas, apenas Fe (5,1 mg/L) e Mn (184 µg/L) apresentaram valores acima dos estabelecidos pelo CONAMA. Esses valores para Fe e Mn foram encontrados nas mesmas amostras que apresentaram alto teor de fosfato (amostras P01, P02, P04 e P05) e concentrações mais altas de Ba, Mn, Sr, Zn, Cu, Ni, Pb, V, sugerindo um comportamento sazonal para o período de chuvas (figura 3), quando é esperado um acréscimo de valores para as águas em função da lixiviação de elementos oriundos do cultivo de cana-de-açúcar.

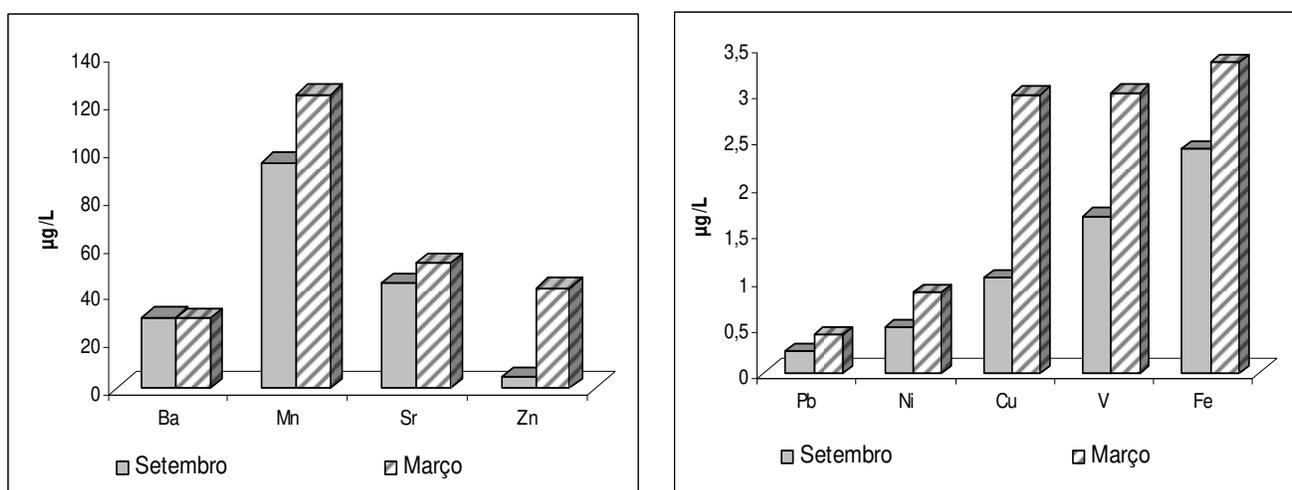


Figura 3. Diagramas indicando a influência da sazonalidade na concentração de alguns elementos em água.

A ocorrência de maiores teores de Na, Ca, PO_4^{3-} , Fe e Mn nas amostras de água também podem representar uma possível lixiviação de insumos agrícolas. Segundo He et al. (2005), a aplicação dos elementos como Cu, Zn, Fe, Mn que são essenciais ao crescimento das plantas, é prática comum para corrigir deficiências dos mesmos nos solos. Também estão presentes em muitos produtos químicos como fungicidas, inseticidas e herbicidas. Já o Pb entra no solo como impureza dos fertilizantes (He et al. 2005; Kabata-Pendias & Pendias 2001).

A composição química do solo em estudo é apresentada na Tabela 3. O solo apresenta pH ácido com valores entre 4,5 e 5,5. São solos argilosos com percentagem de carbono orgânico variando de 2,5% a 10,1% e apresentando valores de MO de 4,2% a 17,4%. Esses valores podem ser explicados pelo declive da área que propicia o acúmulo de matéria orgânica no solo e gerando baixos valores de pH em função dos grupos ácidos presentes na matéria orgânica.

Tabela 2 Composição química dos solos da área em estudo.

	P 01		P 03		P 04		
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	
pH	4,8	5,5	4,7	4,5	4,5	5,5	
MO (%)	12,75	13,93	4,24	17,36	12,30	13,90	
%							
SiO₂	20,40	35,00	49,50	39,50	37,40	23,30	
TiO₂	1,28	4,81	4,11	3,41	2,33	1,22	
Al₂O₃	16,30	26,00	17,40	15,70	15,00	14,50	
Fe₂O₃	8,90	16,20	3,60	4,90	7,70	3,80	
MnO	0,02	0,11	0,04	0,04	0,08	0,02	
MgO	0,22	0,18	0,18	0,22	0,30	0,24	
CaO	0,88	0,21	0,39	0,28	1,17	0,33	
Na₂O	0,09	0,08	0,09	0,12	0,17	0,19	
K₂O	0,12	0,06	0,08	0,08	0,21	0,09	
P₂O₅	0,65	0,22	0,21	0,30	1,32	0,41	
µg/g							VRQ
Ba	158	95	135	162	317	211	7,5
Cu	236	316	416	291	189	234	35
Ni	25	15	16	17	17	25	13
Pb	19	16	26	25	20	18	17
Sr	32	17	20	22	48	29	-
V	381	365	239	233	184	344	275
Zn	43	75	65	62	99	52	60

MO: matéria orgânica, **VRQ** refere-se aos Valores de Referência de qualidade de solo, segundo a CETESB (2005).

Os teores de metais no solo foram comparados aos valores de referência de qualidade recomendados para o Estado de São Paulo (CETESB, 2005) e que são utilizados como

referência nas ações de prevenção da poluição do solo e de águas subterrâneas, bem como para o controle de áreas contaminadas.

As concentrações de Ba, Cu e V excederam os limites recomendados pela CETESB. Já os metais Ni, Pb e Zn apresentaram-se discretamente acima dos limites estabelecidos. Os valores encontrados no presente estudo para esses elementos são superiores aos encontrados por Pereira (2005) em um estudo geoquímico de solos da região de Campinas o que pode sugerir que o solo estudado possa sofrer um aporte de tais elementos provenientes do cultivo de cana-de-açúcar.

De acordo com Levinson (1974), o uso de defensivos agrícolas contendo Cu e Zn em décadas passadas, pode ser o responsável por anomalias nos solos de áreas cultivadas sendo que a aplicação de corretivos de solos contendo minerais carbonáticos pode contribuir com elementos como Ba, Pb, Zn. Presume-se que os corretivos e defensivos agrícolas utilizados no entorno da área estudada, uma vez lixiviados pelas chuvas, podem atingir as áreas alagadas acumulando-se no solo e favorecendo a elevação de teores de Ba Cu e Pb, Zn nos solos da área de estudo.

Apesar das concentrações para V e Ni nos solos estudados encontrarem-se acima dos valores de referência de qualidade estabelecidos pela CETESB, os valores para tais elementos estão de acordo com o esperado para solos originários de diabásio como cita Fiorentino (2007).

Concentração e transporte de elementos-traço em *Typha dominguensis* Pers.

As concentrações dos elementos-traço em folhas e raízes de *Typha dominguensis* Pers. são expostas na Tabela 4. Dentre os elementos analisados na planta as concentrações

mais altas obtidas foram para Ba, Cu, Pb, Sr, V, Zn especialmente nas raízes, exceto para o Mn com acumulação maior nas folhas.

Tabela 3. Concentração de elementos maiores e traços em folhas (FL) e em raízes (RZ) de *Typha dominguensis* Pers.

µg/g	P 01 FL	P 01 RZ	P 02 FL	P 02 RZ	P 03 FL	P 03 RZ	P 04 FL	P 04 RZ	P 05 FL	P 05 RZ	LD
n	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	µg/g
Ba	24	44	33	29	34	44	31	48	23	52	0,1
Cu	3	29	2	9	4	52	4	34	2	23	0,01
Mn	147	45	209	41	237	39	209	44	214	41	1
Pb	1	3	0,1	0,9	0,2	4	0,2	3	0,2	2	0,01
Sr	43	45	44	36	39	39	51	45	40	49	0,5
V	2	20	2	12	2	41	2	27	2	20	2
Zn	16	64	15	21	17	39	16	35	11	25	0,1

(LD): Limite de detecção do instrumento analítico

Segundo Bose et al. (2008), diferentes estudos revelam um acúmulo maior de metais nas raízes do que em outros órgãos das plantas. Deste modo algumas espécies de plantas desenvolveram a estratégia para evitar acumulação tóxica de elementos-traço armazenando-os longe das estruturas metabolicamente ativas, como nas raízes, por exemplo, de forma que os elementos absorvidos mesmo que em grandes concentrações não atuem fito toxicamente à planta (Carranza-Álvarez et al. 2008).

Dentre os elementos analisados o Cu, Mn, Zn são considerados micronutrientes essenciais às plantas, pois satisfazem os critérios de essencialidade, sendo que o Cu e o Zn estão fisiologicamente envolvidos em reações redox, desempenhando importantes funções em reações que envolvem o transporte de elétrons (Fitter & Hay 2002). Sendo assim as concentrações de Cu e Zn em folhas e raízes de *Typha dominguensis* Pers. podem refletir as respectivas concentrações destes elementos no solo.

Para os elementos Ba e Pb não há relatos de estudos que comprovem a atuação dos mesmos como elementos benéficos, nem tão pouco como elementos essenciais, de modo que são considerados tóxicos às plantas mesmo em baixas concentrações (Malavolta 1997), e podem ter origem nos defensivos agrícolas utilizados no cultivo de cana-de-açúcar que contêm estes elementos em sua formulação.

O vanádio é um elemento pouco estudado em plantas no que diz respeito ao acúmulo por espécies vegetais de forma que a literatura é bastante escassa para este elemento. Entretanto existem trabalhos como os de Panichev et al. (2006) que estudaram os solos e gramíneas no entorno de uma mina de vanádio encontrando valores que variaram de 1570 a 3600 $\mu\text{g/g}$ em solos e 8 a 13 $\mu\text{g/g}$ em gramíneas. Em outro trabalho foi estudado o acúmulo e toxicidade de vanádio por espécies de plantas aquáticas (Piispanen & Lähdesmäki 1983) e verificou-se que a concentração de 10 mg/L de vanádio foi benéfico para o crescimento das espécies de algas *Nitella mucronata* e *Chlorella* sp. enquanto que a mesma concentração foi considerada tóxica para outras espécies (*Salvinia natans* e *Lemna minor*). No presente estudo foi observado o acúmulo de vanádio pelas raízes de *Typha dominguensis* Pers. com concentrações que variaram de 12 a 41 $\mu\text{g/g}$ indicando o potencial da espécie como fitoacumuladora para este elemento.

Carranza-Álvarez et al. (2008) em um estudo com uma espécie de *Typha* confirmaram capacidade desta em extrair do meio elementos como Pb, Cd, Cr, Mn e Fe sugerindo sua utilização em sistemas de tratamento de águas contaminadas. Os mesmos autores acreditam ainda que a hiperacumulação de metais pelas raízes de macrófitas aquáticas emergentes possa estar relacionada ao simples fato de que as raízes apresentam

uma maior área de tecido em contato com a água e o solo proporcionando maior poder de acumulação em função da área exposta.

Em um estudo semelhante a este, realizado por Kumar et al. (2006) na Índia, foi observada a atuação de oito espécies de macrófitas aquáticas, dentre elas uma espécie de *Typha*, como bioindicadoras de metais em um lago urbano. Os autores verificaram altas concentrações de Cd, Co, Cu, Ni, Pb, e Zn em sedimentos e água. Quando analisadas as folhas e raízes das macrófitas estudadas averiguaram que a espécie de *Typha* apresentou grande capacidade de acumular os metais presentes no meio, apresentando maior fator de concentração pra Cu, Ni, Zn e Pb, mostrando-se eficiente na biorremediação para estes metais.

Em relação à concentração média de metais na planta ocorreram em ordem decrescente os elementos Mn, Sr, Ba, Zn, Cu, V, Pb, Ni.

Para o grupo de metais em foco foram calculados os fatores de enriquecimento ou de concentração (FC) em relação às suas concentrações em água e solo nos mesmos locais de coleta. Como esperado, os fatores de concentração apresentam valores elevados em relação às concentrações em água, mas também valores significativos em relação às concentrações encontradas em solo. As acumulações mais elevadas de metais em raízes foram observadas, em ordem decrescente, para V, Cu, Pb, Zn, Ni, Ba, Sr e Mn (Figura 4). Pode-se observar que essa sequência é bastante diferente daquela referente à concentração média de metais em *Typha dominguensis* Pers. pois esta reflete a capacidade da planta em acumular determinados elementos independente da sua concentração no meio.

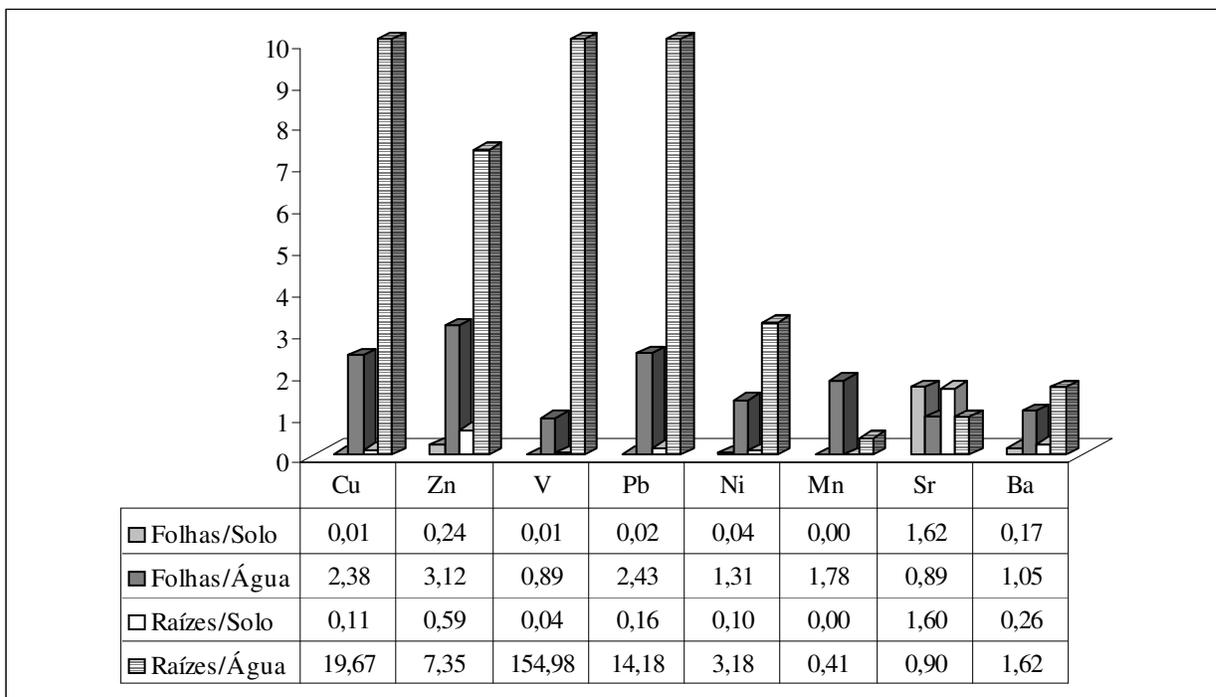


Figura 4. Fator de concentração (FC) de elementos em *Typha domingensis* Pers.

Apesar das pequenas concentrações na água e solo para os elementos Ba, Cu, Pb, Sr, V, Zn, como observado na figura 4, de modo geral os elementos que se apresentaram mais concentrados no solo tiveram maiores concentrações nas plantas, sobretudo nas raízes, o que pode sugerir que a espécie adote a estratégia citada por Bose et. al. (2008) para evitar a translocação destes elementos impedindo danos reprodutivos, ou que mesmo em baixas concentrações a espécie não consiga evitar o acúmulo destes elementos pelas raízes uma vez que se encontram disponíveis no meio.

Isso sugere que independente da concentração de metais no ambiente as condições físico-químicas podem exercer um papel determinante na biodisponibilização desses elementos às plantas. Mudanças no Eh, na especiação e solubilização de metais podem facilitar a absorção dos elementos pelas plantas (Weis & Weis 2004).

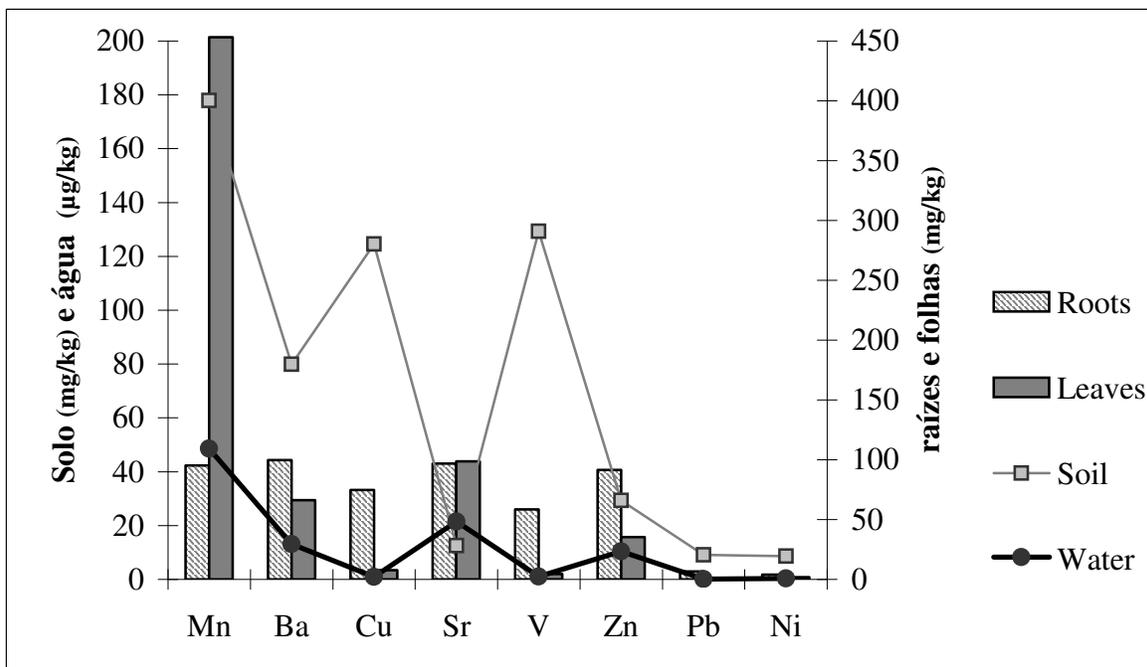


Figura 5. Comparativo entre as concentrações dos elementos no solo, água e em folhas e raízes de *Typha domingensis* Pers.

Desta forma pode-se inferir que os elementos em destaque investigados neste estudo refletem as características do solo de origem e do ambiente lântico em si. As plantas por sua vez apresentaram maior acúmulo pelas raízes evidenciando que mesmo em baixas concentrações a espécie *Typha domingensis* Pers. é capaz de exercer o papel de bioindicadora e fitoacumuladora para os elementos estudados.

Para verificar o comportamento dos elementos dentro da planta foi calculado o índice de translocação (IT) das amostras de *Typha domingensis* Pers. para o grupo de metais indicados na Fig. 6.

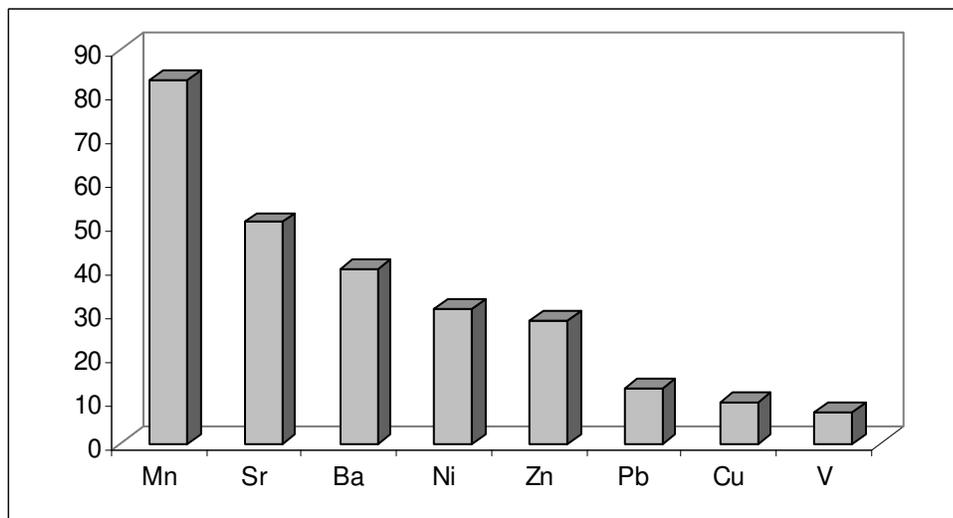


Figura 6 – Índices de translocação (%) de metais em *Typha dominguensis* Pers.

Os metais mais acumulados nas raízes apresentam os menores valores de IT. O vanádio, entre os elementos estudados, foi o que apresentou maior acumulação nas raízes. O mesmo ocorre para Cu, Pb e Zn que se acumularam nas raízes sendo pouco translocados, seguido de Ni, Ba e Sr com valores intermediários. O elemento que apresentou o maior índice de translocação foi o manganês, fato que pode ser explicado pela atuação deste elemento na ativação de enzimas responsáveis pela respiração nas folhas.

CONCLUSÕES

Apesar da proximidade com a área urbana e da presença do cultivo de cana-de-açúcar no entorno dos fragmentos de floresta higrófila não foi observado grandes concentrações de metais em solo, água ou na espécie *Typha dominguensis* Pers.

Em água as maiores concentrações foram as dos íons Na^+ , Ca^{2+} e PO_4^{3-} e de Fe e Mn. Os baixos teores de oxigênio dissolvido e os valores elevados para PO_4^{3-} e Mn encontrados na água também podem ser indicativos de eutrofização do ambiente bem como

consequência das interferências antrópicas e refletem um caráter sazonal com maiores concentrações ocorrendo no período de chuvas.

As concentrações de Cu no solo apresentaram-se acima das esperadas para solos originários de diabásio e podem ser reflexo da lixiviação de substâncias derivadas dos insumos utilizados no cultivo de cana-de-açúcar.

O acúmulo de metais pela espécie *Typha dominguensis* Pers. foi maior nas raízes do que nas folhas. As concentrações mais altas obtidas foram para Ba, Cu, Pb, Sr, V, Zn, especialmente nas raízes, exceto para o Mn com acumulação maior nas folhas. O enriquecimento de metais deu-se em ordem decrescente para V, Cu, Pb, Zn, Ni, Ba, Sr, Mn, com destaque para o acúmulo de vanádio pelas raízes. Os dados de enriquecimento indicam o potencial da espécie como fitoacumuladora de vanádio e comprovam o seu desempenho na extração e acúmulo de metais, mesmo em baixas concentrações no ambiente. Estes resultados esclarecem também o papel dessa espécie na reciclagem de elementos no ecossistema onde se insere

Excetuando essas alterações, os dados de concentração química podem ser utilizados como background local para água, solo e *Typha dominguensis* Pers. e podem ser usados como parâmetros de referência em outros estudos na região onde são raras as áreas ainda preservadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos ao CNPq pelo apoio financeiro, à Fundação José Pedro de Oliveira pela permissão em realizar os estudos na Mata de Santa Genebra.

REFERÊNCIAS

- Abichequer, A.D & Bohnen, H. 1998. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por vReservadas de trigo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. **22**:21-26.
- Almeida, R.A; Oliveira, L.F.C; Kliemann, H.J. 2007. Deformação em inflorescência de taboa (*Typha angustifolia* L.) submetida a esgoto sanitário. *Pesq Agropec Trop* **37(2)**: 125-129.
- Alonso-Castro, A.J.; Carranza-Álvarez, C; Alfavaro-De la Torre, M.C.; Chávez-Guerrero, L.; García-De la Cruz, F.R. 2009. Removal and accumulation of Cadmium and Lead by *Typha latifolia* exposed to single and mixed metal solutions. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. **57**: 688-696.
- Bose, S; Vedamati, J.; Rai, V.; Ramanathan, A.L. 2008. Metal uptake and transport by *Typha angustata* L. grown on metal contaminated waste amended soil: An implication of phytoremediation. *Geoderma*. **145**: 136-142.
- Carranza-Álvarez, C.; Alonso-Castro A.J.; Alfaro-De La Torre, M.C.; García-De La Cruz, R.F. 2008. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an Artificial Lagoon in San Luis Potosí, México. *Water Air Soil Pollut*, **188**:297–309.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, São Paulo.
- Coelho, R.M., Chiba, M.K. 2006. Levantamento detalhado de solos da Área de Bens Naturais, Fragmentos “C” e “D”, em Campinas, S.P- Relatório técnico - Centro de Solos e Recursos Ambientais Instituto Agrônomo Campinas – S.P.
- Coelho, R.M.; Valladares, G.S.;Chiba, M.K. 2008. Mapa pedológico semidetalhado do município de Campinas. 1:50.000. EMBRAPA & IAC. Disponível em: http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/cot24_mapapedolog.pdf
- CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2005. Resolução no. 357 de 15 de março de 2005. Brasília, DF.

- Cotta, A. J. B.; Enzweiler, J; 2009. Quantification of major and trace elements in water samples by ICP-MS and collision cell to attenuate Ar and Cl-based polyatomic ions, 01/2009, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. **24**:1406-1413.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de Solo. 2 ed. Rio de Janeiro. 212 p.
- Fiorentino, J. C. 2007. “*Geoquímica do mercúrio e outros elementos em perfil de solo desenvolvido sobre diabásio, Paulínia, SP*” Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Unicamp, 68p.
- Fitter, A. & Hay, R. 2002. Environmental Physiology of plants. 3 ed. Academic Press. 397p.
- Freitas, M.; Zocche, J.J.; Esemann, J.Q. 2007. Metais Pesados (Mn e Zn) em *Typha domingensis* Pers em Áreas de Mineração de Carvão. *Revista Brasileira de Biociências*, **5 (1)**: 789-791.
- Gondim, J.A. 2007. Tratamento de efluente de indústria recicladora de plásticos utilizando reator anaeróbio compartimentado e leitos cultivados. Dissertação de mestrado, Faculdade de engenharia agrícola, UNICAMP. 286p.
- Goulet, R. & Pick, F. R. 2001. The effects of cattails (*Typha latifolia* L.) on concentrations and partitioning of metals in surficial sediments of surface-flow constructed wetlands. *Water, Air, and Soil Pollution*. **132**: 275–291.
- Groudev, S., Georgiev, P.; Spasova, I.; Nicolova, M. 2008. Bioremediation of acid mine drainage in a uranium deposit. *Hydrometallurgy*. **94**: 93-99.
- Guilherme, L.R.G; Marques, J.J.; Pierangeli, M.A.P; Zuliani, D.Q.; Campos, M.L.; Marques, G. 2005. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos em Ciências do Solo*. **4**: 345-390.
- He, L.Z.; Yang, X.E.; Stoffella, P.J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of trace elements in medicine and biology*. **19**: 125-140.
- Instituto Geológico. 1993. Mapa geológico do município de Campinas, escala 1:50.000. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas (SP).

- Programa: Cartas geológicas e geotécnicas para o planejamento ambiental na região entre Sorocaba e Campinas. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente.
- Kabata-Pendias, A & Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3^a ed. Boca Raton: CRC. Press. 413p.
- Levinson, A.A. (1974). Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing: Wilmette, 614p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 319p.
- Markert, B.1993. Plants as Biomonitors: Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment. Weinheim: VCH- Verlagsgesellschaftmbh, 645p.
- Martins, A.P.L.; Reissmann, C.B.; Favaretto, N.; Boeger, M.R.T.; Oliveira, E.B. 2007. Capacidade da *Typha dominguensis* Pers na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí – Paraná. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. **11(3)**: 324–330.
- Nordstrom, D.K.; Wilde, F.D. 2005. in: National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data; Wilde, F. D.; Radtke, B. D.; Gibs, J.; Iwatsubo, R. T., eds.; U. S. Geological Survey techniques in Water- Resources Investigations: Reston, book 9, cap. A6.
- Padaki, P.M.; Mcwillians, E.L.; James, W.D. 1992. Use of Spanish moss as an atmospheric monitor for trace elements. *J. Radioanal. Nucl. Chem.***161**: 147-157.
- Panichev, N;Mandiwana, K; Moema, D; Molatlhegi, R; Ngobeni, P. 2006. Distribution of vanadium(V) species between soil and plants in the vicinity of vanadium mine. *Journal of Hazardous Materials* **137**: 649–653.
- Pereira, J.C. 2005. *Geoquímica de solos e sedimentos e impacto antrópico por elementos-traços, na microbacia do córrego da Fazenda Santa Cândida, Área periurbana de Campinas, SP*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Unicamp, 102p.

- Piispanen, R & Lähdesmäki, P. 1983. Effect of vanadium on some water plants. *Journal of the Geological Society of Sweden*. **105**: 23-27.
- Ravera, O.; Cenci, R.; Beone, G. M; Dantas, M.; Lodigiani, P. 2003. Trace element concentrations in freshwater mussels and macrophytes as related to those in their environment. *J. Limnol.* **62(1)**: 61-70.
- Salisbury, F.B. & Ross, C.W. 1992. Plant physiology. 4ed. Wadsworth Publishing Company, Belmont, 682p.
- Weis, J;S. & Weis, P. 2004. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environment International*. **30**: 685-700.
- Zambello, F.R. & Enzweiler, J. 2002. Multi-element analysis of soils and sediments by wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry. *J Soil & Sediments*, **2 (1)**: 29-36.

ANEXOS

Tabela 6. Parâmetros físico-químicos e composição química de todos os elementos analisados para as amostras de água superficial

	P 01		P 02		P 03		P 04		P 05		Conama					
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	357	LD	Média	± S	CV	
pH	5,15	6,42	5,16	6,4	5,26	6,22	5,15	6,3	5,16	6,44	6 a 9					
cond. (µS/m)	80	180	70	70	10	20	90	110	80	130	-					
turb. (NTU)	41	10	10	10	75	17	48	20	66	10	< 40 UNT					
OD (mg/L)	0,45	0,82	2,1	1,87	3,5	2,51	1,5	0,45	0,66	0,83	> 6					
TDS (mg/L)	0,05	0,1	0,04	0,04	0,01	0,01	0,06	0,07	0,05	0,08	500 mg/L					
EH (mV)	189	79	222	172	462	457	213	185	225	114	-					
mg/L																
HCO₃⁻	63,7	96,95	79,95	35,1	12,5	15,15	68,7	95,4	58,6	93		0,01	61,91	31,71	0,51	
F⁻	0,12	0,17	0,08	0,07	<0,01	0,03	0,13	0,17	0,11	0,18	1,4	0,03	0,12	0,05	0,43	
Cl⁻	7,4	12,1	21,8	11,3	1	1,2	9,9	12,4	6,7	12,3	250	0,02	9,61	6,06	0,63	
SO₄²⁻	0,55	1,1	3,3	2,5	0,18	0,16	1,2	3,5	0,84	1,6	250	0,01	1,49	1,22	0,82	
NO₃⁻-N	<0,01	0,02	0,17	0,01	0,07	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	0,02	10	0,02	0,06	0,06	1,03	
PO₄³⁻-P*	0,06	0,16	0,4	0,07	<0,02	<0,02	0,04	0,11	<0,02	0,18	0,02	0,02	0,11	0,12	1,10	
Na⁺	14,6	17,9	17	9,3	2,1	2,3	17,4	19,2	14,6	18,9	-	0,02	13,33	6,53	0,49	
NH₄⁺	1	2,3	1	0,06	<0,05	<0,05	2	2,6	0,85	2,3	3,7	0,05	1,51	0,91	0,60	
K⁺	2,2	5,4	32,1	8,9	0,13	0,56	2,9	5	1,9	4,9	-	0,05	6,40	9,40	1,47	
Mg²⁺	2	2,9	3,4	1,7	0,79	0,85	2,2	3	1,9	2,9	-	0,03	2,16	0,90	0,41	
Ca²⁺	7,4	11,6	8,7	5,2	1,3	1,7	8,3	11,8	7,1	11,3	-	0,05	7,44	3,79	0,51	
Fe	3,5	6	1,9	2	0,1	0,1	3,2	3,4	3,3	5,1	0,3	0,1	2,86	1,91	0,67	
µg/L																
Al	24,3	29,3	46	96,7	28,1	24,4	37,6	21,1	29,8	30	100	0,08	36,73	22,25	0,61	
As	0,25	0,46	0,19	0,31	0,02	0,06	0,23	0,36	0,16	0,38	10	0,01	0,24	0,14	0,58	
B	14,1	23,2	26,7	23,6	2	1,5	14,9	25,5	12,9	23,4	500	0,09	16,78	9,33	0,56	
Ba	28,9	38,4	29,6	26,7	30,7	19,5	30,5	27,1	28,9	33,8	700	0,004	29,41	4,88	0,17	
Be	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	400	0,01	0,02	0,01	0,35	
Cd	0,06	0,1	0,07	0,06	0,06	0,18	0,06	0,03	0,08	0,04	1	0,02	0,07	0,04	0,57	
Co	0,53	0,9	0,58	0,9	0,21	0,4	0,56	0,8	0,46	0,8	50	0,01	0,61	0,23	0,37	
Cr	0,14	0,5	0,19	0,3	0,04	0,1	0,16	0,3	0,13	0,3	50	0,02	0,22	0,13	0,62	
Cu	0,8	3,3	1,5	4,9	0,9	3,1	1,1	1,9	0,8	1,7	10	0,02	2,00	1,36	0,68	
Li	0,19	0,24	0,32	0,3	0,25	0,2	0,22	0,23	0,17	0,18	2500	0,01	0,23	0,05	0,22	
Mn	112,8	184	140,1	84	8	15	124,3	176	89,5	159	100	0,03	109,27	61,35	0,56	
Mo	0,05	0,08	0,09	0,04	0,02	<0,01	0,07	0,06	0,05	0,04	-	0,01	0,06	0,02	0,39	
Ni	0,58	1,1	0,61	1,1	0,23	0,6	0,61	0,8	0,44	0,7	25	0,03	0,68	0,27	0,40	
Pb	0,1	0,35	0,19	0,74	0,4	0,18	0,24	0,4	0,25	0,4	10	0,003	0,33	0,18	0,55	
Rb	5,05	8,7	20,45	9	0,31	1	5,72	8,7	4,48	8,3	-	0,03	7,17	5,62	0,78	
Sb	0,02	0,05	0,03	0,06	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	0,04	-	0,01	0,03	0,02	0,57	
Se	<0,02	0,08	0,09	0,05	0,03	0,06	0,05	0,07	0,05	0,08	10	0,02	0,06	0,02	0,31	
Sr	52,1	76,3	57,2	32,1	9	10,3	55,9	73,9	46,4	70,3	-	0,01	48,35	24,33	0,50	
V	1,7	3,1	2,5	5,4	1,1	0,8	1,6	2,6	1,5	3,1	-	0,02	2,34	1,34	0,57	
Zn	2,6	48,9	8	64,7	7,3	45,7	2,7	28	2,5	22,5	180	0,05	23,29	22,78	0,98	

Coletas realizadas em (1) 01/09/2008 e (2) 11/03/2009; LD é o limite de determinação do método analítico; S desvio padrão; (*) Os valores de referência para fósforo total, segundo CONAMA, 357/2005, são referentes a ambientes lênticos.

Tabela 7. Parâmetros físico-químicos e composição química de todos elementos analisados para as amostras de solo superficial

	P 01		P 03		P 04		CETESB	LD
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)		
pH	4,79	5,37	4,47	4,71	5,48	4,54		
%								
MO	12,75	13,93	4,24	17,36	12,30	13,90		
CO	7,4	8,08	2,46	10,07	7,14	8,02		
PF	8,3	3,1	4,3	5,8	6,7	8,2		
105°C								
PF		14,1	20,2	29,5	27,9	47,6		
1000°C								
SiO₂	20,40	35,00	49,50	39,50	37,40	23,30		
TiO₂	1,28	4,81	4,11	3,41	2,33	1,22		
Al₂O₃	16,30	26,00	17,40	15,70	15,00	14,50		
Fe₂O₃	8,90	16,20	3,60	4,90	7,70	3,80		
MnO	0,02	0,11	0,04	0,04	0,08	0,02		
MgO	0,22	0,18	0,18	0,22	0,30	0,24		
CaO	0,88	0,21	0,39	0,28	1,17	0,33		
Na₂O	0,09	0,08	0,09	0,12	0,17	0,19		
K₂O	0,12	0,06	0,08	0,08	0,21	0,09		
P₂O₅	0,65	0,22	0,21	0,30	1,32	0,41		
µg/g								
As	5	5	<3	<3	3	4	3,5	3
Ba	158	95	135	162	317	211	7,5	12
Co	11	21	12	13	22	10	13	8
Cr	32	53	31	30	40	23	40	3
Cu	236	316	416	291	189	234	35	2
Ga	18	28	13	13	13	12	-	3
Mo	2	3	<1	<1	<1	2	<4	1
Nb	22	52	36	36	30	20	-	1
Ni	25	15	16	17	17	25	13	2
Pb	19	16	26	25	20	18	17	3
Rb	10	6	6	7	14	13	-	2
*S	1253	146	<4	<4	72	<4	-	4
Sr	32	17	20	22	48	29	-	1
Th	15	35	29	20	18	14	-	3
U	<3	3	5	4	<3	4	-	3
V	381	365	239	233	184	344	275	5
Y	42	23	48	35	27	31	-	1
Zn	43	75	65	62	99	52	60	2
Zr	171	632	518	446	276	176	-	2

Coletas realizadas em (1) 01/09/2008 e (2) 11/03/2009; o símbolo (<) refere-se ao elementos que se apresentaram abaixo do limite de determinação do instrumento analítico; (VRQ) referem-se aos Valores de qualidade de solo de acordo com CETESB (2005).

Tabela 8. Concentração química de elementos maiores e traço em folhas (FL) e em raízes (RZ) de *Typha domingensis* Pers.

	TM 01 FL	TM 01 RZ	TM 02 FL	TM 02 RZ	TM 03 FL	TM 03 RZ	TM 04 FL	TM 04 RZ	TM 05 FL	TM 05 RZ	Média	LD
%	(n=2)	(n=2)	(n=1)	(n=1)	(n=2)	(n=2)	(n=2)	(n=2)	(n=1)	(n=1)		
Al	0,01	0,13	0,01	0,04	0,01	0,27	0,01	0,22	0,01	0,14	0,09	0,01
Ca	0,74	0,62	0,68	0,56	0,69	0,51	0,81	0,57	0,58	0,65	0,64	0,01
Fe	0,01	1,48	0,01	1,22	0,01	1,82	0,01	2,18	0,01	2,23	0,90	0,001
K	2,44	0,43	1,54	2,05	2,22	0,79	2,25	0,4	2,44	1	1,56	0,01
Mg	0,16	0,11	0,17	0,16	0,19	0,09	0,17	0,06	0,18	0,09	0,14	0,001
Na	0,46	0,77	1,26	1,26	0,73	0,99	1,13	1,28	0,55	1,71	1,01	0,001
P	0,15	0,22	0,13	0,24	0,16	0,24	0,18	0,2	0,19	0,29	0,20	0,001
S	0,13	0,44	0,13	0,34	0,19	0,29	0,2	0,55	0,14	0,75	0,32	0,01
µg/g												
As	0,1	0,9	0,1	0,4	0,1	0,8	0,1	1,2	0,1	1	0,48	0,1
B	5,5	5,5	7	6	6,5	4	6	4,5	7	5	5,70	1
Ba	24,45	44,75	32,9	29	34,15	43,95	30,95	48,15	23,5	52	36,38	0,1
Bi	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cd	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,06	0,01	0,07	0,02	0,04	0,03	0,01
Co	0,08	4,47	0,07	2,15	0,16	6,26	0,1	6,09	0,04	5,55	2,50	0,01
Cr	1,55	2,3	1,3	1,8	1,5	2,65	1,45	2,85	1,4	2	1,88	0,1
Cu	3,33	29,42	2,77	9,33	3,93	52,71	3,8	34,58	2,48	23,19	16,55	0,01
Ga	0,1	0,6	0,1	0,2	0,1	1,2	0,1	0,9	0,1	0,7	0,41	0,1
Hg	8	13	6	10	9	11,5	9	21	12	18	11,75	1
La	0,18	3,66	0,17	1,03	1,06	5,08	0,22	3,76	0,08	2,9	1,81	0,01
Mn	147,5	45,5	209	41	237	39	209,5	44	214	41	122,75	1
Mo	0,08	0,48	0,04	0,18	0,07	0,36	0,13	0,59	0,04	0,47	0,24	0,01
Ni	0,75	1,75	0,6	0,7	1,05	2,2	0,85	2,1	0,4	1,4	1,18	0,1
Pb	1,15	3,63	0,13	0,91	0,23	3,89	0,24	3,1	0,23	2,21	1,57	0,01
Sb	0,05	0,24	0,06	0,1	0,03	0,18	0,05	0,27	0,04	0,23	0,13	0,02
Sc	0,2	0,65	0,1	0,5	0,25	1,05	0,2	0,8	0,2	0,4	0,44	0,1
Se	0,1	0,2	0,1	0,1	0,15	0,15	0,1	0,2	0,1	0,2	0,14	0,1
Sr	43,35	45,7	44,4	35,9	38,8	39,35	51,35	44,9	39,2	48,7	43,17	0,5
Te	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Th	0,01	0,09	0,01	0,1	0,01	0,07	0,01	0,13	0,01	0,02	0,05	0,01
Ti	7,5	20	5	15	7,5	27	7	24	7	20	14,00	1
Tl	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02	0,1	0,02	0,07	0,04	0,02
U	0,01	0,15	0,01	0,03	0,01	0,18	0,01	0,16	0,01	0,1	0,07	0,01
V	2	20	2	12	2	41	2	27	2	20	13,00	2
W	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10	0,1
Zn	16,55	64,55	14,7	20,9	16,8	39,3	16,35	35,45	11,2	25,7	26,15	0,1

Tabela 9. Concentração dos elementos químicos em materiais de referência certificados para águas (SRM 164e, SRM 1640) e solos (GSS-2, GSS-5) utilizados neste estudo: valores certificados (VC) e valores obtidos (VO). Dados referentes às análises da primeira coleta (setembro 2008).

Material Certificado Águas					Material Certificado Solos				
SRM 1643E		SRM 1640			GSS-2		GSS-5		
mg/L	VC	VO	CV	VO	(%)	VC	VO	VC	VO
Na	20,7	18,9	29,4	27,6	SiO ₂	73,35	70,9	52,57	50,1
Mg	8,0	8	5,8	5,7	TiO ₂	0,45	0,4	1,05	0,98
K	2,0	2,2	1,0	1,0	Al ₂ O ₃	10,31	11,2	21,58	23,3
Ca	32,3	30,7	7,1	7,3	Fe ₂ O ₃	3,52	3,5	12,62	13,3
Fe	0,1	0,10	0,034	0,034	MnO	0,066	0,06	0,176	0,18
(µg/L)					MgO	1,04	1,4	0,61	0,6
Al	141,8	136	52,1	47,4	CaO	2,36	2,5	0,095	0
As	60,5	63	26,7	26,9	Na ₂ O	1,62	2	0,12	0
B	157,9	145	301,6	273	K ₂ O	2,54	2,5	1,5	1,5
Ba	544,2	545	148,2	145	P ₂ O ₅	0,102	0,09	0,089	0,06
Be	14	13,5	35,0	35	(µg g ⁻¹)				
Cd	6,6	6,2	22,8	22,9	As	13,7	13,7	412	413
Co	27,1	26	20,3	19,1	Ba	930	913	296	304
Cr	20,4	19,6	38,7	34,6	Co		10,1		9
Cu	22,8	21,5	85,3	80	Cr	47	46	118	126
Li	17,4	17,7	50,8	48,2	Cu	16,3	16,5	144	140
Mn	39	38,1	121,7	117	Ga	12	11,5	32	32
Mo	121,4	121	46,8	45,7	Mo	0,98	<1	4,6	5,4
Ni	62,4	57,9	27,4	26	Nb	27	28	23	22
Pb	19,6	19,4	27,9	26,7	Ni	19,4	21	40	43
Rb	14,1	13	2,0	2,1	Pb	20	20	552	547
Sb	58,3	59,6	13,8	13,5	Rb	88	90	117	121
Se	12	9,6	22,0	23,7	S	210	308	410	447
Sr	323,1	317,5	124,4	120	Sr	187	190	42	39
V	37,9	36,7	13,0	12,8	V	62	59	166	160
Zn	78,5	80	53,3	57	Zn	42	42	494	494

Tabela 10. Composição química dos solos da área em estudo comparada aos valores máximos obtidos por Pereira (2005) em solo formado pela associação de latossolo vermelho-amarelo com argissolo vermelho-amarelo

$\mu\text{g g}^{-1}$	P 01 (1)	P 01(2)	P 03 (1)	P 03 (2)	P 04 (1)	P 04 (2)	CETESB	Pereira (2006)
Si (%)	6,2	10,65	15,06	12,02	11,38	7,09	-	-
Ti (%)	0,52	1,91	1,67	1,38	0,94	0,49	-	0,53
Al (%)	2,86	4,56	3,05	2,75	2,63	2,54	-	4,45
Fe (%)	2,31	4,21	0,93	1,27	2	0,98	-	2,47
Ca (%)	0,48	0,11	0,21	0,15	0,65	0,18	-	0,35
Ba	158	95	135	162	317	211	7,5	120
Co	10,6	21,2	12,2	12,9	22	9,5	13	3,7
Cr	32	53	31	30	40	23	40	24
Cu	236	316	416	291	189	234	35	37,5
Ni	25	15,2	16,4	17,2	17,3	25	13	10,4
Pb	18,6	15,6	26	25	20	18,1	17	22,1
V	381	365	239	233	184	344	275	72
Zn	43	75	65	62	99	52	60	68,3

Os números entre parênteses representam as coletas (1) 01/09/2008 e (2) 11/03/2009.



Figura 7A-Vista da área palustre (primeiro plano) e ao fundo a face sul da Mata de Santa Genebra.



Figura 7B- Ponto P 01, pequeno lago.



Figura 7C- Ponto P 02, lago grande com macrófitas flutuantes, espécies de pássaros aquáticos e muitos peixes.



Figura 7D. Ponto P 03, curso de água que deságua no ponto P 02.



Figura 7E – Cultivo de cana-de-açúcar presente no entorno da área em estudo, visto de dentro da área palustre.



Figura 7F – Coleta das amostras de água superficial para análises químicas.

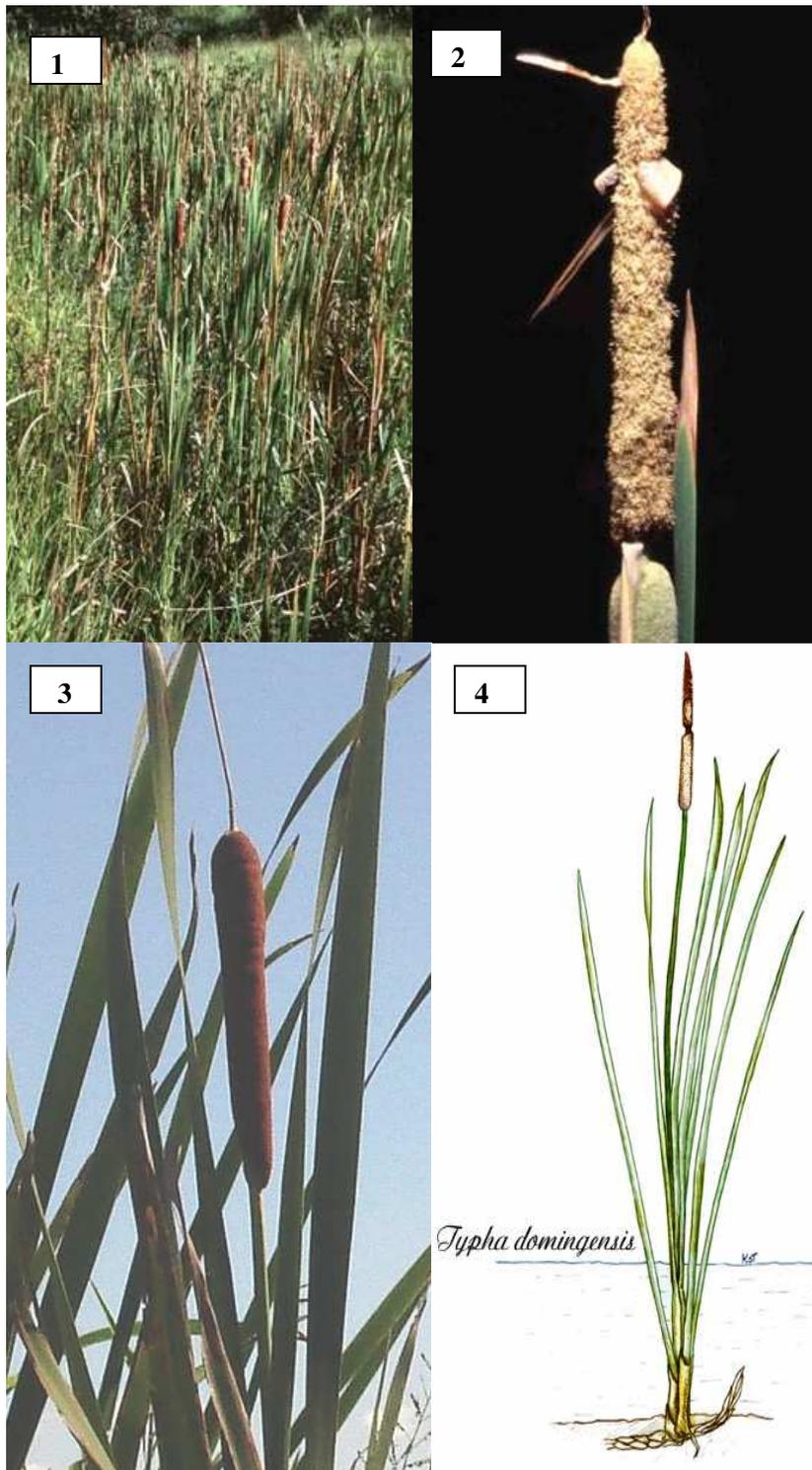


Figura 7G - Imagens de *Typha domingensis* Pers. : (1) Hábito da planta em campo, (2) detalhe inflorescência madura - fotos Volker Bitrich; (3) detalhe inflorescência jovem – foto Tehra Mendonça; (4) desenho botânico por Kátia Sendra Tavares.



Figura 7H – Equipe de campo: (1) Tehra Mendonça e Prof. Dr. Bernardino R. Figueiredo; (2) auxiliares de campo Valdevino e Élcio Soares Marinho.