

# Teores de As, Pb, Cd e Hg e fertilidade de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso

Maria Aparecida Pereira PIERANGELI<sup>2</sup>, Edson Sadayuki EGUCHI<sup>3</sup>, Rodrigo Froede RUPPIN<sup>4</sup>, Rayan Bruno Ferreira COSTA<sup>5</sup>, Daiane Ferreira VIEIRA<sup>6</sup>

## RESUMO

O diagnóstico da fertilidade e teores de elementos-traço (ETs) em solos é importante, pois estes dados são escassos na literatura para áreas de transição Pantanal-Cerrado-Floresta Amazônica. Esse trabalho avaliou diversos parâmetros relacionados à fertilidade, teores biodisponíveis de Fe, Mn, Zn, Cu e B e semitotais de As, Cd, Hg e Pb de solos do Vale do Alto Guaporé, região sudoeste do estado de Mato Grosso. Foram coletadas amostras de solos (0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade) em áreas de vegetação nativa (VN), pastagem (AP), cultura anual (CA) e garimpo de ouro (G). As amostras foram analisadas conforme métodos de rotina para avaliação da fertilidade do solo e ETs pelo método SW-3051A e os resultados médios comparados com os valores de referência de qualidade (VRQ) para solos estipulados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Teores mais elevados de As e Hg foram verificados em VN e G com médias, respectivamente, iguais a 43,9 e 101,13 para o As; e 0,12 e 0,14 mg kg<sup>-1</sup> para o Hg. Exceto Pb, vários locais de amostragem apresentaram teores dos ETs superiores ao VRQ: 46% em VN; 60% em G; 28% em CA; e 44% em AP, para o As; 20,8; 50; 55; e 22% em VN, G, CA e AP, respectivamente, para o Cd; 75; 65 e 67% das áreas de VN, G e CA e AP, respectivamente, para o Hg. A saturação por bases foi alta (60-80%) em 51,5% das amostras, enquanto o P foi baixo em todas áreas. Valores de referência de qualidade de solo para o As e Hg devem ser estipulados para solos dessa região, tendo em vista que os teores observados em áreas nativas foram superiores ao VRQ.

**PALAVRAS-CHAVE:** Elementos-traço, Contaminação do solo, Matéria orgânica, CTC, Garimpo de ouro.

## Contents of As, Pb, Cd e Hg and fertility of soils of Vale do Alto Guapore region, south-west of Mato Grosso state

### ABSTRACT

The fertility and trace elements diagnosis of soils is important for agricultural and environmental purposes, because there is little data available on the Pantanal-Cerrado-Floresta Amazônica transitional areas. This work evaluated many parameters relative to the fertility, Fe, Mn, Zn, Cu and B bioavailability, and total content of As, Cd, Hg and Pb in soils of the Vale do Guaporé, in the south-western region of Mato Grosso. Soil samples were collected in depths of 0-0,2 and 0,20-0,40 m in native vegetation, pasture, annual crop and gold mineration areas. These samples were analyzed for fertility according to Embrapa methodologies and trace elements by the SW3051 methods; and the average results were compared with quality reference values (VRQ) of soils of São Paulo stipulated by the Company of Technology of Environment Sanitation (CETESB). The Pb contents in the majority of samples were below the VRQ. In relation to As, many samples showed contents above the VRQ: 45,8% in native vegetation areas; 60% in the gold mineration areas; 28% in annual crop areas; and 44% in the pasture areas. The Cd contents too were above the VRQ: 20,8; 50; 55,5; and 22% for native vegetation, gold mineration, annual crop and pasture areas. Similar behavior was observed for Hg, which presented 75; 65; and 67%-for native vegetation; gold mineration; and annual crop and pasture areas, respectively, with mean contents above the VRQ. About pH, around 68% of the samples presented values between 6,1 and 7,0 and the values of base saturation (V) were high (60-80%) for 51,5% of the points sampled. However, the mean P content was short in the whole area. The comparison of As, Cd and Hg contents with the VRQ of soils showed that it is necessary to determine these values for the state of Mato Grosso, keeping in view that the total contents of these elements observed in native areas were superior to the VRQ.

**KEYWORDS:** Trace elements, Soil contamination, Organic matter, Gold mine

<sup>1</sup> Projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Mato Grosso-FAPEMAT

<sup>2</sup> Professora do Curso de Zootecnia e Mestrado em Ciências Ambientais na área de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). BR 174 Km 209, Caixa Postal 92, Pontes e Lacerda-MT. CEP 78250-000. e-mail: mapp2@terra.com.br

<sup>3</sup> Professor do curso de Zootecnia, Eng. Agrícola, Mestre em irrigação e Drenagem, Universidade do Estado de Mato Grosso. e-mail: edsonipr@hotmail.com

<sup>4</sup> Zootecnista. Mestre em Forragicultura, Universidade do Estado de Mato Grosso. e-mail: rsuprema@terra.com.br

<sup>5</sup> Graduando do curso de Zootecnia da Universidade do estado de Mato Grosso. e-mail: brunozootec@hotmail.com

<sup>6</sup> Graduanda do curso de Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso. e-mail: zoodai@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

A contaminação de ambientes naturais por elementos-traço (ETs) é um grande problema para a saúde humana e a qualidade ambiental. Alguns elementos-traço são considerados essenciais do ponto de vista biológico, enquanto outros são extremamente tóxicos para os seres vivos. Entretanto, mesmo aqueles essenciais podem, sob condições específicas, causar impactos negativos a ecossistemas terrestres e aquáticos, constituindo-se, assim, em contaminantes ou poluentes de solo e água. Neste contexto, o solo possui características únicas quando comparado aos outros componentes da biosfera, pois representa um tampão natural, controla o transporte de elementos químicos e outras substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

Guilherme *et al.* (2005) apresentam uma ampla revisão sobre elementos-traço em solos, sedimentos e água, considerando desde a sua ocorrência natural e antrópica, até os seus efeitos deletérios e fatores que afetam a sua dinâmica no ambiente. Marques *et al.* (2002) apresentam uma revisão sobre o conhecimento de elementos-traço no Cerrado brasileiro. Em solos da bacia Amazônica a maioria dos trabalhos publicados dá maior ênfase ao Hg (Lacerda *et al.*, 1999; Roulet *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2007), sendo raros, por exemplo, os trabalhos que tratam de As (Figueiredo *et al.*, 2007). A medição de parâmetros que permitam quantificar ou estimar a sustentabilidade dos solos, do ponto de vista de sua fertilidade ou qualidade ambiental é um avanço. Neste contexto, vários estudos se destacam no Brasil, entre eles Marques *et al.* (2002) em solos de Cerrado; Cochrane & Cochrane (2006) em solos de Rondônia; Demattê & Demattê (1993) e Lima *et al.* (2006) na Amazônia.

No Brasil, altas concentrações de ETs são relatadas, principalmente, em áreas de resíduos de mineração (Ribeiro-Filho *et al.*, 1999; Matschullat *et al.*, 2000). Santo Amaro na Bahia e Bauru, Paulínia (Granja Recanto dos Pássaros) e Vale do Ribeira, no estado de São Paulo, são exemplos de locais onde já foram detectados problemas de saúde devido à exposição da população a altos teores de Pb. Descrição dos efeitos deletérios, nos seres humanos, de elevadas concentrações de ETs em solos pode ser encontrada em Abrahams (2002)

Para proteger a saúde humana e animal, bem como os ecossistemas, valores reguladores de ETs em solos são estabelecidos em todo o mundo, como por exemplo na Holanda (VROM, 1994); EUA (USEPA, 1996); São Paulo (Casarini, 2001; CETESB, 2005). No entanto, o estabelecimento de valores genéricos é complicado, pois os níveis tóxicos dependem não só da presença do elemento no solo, mas também das propriedades e característica deste e de sua interação com o meio. No entanto, segundo Kabata-Pendias & Pendias (2001) é de suma importância o conhecimento dos teores nativos de elementos-traço em

diferentes solos, para evitar que níveis irrealistas de remediação sejam impostos em áreas contaminadas.

Outro tema que tem despertado intensa preocupação é a rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento o que amplia o interesse em relação à qualidade do solo (Lal & Pierce, 1991). O decréscimo na produtividade do solo nas regiões tropicais pode ser atribuído à erosão e à redução nos teores de matéria orgânica. Sua acidificação, devido à remoção de bases pelas culturas ou aplicação de fertilizantes de reação ácida, são fatores que também contribuem para a degradação dos solos cultivados. A atividade agrícola pode ser considerada, então, como uma das principais causas da degradação dos solos e a redução da fertilidade um fator desencadeante dos processos de degradação.

Desta forma, este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar atributos relacionados à fertilidade, micronutrientes e teores semitotais de As, Cd, Pb e Hg de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso e determinar as relações existentes entre alguns atributos de interesse agrícola e ambiental, bem como estabelecer comparações com valores referência de qualidade de solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O rio Guaporé nasce na Chapada dos Parecis, no município de Jauru-MT e deságua no rio Madeira, afluente do Amazonas, em Rondônia. A região (Figura 1) em que se desenvolveu o presente estudo, conhecida como Vale do Alto Guaporé, engloba os municípios de Jauru, Pontes e Lacerda, Vale de São Domingos, Vila Bela da Santíssima Trindade, Conquista D'Oeste e Nova Lacerda, todos localizados na região Sudoeste do Estado do Mato Grosso.

A altitude média da região situa-se em torno de 250 m, estando os pontos de coleta das amostras de solo localizados entre as coordenadas geográficas 14°31'56"S - 59°32'35"W, 15°00'28"S - 59°57'60"W e 15°20'18"S - 58°51'02"W. Com relação aos solos da região predominam Latossolos, Argissolos

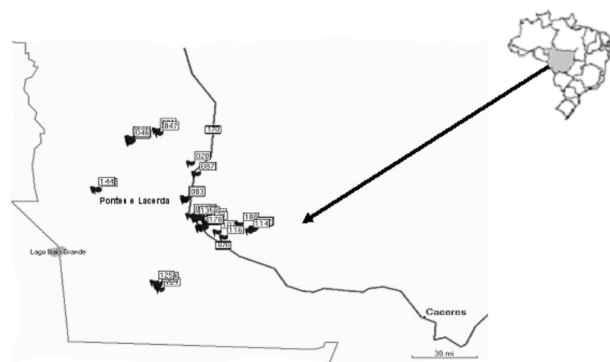


Figura 1 - Localização da área estudada destacando o estado de Mato Grosso e a região do Vale do Alto Guaporé.

e Neossolos Quartzarênicos nas áreas mais elevadas e Gleissolos e Plintossolos nas áreas mais baixas sujeitas ao alagamento pluvial, devido à drenagem deficiente.

As amostras de solos foram coletadas entre fevereiro de 2006 e março de 2007 e as análises químicas realizadas no decorrer deste período. Atributos relacionados à fertilidade [ $\text{pH}_{\text{água}}$ ,  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , cátions trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ), acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ); acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ )], fósforo disponível e matéria orgânica (MO) foram determinados no Laboratório de Análise de Solos da Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT, campus de Pontes e Lacerda-MT. As análises de As, Cd, Pb, Hg e dos micronutrientes, Fe, Cu, Mn, B e Zn foram realizadas no laboratório de Geoquímica Ambiental da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram analisadas 136 amostras coletadas na camada superficial (0–0,20 m) e sub-superficial (0,20–0,40 m) em áreas de pastagem (AP), vegetação nativa (VN), culturas anuais (CA) e garimpo de ouro (G). Além dessas, foram coletadas oito amostras, sem profundidade definida, de áreas de deposição de rejeitos de mineração de ouro. Ao todo foram coletadas amostras em seis áreas de pastagens; seis de cultura anual; seis de garimpo e oito de vegetação nativa. Em cada área, foram coletadas três amostras de solo em pontos distanciadas entre si em pelo menos 50 m (repetições de campo). Todas as determinações relativas à fertilidade do solo foram realizadas conforme Embrapa (1997): textura (método da pipeta);  $\text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  ( $\text{KCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ); acidez potencial (solução SMP); P e K<sup>+</sup> (Mehlich 1), sendo o P quantificado por colorimetria, após reação com molibdato de amônio; carbono orgânico (CO) (oxidação via úmida com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,4 mol  $\text{L}^{-1}$ ), a MO obtida multiplicando-se o valor do CO por 1,724. O P-remanescente (P-rem) foi determinado conforme Alvarez *et al.* (2000). A capacidade de troca de cátions total (CTC a pH 7,0) e efetiva (CTC<sub>efc</sub>), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) foram calculados para todas as amostras.

Para determinação do teor total de ETs foi utilizado o método SW-3051 da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1998). Este método é considerado o procedimento oficial nos EUA para determinação de elementos-traço em solos e sedimentos e é uma medida semitotal do teor, pois o método não quantifica os metais ligados à matriz silicatada, visto que nem todos os constituintes do solo são dissolvidos. Detalhes sobre o método podem ser encontrados em USEPA (1998), Abreu *et al.* (2002) e Campos *et al.* (2003). A quantificação dos elementos nos extratos foi realizada por meio de espectrometria de absorção atômica com forno de grafite.

Todos os dados foram submetidos à estatística descritiva usando o programa Sisvar, versão 4.0 (Ferreira, 2000) e os teores médios obtidos comparados com os valores de referência de ETs em solos. Todas as comparações com valores de

referência: qualidade (VRQ), prevenção (VP), e intervenção (VI) tiveram como base os valores orientadores estipulados pela CETESB (2005) para solos e água subterrânea do estado de São Paulo. Para verificar se os teores médios dos elementos analisados no presente estudo eram iguais ao VRQ foi utilizado o teste de hipóteses para a média ( $p \leq 0,05$ ). Para isso, foi hipotetizado em H0 que os teores médios dos ETs analisados são iguais ao VRQ. Se H0 for rejeitado para um determinado ET fica decidido que o VRQ para ele deve ser estabelecido com base em análises de solos da região.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### TEORES DE Pb, As, Cd E Hg

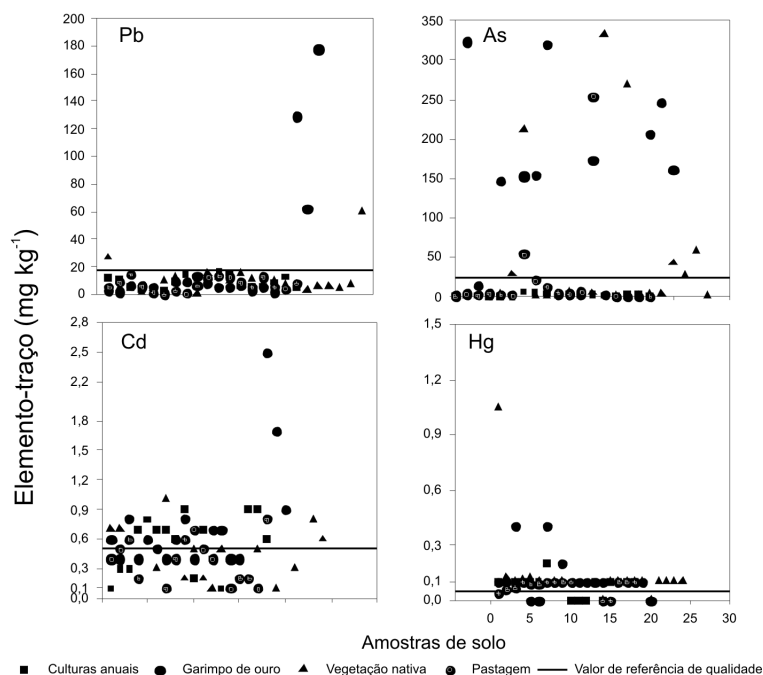
Não houve diferença significativa entre os teores dos ETs analisados segundo às profundidades do solo. Assim, apenas serão discutidos os teores da profundidade de 0,0–0,20 m para todos os atributos de solo avaliados nesse trabalho. Os teores médios de Pb variaram de 7,32 a 24,1 mg  $\text{kg}^{-1}$  (Tabela 1), em função das áreas amostradas. A maioria dos valores encontrados está abaixo do VRQ (Figura 2), o qual é de 17 mg  $\text{kg}^{-1}$  (CETESB, 2005). O intervalo de confiança para a média geral foi de 6,59 a 10,61 mg  $\text{kg}^{-1}$ . No entanto, em três pontos, na profundidade de 0–0,20 m, os valores de Pb se situaram acima do valor de prevenção (72 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) o que indica a possibilidade de ocorrência de efeitos prejudiciais à qualidade do solo e das águas. Esses teores de Pb mais elevados estão no garimpo de ouro, cujo teor médio de Pb encontrado foi de 24,29 mg  $\text{kg}^{-1}$ , acima, portanto, do VRQ (Figura 2). Em áreas de mineração de ouro, devido à oxidação de sulfetos, há maior possibilidade liberação de metais e a sua incorporação na matriz do solo (Melo & Abrahão, 1998). Estudos realizados por Cotta *et al.* (2003) em áreas de mineração de ouro revelaram teores médios de Pb no solo de 33 a 304 mg  $\text{kg}^{-1}$  e em mineração de Zn 614 mg  $\text{kg}^{-1}$  de Pb (Ribeiro-Filho *et al.*, 1999), enquanto para Latossolos não contaminados são relatados teores médios de 18 mg  $\text{kg}^{-1}$  de Pb (Pierangeli *et al.*, 2001).

Os teores médios de As mostram as menores médias nas áreas de cultura anual e pastagem (Tabela 1). Em cinco pontos amostrados, foi menor que 0,1 mg  $\text{kg}^{-1}$  com intervalo de confiança para a média de 10,4 a 47,67 mg  $\text{kg}^{-1}$ . Vários pontos de amostragem (46% em áreas de vegetação nativa; 60% em áreas de garimpo; 28% em áreas de culturas anuais; e 44,4% em áreas de pastagens) apresentaram teores de As acima do VRQ estipulado pela CETESB (2005), o qual é de 3,5 mg  $\text{kg}^{-1}$  (Figura 2). Como pode ser observado na figura 3, a maioria dos teores mais elevados de As ocorre nas áreas de garimpo o que corrobora a literatura que associa esse elemento como um sério problema ambiental em áreas de mineração de ouro (Matschullat *et al.*, 2000). Nas áreas de pastagens

**Tabela 1** - Teores médios de As, Cd, Hg, Pb e atributos químicos e físicos relacionados á fertilidade e de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso.

Atributo	Vegetação nativa	Garimpo de ouro	Cultura anual	Pastagens
pH H <sub>2</sub> O	6,4 (±0,11)	5,6 (±0,13)	6,4 (±0,08)	6,3 (±0,08)
pH CaCl <sub>2</sub>	5,5 (±0,13)	4,5 (±0,50)	5,5 (±0,09)	5,4 (±0,09)
MO <sup>2</sup>	22,4 (±1,6)	11,1 (±2,2)	25,0 (±2,19)	17,7 (±1,2)
P	6,2 (±2,7)	4,0 (±0,8)	5,8 (±1,15)	4,3 (±1,9)
K <sup>+</sup>	94,0 (±13,1)	81,9 (±21,2)	145,9 (±36)	114,4 (15,7)
Ca <sup>2+</sup>	4,32 (±0,6)	1,7 (±0,4)	4,32 (±0,4)	2,76 (±0,4)
Mg <sup>2+</sup>	1,31 (±0,1)	0,7 (±0,1)	1,41 (±0,1)	0,71 (±0,1)
Al <sup>3+</sup>	0,04 (±0,0)	0,7 (±0,1)	0,02 (±0,0)	0,01 (±0,0)
H+Al	2,45 (±0,2)	4,4 (±0,8)	2,61 (±0,1)	2,34 (±0,1)
CTC <sub>efe</sub>	5,9 (±0,7)	3,3 (0,5)	6,13 (±0,5)	3,77 (±0,4)
CTC <sub>pH7,0</sub>	8,32 (±0,7)	7,1 (±0,9)	8,72 (±0,6)	6,11 (±0,5)
V	65,8 (±3,6)	37,0 (±4,8)	67,7 (±2,9)	58,0 (±3,5)
m	1,45 (±0,7)	28,3 (±4,8)	1,37 (±0,9)	0,6 (±0,6)
P-rem	34,1 (±2,9)	34,7 (±3,7)	29,31 (±4,1)	29,8 (±4,1)
Zn <sup>1</sup>	3,0 (±1,0)	0,8 (±0,3)	1,72 (±0,3)	0,98 (±0,3)
Fe	22,5 (±4,4)	60,3 (±21,4)	44,5 (±12,9)	42,11 (±8,4)
Mn	89,5 (±14)	22,9 (±9,1)	69,06 (±10,0)	53,61 (±9,8)
Cu	2,77 (±1,0)	3,6 (±1,5)	0,77 (±0,2)	0,47 (±0,0)
B	0,20 (±0,0)	0,2 (±0,0)	0,29 (±0,0)	0,19 (±0,0)
As	43,90 (±93)	101,13 (±116)	2,47 (±1,6)	24,80 (±65)
Cd	0,45 (±0,26)	0,75 (±0,55)	0,55 (±0,3)	0,40 (±0,23)
Hg	0,14 (±0,21)	0,12 (0,12)	0,08 (±0,05)	0,07 (±0,05)
Pb	11,00 (±12,1)	24,1 (±48,1)	9,33 (±4,1)	7,32 (±4,5)
Argila	204,0 (±89)	163,0 (±92)	249,0 (±114)	223,0 (±101)
Areia	645,0 (±141)	607,0 (±177)	574,0 (±176)	638,0 (±141)
Silte	151,0 (±103)	230,0 (±199)	176,0 (±87)	138,0 (±49)

<sup>1</sup>Extração com solução de Mehlich 1. <sup>2</sup>MO; argila; silte; areia = g kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup>; Mg<sup>2+</sup>; Al<sup>3+</sup>; H+Al; CTC<sub>efe</sub>; CTC<sub>pH7,0</sub> = cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V; m = %; P-rem = mg L<sup>-1</sup>; P; K<sup>+</sup>; Zn, Fe, Mn, Cu, B = mg kg<sup>-1</sup>; números entre parênteses representam o desvio padrão



**Figura 2** - Amostras de solos coletadas na profundidade de 0,0-0,20 m na região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso, com teores de Pb, As, Cd e Hg (método EPA SW 3051) acima do valor de qualidade de solos estipulados pela CETESB para solos do estado de São Paulo.

(Tabela 1) os teores médios de As superam o VP (15 mg kg<sup>-1</sup>) (CETESB, 2005), enquanto nas áreas de vegetação nativa e garimpo os teores médios de As se encontram acima do valor VI para áreas agrícolas (35 mg kg<sup>-1</sup>) (CETESB, 2005).

Problemas na saúde humana e animal relacionado ao As tem sido relatado na literatura na Índia (Dave, 1996) e no Brasil (Matschullat *et al.*, 2000). Embora os teores semitotais não indiquem que o elemento esteja biodisponível, a ocorrência de elevados teores em solos da região é fato extremamente preocupante, pois o As e o F são os principais contaminantes inorgânicos dos sistemas aquáticos terrestres, com dezenas de milhões de vítimas por todo o mundo (Guilherme *et al.*, 2005). Maiores teores de As nas áreas de garimpo, provavelmente, estão relacionados à oxidação de arsenopirita ou dissolução de rochas ricas em As, conforme relatado na literatura. Nas áreas de vegetação nativa (Figura 2) os altos teores de As provavelmente, estão relacionados à litologia regional, a qual apresenta rochas com altos teores de As (> 3800 mg kg<sup>-1</sup>), conforme relatado por Fernandes *et al.* (2005). Os menores teores nas áreas de cultura, possivelmente, se devem a maior retirada de nutrientes e outros ETs do sistema, tanto devido à própria absorção pelas culturas, como também pela erosão, problema comum em áreas cultivadas.

Cerca de 15% das amostras apresentaram Cd inferior a 0,1 mg kg<sup>-1</sup>, os teores médios mais elevados estão nas áreas de garimpo e cultura (Tabela 1). O intervalo de confiança para a média geral foi de 0,35 a 0,49 mg kg<sup>-1</sup>. Nos solos do mundo, a concentração média de Cd varia de 0,06–1,1 mg kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Em Latossolos brasileiros estudos determinaram teores médios de 0,66 (± 0,2) mg kg<sup>-1</sup> (Campos *et al.*, 2003). Conforme se observa na Figura 2, várias amostras (21; 50; 55; e 22% em áreas de vegetação nativa, garimpo, culturas anuais e pastagem, respectivamente) apresentaram teores acima do VRQ (0,5 mg kg<sup>-1</sup>). O maior teor observado (0,96 mg kg<sup>-1</sup>) é inferior ao VP (1,3 mg kg<sup>-1</sup>). Contudo, apesar da alta proporção de teores acima do VRQ em áreas de culturas anuais e vegetação nativa, o teste de hipótese para a média indicou que em todas as áreas amostradas o teor médio de Cd é inferior ao VRQ. Para McBride (1994) teores de Cd no solo acima de 0,5 mg kg<sup>-1</sup> já é indicativo de contaminação, pois esse elemento é altamente tóxico para animais e plantas.

Em 11% dos pontos amostrados o teor de Hg foi inferior a 0,001 mg kg<sup>-1</sup> com intervalo de confiança para a média de 0,06 a 0,13 mg kg<sup>-1</sup>. As médias mais elevadas foram nas áreas de vegetação nativa (Tabela 1), porém a maioria dos pontos em todas as áreas (75% dos pontos amostrados em área de vegetação nativa; 65% nas áreas de garimpo; e 67% nas áreas de cultura anual e pastagens) apresenta teores maiores que o VRQ (0,05 mg kg<sup>-1</sup>). Apenas um ponto (Figura 2) em área de vegetação nativa apresentou teores acima do VP (0,5 mg kg<sup>-1</sup>). Em Alta Floresta-MT, Lacerda *et al.* (1999)

encontraram teores variados de Hg, mas os maiores foram (-0,21 mg kg<sup>-1</sup>) em áreas de florestas. Brabo *et al.*, (2007) e Oliveira *et al.* (2007) encontraram no Acre teores de Hg em solos entre 0,0179 a 0,279 mg kg<sup>-1</sup> e no Médio Rio Negro, entre 0,079 e 0,326 mg kg<sup>-1</sup> (Oliveira *et al.* 2007). Diversos autores (Roulet *et al.*, 1998; Lechler *et al.*, 2000; Roulet *et al.*, 2001) sugerem que os solos da bacia Amazônica possuem naturalmente teores mais elevados de Hg que os de outras regiões do mundo. No entanto, segundo Wasserman *et al.* (2001) essa afirmação não pode ser considerada conclusiva devido ao fato de que as amostragens foram muito pontuais e não considerou a alta diversidade dos atributos químicos de solos e ambientes da região Amazônica. No presente estudo, testes de hipótese para a média confirmam que todas as áreas amostradas, exceto as áreas de pastagens, apresentaram teores de Hg acima de 0,05 mg kg<sup>-1</sup>. Assim, é provável que o valor estipulado pela CETESB (2005) para o VRQ de Hg de solos de São Paulo não possa ser considerado referência para os da região do Vale do Alto Guaporé e confirma a necessidade da obtenção de valores de referência regionais.

Nas amostras de solos estudadas os teores médios de argila e matéria orgânica variaram de 163 a 249 e 11 a 25 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 1). Não há correlações significativas entre esses atributos e os teores de As, Cd, Pb e Hg nos solos, como relatado na literatura (Lacerda *et al.*, 1999; Oliveira *et al.*, 2007), provavelmente devido aos baixos teores de argila e matéria orgânica, bem como pela pouca variabilidade desses parâmetros entre as amostras de solo analisadas. Todavia, considera-se indispensável monitorar a possível transferência de alguns ETs, principalmente Cd e As e Hg, para a cadeia trófica na região do Vale do Alto Guaporé.

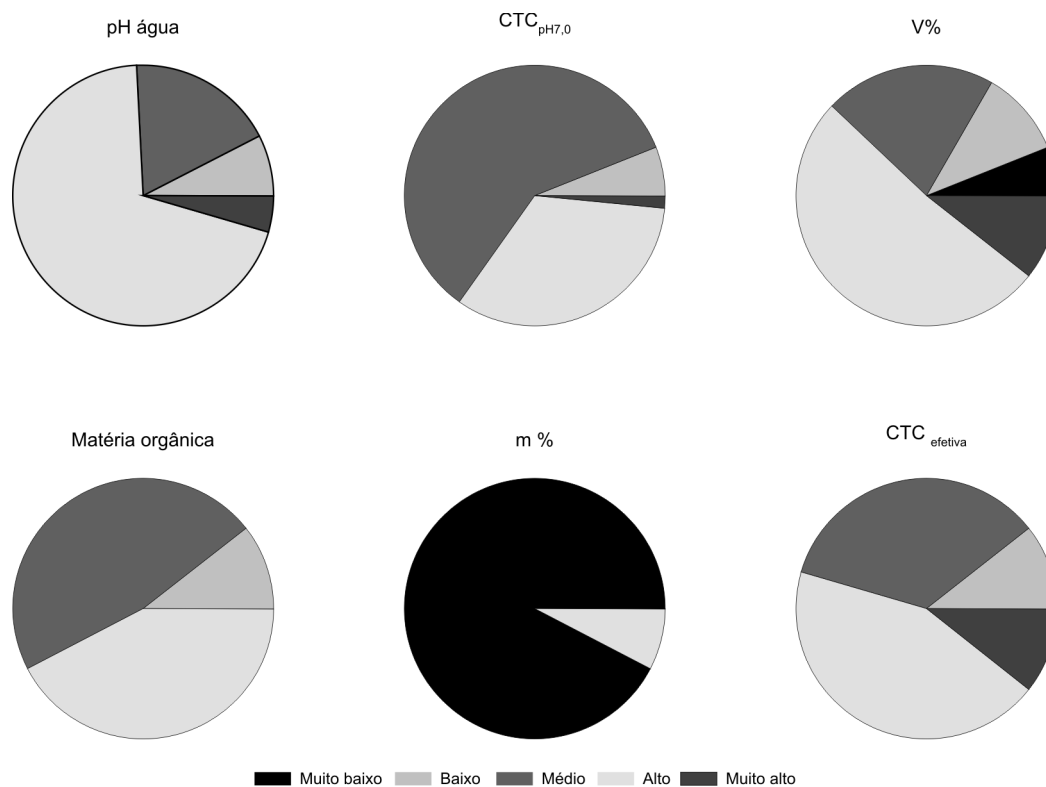
#### ATRIBUTOS DE FERTILIDADE

Valores médios de alguns atributos relacionados à fertilidade do solo das amostras analisadas são mostrados na Tabela 1. Contrariamente ao que se observa na maioria dos solos do Brasil (Souza & Lobato, 2004; Lopes & Guilherme, 2007), neste estudo há valores ótimos de pH; Ca<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>, por exemplo (Tabela 1). Esses altos valores de Ca<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>, podem, em parte, serem explicados pelo fato da região em estudo ser, em decorrência de sua posição geográfica (depressão do Guaporé), área de deposição de materiais mais que de remoção. Outras prováveis causas estão relacionadas à geologia regional, a qual compreende rochas sedimentares, granitos e granodioritos e rochas juvenis vulcânicas e plutônicas máficas (Fernandes *et al.*, 2005).

O percentual de valores de alguns atributos de interesse agrícola, segundo as classes de interpretação proposta por Alvarez *et al.* (1999), são mostrados na Figura 3. Com relação ao V, verifica-se que 21% das áreas amostradas apresentam valores médios (40–60%) adequados para grande maioria dos cultivares e 51,5% altos (60–80%). No entanto, para solos

dos Cerrados, Souza & Lobato (2004) associam valores de V maiores que 60 % a valores de  $pH_{\text{água}}$  maior que 6,3, condição esta que pode acarretar deficiência dos micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn. Saturações por bases de 72 e 71% são relatadas para solos relacionados com depósitos de sedimentos andinos da Amazônia Ocidental, próximo à fronteira Brasil-Peru (Lima *et al.*, 2006). É interessante ressaltar que 7,6% das áreas amostradas apresentam valores de  $pH_{\text{água}}$  baixos; 22,7% adequados; e 69,7% altos (6,1 a 7,0), segundo a classificação de Alvarez *et al.* (1999). Em solos do estado de Rondônia são relatados valores médios de 4,96 para  $pH_{\text{água}}$  (Crochane & Crochane, 2006), enquanto o de solos da região Amazônica variaram de 4 a 5 (Demattê & Demattê 1993). Em consonância com os valores de pH, verifica-se na Figura 3, a elevada porcentagem de solos com baixos valores de saturação por Al (~ 92%). Em contrapartida, Bot *et al.* (2000) relatam que toxidez por  $Al^{3+}$  afetam cerca de 63% da área de solos do Brasil, diferentemente do observado no presente estudo, no qual apenas 8% teriam esse problema. Tal fato evidencia a importância de estudos locais, principalmente em áreas de transição entre os biomas do Cerrado e Floresta Amazônica para aprimorar as práticas de manejo.

Os teores médios de P disponível (Tabela 1), tomando como referência a proporção de argila, são muito baixos em todas as áreas amostradas. Considerando todas as áreas, os teores de fósforo remanescente (P-rem) foram de 30 mg L<sup>-1</sup>, em média (Tabela 1). Devido às facilidades operacionais para a sua determinação, o P-rem é utilizado como critério para a interpretação dos teores de P no solo e recomendação de fertilização fosfatada por diversos autores (Alvarez *et al.*, 1999; Souza & Lobato, 2004). Também é utilizado na recomendação de calagem pelo método da neutralização do Al e elevação dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Alvarez & Ribeiro, 1999) e de gessagem (Alvarez *et al.*, 1999). Estudos preliminares realizados por Burmann *et al.* (2006) indicam correlação negativa e significativa entre argila e P-rem em solos da região de Pontes e Lacerda-MT, o mesmo se dá no presente estudo ( $r = 0,61$ ;  $P > 0,01$ ). Segundo Novais *et al.* (2007) a fração argila, principalmente sua qualidade, é a principal característica que define o solo como fonte de P. Para esses autores, com o aumento do conteúdo de argila nos solos intemperizados há maior fixação de P e menor liberação para a planta. Alvarez *et al.* (1999) estabeleceram seis classes de P-rem para fins de interpretação dos teores de P e poder tampão do solo (valor



**Figura 3** - Proporção de amostras enquadradas nas classes de teores muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, de acordo com Alvarez et al. (1999), em relação ao pH, CTC  $pH_{7,0}$ , saturação por bases (V), matéria orgânica, saturação por alumínio (m%) e CTC<sub>efetiva</sub> de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso.

y do cálculo da necessidade de calagem pelo método da neutralização do  $Al^{3+}$  e elevação de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ): 0-4; 4-10; 10-19; 19-30; 30-44; e 44-60  $mg L^{-1}$ . Teoricamente, quanto maior o teor de P-rem, menor é o poder tampão para P do solo (Alvarez *et al.*, 2000), provavelmente resultante de menores teores de argila ou devido a presença de argilas de alta atividade que têm maior densidade de cargas negativas e mineralogia pobre em óxidos de Fe e Al. Em todas as áreas deste estudo, cerca de 50% do P adicionado foi retido na fração sólida do solo e valor equivalente permaneceu em solução, teoricamente disponível para as plantas. Contudo, tornam-se indispensáveis outros experimentos para quantificar a disponibilidade do P que ficou retido no solo ao longo do tempo.

Os teores de matéria orgânica (Tabela 1) foram baixos (4 a 11,6  $g kg^{-1}$ ) nas áreas de garimpo e médios nas demais áreas. Canellas *et al.* (1999) relatam que a contribuição da matéria orgânica na CTC dos solos é tanto maior quanto menor for a contribuição da fração mineral. No presente estudo, correlações positivas e significativas foram obtidas entre a matéria orgânica e alguns atributos do solo: a  $CTC_{efc}$  ( $r = 0,56$ ;  $P < 0,01$ );  $CTC_{pH7}$  ( $r = 0,60$ ;  $P < 0,01$ ); fósforo ( $r = 0,29$ ;  $P < 0,05$ );  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  ( $r = 0,50$ ;  $P < 0,01$ ). Tais correlações indicam que a matéria orgânica contribui de forma efetiva para a manutenção da fertilidade desses solos e sua conservação deve ser priorizada nas práticas agrícolas.

Os micronutrientes Zn, Cu, Fe, Mn e B (Tabela 1) podem limitar a produtividade das culturas tanto pela deficiência quanto pelo excesso. Porém, Abreu *et al.* (2007) ressaltam que não há consenso na literatura sobre os critérios de qualificação dos resultados de análises de solo para micronutrientes, pela dificuldade de realizar, em condições de campo, ensaios de calibração. Em solos do Cerrado (45 amostras de superfície), Marques *et al.* (2002) observaram teores médios iguais, em  $mg kg^{-1}$ , a 0,5 ( $\pm 0,4$ ); 1,5 ( $\pm 1,7$ ); 21 ( $\pm 28$ ); 95 ( $\pm 38$ ); e 0,18 ( $\pm 0,06$ ) para Zn, Cu, Mn, Fe e B, respectivamente. Considerando as áreas de vegetação nativa, os teores de Zn, Cu e Mn verificados no presente estudo (Tabela 1) são superiores aos relatados por Marques *et al.* (2002).

Vários são os fatores que influenciam a disponibilidade de ETs nos solos, destacando-se entre eles o material de origem, teores de argila e matéria orgânica. Em face da falta de dados acerca da mineralogia dos solos estudados os teores mais elevados de alguns ETs, observados no presente estudo, podem estar relacionados aos baixos conteúdos de argila (Tabela 1), que condiciona menor capacidade de adsorção de ETs, como relatado na literatura (Kabata Pendias & Pendias, 2001; Pierangeli *et al.*, 2001; Abreu *et al.*, 2007).

## CONCLUSÕES

Os teores médios de As, Cd e Hg nas amostras de solo estudadas foram mais elevados nas áreas de garimpo, embora

teores mais altos que os estipulados como referência de qualidade de solos, os quais indicam solos não contaminados, foram verificados em todas as áreas amostradas. Embora os teores semitotais determinados no presente estudo não signifiquem que esses elementos sejam biodisponíveis é importante ressaltar a importância dessas determinações em níveis regionais, bem como sua possível transferência para a cadeia trófica. Nesse contexto merece destaque o As, cujos teores nas áreas de vegetação nativa, garimpo e pastagens foram superiores aos valores de prevenção estipulados pela CETESB para solos do estado de São Paulo. No entanto, em razão da complexidade geoquímica do As apenas a determinação do teor total não é suficiente para descrever seu comportamento no meio ambiente. Há necessidade do uso de técnicas de especiação do As para avaliar convenientemente aspectos relacionados à toxicidade e biodisponibilidade desse elemento no ambiente.

Com relação aos parâmetros relacionados à fertilidade do solo, merece destaque a grande porcentagem de solos com alta saturação por bases e baixa saturação por Al e altos valores de pH diferentemente do que é relatado para a região dos Cerrados e mesmo da região Amazônica como um todo.

## AGRADECIMENTOS

A FAPEMAT pelo apoio financeiro para a realização deste estudo.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Abreu, C.A.; Lopes, A.S.; Santos, G. 2007. Micronutrientes. In: Novais *et al.* (Eds). *Fertilidade do solo*. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 645-736.
- Abreu, C.A.; Abreu, M.F.; Berton, R.S. 2002. Análise química de solo para metais pesados. In: Alvarez, V.H.V.; Schaefer, C.E.G.R.; Barros, N.F.; Mello, J.W.V. & Costa, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*, v.2. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 646-692.
- Abrahams, P.W. 2002. Soils: implications to human health. *The Sci. Total Environ.*, 291:1-32.
- Alvarez, V.H.V.; Novais, R.F.; Dias, L.E.; Oliveira, J.A. 2000. *Determinação e uso do fósforo remanescente*. In: Boletim informativo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 25:(1)27-32.
- Alvarez, V.H.V.; Ribeiro, A.C. 1999. Calagem. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G. & Alvarez, V.H.V. (eds). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação*. Viçosa. p. 43-60.
- Alvarez, V.H.V.; Dias, L. E.; Ribeiro, A.C.; Souza, R.B. De. 1999. Uso de gesso agrícola. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G. & Alvarez, V.H.V. (eds). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação*. Viçosa, p. 67-78.

- Alvarez, V.H.V.; Novais, R.F.; Barros, N.F.; Cantarutti, R.B. Lopes, A.S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G. & Alvarez, V.H.V. (eds). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação*. Viçosa, p. 25-36.
- Bot, A.J.; Nachtergaele, F.O.; Young, A. 2000. *Land resource potential and constraints at regional and country levels*. Rome, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization, 114pp.
- Burmann, M.A.; Paglarini, P. C. F.; Costa, R. B. F.; Batista, W. F.; Pierangeli, M.A.P. 2006. *Retenção de fósforo em amostras de solos do município de Pontes e Lacerda-MT, avaliados pelo valor do p-remanescente*. Resumo expandido. In: FERTBIO/2006, A Busca das Raízes, Anais... CD ROM.
- Campos, M.L.; Pierangeli, M.A.P.; Guilherme, L.R.G.; Marques, J.J.; Curi, N. 2003. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 34(3e4):547-557.
- Canellas, L.P.; Santos, G.A.; Amaral Sobrinho, N.M.B. 1999. Reações da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Eds) *Fundamentos da Matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais*. Genesis, Porto Alegre, p. 69-89.
- Casarini et al. (coord.). 2001. *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo*. São Paulo, CETESB, 73 p. (Relatório completo disponível em [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/aguas\\_final.zip](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/aguas_final.zip)). Acesso: 18/02/2006.
- CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. 2005. Decisão da Diretoria nº 195/2005. *Valores orientadores para solos e águas subterrâneas do estado de São Paulo*. 4p. (disponível em [www.cetesb.sp.org.br](http://www.cetesb.sp.org.br)). Acesso: 13/08/2007
- Cochrane, T.T.; Cochrane, T.A. 2006. Diversity of the Land Resources in the Amazonian State of Rondônia, Brazil. *Acta Amazonica*, 36(1):91-102.
- Cotta, J.A.O. 2003. *Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)*. Dissertação de Mestrado em Ciências-Química analítica. Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 116pp.
- Dave, J.M. 1996. *Arsenic contamination of drinking water in Bangladesh*. World Health organization Project. BAN CWS 001. p. 3-5.
- Demattê, J.L.I.; Demattê, J.A.M. 1993. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da Floresta Amazônica e do Cerrado do Brasil Central. *Scientia Agricola*, 50(2) 272-286.
- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária-Embrapa. 1997. *Manual de métodos de análises de solo*. 2 ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPQ). Rio de Janeiro, 212pp.
- Fernandes, C.J.; Ruiz, A.S.; Kuyumjian, R.M.; Pinho, F.E.C. 2005. Geologia e controle estrutural dos depósitos de ouro do Grupo Aguapeí - região da Lavrinha, sudoeste do Cráton Amazônico. *R. Bras. Geoci.*, 35(1):13-22.
- Ferreira, D.F. 2000. *Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0*. In: 45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos-SP, p. 255-258.
- Figueiredo, R.B.; Borba, R.P.; Angélica, R.S. 2007. Arsenic occurrence in Brazil and human exposure. *Environ. Geoch. Health*, 29:109-118.
- Guilherme, L.R.G.; Marques, J.J.G.S.M.; Pierangeli, M.A.P.; Zuliani, D.Q.; Campos, M.L. 2005. Elementos-traço em solos, sedimentos e nas águas. In: *Tópicos em ciência do solo*. Volume 5. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 345-390.
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. 2001. *Trace elements in soils and plants*. 3<sup>rd</sup> ed. Boca Raton: CRC Press, 413pp.
- Lacerda, L.D.; Ribeiro Jr., M.G.; Souza, M. de; Ayres, G.A. 1999. *Distribuição de mercúrio em solos e sedimentos lacustres na região de Alta Floresta-MT*. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, Série Tecnologia Ambiental, 23pp.
- Lal, R. & Pierce, F.J. 1991. The vanishing resource. In: Lal, R. & Pierce, F.J. (eds). *Soil management for sustainability*. Soil and Water Conservation Society, p. 1-5.
- Lechler, P.J.; Miller, J.R.; Lacerda, L.D.; Vinson, D.; Bonzongo, J.C.; Lyons, W.B.; Warwick, J.J. 2000. Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? *Sci. Total Environ.*, 260:87-96.
- Lima, H.N.; Mello, J.W.V.; Schaefer, C.E.G.R.; Ker, J.C.; Lima, A.M.N. 2006. Mineralogia e química de três solos em uma toposequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:59-68.
- Lopes, A.S.; Guilherme, L.R.G. 2007. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: Novais et al. (Eds). *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, p. 1-64.
- Marques, J.J.G.S.M.; Curi, N. & Schulze, D.G. 2002. Trace elements in cerrado soils. In: Alvarez, V.H.V.; Schaefer, C.E.G.R.; Barros, N.F.; Mello, J.W.V. & Costa, L.M., (Eds). *Tópicos em ciência do solo*. Vol. 2. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, p. 103-142.
- McBride, M.B. 1994. *Environmental chemistry of soils*. New York, Oxford University Press, 406pp.
- Matschullat, J.; Borba, R.P.; Deschamps, E.; Figueiredo, B.R.; Gabrio, T.; Schwenk, M. 2000. Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil. *Appl. Geoch.*, 5:181-190.
- Mello, J.W.V.; Abrahão, W.A.P. 1998. Geoquímica da drenagem ácida. In: Dias, L.E.; Mello, J.W.V. (Eds). *Recuperação de áreas degradadas*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p. 45-57.
- Oliveira, L.C. de; Serudo, R.L.; Botero, W.G.; Mendonça, A.G.R.; Ademir Dos Santos, Rocha, J.C.; Neto, F. da S.C. 2007. Distribuição de mercúrio em diferentes solos da bacia do Médio Rio Negro-AM: influência da matéria orgânica no ciclo biogeoquímico do mercúrio. *Química Nova*, 30(2): 274-280.
- Novais, R.F.; Smyth, T.H.; Nunes, F.N. 2007. Fósforo. In: Novais et al. (Eds). *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, p. 470-550.



- Pierangeli, M.A.P.; Guilherme, L.R.G.; Oliveira, L.R.; Curi, N.; Silva, M.L.N. 2001. Efeito da força iônica da solução de equilíbrio sobre a adsorção/dessorção de chumbo em Latossolos brasileiros. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36( 8)1077–1084.
- Ribeiro-Filho, M.R.; Curi, N.; Siqueira, J.O.; Motta, P.E.F. 1999. Metais pesados em solos de áreas de rejeitos de indústria de processamento de zinco. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:453–464.
- Roulet, M.; Lucotte, M.; Guimarães, J.R.D.; Rheault, I. 2001. Methylmercury in water, seston, epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 261:43-59.
- Roulet, M.; Lucotte, M.; Saint-Aubin, A.; Tran, S.; Rheault, I.; Farella, N.; De Jesus Da Silva, E.; Dezencourt, J.; Sousa Passos, C.J.; Santos Soares, G.; Guimarães, J.R.; Mergler, D.; Amorim, M. 1998. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River valley, Pará State, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 223:1-24.
- Souza, M.G.D.; Lobato, E. 2004. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2 ed. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília-DF, 416pp.
- USEPA - United State Environmental Protection Agency. 1996. *Soil screening guidance: technical background document*. Washington, DC. EPA, Office of solid waste and emergency response. (EPA/540/R-95/128). 168pp.
- USEPA – United State Environmental Protection Agency. 1998. *Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf>. Acesso: 18/01/2006.
- VROM, Ministry of Housing, 1994, *Spatial Planning and Environment*. Intervention values and target values: soil quality standards. The Hague: VROM, (DBO/07494013),19pp.
- Wasserman, J.C.; Hacon, S.S.; Wasserman, M.A. 2001. O ciclo do mercúrio no ambiente Amazônico. *Mundo & Vida*, 2:46-53.

Recebido em 07/07/2008

Aceito em 09/12/2008

