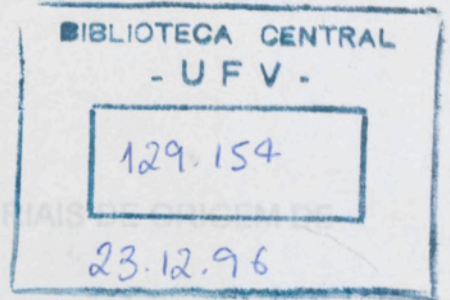


TEOGENES SENNA DE OLIVEIRA



METAIS PESADOS COMO INDICADORES DE MATERIAIS DE ORIGEM DE SOLOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

T  
631.4  
048m  
1996  
lx. 2

UFV	BIBLIOTECA	BBT	OBRA	RG000737849
	CLASSIFICAÇÃO T 631.4 / 048m / 1996			
TÍTULO Metais pesados como indicadores de materiais				
129154		BBT		

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
NOVEMBRO - 1996

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

O48m  
1996

Oliveira, Teogenes Senna de, 1961-  
Metais pesados como indicadores de materiais de origem de  
solos / Teogenes Senna de Oliveira. – Viçosa : UFV, 1996.  
128p. : il.

Orientador: Liovando Marciano da Costa.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

1. Solos - Teor de metal pesado. 2. Solos - Separação mag-  
nética de minerais. 3. Solos - Magnetismo. I. Universidade Fe-  
deral de Viçosa. II. Título.

CDD.19.ed. 631.4  
CDD.20.ed. 631.4

TEOGENES SENNA DE OLIVEIRA

METAIS PESADOS COMO INDICADORES DE MATERIAIS DE ORIGEM DE SOLOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

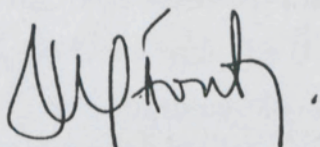
Aos meus pais, Flávio e Maria

As minhas queridas irmãs, Cláudia e Flávia

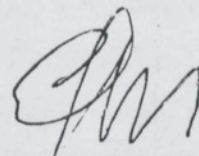
A minha adorável Andréa

com todo meu amor.

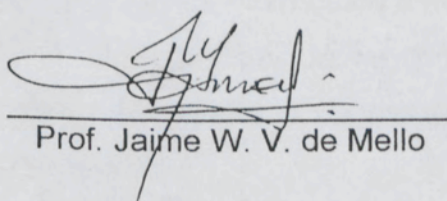
APROVADA: 15 de abril de 1996



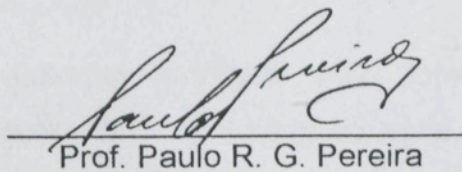
Prof. Maurício P. F. Fontes  
(Conselheiro)



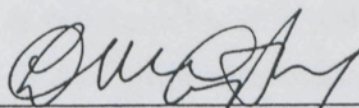
Prof. Eduardo de Sá Mendonça  
(Conselheiro)



Prof. Jaime W. V. de Mello



Prof. Paulo R. G. Pereira



Prof. Liovando Marciano da Costa  
(Orientador)

## AGRADECIMENTO

Sensação boa esta a de poder agradecer.

Aos meus pais, Flávio e Maria Célia,

Às minhas queridas irmãs, Cláudia e Flávia,

À minha adorável Andréa,

com todo meu amor.

Ao Livando, por tudo, mas tudo mesmo, que convivemos, pelo muito que aprendi, e, acima de tudo, pela amizade e pelo respeito com que sempre me considerou. Com muito afeto, obrigado!

Ao Maurício, Jaime, Eduardo, Paulo, João Ker e Walter, pelo apoio, pelas críticas, pelas sugestões e, acima de tudo, pelo agradável convívio e pela amizade.

Ao João, Adair, Cosme, Luiz Antônio, Silvana, Hélio e Gilson, pela orientação e atenção dedicada, sempre solícitos e pacientes nas discussões e respeito dos procedimentos estatísticos executados. Ao Prof. Lauro, pela avaliação final feita e a tranquilidade proporcionada ao final dessa etapa.

Ao Hom e o Prof. Agostinho (UFMG), pela viabilização do trabalho conjunto, facilidades oferecidas e a chance de tê-los conhecido.

Ao Brito, pelo apoio proporcionado na coleta de amostras em campo.

Ao pessoal dos laboratórios e de apoio, os quais efetivamente contribuíram para a execução dos trabalhos de laboratório em todas as ocasiões solicitadas, sempre com muita amizade e respeito, principalmente: a Domingos e Zé Carlos da Fitotecnia; Tiãozinho, Luis, Zélia, Cláudio, Seu Renglo, Cardoso, Bené, Ferreira, Zé Geraldo, Carlos, Braz, Chico e Macarrão, do Solos; Roberto, Kênia e Nivia, do CPMTCC; Seu Malco e o Luizinho, do CEPET-UFV.

## AGRADECIMENTO

Sensação boa esta a de poder agradecer.

Primeiramente às instituições que me deram a oportunidade, o apoio e as condições, tornando viável a realização do curso: à Universidade Federal de Viçosa-UFV, principalmente aos Departamentos de Fitotecnia e Solos e à Central de Experimentação e Pesquisa do Triângulo Mineiro-CEPET; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq; ao Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa-CPMTC e ao Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG; à Universidade Federal de Uberlândia-UFU e, por último, a Universidade Federal do Ceará-UFC e ao Departamento de Ciências do Solo, agora muito mais, pelas perspectivas de trabalho que se abrem.

Ao Liovando, por tudo, mas tudo mesmo, que convivemos, pelo muito que aprendi, e, acima de tudo, pela amizade e pelo respeito com que sempre me considerou. Com muito afeto, obrigado!

Ao Maurício, Jaime, Eduardo, Paulo, João Ker e Walter, pelo apoio, pelas críticas, pelas sugestões e, acima de tudo, pelo agradável convívio e pela amizade.

Ao Júlio, Adair, Cosme, Luiz Antônio, Silvana, Hélio e Gilson, pela orientação e atenção dedicada, sempre solícitos e pacientes nas discussões a respeito dos procedimentos estatísticos executados. Ao Prof. Laede, pela avaliação final feita e a tranquilidade proporcionada ao final dessa etapa.

Ao Horn e o Prof. Agostinho (UFMG), pela viabilização do trabalho conjunto, facilidades oferecidas e a chance de tê-los conhecido.

Ao Brito, pelo apoio proporcionado na coleta de amostras em campo.

Ao pessoal dos laboratórios e de apoio, os quais efetivamente contribuíram para a execução dos trabalhos de tese em todas as ocasiões solicitadas, sempre com muita amizade e respeito, principalmente: a Domingos e Zé Carlos da Fitotecnia; Tiãozinho, Luís, Zélia, Cláudio, Seu Renato, Cardoso, Bené, Ferreira, Zé Geraldo, Carlos, Braz, Chico e Macarrão, do Solos; Robson, Kênia e Nívia, do CPMTC; Seu Matos e o Luizinho, do CEPET-UFV.

À Aparecida da BBT, pelo eficiente trabalho nas correções bibliográficas.

A Solange, pelo minucioso, paciente e excelente trabalho gráfico.

À Mara e ao Vicente Madaleno, sempre extremamente eficientes e agradáveis, pela amizade e atenção dedicada.

Aos companheiros e amigos de almoço diário no Cedrus: Juninho e galera, Marco Túlio, Ilza, Renak, Uiara, Rafael, Paulo, Hilke, Aparecida, Samuel, Gisele e Walter, que proporcionaram horas muito agradáveis e de intensa convivência e participação.

Aos velhos amigos, muitos deles já um tanto "distantes", mas sempre guardados com muito carinho: Wagner, Zequinha, Edmundo, Zé Márcio, Piá, Tachinha, Zezinha, Bia, Irene, Ivo, Kátia Maltoni, Pedro Viégas, Renato, Quintino, Ricardo Henrique, Derly, Solange; e aos novos, alguns conhecidos a muito, felizmente "descobertos": Pádua, Eveline, Willam, Beth, De Castro, Tadeu, Luciano, Carminha, Paulo Marrocos, Robério, Gilson, Finger, Regina, Paulo Saraiva, Cláudia, Bacarin, Andréa, Leonaldo, Waldênia, Paulo César, Paulo Spina, Hélio e Claudivam.

Aos Siqueiras e aos Anacleto por tudo que são e que representam.

Ao povo de Carbonita pela experiência de vida e por tudo que me ensinaram.

A Taiga e Godofredo, "novos cidadãos" cearenses, pela satisfação, pelos momentos de relaxamento e pela companhia durante a realização deste trabalho.

Às várias outras pessoas que, de alguma forma e nas mínimas coisas, fizeram-se presentes.

## BIOGRAFIA

TEOGENES SENNA DE OLIVEIRA, filho de Flávio de Oliveira e Maria Célia de Senna, nasceu em Ponte Nova, Minas Gerais, em 6 de agosto de 1961.

Iniciou o curso de Agronomia em 1981, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em 1986, sendo, logo em seguida, contratado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais, EMATER-MG, exercendo funções no escritório local da cidade de Carbonita.

Em agosto de 1987, iniciou o curso de pós-graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, e, posteriormente, em 1991, o mesmo curso, em nível de Doutorado,

Aprovado em concurso público para o cargo de Professor Assistente junto ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, em dezembro de 1994, tendo sido contratado em julho de 1995.

2.3. Análises físicas.....	18
2.4. Análises químicas.....	19
2.4.1. Análises químicas de fertilidade.....	19
2.4.2. Determinação de $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$ , $SiO_2$ , $TiO_2$ e $P_2O_5$ .....	20
2.4.3. Determinação de ferro livre (Fe DCB).....	20
2.4.4. Determinação de ferro amorfo (Fe OA).....	22
2.4.5. Determinação de metais pesados.....	22

	Página
2.5. Análises mineralógicas .....	24
2.6. Separação magnética .....	25
2.7. Análises estatísticas .....	27
2.7.1. Análise univariada .....	27
2.7.2. Análise multivariada .....	29
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>34</b>
3.1. Contribuições antropicas aos teores naturais de metais pesados do solo na topo-litosequência do triângulo mineiro .....	34
<b>3.2. Influência e separação dos diferentes materiais de origem pelos teores de metais pesados do solo na topo-litosequência do triângulo mineiro</b> .....	<b>37</b>
3.2.1. Análise de agrupamento .....	47
3.2.2. Contribuição relativa das variáveis .....	49
3.2.3. Análise discriminante .....	49
<b>EXTRATO</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
2.1. Descrição geral da área da topo-litosequência do triângulo mineiro .....	9
2.2. Seleção e coleta dos solos utilizados .....	11
2.3. Análises físicas .....	13
2.4. Análises químicas .....	19
2.4.1. Análises químicas de fertilidade .....	19
2.4.2. Determinação de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> e P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	20
2.4.3. Determinação de ferro livre (Fe DCB) .....	20
2.4.4. Determinação de ferro amorfo (Fe OA) .....	22
2.4.5. Determinação de metais pesados .....	22

	Página
2.5. Análises mineralógicas.....	24
2.6. Separação magnética.....	25
2.7. Análises estatísticas.....	27
2.7.1. Análise univariada.....	27
2.7.2. Análise multivariada.....	29
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
3.1. Contribuições antrópicas aos teores naturais de metais pesados do solo na topo-litoseqüência do triângulo mineiro.....	34
3.2. Influência e separação dos diferentes materiais de origem pelos teores de metais pesados do solo na topo-litoseqüência do triângulo mineiro.....	37
3.2.1. Análise de agrupamento.....	37
3.2.2. Contribuição relativa das variáveis.....	47
3.2.3. Análise discriminante.....	49
3.3. Extração ácida de metais pesados de alguns solos da topo-litoseqüência do Triângulo Mineiro.....	57
3.4. Relação entre os teores de metais pesados e a magnetização da argila, areia e silte de solos de diferentes materiais de origem.....	78
<b>4. RESUMO E CONCLUSÕES.....</b>	<b>109</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>122</b>

## EXTRATO

OLIVEIRA, Teogenes Senna de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, Novembro de 1996. *Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos*. Professor Orientador: Liovando Marciano da Costa. Professores Conselheiros: Eduardo de Sá Mendonça, Heinrich Adolf Horn, Maurício Paulo Ferreira Fontes.

Objetivou-se, com o presente estudo: (a) determinar os teores de metais pesados em amostras de solos de uma topo-litosequência coletada no Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, para testar a hipótese de que estes elementos podem ser utilizados como marcadores na identificação e separação da influência do material de origem; (b) avaliar os teores de metais pesados, obtidos por extração ácida, a concentrações crescentes, em solos de formação típica e de transição dos materiais de origem da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, simulando a disponibilidade destes elementos através das equações obtidas, para verificar a hipótese de que solos com diferentes origens apresentam potencial de disponibilidade diferenciado com relação aos elementos estudados; e (c) separar magneticamente e determinar os teores de metais pesados e a magnetização das frações magnéticas da areia, silte e argila de solos com diferentes origens, para avaliar a hipótese de que maiores níveis de magnetização correspondem a teores elevados destes elementos. Para tanto, coletaram-se amostras de solo, determinando-se na TFSA e

frações total, magnética e não-magnética da areia, silte e argila, os teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Zr e V, por três tipos de ataque ácido concentrado:  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1),  $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (20:6:3) e  $\text{HCl}/\text{HF}/\text{HClO}_4$  (4:8:1), e em concentrações crescentes de  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1): 0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L, dosados por espectrofotometria de absorção atômica simples ou com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES). Fez-se o uso de procedimentos de análise uni e multivariada para a avaliação estatística dos dados. Os resultados obtidos permitem concluir: (a) Os metais pesados são indicativos do material de origem, podendo ser usados como marcadores para a separação e delimitação da área de influência destes; (b) As técnicas multivariadas adotadas se mostraram viáveis para este tipo de estudo, porém, somente quando analisadas conjuntamente; (c) Entre os elementos estudados os que mais contribuíram para a diversidade foram:  $\text{Cu} > \text{Ni} = \text{Fe} = \text{Mn} = \text{Zn}$ , sendo que Cd e Pb foram os de menor importância, o que pode levar a inferir sobre a dispensa da avaliação destes elementos em estudos futuros em áreas semelhantes; (d) Pela simulação feita, os solos originários de basalto apresentam maior potencial de disponibilidade de metais pesados para as plantas, comparativamente aos solos desenvolvidos de gnaisse e arenito+sedimentos do Terciário; (e) Comprova-se a associação entre magnetização e metais pesados, com exceção de solos desenvolvidos de itabiritos e filitos hematíticos, identificando-se também que o comportamento para o diamagnético de certos componentes da argila tende a predominar sobre o ferromagnético, com efeito cúbico-raiz; (g) O separador magnético utilizado e os procedimentos adotados mostraram-se eficientes para a separação magnética dos solos estudados e o relacionamento com a magnetização da areia, silte e argila, e (h) A afinidade geoquímica dos metais pesados da areia e silte com os componentes magnéticos destas é constatada, sendo observados teores maiores destes elementos na fração magnética separada, o que não ocorre com a argila.

elements. For this, samples of soil were collected, determining in the air dried soil-samples (< 2 mm) and total fractions, magnetic and non-magnetic sand, silt and clay, the contents of Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Zr and V, through three types of attack of concentrated acid: HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) and HClVHF/HClO<sub>4</sub> (4:6:1), and one at increasing concentrations: 0, 0,3, 0,6, 0,9 and 1,2 mol/L, determined by spectrophotometry of atomic absorption or with inductively coupled plasma (ICP-AES). Procedures of analysis uni and multivariated were used for the statistical evaluation of the data. The obtained results allow to conclude: (a) The heavy metals are indicator of the parent of the material, being able to be used as markers for the separation and delimitation of their influence; (b) The adopted multivariated techniques proved themselves viable for this kind of study, however, only when analysed as a whole; (c) Among the studied elements the ones that contributed for the diversity were: Cu-Ni-Fe-Mn-Zn, however Cd

### ABSTRACT

OLIVEIRA, Teogenes Senna de, D.S., Federal University of Viçosa, Viçosa, Minas Gerais State, Brazil, November 1996. Heavy metals as indicators of materials originating from soils. Advisor: Liovando Marciano da Costa. Committee Members: Eduardo de Sá Mendonça, Heinrich Adolf Horn, Maurício Paulo Ferreira Fontes.

The present study had the purpose: (a) to determine the contents of heavy metals in samples of soils of a topo-lithosequence collected in the "Triângulo Mineiro", State of Minas Gerais, Brazil, in order to test the hypothesis that these elements could be used as markers on the identification and separation of the influence of the soil parent material; (b) to evaluate the contents of heavy metals, obtained through acid extraction, at increasing concentration, in soils of typical formation and of transition of the materials of topo-lithosequence from the "Triângulo Mineiro", simulating a availability of these elements through obtained equations, to verify the hypothesis that the soils with different origins present potential of differentiated disponibility regarding the studied elements; and (c) to magnetically separate and determine the contents of heavy metals and the magnetization of magnetic fraction in the sand, silt and clay of soils with different origins, to evaluate the hypothesis that the higher levels of magnetization correspond to high contents of these

elements. For this, samples of soil were collected, determining in the air dried soil-samples (< 2 mm) and total fractions, magnetic and non-magnetic sand, silt and clay, the contents of Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Zr and V, through three types of attack of concentrated acid: HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) and HCl/HF/HClO<sub>4</sub> (4:8:1), and one at increasing concentrations: 0; 0,3; 0,6; 0,9 and 1,2 mol/L, determined by espectrophotometry of atomic absorption or with inductively coupled plasma (ICP-AES). Procedures of analysis uni and multivarieted were used for the statistical evaluation of the data. The obtained results allow to conclude: (a) The heavy metals are indicator of the parent of the material, being able to be used as markers for the separation and delimitation of the area of their influence; (b) The adopted multivarieted techniques proved themselves viable for this kind of study, however, only when analysed as a whole; (c) Among the studied elements the ones that contributed for the diversity were: Cu>Ni=Fe=Mn=Zn, however Cd and Pb were the ones with the least importance, which might lead to infer about the discard of the evaluation of these elements in future studies in similar areas; (d) According to the simulation that was done, the soils that originated from basalt presented the higher potential of availability of heavy metals for the plants, comparing to the soils developed from gnaiss and sandstone + terceary sediments; (e) The association between magnetization and heavy metals, with the exception of soils developed from itabrite and hematitic phyllite was proven, also identifying that the para and diamagnetic behavior of certain clay components tends to predominate over the ferromagnetic, with root-cubic effect; (g) The used magnetic separator and the adopted procedures prove to be efficient for the magnetic separation of the studied soils and the relationship with the magnetization of sand, silt and clay, and (h) The geochemical affinity of the heavy metals of the sand and silt with the their magnetic compounds is proven, it was observed higher contents of these elements in the separated fraction, which does not occur with the clay.

## 1. INTRODUÇÃO

Quando se discute metais pesados, um dos primeiros aspectos abordados refere-se a sua conceituação e as várias denominações que este grupo de elementos recebe na literatura. Classicamente são definidos como os elementos, e suas formas iônicas, que pertencem ao grupo de transição e não transição da tabela periódica com densidade maior que  $6 \text{ g/cm}^3$ . Engloba-se, desta forma, metais, semi-metais e até não-metais, no caso o Se, normalmente associados à poluição, à contaminação e à toxicidade, incluindo também alguns elementos essenciais aos seres vivos, quando em pequenas concentrações (ALLOWAY, 1990; AMARAL SOBRINHO, 1993). Apesar de ser de definição ambígua, o mesmo é amplamente usado na literatura científica, sendo adotado no presente estudo

Outras denominações vão estar em função da concentração, dos efeitos e das conseqüências no meio ambiente. Por exemplo, se tais elementos estão em baixas concentrações na planta e, ou, atendem os critérios de essencialidade, estes podem ser considerados como microelementos ou micronutrientes, caso contrário poderão ser denominados de metais tóxicos. De acordo com ALLOWAY (1990), o termo elementos traços tem recebido a preferência de vários pesquisadores, porém não se tornou de uso comum.

Metais pesados x solo x material de origem - Por serem muito estáveis na natureza, conseqüentemente possíveis de serem acumulados no solo e, ou, sistemas biológicos (BITTELL e MILLER, 1974; LAGERWERFF, 1977), nos últimos anos, o estudo dos metais pesados tem-se concentrado na avaliação dos efeitos da acumulação nos organismos nos diferentes ecossistemas, principalmente pela adição antrópica ao meio ambiente, a transferência na cadeia alimentar e os meios alternativos de convivência com os problemas gerados pelos excessos ocorridos. Neste último caso, parece ser a destinação adequada dos resíduos sólidos produzidos pelas diferentes atividades urbano-industriais, atualmente a principal área de atuação dos pesquisadores, com grande número de trabalhos desenvolvidos nas mais diferentes situações (GUPTA e STADELMANN, 1983; SINGH e SEKHON, 1991; GAMBRELL et al., 1991; MARIÑO et al., 1992; SHOTYK et al., 1992; MALMER et al., 1992; CIAVATTA et al., 1993; TAYLOR et al., 1993; PASCOE et al., 1994).

Os metais pesados podem estar presentes no solo nas seguintes formas: como parte do material de origem ou de minerais do solo de origem secundária, precipitado com outros compostos do solo (carbonatos, por exemplo), adsorvido em sítios de troca (óxidos ou hidróxidos, minerais de argila silicatados e matéria orgânica), dissolvidos na solução do solo ou incorporados em microrganismos, plantas ou animais (SCHMITT e STICHER, 1991). As interações com a fase sólida são bastante complexas, envolvendo reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução, tanto com a fase inorgânica quanto orgânica.

O grau de mobilidade, atividade e biodisponibilidade vai depender de vários fatores, como: pH, temperatura, potencial redox, CTC, competição com outros metais, ligação com ânions e a composição e força iônica da solução do solo. Vários autores, citados por MATOS (1995), consideram ainda que a mobilidade dos metais pesados é influenciada ainda pela superfície específica, textura, densidade aparente, a quantidade de matéria orgânica, o tipo e a quantidade de minerais de argila, além do tipo e da quantidade de metais. Não obstante deve-se fazer referência às variações das diferentes propriedades do solo em curtas distâncias, submetendo os teores naturais de metais pesados à inerente variabilidade espacial do solo (TRANGMAR et al., 1985; WOPEREIS et al., 1988; ZANINI e BONIFACIO, 1991). No geral, estudos de mobilidade

têm demonstrado que os metais pesados Pb, Cr e Cu apresentam baixa mobilidade, acumulando-se nas camadas superficiais do solo, enquanto que Zn, Mn, Ni e Cd são, relativamente, mais móveis (ZABOWSKI e ZASOSKI, 1987; AMARAL SOBRINHO, 1993; FONTES et al., 1993; MATOS et al. 1994).

Os vários mecanismos envolvidos relacionados às propriedades do solo de influência direta poderão levar, como conseqüência, a manutenção de um equilíbrio, quanto ao nível dos teores de metais pesados no solo, refletindo não somente os teores característicos das diferentes situações de material de origem e pedogênese, mas também o resultado de interações, tanto quantitativas quanto qualitativas. É consenso geral na literatura o fato de que os teores destes elementos no solo refletem os teores do material de origem, logicamente com exceção dos casos de intensa deposição destes por uma fonte antrópica qualquer, podendo ser indicativo dos diferentes tipos de materiais de origem e, até, em alguns casos, utilizados em estudos sistemáticos e pedogenéticos de solos (CHITTLEBOROUGH et al., 1984; MOURA, 1985; CURI e FRANZMEIER, 1987; BUSACCA e SINGER, 1989; ESSER et al., 1991; PLICHTA e KUCZYNSKA, 1991; JENG e BERGSETH, 1992; PICCOLO e CELANO, 1992; ANGELONE et al., 1993; PETTRY e SWITZER, 1993; XING e DUDAS, 1993; JING-SHENG et al., 1993). Solos originados de rochas básicas, em razão de sua maior riqueza em metais pesados, apresentariam teores maiores destes elementos que aqueles provenientes de outros materiais: granitos, gnaisses, calcários, arenitos e sedimentos diversos (MITCHELL, 1964; KRAUSKOPF, 1972; VALADARES, 1975; VALADARES e CATANI, 1975; TILLER, 1980; CURI, 1983; RESENDE et al., 1986a; JING-SHENG et al., 1993).

Vários autores atribuem ao material de origem o componente principal na distribuição dos metais pesados no solo (MITCHELL, 1964; NALOVIC, 1969; VALADARES, 1975; FURLANI et al., 1977; CURI, 1983; FERREIRA et al., 1994) devendo-se esperar que, mesmo em condições severas de intemperismo (pedogênese), como as dos trópicos, o material de origem ainda possa exercer papel importante no conteúdo de grande parte dos metais pesados nos solos, definindo níveis característicos e que sejam representativos dos materiais que deram origem ao solo. Tanto é possível que ROSS (1994) apresenta uma síntese das observações de vários autores a

respeito da afinidade de metais pesados em relação a alguns constituintes do solo. (Quadro 1). Pelos dados apresentados, pode-se inferir que o produto de todas as interações possíveis de ocorrerem devem conduzir a expressão de teores característicos dos materiais de origem, pois, conforme a constituição predominante do solo, pode-se esperar a presença de um ou outro elemento em maior ou menor intensidade, intimamente associado ao material de origem e aos processos de formação do solo. Não se trata de uma regra geral, mas serve como referência para a discussão a respeito do que se pode esperar em diferentes situações, principalmente quando alguns dos componentes do solo citados representam na verdade produtos estáveis de processos de intemperismo bastante acentuados, comuns em solos tropicais.

Quadro 1 - Afinidade empírica de metais pesados por diferentes componentes do solo

Componente do solo	Seqüência de afinidade	Fonte
Óxidos de Al amorfo	Cu>Pb>Zn>Ni>Co>Cd	Kinniburgh et al. (1976)
Óxidos de Al amorfo	Cu>Pb>Zn>Cd	Leckie et al. (1980)
Óxidos de Fe amorfo	Pb>Cu>Zn>Ni>Cd>Co	Kinniburgh et al. (1976)
Óxidos de Fe amorfo	Pb>Cu>Zn>Cd	Leckie et al. (1980)
Goethita (FeOOH)	Cu>Pb>Zn>Cd	Forbes et al. (1974)
Goethita (FeOOH)	Cu>Pb>Zn>Co>Ni>Mn	McKenzie (1980)
Hematita	Pb>Cu>Zn>Co>Ni>Mn	McKenzie (1980)
Óxidos de Mn (Birnessita)	Pb>Cu>Mn=Co>Zn>Ni	McKenzie (1980)
Óxidos de Mn	Cu>Zn	Murray (1975)
Mn-SiO <sub>2</sub>	Pb>Cu>Zn>Cr>Cd	Leckie et al. (1980)
Ácidos Fúlvicos (pH 5)	Cu>Pb>Zn	Schnitzer e Skinner (1967)
Ácidos Húmicos (pH 4-7)	Zn>Cu>Pb	Verloo e Cottenie (1972)
Ácidos Húmicos (pH 4-6)	Cu>Pb>Cd>Zn	Stevenson (1977)

Fonte: ROSS (1994)

Sendo assim, a caracterização de diferentes classes de solo e a inter-relação com o material que lhe deu origem torna-se possível, pelas próprias características e, ou, propriedades dos metais pesados comentadas até o

momento. JING-SHENG et al. (1993) avaliaram as tendências geográficas dos conteúdos de metais pesados em solos chineses derivados de basalto, granito, e siltito, identificando, nesta mesma ordem, a seqüência decrescente de conteúdo dos metais pesados, com variações, conforme a localização geográfica, especificamente para o basalto e o siltito, sendo esta tendência similar às variações do conteúdo de óxidos férricos do solo. RESENDE et al. (1986a) e CURI e FRANZMEIER (1987) também comentam a respeito destas tendências para solos brasileiros, estando em acordo com os resultados obtidos por JING-SHENG et al. (1993). Todavia, a avaliação e definição da intensidade de influência de um ou outro material de origem nos solos formados, parece ser a maior dificuldade encontrada, principalmente quando se considera em uma mesma área mais de uma formação geológica, uma vez que há uma interposição das contribuições no material intemperizado formador do solo.

Metais pesados x magnetização - Os estudos ou revisões de MULLINS (1977), SANTANA (1984), RESENDE et al. (1986b), RESENDE et al. (1988b), COEY (1988) e FERREIRA (1991) apresentam os fundamentos sobre magnetismo.

Basicamente pode ser comentado que as substâncias que constituem o solo apresentam comportamentos diferenciados quanto aos arranjos de seus elétrons sob a ação de um campo magnético. Quando o momento magnético resultante é de direção oposta ao campo aplicado, as substâncias que se comportam desta forma são ditas diamagnéticas, caso do quartzo, caulinita, compostos orgânicos etc., condicionando sempre magnetização negativa. Outras substâncias, por sua vez, apresentam elétrons desemparelhados, porém com tendência de alguns elétrons se orientarem sob a aplicação de um campo magnético, ou seja, com intensidade de magnetização relativamente fraca, especificamente no caso da muscovita, biotita, piroxênio, anfibólios, montmorilonita, vermiculita etc. A magnetita e maghemita são tidas como as mais importantes substâncias magnéticas do solo (RESENDE, 1976; MULLINS, 1977; SANTANA, 1984; RESENDE et al., 1986b; RESENDE et al., 1988b; COEY, 1988), pois magnetizam-se fortemente, porém com a particularidade de que, para cada três dos momentos magnéticos devido aos

elétrons nos átomos de Fe no cristal, dois se alinham na mesma direção e o outro em direção oposta, sendo chamadas de ferrimagnéticas. Ilmenitas, hematitas e goethitas são consideradas antiferrimagnéticas por apresentarem momentos atômicos que se alinham espontaneamente em direções opostas, resultando em um momento magnético igual a zero. Elementos como o Fe, Cu e Ni apresentam elétrons desemparelhados como substâncias paramagnéticas, entretanto, tendem a se emparelharem, ou acoplarem paralelamente entre si, com facilidade, mediante a aplicação de um campo magnético, ou seja, magnetizam-se facilmente e são chamados ferromagnéticos.

A magnetização do solo em suas diversas frações tem sido estudada para a compreensão da gênese de solos, na estratificação de ambientes, no uso para a subdivisão de classes de solo em níveis hierárquicos mais baixos, e como fonte indicadora de reservas de metais pesados em solos, principalmente quando se avalia solos desenvolvidos de materiais que guardam certa similaridade entre si (RESENDE 1976; FASOLO, 1978; RAUEN, 1980; CURI, 1983; SANTANA, 1984; RESENDE et al., 1986a; RESENDE et al., 1986b; RESENDE et al.; 1988b; FERREIRA, 1991; FERREIRA et al., 1994). Quanto a este último aspecto, NALOVIC e SEGALEN (1973) e RESENDE et al. (1986b) associam a magnetita ou titanomaghemita, aos teores elevados de alguns elementos, tais como o P, Cu, Mn, Zn e Co, em concordância com os resultados de FERREIRA et al. (1994). Estes autores identificaram correlações positivas significativas entre os teores de Mn, Zn, Cu, Co e Ti e a magnetização da TFSA, argila ou areia, podendo ser indicativa da litologia e considerada como uma estimativa útil da riqueza relativa dos elementos estudados.

Objetivos - Dentro deste contexto pode-se definir os objetivos do presente estudo que são: (a) determinar os teores de metais pesados em amostras de solos de uma topo-litosequência coletada no Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, para testar a hipótese de que estes elementos podem ser utilizados como marcadores na identificação e separação da influência do material de origem; (b) avaliar os teores de metais pesados, obtidos com extração ácida a concentrações crescentes, em solos de formação típica e de

transição dos materiais de origem da topo-litosequência Triângulo Mineiro, simulando a disponibilidade destes elementos através das equações obtidas, para verificar a hipótese de que solos com diferentes origens apresentam potencial de disponibilidade diferenciado com relação aos elementos estudados; e (c) separar magneticamente e determinar os teores de metais pesados e a magnetização das frações magnéticas da areia, silte e argila de solos com diferentes origens, para avaliar a hipótese de que os maiores níveis de magnetização correspondem a teores elevados destes elementos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição geral da área da topo-litosequência do Triângulo Mineiro

A área de estudo da topo-litosequência situa-se na zona fisiográfica denominada Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, pertencendo à bacia do rio Paranaíba, componente da grande bacia hidrográfica do rio Paraná. Solos foram coletados em pontos ao longo da rodovia BR 050, entre os municípios de Uberlândia e Araguari, no trecho compreendido entre o rio Araguari e a sede do primeiro município (Figura 1).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é Aw ou seja, tropical de savana, inverno seco e verão chuvoso, sendo a temperatura e precipitação médias variáveis entre 20 e 24°C e 1.300 e 1.700 mm, respectivamente. Com relação à vegetação natural, destaca-se a formação campestre cerrado e suas gradações (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1982).

As três superfícies de erosão, descritas como de ocorrência geral no Triângulo Mineiro, podem ser consideradas na área em questão, definidas na literatura com base na expressão topográfica, litologia, formas e estruturas (BARBOSA et al. 1975; EMBRAPA, 1982). A primeira superfície, denominada da Araxá, pertence ao ciclo de erosão das "Velhas", apresentando altitude entre 800 e 1.000 m, nivelamento dos topos nos interflúvios, com formação de

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição geral da área da topo-litoseqüência do Triângulo Mineiro

A área de estudo da topo-litoseqüência situa-se na zona fisiográfica denominada Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, pertencendo à bacia do rio Paranaíba, componente da grande bacia hidrográfica do rio Paraná. Solos foram coletados em pontos ao longo da rodovia BR 050, entre os municípios de Uberlândia e Araguari, no trecho compreendido entre o rio Araguari e a sede do primeiro município (Figura 1).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é Aw, ou seja, tropical de savana, inverno seco e verão chuvoso, sendo a temperatura e precipitação médias variáveis entre 20 e 24°C e 1.300 e 1.700 mm, respectivamente. Com relação à vegetação natural, destaca-se a formação campestre cerrado e suas gradações (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1982).

As três superfícies de erosão, descritas como de ocorrência geral no Triângulo Mineiro, podem ser consideradas na área em questão, definidas na literatura com base na expressão topográfica, litologia, formas e estruturas (BARBOSA et al. 1975; EMBRAPA, 1982). A primeira superfície, denominada de Araxá, pertence ao ciclo de erosão das "Velhas", apresentando altitude entre 800 e 1.000 m, nivelamento dos topos nos interflúvios, com formação de

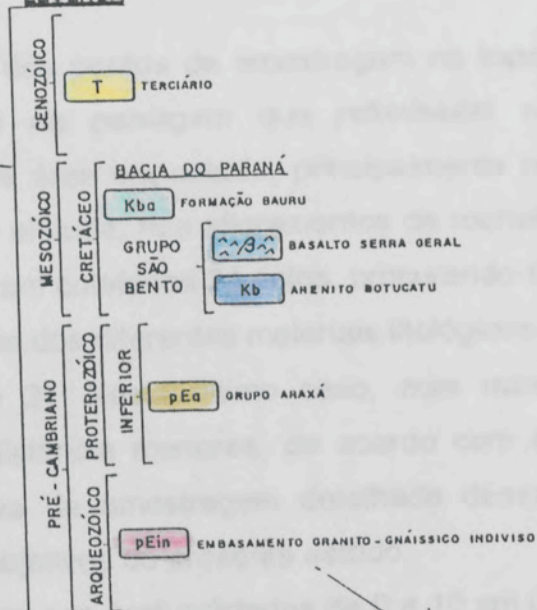
uma chapada que ocupa o teto da região, sustentada pelos basaltos da Formação Serra Geral. Geologicamente constituem-se de extensas coberturas sedimentares areno-lateríticas e, ou, argilo-lateríticas, correspondendo às que se desenvolvem sobre o Grupo Bauru, e Formação Serra Geral, respectivamente.

A segunda é o domínio das Formações Bauru e Serra Geral e do Grupo Araxá, com altitudes entre 500 e 950 m. A Formação Bauru, tem distribuição digitiforme, elevações com topos aplainados e bordas escarpadas, constituindo as formas denominadas de chapadas, mesa e piões. As encostas exibem estrutura tabular em degraus, relacionada com a resistência diferencial oferecida pelas camadas superpostas. Os componentes litológicos fundamentais desta formação são: arenitos conglomeráticos, conglomerados e arenitos, subordinadamente aparecem calcários impuros, argilitos, folhelhos e rochas silicosas (opalas e calcedônia). A erosão cortou os sedimentos da Formação Bauru e exumou os basaltos da Formação Serra Geral, constituindo um nível de base local para a drenagem.

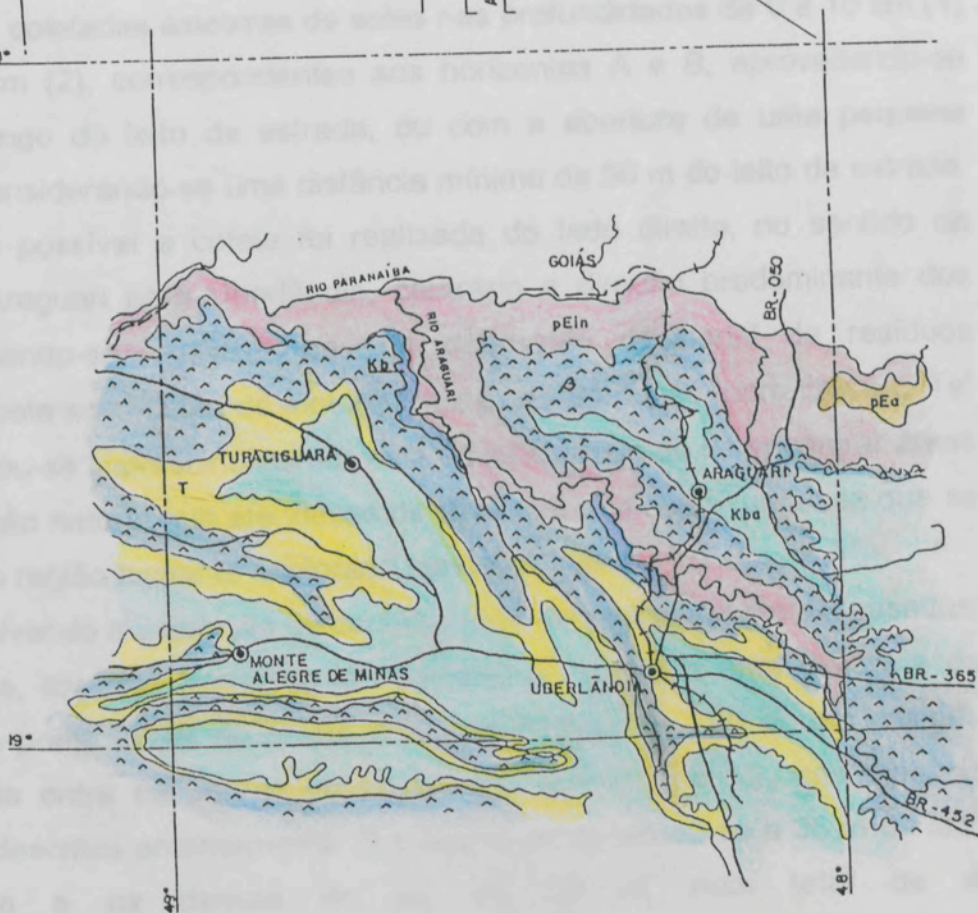
A terceira superfície é caracterizada por superfícies rebaixadas ao longo dos rios Paranaíba e Grande e nos baixos cursos de seus afluentes, no caso o rio Araguari. A altitude varia de 300 a 600 m, estendendo-se como um braço inclinado desde os sopés das encostas da segunda superfície até os terraços e planícies fluviais recentes do ciclo "Paraguaçu". Geologicamente é constituída por sedimentos cenozóicos do terciário, sendo envolvidos, no processo sedimentar, a Formação Bauru e parte da Formação Serra Geral, os quais suportam estes sedimentos. Rochas do Pré-cambriano podem aflorar às margens dos rios, principalmente gnaisses, gnaisse graníticos, anfíbolitos, migmatitos e metabasitos.



**LEGENDA**



18°



Fonte: MINAS GERAIS, 1976

Figura 1 - Mapa geológico e de localização da topo-litosequência na região do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais.

## **2.2. Seleção e coleta dos solos utilizados**

Na topo-litoseqüência, a seleção dos pontos de amostragem na topo-litoseqüência considerou as variações na paisagem que refletissem os diferentes materiais de origem típicos da área em estudo, principalmente no que se refere a mudanças no relevo, na altitude, nos afloramentos de rochas, cor dos solos, na textura etc. No total foram coletados 24 solos, procurando-se amostrar pontos em áreas representativas dos diferentes materiais litológicos e as áreas de transição destes (Figura 2). Neste último caso, com maior intensidade, ou seja, a intervalos de distância menores, de acordo com as observações de campo e a expectativa de amostragem detalhada dessas transições, visando o atendimento dos objetivos do presente estudo.

Foram coletadas amostras de solos nas profundidades de 0 a 10 cm (1) e 50 a 60 cm (2), correspondentes aos horizontes A e B, aproveitando-se cortes ao longo do leito da estrada, ou com a abertura de uma pequena trincheira, considerando-se uma distância mínima de 50 m do leito da estrada. Sempre que possível a coleta foi realizada do lado direito, no sentido da cidade de Araguari para Uberlândia, contrário a direção predominante dos ventos, evitando-se, assim, áreas de deposição ocasional de resíduos produzidos pela combustão de motores, desgaste de peças, borracha etc. Tal medida tornou-se imprescindível em vista da dificuldade de se encontrar áreas sob vegetação natural que atendessem os objetivos propostos, uma vez que se trata de uma região bastante explorada agricolamente.

Objetivando a avaliação de contribuições antrópicas de metais pesados, coletaram-se, também, amostras em transecto, situado a uma distância de 4.700 m do ponto inicial de coleta e a uma altitude de 790 m, em posição intermediária entre os pontos de coleta dos solos 11 e 12, nas mesmas condições descritas anteriormente. O primeiro ponto situou-se a 35 m do leito da estrada e os demais de 50 em 50 m, num total de 4.

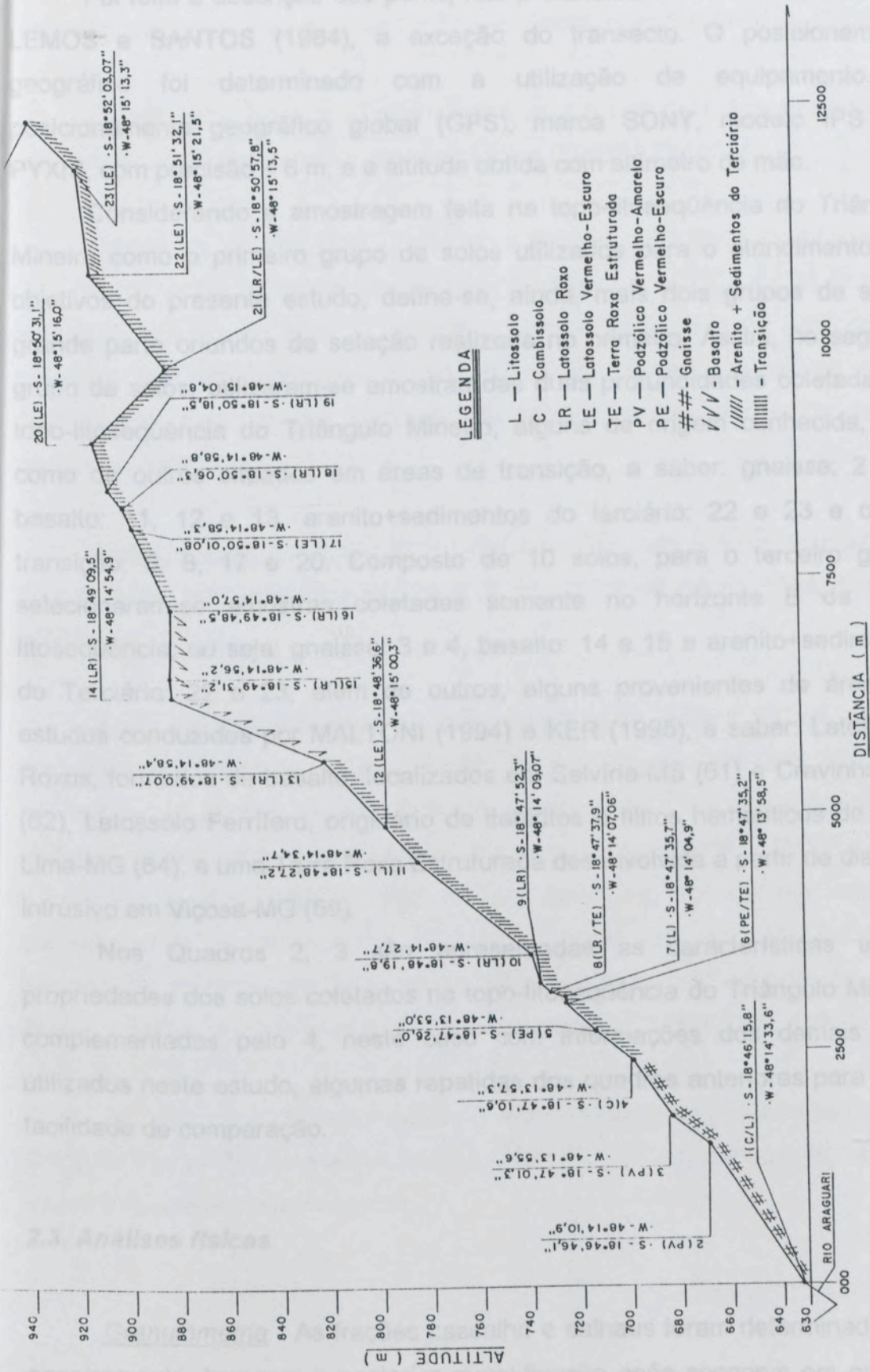


Figura 2 - Identificação, altitude, distância do ponto inicial de coleta, posição geográfica e classificação pedológica dos solos coletados na topo-litosequência da região do Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais.

Foi feita a descrição dos perfis, nas profundidades de coleta, conforme LEMOS e SANTOS (1984), a exceção do transecto. O posicionamento geográfico foi determinado com a utilização de equipamento de posicionamento geográfico global (GPS), marca SONY, modelo IPS 360 PYXIS, com precisão < 6 m, e a altitude obtida com altímetro de mão.

Considerando a amostragem feita na topo-litoseqüência do Triângulo Mineiro como o primeiro grupo de solos utilizados para o atendimento dos objetivos do presente estudo, define-se, ainda, mais dois grupos de solos, grande parte oriundos de seleção realizada no primeiro. Assim, no segundo grupo de solos, utilizaram-se amostras das duas profundidades coletadas na topo-litoseqüência do Triângulo Mineiro, alguns de origem conhecida, bem como de outros situados em áreas de transição, a saber: gnaisse: 2 e 3, basalto: 11, 12 e 13, arenito+sedimentos do terciário: 22 e 23 e os de transição: 6, 8, 17 e 20. Composto de 10 solos, para o terceiro grupo, selecionaram-se amostras coletadas somente no horizonte B da topo-litoseqüência, ou seja: gnaisse: 3 e 4, basalto: 14 e 15 e arenito+sedimentos do Terciário: 22 e 23, além de outros, alguns provenientes de áreas de estudos conduzidos por MALTONI (1994) e KER (1995), a saber: Latossolos Roxos, formados de basalto, localizados em Selvíria-MS (61) e Cravinhos-SP (62), Latossolo Ferrífero, originário de itabiritos e filitos hematíticos de Nova Lima-MG (64), e uma Terra Roxa Estruturada desenvolvida a partir de diabásio intrusivo em Viçosa-MG (58).

Nos Quadros 2, 3 são apresentadas as características e, ou, propriedades dos solos coletados na topo-litoseqüência do Triângulo Mineiro, complementadas pelo 4, neste caso com informações dos demais solos utilizados neste estudo, algumas repetidas dos quadros anteriores para maior facilidade de comparação.

### **2.3. Análises físicas**

Granulometria - As frações cascalho e calhaus foram determinadas por peneiramento, lavagem e posterior quantificação após secagem em estufa a 105°C. O método da pipeta foi o utilizado para determinação da argila e silte,

com dispersão efetuada quimicamente (NaOH, 0,1 mol/L) e mecanicamente (agitação rápida), e a areia grossa e fina por tamizagem (EMBRAPA, 1979).

Classificação textural - Determinada com o uso de triângulo textural e dos valores obtidos na análise granulométrica (EMBRAPA, 1979).

Densidade do solo ( $D_s$ ) - Determinada com o uso de anel volumétrico, pela relação entre a massa, obtida após secagem a 105°C por 24 horas, e respectivo volume do anel. O método do torrão parafinado foi adotado nos casos em que não foi possível o uso, em campo, do anel volumétrico, sendo determinado pelo volume ocupado do torrão em recipiente de volume conhecido (EMBRAPA, 1979).

Densidade de partículas ( $D_p$ ) - Determinada pelo volume ocupado por 10 g de TFSA em balão volumétrico de 50 mL utilizando álcool etílico, segundo EMBRAPA (1979).

Argila dispersa em água - Utilizaram-se 30 g de TFSA e 100 mL de água deionizada em frasco de 200 mL, agitado, horizontalmente, em agitador de 200 oscilações por minuto, durante 3 horas. Completado o tempo de agitação, o material, originário da separação preliminar com peneira de 0,053 mm, foi transferido para proveta de 500 mL por lavagem, agitado manualmente, permanecendo, posteriormente, por quatro horas em repouso. Após este período, foi retirada uma alíquota de 10 mL, a uma profundidade de 5 cm, levada a estufa por 24 horas a 105°C de temperatura (JUCKSCH, 1987).

Cor dos solos - Determinadas por comparação com padrões contidos na Carta de Cores de Munsell (MUNSELL COLOR, 1975) em amostras de TFSA secas e ligeiramente umedecidas.

Quadro 2 - Análises físicas e morfológicas dos solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	N°	Prof.	Calhaus (g/kg)	Casc. (g/kg)	Composição Granulométrica da TFSA (g/kg)			Classificação textural	Argila dispersa em água (g/kg)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Cor do solo		Estrutura
					Areia grossa	Areia fina	Silte			Argila	Ds	Dp	Seco	
1	1	0	310	260	240	180	320	Franco-argilo-arenoso	96	1,13	2,47	5YR 4/3	5YR 3/2	Moderada, pequena, blocos subangulares
2	2	130	450	230	260	130	380	Argilo-arenoso	193	-	2,63	5YR 4/6	2,5YR 3/6	-
3	1	0	70	370	300	120	210	Franco-argilo-arenoso	90	1,25	2,52	10YR 4/4	5YR 3/3	Moderada, pequena, granular
3	2	0	60	280	210	70	440	Argilo-arenoso	102	1,23	2,62	5YR 5/8	2,5YR 4/6	Fraca, média, blocos subangulares
3	1	0	70	250	250	160	340	Argilo-arenoso	190	1,25	2,54	7,5YR 5/4	5YR 3/3	Moderada, pequena, blocos subangulares
3	2	0	120	220	220	150	410	Franco-argilo-arenoso	258	1,28	2,61	7,5 YR 6/4	5YR 3/4	Moderada, pequena, blocos subangulares
4	1	0	190	370	340	90	200	Franco-argilo-arenoso	106	1,34	2,58	10YR 6/2	7,5YR 7/2	Moderada, pequena, granular
4	2	40	530	310	320	110	260	Franco-argilo-arenoso	155	-	2,62	7,5YR 4/4	5YR 4/4	-
5	1	0	220	230	250	160	360	Argilo-arenoso	181	1,30	2,63	5YR 4/6	2,5YR 3/4	Moderada, pequena, blocos subangulares
5	2	0	240	140	200	200	460	Argiloso	1	1,21	2,68	5YR 5/6	2,5YR 4/4	Fraca, pequena a média, blocos subangulares
6	1	0	130	270	190	160	380	Argilo-arenoso	178	1,19	2,65	7,5YR 4/4	5YR 3/3	Moderada, muito pequena, blocos subangulares
6	2	0	540	210	140	170	480	Argiloso	71	1,32	2,72	5YR 3/4	2,5YR 3/4	-
7	1	30	210	410	260	160	170	Franco-arenoso	91	1,35	2,59	7,5YR 4/4	5YR 3/3	Moderada, muito pequena, blocos subangulares
7	2	0	800	210	310	250	230	Franco-argilo-arenoso	73	1,29	2,66	-	-	-
8	1	0	20	60	140	370	430	Argiloso	201	1,32	2,72	2,5YR 3/4	10R 3/2	Forte, pequena, blocos subangulares
8	2	0	50	30	100	250	620	Muito-argiloso	151	1,11	2,80	5YR 3/4	2,5YR 3/4	Moderada, muito pequena, blocos subangulares
9	1	0	10	50	210	230	510	Argiloso	221	1,27	2,77	2,5YR 4/4	10R 3/4	Moderada, muito pequena, granular
9	2	0	10	30	160	200	610	Muito-argiloso	3	1,03	2,70	2,5YR 3/4	10R 3/4	Moderada a forte, muito pequena, granular
10	1	0	10	50	70	260	620	Muito-argiloso	229	1,09	2,81	2,5YR 4/6	2,5YR 3/6	Moderada, muito pequena, blocos subangulares
10	2	0	10	50	60	220	670	Muito-argiloso	2	0,94	2,94	2,5YR 3/6	10R 3/4	Forte, muito pequena, granular
11	1	0	200	120	90	350	440	Argiloso	131	0,84	2,66	5YR 3/4	10R 3/4	Moderada, pequena, granular
11	2	110	320	40	40	320	600	Argiloso	3	0,85	2,62	5YR 3/4	2,5YR 3/4	Moderada, pequena, granular

Continua...

Solos	Calhaus (g/kg)	Casc. (g/kg)	Composição granulométrica da TFSA (g/kg)			Classificação textural	Argila dispersa em água (g/kg)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Cor do solo		Estrutura
			Areia grossa	Areia fina	Silte			Argila	Ds	Dp	Seco	
12	1	10	140	130	350	380	58	0,80	2,64	2,5YR 3/4	2,5YR 3/4	Forte, muito pequena, granular
	2	10	140	120	290	450	2	0,73	2,72	10R 3/2	10R 3/2	Forte, muito pequena, granular
13	1	20	190	130	320	360	45	0,86	2,72	5YR 3/3	2,5YR 3/4	Moderada, muito pequena, granular
	2	60	140	100	290	470	4	1,01	2,83	10R 2,5/2	10R 3/2	Moderada, muito pequena, granular
14	1	10	270	140	300	290	54	0,99	2,74	2,5YR 3/4	10R 3/2	Moderada, pequena, granular
	2	30	120	100	260	520	3	0,96	2,86	2,5YR 3/4	10R 3/2	Moderada, muito pequena, granular
15	1	20	200	130	360	310	43	1,00	2,82	10R 3/4	10R 2,5/2	Moderada, muito pequena, granular
	2	70	180	110	310	400	408	1,14	2,89	2,5YR 3/2	10R 3/2	Moderada, muito pequena, granular
16	1	10	180	160	330	330	60	0,84	2,75	2,5YR 3/4	10R 2,5/2	Moderada, pequena, granular
	2	10	170	130	260	440	4	0,90	2,79	10R 3/4	10R 2,5/2	Moderada, muito pequena, granular
17	1	430	220	180	180	420	184	-	2,66	5YR 3/4	2,5YR 2,5/4	-
	2	230	70	80	260	590	3	1,38	2,77	2,5YR 3/4	10R 3/4	-
18	1	30	170	260	160	410	106	1,07	2,68	2,5YR 4/4	10R 3/4	Moderada, pequena, granular
	2	60	130	220	150	500	2	1,12	2,75	2,5YR 3/6	10R 3/4	Moderada, pequena, granular
19	1	0	280	300	90	330	79	1,09	2,70	2,5YR 3/6	10R 3/4	Moderada, muito pequena, granular
	2	10	250	280	70	400	2	1,16	2,71	2,5YR 3/6	10R 3/4	Moderada, muito pequena, granular
20	1	0	380	300	40	280	65	1,23	2,62	5YR 3/4	2,5YR 3/4	Fraca, muito pequena, blocos subangulares
	2	10	290	290	90	330	4	1,11	2,68	2,5YR 4/6	10YR 3/6	Fraca, muito pequena, blocos subangulares
21	1	30	290	290	130	290	67	1,17	2,63	5YR 3/4	2,5YR 2,5/4	Moderada, muito pequena, blocos subangulares
	2	10	260	240	80	420	71	1,19	2,71	2,5YR 3/4	10R 3/2	Moderada, pequena, granular
22	1	0	400	170	60	370	91	1,14	2,59	5YR 4/6	2,5YR 3/4	Moderada, pequena, granular
	2	0	330	220	50	400	1	1,17	2,64	2,5YR 4/6	2,5YR 3/6	Moderada, pequena, granular
23	1	0	280	180	80	460	111	1,17	2,61	5YR 4/4	2,5YR 3/4	Moderada, pequena, granular
	2	0	320	160	50	470	4	1,09	2,61	5YR 5/6	2,5YR 4/6	Moderada, pequena, granular
24	1	10	200	90	80	630	136	1,05	2,59	2,5YR 4/6	2,5YR 3/6	Moderada, pequena, granular
	2	0	150	70	90	690	109	0,95	2,55	5YR 4/6	2,5YR 3/6	Moderada, pequena, granular

Quadro 3 - Análises químicas dos solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Carb. (g/kg)	pH (1:2,5)		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup> (cmol.c / dm <sup>3</sup> )	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup> disp. (mg/dm <sup>3</sup> )	P disp. (mg/dm <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe (g/kg)		
		Água	KCl (1 mol/dm <sup>3</sup> )															(DCB)	(OA)	
Nº	Prof.	(g/kg)																		
1	1	51,8	6,0	6,1	2,3	0,0	4,8	133	4,7	273	226	96	12,2	3,1	2,05	1,62	3,73	49,8	6,6	
	2	10,9	5,4	1,6	0,5	0,3	3,9	59	1,3	273	249	115	13,2	2,1	1,86	1,44	3,40	62,2	6,9	
2	1	16,0	5,5	1,6	0,8	0,1	3,6	101	1,6	280	240	91	10,7	1,7	1,98	1,60	4,14	44,7	7,2	
	2	6,6	5,4	1,1	0,5	0,0	2,7	62	0,8	273	262	104	10,0	8,0	1,77	1,41	3,95	55,3	6,7	
3	1	17,1	5,5	1,5	1,1	0,6	3,6	197	2,0	312	252	87	10,0	1,1	2,10	1,72	4,55	28,5	6,1	
	2	9,4	4,9	0,6	0,8	0,4	3,9	80	1,5	313	246	91	9,0	8,0	2,16	1,75	4,24	29,0	6,6	
4	1	9,0	5,1	0,9	0,2	0,2	3,9	57	1,0	293	244	84	8,6	1,4	2,04	1,67	4,56	34,0	10,4	
	2	9,0	5,2	1,2	0,4	0,0	3,6	85	1,1	300	254	96	9,4	1,1	2,01	1,62	4,15	37,9	6,3	
5	1	16,1	6,0	2,8	1,4	0,0	3,0	237	5,1	247	254	137	14,0	2,2	1,65	1,23	2,91	72,5	4,5	
	2	4,7	4,9	0,6	0,8	0,0	1,5	163	0,2	243	283	151	15,4	1,3	1,46	1,09	2,94	94,8	7,8	
6	1	17,9	5,6	3,3	2,2	0,1	4,8	123	1,1	241	223	175	20,8	3,0	1,84	1,22	2,00	99,0	15,5	
	2	7,4	5,5	1,9	0,9	0,0	3,6	31	0,2	233	238	190	17,4	2,6	1,66	1,10	1,97	105,8	16,3	
7	1	10,1	5,7	3,4	3,1	0,3	3,6	58	2,7	286	201	153	15,6	3,7	2,52	1,63	2,06	51,4	9,9	
	2	4,3	5,4	2,6	3,1	12,9	16,5	25	7,7	334	190	139	9,6	2,7	2,99	2,03	2,15	2,3	0,0	
8	1	21,4	5,8	7,5	2,5	0,0	6,9	115	21,7	241	210	201	20,8	2,8	1,95	1,12	1,64	71,0	16,0	
	2	7,8	6,0	4,4	2,5	0,0	3,6	397	0,5	239	214	174	16,2	1,7	1,90	1,25	1,93	45,2	12,3	
9	1	17,9	5,6	1,8	1,3	0,2	6,0	91	1,0	216	214	192	18,4	2,1	1,71	1,09	1,75	71,0	10,8	
	2	11,7	5,3	1,1	0,4	0,7	5,4	28	0,2	222	247	190	15,6	1,6	1,53	1,02	2,04	65,1	11,6	
10	1	24,2	5,5	1,5	0,9	0,3	6,0	138	0,6	182	234	234	39,2	2,4	1,32	0,81	1,57	116,7	16,6	
	2	7,8	5,0	0,8	0,2	0,1	7,5	19	0,6	185	235	239	35,6	2,1	1,34	0,81	1,54	95,6	18,7	
11	1	21,0	4,7	0,4	2,1	0,2	10,5	54	1,0	225	196	220	37,6	3,1	1,95	1,13	1,40	45,2	13,9	
	2	7,8	5,3	1,2	0,7	0,9	9,6	37	0,8	237	202	224	32,8	2,9	1,99	1,17	1,41	46,4	14,9	

Continua...

Nº	Solos	Carb. (g/kg)	pH (1:2,5)		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup> disp. (mg/dm <sup>3</sup> )	P disp. (mg/dm <sup>3</sup> )	(g/kg)					Kf	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe (DCB) (g/kg)	Fe (OA)
			Agua	KCl (1 mol/dm <sup>3</sup> )							SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				
12	1	19,5	6,0	5,2	4,2	1,3	0,0	7,5	51	0,6	129	239	235	35,6	3,7	0,92	112,0	14,8	
	2	8,6	5,3	4,8	1,2	0,2	0,0	7,8	13	0,2	123	234	258	36,4	2,6	0,89	116,7	17,2	
13	1	25,3	5,8	4,7	3,0	1,3	0,0	9,9	34	0,8	123	243	227	34,4	3,7	0,86	97,9	14,3	
	2	4,7	5,6	5,0	1,3	0,2	0,0	7,2	10	0,2	92	245	258	36,0	2,9	0,64	97,9	15,3	
14	1	6,2	5,1	4,4	2,6	0,9	0,0	9,0	133	1,6	90	241	241	38,0	3,2	0,63	115,5	18,4	
	2	6,6	5,1	4,5	1,0	0,0	0,0	6,9	15	0,2	84	268	263	39,2	2,2	0,53	147,1	20,5	
15	1	11,7	5,0	4,4	0,9	0,0	0,0	8,1	13	0,2	38	247	290	40,8	2,5	0,26	181,1	21,4	
	2	5,8	4,9	4,3	0,8	0,0	0,0	2,4	7	0,5	35	248	311	40,0	2,2	0,24	172,9	24,8	
16	1	29,2	5,7	4,8	2,3	0,6	0,0	6,0	96	1,6	102	261	250	15,6	3,1	0,66	109,6	10,8	
	2	9,7	5,3	4,6	1,0	0,0	0,0	4,5	11	0,2	91	247	261	32,4	2,6	0,63	103,8	12,2	
17	1	27,3	5,8	4,9	3,8	1,1	0,0	4,5	178	2,5	219	230	187	21,2	3,1	1,62	108,0	7,4	
	2	7,0	5,4	4,6	1,4	0,7	1,3	5,4	51	0,2	242	235	186	18,4	1,7	1,75	106,0	9,6	
18	1	13,6	5,1	4,2	0,9	0,2	0,5	4,5	65	0,3	169	254	200	32,8	2,9	1,13	112,8	7,7	
	2	5,5	5,0	4,3	0,7	0,1	0,0	2,7	14	0,2	164	253	206	28,0	2,5	1,10	110,4	6,8	
19	1	12,5	4,9	4,4	0,6	0,0	0,5	4,5	32	2,2	150	241	203	34,0	3,7	1,06	125,4	9,1	
	2	7,8	4,8	4,1	0,4	0,0	0,0	2,4	7	0,3	154	257	215	35,2	2,5	1,02	126,4	9,4	
20	1	11,7	5,0	4,2	0,6	0,0	0,4	4,5	33	0,8	146	259	163	21,0	1,7	0,96	93,1	5,8	
	2	9,7	4,8	4,2	0,1	0,1	0,0	1,8	5	1,8	152	261	167	22,4	1,2	0,99	94,4	4,1	
21	1	23,0	5,7	4,8	2,2	1,5	0,0	3,9	48	1,3	149	226	201	45,6	3,2	1,12	104,3	4,3	
	2	8,2	5,3	4,6	1,1	0,3	0,0	3,0	10	0,2	148	230	224	50,8	2,6	1,09	104,7	5,2	
22	1	12,5	4,9	4,4	0,4	0,2	0,3	3,6	47	0,5	158	271	132	21,8	1,4	0,99	64,5	6,1	
	2	6,2	4,7	4,0	0,1	0,0	0,0	1,8	9	0,2	166	279	142	23,2	1,0	1,00	73,4	5,5	
23	1	16,4	4,5	3,8	0,2	0,1	0,5	3,6	52	0,8	193	262	135	16,8	1,2	1,25	75,2	4,5	
	2	7,0	4,9	4,3	0,4	0,1	0,0	2,7	11	0,2	202	283	136	16,4	1,0	1,21	72,6	3,1	
24	1	20,6	5,0	4,3	0,4	0,1	0,4	4,5	45	0,3	183	270	124	16,4	1,2	1,15	63,4	4,9	
	2	10,1	4,7	4,0	0,3	0,0	0,1	3,6	10	0,2	187	304	126	19,8	0,9	1,04	66,2	2,6	

## 2.4. Análises químicas

### 2.4.1. Análises químicas de fertilidade

Carbono orgânico (Carb.) - Determinado por reação de oxidação pelo  $K_2Cr_2O_7$ , na proporção de 1:20 e titulado com  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ , de acordo com processo Walkley-Black, conforme DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

pH em água e em KCl 1 mol/L - Determinados potenciométricamente em suspensão, empregando-se relação 1:2,5 de solo:água e solo:KCl, após 1 hora, no mínimo, de repouso e agitação da suspensão antes da leitura, conforme EMBRAPA (1979).

$Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocáveis - Extraídos com KCl 1 mol/L, na proporção 1:20, sendo  $Al^{3+}$  determinado por titulação com NaOH 0,25 mol/L e  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  por espectrofotometria de absorção atômica, segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

### 2.4.3. Determinação de ferro livre (Fe DCE)

K e P disponíveis - Extraídos com solução HCl 0,05 mol/L e  $H_2SO_4$  0,0125 mol/L (Mehlich-1), na proporção 1:10. O K foi dosado por fotometria de chama e o P determinado por colorimetria na presença de ácido ascórbico, conforme DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) - Determinada com  $Ca(OAc)_2$  0,5 mol/L, ajustado para pH 7,0, na proporção 1:15 e determinada por titulação com NaOH 0,0606 mol/L, segundo EMBRAPA (1979).

Soma de bases (SB) - Obtida pela fórmula:  $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ .

Capacidade de troca catiônica efetiva (CTC efet.) - Calculada pela expressão:  $CTC\ efet. = SB + Al^{3+}$ .

Capacidade de troca catiônica potencial (CTC pot.) - Obtida pelo uso da seguinte equação:  $CTC\ total = SB + (H^+ + Al^{3+})$ .

Saturação de bases (V) - O valor V é obtido com a expressão:  
 $V = 100 \times SB / CTC\ tot.$

Saturação de alumínio (m) - Obtida pelo uso da expressão:  
 $m = 100 \times Al^{3+} / CTC\ efet.$

#### 2.4.2. Determinação de $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$ , $SiO_2$ , $TiO_2$ e $P_2O_5$

Consistiu de pré-tratamento da argila para a extração de Fe, Al, Ti e Si, após contato com  $H_2SO_4$  1:1 (volume), aquecendo até a fervura, sob refluxo, com posterior resfriamento, diluição e filtração. No resíduo determinou-se  $SiO_2$  e no filtrado  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$  e  $TiO_2$ , conforme EMBRAPA (1979). As relações moleculares  $K_i$ ,  $K_r$  e  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  também foram calculadas.

#### 2.4.3. Determinação de ferro livre (Fe DCB)

Extraído após contato de 0,2 g de argila com 10 mL de solução tampão citrato de sódio/bicarbonato de sódio ( $NaHCO_3 + Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$ ) e 0,2 g de ditionito de sódio ( $Na_2S_2O_4$ ), por 15 minutos e banho maria a  $70^\circ C$  (MEHRA e JACKSON, 1960), adotando-se duas repetições por amostra. Após este tempo, o material foi centrifugado por 5 minutos a 2.500 rpm e o extrato transferido para balão volumétrico de 100 mL. Repetiu-se esta operação por mais três vezes, transferindo-se os extratos para o mesmo balão, completando-se o volume com água deionizada.

Quadro 4 - Identificação e resultados das análises químicas e físicas dos solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro e outros solos utilizados

N	Solos	pH (1:2,5)		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup> disp.	P disp.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Kí	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ----- Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Composição granulométrica (g/kg)			Cor do solo
		Água	KCl (1 mol/dm <sup>3</sup> )															(cmol./dm <sup>3</sup> )	(mg/dm <sup>3</sup> )	(g/kg)	
3	PV <sup>1</sup>	4,9	4,2	0,6	0,8	0,4	3,9	80	1,5	313	246	91	9,0	8,0	2,16	1,75	4,24	220	150	410	7,5YR 6/4
4	C <sup>2</sup>	5,2	4,2	1,2	0,4	0,0	3,6	85	1,1	300	254	96	9,4	1,1	2,01	1,62	4,15	310	110	260	5YR 4/4
14	LR <sup>3</sup>	5,1	4,5	1,0	0,0	0,0	6,9	15	0,2	84	268	263	39,2	2,2	0,53	0,33	1,60	120	260	520	2,5YR 3/4
15	LR <sup>4</sup>	4,9	4,3	0,8	0,0	0,0	2,4	7	0,5	35	248	311	40,0	2,2	0,24	0,13	1,25	180	110	310	2,5YR 3/2
22	LE <sup>5</sup>	4,7	4,0	0,1	0,0	0,0	1,8	9	0,2	165	279	142	23,2	1,0	1,00	0,76	3,08	330	220	400	2,5 YR 3/6
23	LE <sup>6</sup>	4,9	4,3	0,4	0,1	0,0	2,7	11	0,2	202	283	136	16,4	1,0	1,21	0,93	3,27	320	160	470	2,5 YR 4/6
58	TE <sup>7</sup>	5,5	-	7,4	2,3	0,0	3,9	24	0,1	267	238	211	9,8	3,1	1,91	1,22	1,77	60	110	380	450
61	LR <sup>8</sup>	4,5	-	0,3	0,9	0,4	5,7	7	0,1	219	205	218	32,0	-	1,81	1,08	1,48	70	130	120	10 R 3/6
62	LR <sup>9</sup>	5,2	-	0,1	0,4	0,0	3,6	6	0,3	64	262	355	57,0	-	0,41	0,22	0,74	90	100	420	10 YR 3/6
64	LF <sup>10</sup>	5,7	-	0,1	0,4	0,0	6,0	4	0,1	9	211	425	25,6	2,4	0,07	0,03	0,78	80	30	140	10 R 3,5/6

1 - Podzólico Vermelho-Amarelo (granito-gnaíssico); 2 - Cambissolo (granito-gnaíssico); 3 e 4- Latossolo Roxo (basalto); 5 e 6 - Latossolo Vermelho-Escuro (Arenito+sedimentos do Terciário); coletados na Topo-Litosequência do Triângulo Mineiro; 7 - Terra Roxa Estruturada (diabásio); 8 - Latossolo Roxo (basalto), Fonte: MALTONI (1994); 9 -Latossolo Roxo (basalto), Fonte: KER (1995); 10 - Latossolo Ferrífero (itabiritos e filitos hematíticos).

#### 2.4.4. Determinação de ferro amorfo (Fe OA)

Utilizou-se 0,2 g de argila em contato com 10 mL de uma solução de oxalato de amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O) e ácido oxálico (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), em tubos de PVC opacos, agitados por 2 horas (McKEAGUE, 1978). Concluído o tempo de agitação, centrifugou-se por 10 minutos a 2.000 rpm, transferindo o sobrenadante para balão volumétrico de 100 mL, tendo sido repetido este procedimento por mais duas vezes e, por último, completou-se o volume com água deionizada. Foram feitas duas repetições para cada solo coletado. O Fe foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica.

#### 2.4.5. Determinação de metais pesados

A determinação de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Zr, e V foi feita de duas formas diferentes, definidas como total e solúvel, a primeira em três diferentes processos.

Total - A determinação desses elementos foi realizada em três diferentes procedimentos de ataque ácido visando a obtenção dos teores totais. No primeiro utilizaram 25 mL de ácidos nítrico (HNO<sub>3</sub>) e perclórico (HClO<sub>4</sub>), concentrados, na proporção 4:1 (volume), em erlemeyers de 125 mL e chapa quente, com aumento gradual da temperatura. Foram usadas 2 g de TFSA, triturada em almofariz de ágata e tempo de contato prévio de 12 horas. Após secagem adicionaram-se 3 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado, transferindo-se para balão de 25 mL com água destilada e filtragem, utilizando papel-filtro quantitativo lento. Como não houve dissolução completa, o resíduo foi recolhido, secado e armazenado para posterior análise. Foram determinados os elementos por espectrofotometria de absorção atômica, a exceção de Zr e V, sendo realizadas 10 repetições.

No segundo procedimento, em beakers de teflon e em duplicatas, adicionaram-se 6 mL de HNO<sub>3</sub> e 1 mL de HClO<sub>4</sub> concentrado, com elevação gradual de temperatura em chapa quente e banho de areia. Após secagem,

adicionaram-se 10 mL de ácido fluorídrico (HF) e 1 mL de  $\text{HClO}_4$ , aquecendo novamente até secura ( $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ , 20:6:3, volume). Este último passo foi repetido novamente, adicionando-se ao final 5 mL de  $\text{HCl}$  6 mol/L e 5 mL de água deionizada, sendo aquecido por 10 minutos para dissolução completa do material contido no becker (MANN e RITCHIE, 1993). Transferiu-se para balão de 25 mL completando o volume com água deionizada. Este ataque ácido foi realizado na TFSA, no resíduo originário do ataque  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1) do primeiro procedimento e argila, sendo que para os dois primeiros foram usados 2 g e, o último, 1 g de material. Os elementos, a exceção de Zr e V, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

O laboratório de análises químicas do Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG foi utilizado para o terceiro procedimento de análise total dos elementos por ataque ácido. Neste caso, foram incluídos Zr e V, sendo que Fe e Mn não foram determinados. As determinações foram feitas em duas repetições nas frações magnética e não-magnética, oriundas da separação magnética realizada e descrita no item 2.6., e a total da argila, silte e areia e dos solos citados. Utilizou-se 0,5 g em becker de teflon e 30 mL de  $\text{HCl}/\text{HF}/\text{HClO}_4$  na proporção 4:8:1 (volume), mantidos sob aquecimento em chapa elétrica até secagem completa. Adicionaram-se mais 5 mL de  $\text{HCl}$ , transferindo-se para balão volumétrico de 50 mL com o uso de água deionizada. Os elementos foram determinados por espectrofotometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES).

Solúveis em ácido - Para a determinação dos elementos nessa forma, a exceção de Zr e V, utilizaram-se 10 g de TFSA, triturada em almofariz de ágata, e 100 mL de solução ácida em frasco de 150 mL, agitados durante 2 horas por 10 dias, utilizando 5 repetições. Concentrações crescentes de  $\text{HNO}_3$  e  $\text{HClO}_4$ , na proporção de 4:1, foram utilizadas para esta análise sendo: 0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L, uma modificação da proposição original de AMARAL SOBRINHO et al. (1992). Ao término do período de agitação/repouso, procedeu-se a filtração utilizando-se papel-filtro quantitativo lento e a

determinação dos elementos realizada com o uso da espectrofotometria de absorção atômica.

## 2.5. Análises mineralógicas

Difratogramas de raios - X - Realizada nas frações magnética, não-magnética e total da areia, silte e argila oriundas da separação magnética descrita no item 2.6. sem qualquer outro tipo de tratamento. Lâminas do tipo esfregaço, obtidas a partir do friccionamento de material umedecido com outra lâmina de vidro, foram montadas para as frações separadas magneticamente e total da argila, obtendo-se uma cobertura fina e homogênea em uma das lâminas. Já, para a areia e silte, nas frações total, como também as magnéticas e não-magnéticas, foram montadas lâminas em pó (sem orientação). Nos dois casos as lâminas foram irradiadas de 4 a 40° 2 $\theta$ , em difratômetro de raios-X com tubo de cobre e filtro de níquel, com voltagem de 35 mV e corrente de 25 mA.

Magnetização - Determinada na TFSA, nas areia, silte e argila e frações magnética e não-magnética originárias da separação magnética procedida nas frações do solo, por intermédio de uma balança analítica. Um dos pratos metálicos, atraído pelo magneto, foi substituído por um de polietileno. A calibragem foi feita com padrões químicos de  $\text{CoHg}(\text{SCN})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , de magnetização conhecida, além de padrões de solos brasileiros com magnetização espontânea (RESENDE et al., 1986a).

Amostras de argila de alguns solos, selecionados previamente, foram também submetidas a magnetização variável entre 0 e 2 teslas (T) em magnetômetro de amostra vibrante, pertencente ao Departamento de Física da UFMG, a temperatura de 27°C.

## 2.6. Separação magnética

Desenvolvida para a areia, silte e argila do horizonte B dos 10 solos que formam o terceiro grupo, selecionados de acordo com a representatividade do material que lhes deram origem. Pode-se dividir a separação magnética realizada em dois procedimentos básicos: via seca e via úmida, a primeira utilizada para a areia e a segunda para o silte e a argila.

Para a separação via seca, utilizou-se equipamento dotado de dois eletroímãs, com magnetização regulável, calha móvel, ângulos vertical e horizontal ajustáveis e vibração regulável na calha e depósito de abastecimento da calha. O material, triturado em almofariz de ágata, ao passar na calha localizada entre os dois eletroímãs, foi selecionado, sendo o material atraído, depositado em recipiente próprio. Esta operação foi repetida quantas vezes foram necessárias, com aumento dos ângulos vertical e horizontal da calha, bem como o ajuste da magnetização, tentando uma melhor qualidade de separação. Tanto o material atraído magneticamente, quanto o não-atraído, foram passados por mais de uma vez para uma melhor separação, alterando a magnetização e os ângulos da calha. O equipamento utilizado foi o Separador Magnético da marca Frantz, normalmente usado em trabalhos de separação mineral na área de geologia. As frações magnéticas e não-magnéticas foram submetidas a ataque ácido para dissolução total (item 2.4.5).

Na separação magnética via úmida, utilizou-se o mesmo equipamento da separação anterior e procedimentos adaptados a partir de método utilizado por SCHULZE e DIXON (1979). O silte e a argila passaram por um pré-tratamento para dispersão do material, que se compôs de diluição (< 0,5 %) em frascos plásticos de 2 L, utilizando água pH a 10,5 (0,0045 mol/L  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), agitação em agitador horizontal, por uma hora a 200 oscilações por minuto, e banho ultra-sônico por 15 minutos. A argila foi triturada em almofariz de ágata, o que não ocorreu com a silte, no caso utilizado somente para a quebra de pequenos agregados.

Um filtro, constituído por três tubos plásticos transparentes e paralelos, com 1,3 cm de diâmetro interno e 19 cm de comprimento, foi acoplado lateralmente aos eletroímãs do separador magnético, por meio de fitas

adesivas. Cada um dos tubos conteve 2,6 g de palha de aço fina, ocupando 15 cm do comprimento total do tubo, renovada para cada solo separado magneticamente. Tetracloreto de Carbono ( $\text{CCl}_4$ ), solução de sabão líquido e água deionizada foram utilizados, em seqüência, para limpeza da palha de aço, antes da montagem do filtro. Os frascos contendo silte ou argila dispersa foram colocados a uma altura de 1,5 m do ponto de entrada do filtro, proporcionando um fluxo contínuo médio de 458 mL/min, sendo recolhido por frasco semelhante, facilitando a repetição do procedimento. As conexões entre componentes do filtro e frascos foram feitas por mangueiras plásticas e rolhas de borracha. Após a suspensão ter passado através do filtro por um número variável de vezes, entre 1 e 4, e a valores de magnetização crescentes, foi feita a passagem de água pH a 10,5 para o deslocamento do material retido mecanicamente no filtro, ainda com o separador ligado. Neste procedimento, pequenos toques foram dados no filtro para facilitar a passagem do material e promover uma seleção mais apurada do material magnético. Concluída esta operação e ainda com a passagem de água pH 10,5, desligou-se o separador, sendo recolhida, em frasco individual, a fração atraída magneticamente. Repetiu-se tantas vezes quantas julgadas necessárias não excedendo um total de 20 vezes.

As suspensões magnéticas e não-magnéticas da argila foram floculadas pela acidificação do meio utilizando solução de HCl 1 mol/L, enquanto que as frações separadas do silte permaneceram em repouso para decantação do material, sendo levadas a estufa para secagem a 70 °C. O material separado foi submetido a ataque ácido para dissolução total. Também foi feita determinação dos elementos estudados na água utilizada para separação, na forma como foi utilizada e passando por todo o sistema de filtragem, objetivando identificar possíveis contaminações, o que não foi constatado.

Os procedimentos de separação magnética apresentados foram desenvolvidos em laboratórios do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, do Instituto de Geociências da UFMG.

## 2.7. Análises estatísticas

Para execução dos procedimentos estatísticos foram utilizados os programas: Análise de Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético - PROGRAMA GENES e o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas - SAEG, desenvolvidos na UFV.

### 2.7.1. Análise univariada

Teste de médias - A comparação de médias foi feita para os teores totais de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, extraídos com  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1), concentrados, e determinados nos solos nas profundidades de 0-10 cm e 50-60 cm, entre os quatro pontos coletados do transecto situado entre as classes de solo 11 e 12. Procedeu-se a análise de variância (ANOVA) e utilizou-se o teste Student-Newman-Keuls (SNK) com a adoção do nível de até 5% de probabilidade.

Análise de regressão - A análise de regressão foi efetuada, após ANOVA, de acordo com a técnica de polinômios ortogonais, na avaliação dos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, solúveis, extraídos com  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1), em função das concentrações de 0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L, nos diferentes solos e profundidades estudados.

Na seleção da equação considerou-se o teste F para regressão, a significância dos coeficientes de regressão, testados pelo teste t, e os coeficientes de determinação  $R^2$  ajustado, adotando-se um nível de até 5% de probabilidade.

Já, no caso da relação entre a magnetização das frações magnética, não-magnética e total da areia, silte e argila, em função dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do ataque sulfúrico na argila, utilizados para o estudo da relação entre a magnetização e os teores de metais pesados, foram ajustadas equações de regressão linear simples.

Teste de identidade de modelos - Aplicou-se teste para verificar a identidade das equações de regressão dos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, solúveis, extraídos com  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1) nas concentrações 0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L, individualmente para os diferentes solos e profundidades estudadas. Os procedimentos para aplicação deste teste estão apresentados em detalhes por REGAZZI (1993). O objetivo principal, além da redução do número de equações, foi o de avaliar a possibilidade de representação dos diferentes comportamentos observados por uma única equação (equação comum), possibilitando-se, assim, a identificação qualitativa da semelhança dos comportamentos estudados.

Das equações ajustadas obtidas para cada profundidade em um mesmo solo, as de mesmo grau foram submetidas a teste para verificar a identidade de modelos. Nos casos em que concluiu-se por uma equação comum no item anterior, procedeu-se o teste para verificar a identidade dos modelos entre diferentes solos, tentando identificar os que apresentavam comportamentos semelhantes.

Este mesmo teste foi aplicado, também, para as equações de regressão linear simples ajustadas para as diferentes situações de estudo da relação entre a magnetização das frações magnética, não-magnética e total da areia, silte e argila e os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do ataque sulfúrico na argila dos solos estudados, visando identificar, em quais situações, os comportamentos poderiam ser considerados semelhantes.

Correlação linear simples - Foi utilizada a correlação linear simples de Pearson dos dados de magnetização das frações total, magnética e não-magnética da areia, silte e argila dos solos com os teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Zr e V, extraídos por ataque ácido total com mistura de  $\text{HCl}/\text{HF}/\text{HClO}_4$  (4:8:1), sendo utilizado o teste t para avaliar a significância do coeficiente de correlação, a um nível de significância de até 5 % de probabilidade.

Análise de variância (ANOVA) - A ANOVA foi mais especificamente utilizada para a avaliação do efeito da separação magnética sobre os teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Zr e V das frações magnética e não-magnética da areia,

silte e argila, extraídos por ataque ácido total com mistura de HCl/HF/HClO<sub>4</sub> (4:8:1), considerando-se o teste F e adotando-se um nível de significância de até 5% de probabilidade.

### 2.7.2. Análise multivariada

Técnicas de análise multivariada foram utilizadas para o estudo da influência do material de origem nos solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, a partir dos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn da TFSA e argila, variáveis estas formadoras dos quatro conjuntos de variáveis utilizados nos procedimentos de análise. Tais conjuntos são definidos pelos elementos determinados nos dois primeiros procedimentos de extração total com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), concentrados, na TFSA (C1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3), concentrados, na TFSA (C2) e na argila (C3), descritos no item 2.3.5., e, por último, um conjunto de variáveis composto pelos conjuntos anteriores: C4=C1+C2+C3, organizados nesta ordem, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo. As técnicas utilizadas podem ser divididas em análises de agrupamento e discriminante aplicadas à semelhança dos trabalhos desenvolvidos no melhoramento genético para os estudos de divergência.

Os fundamentos teóricos e exemplos de aplicação são apresentados por CRUZ e REGAZZI (1994).

Análise de agrupamento - Para o agrupamento houve o envolvimento da distância generalizada de Mahalanobis (DGM), uma medida de dissimilaridade (D<sup>2</sup>) aplicável nos casos em que existe correlação residual entre as características e, ou, propriedades analisadas (MAHALANOBIS, 1936), como base para a aplicação do método de otimização de Tocher, citado por RAO (1952), e da análise por variáveis canônicas.

No método de Tocher, adota-se o critério de que a média dos valores das distâncias intragrupos deve ser menor que as distâncias intergrupos. Para o agrupamento trabalha-se com a matriz de distâncias (D<sup>2</sup>) entre pares de solos, identificando o que tem o menor valor de D<sup>2</sup>. A partir daí é avaliada a

possibilidade de inclusão de mais um solo, o mais próximo ao grupo recém formado, obedecendo-se ao critério citado anteriormente.

Com a entrada de um solo no grupo já formado, ocorre um acréscimo no valor médio da distância intragrupo. Assim, pode-se tomar, arbitrariamente, um limite máximo de acréscimo médio na distância intragrupo, permitido para a entrada de solos no grupo. Este limite é o maior valor de  $D^2$ , da matriz de distâncias original, encontrado no conjunto das menores distâncias que envolvem cada solo.

As distâncias médias intergrupos são, então, calculadas, somando-se as distâncias de todos os pares possíveis de solos entre grupos, sendo que esse valor será dividido pelo número de pares formados. A cada novo agrupamento, ocorre redução na ordem da matriz de distâncias, em consequência da eliminação da linha e da coluna referentes à unidade amostral inserida em um dado grupo. Em razão do agrupamento, torna-se necessário calcular novas distâncias intergrupos, ou seja, as distâncias entre cada unidade amostral remanescente e o grupo que recebeu a nova unidade, bem como as distâncias dentro e entre grupos constituídos por mais de uma unidade amostral, quando já existirem. Uma distância intergrupos é calculada como a soma algébrica das distâncias entre unidades amostrais pertencentes a grupos distintos (CRUZ, 1990).

Na avaliação da possibilidade de inclusão de nova unidade amostral em um determinado grupo, é calculado o acréscimo médio no valor da distância intragrupo, em virtude da inclusão, o qual é dado, segundo CRUZ (1990), pelo quociente entre a distância da unidade amostral a ser inserida, ao grupo que poderá recebê-la, e o número de indivíduos no grupo. Esse acréscimo médio é, então, comparado com o limite estabelecido. Se o acréscimo médio for inferior ou igual ao valor máximo de acréscimo permitido, a inclusão deve ser feita. Quando não for mais possível a inclusão de uma nova unidade amostral em um dado grupo, por extrapolação do critério estabelecido, deve-se verificar a possibilidade de formação de novo grupo, procedendo-se da forma descrita e levando em consideração, novamente, o critério de otimização definido. Assim chega-se, ao final do processo, a um número  $C$  de grupos, em que  $C < I$ , pois não há agrupamentos dos grupos formados (CRUZ e REGAZZI, 1994).

A técnica de análise por variáveis canônicas, também denominada de função discriminante canônica, tem por função reduzir o número de variáveis, proporcionando a simplificação estrutural dos dados, de tal forma que a divergência, influenciada por um conjunto n dimensional, possa ser avaliada por um complexo bi ou tri-dimensional de fácil interpretação geométrica.

Após a determinação do número de variáveis canônicas, que envolvem um mínimo de 80% da variação total disponível, estimam-se os escores, para cada variável canônica. Para obtenção dos escores de cada variável canônica ( $X_i$ ) em relação a cada solo  $i$ , aplicam-se as funções discriminantes canônicas às observações referentes ao solo  $i$ . Esses valores podem ser, a seguir, plotados em gráficos bi ou tridimensionais, usando as variáveis canônicas como eixos de referência, em que podem ser visualizadas as distâncias gráficas, que representam as distâncias de similaridade ou dissimilaridade entre os solos avaliados. Geometricamente, tem-se uma dispersão de  $l$  pontos em  $p$  dimensões. A análise por meio de variáveis canônicas consiste na rotação dos eixos do sistema de coordenadas das características originais para novos eixos ortogonais, chamados eixos principais, de tal forma que os novos eixos coincidam com as direções da máxima variação das observações originais (CAMPBELL e ATCHLEY, 1981).

Estudou-se também a importância relativa das variáveis utilizadas para a avaliação da divergência entre solos, conforme SINGH (1981), com base na distância generalizada de Mahalanobis.

Análise discriminante - Realizada, de acordo com ANDERSON (1958), com a finalidade de classificar solos de origem desconhecida em agrupamentos já conhecidos, ou seja, considerou-se a existência de solos de origem gnaíssica, basáltica e arenítica típicas, definidos nas visitas em campo e com base em levantamentos geológicos da área. Assim, para o estabelecimento das funções discriminantes consideram-se:

$\pi_1$ : população dos solos de origem gnaíssica;

$\bar{u}_1$ : vetor de médias das  $p$  variáveis avaliadas na população  $\pi_1$ ;

$\Sigma_1$ : matriz de co-variância entre as variáveis avaliadas na população  $\pi_1$ ;

$\pi_2$ : população dos solos de origem basáltica;

$\underline{u}$  : vetor de médias das p variáveis avaliadas na população  $\pi_2$

$\Sigma_2$ : matriz de co-variância entre as variáveis avaliadas na população  $\pi_2$ ;

$\pi_3$ : população dos solos de origem arenítica;

$\underline{u}$  : vetor de médias das p variáveis avaliadas na população  $\pi_3$

$\Sigma_3$ : matriz de co-variância entre as variáveis avaliadas na população  $\pi_3$ ;

e

$\underline{x}$ : vetor de variáveis representativas dos parâmetros envolvidos na

análise

Considerando que há homogeneidade das matrizes de co-variâncias  $\Sigma_1$ ,

$\Sigma_2$  e  $\Sigma_3$ , levando-se em consideração os respectivos graus de liberdade.

Neste caso obtém-se, segundo ANDERSON (1958), as expressões:

$$D_{G(\underline{x})} = \ln(p_1) + \left( \underline{x} - \frac{1}{2} \underline{u}_{\sim 1} \right)' \Sigma_{\sim 1}^{-1} \underline{u}_{\sim 1}$$

$$D_{B(\underline{x})} = \ln(p_2) + \left( \underline{x} - \frac{1}{2} \underline{u}_{\sim 2} \right)' \Sigma_{\sim 2}^{-1} \underline{u}_{\sim 2}$$

$$D_{A(\underline{x})} = \ln(p_3) + \left( \underline{x} - \frac{1}{2} \underline{u}_{\sim 3} \right)' \Sigma_{\sim 3}^{-1} \underline{u}_{\sim 3}$$

Neste estudo,  $D_{G(\underline{x})}$ ,  $D_{B(\underline{x})}$  e  $D_{A(\underline{x})}$  são as funções discriminantes que possibilitam a obtenção de escores para a classificação dos solos nas populações  $\pi_1$ ,  $\pi_2$  e  $\pi_3$ , consideradas como originárias de gnaisse, basalto e arenito+sedimentos do Terciário, respectivamente, e,  $p_1$ ,  $p_2$  e  $p_3$  são as probabilidades de pertencerem às populações  $\pi_1$ ,  $\pi_2$  e  $\pi_3$ , respectivamente, considerados, neste trabalho, iguais a 0,33, por não se ter informação prévia do comportamento do solo a ser classificado.

Utilizando-se as funções discriminantes e os dados das próprias populações  $\pi_1$ ,  $\pi_2$  e  $\pi_3$ , estima-se a taxa de erro aparente que mede a

eficiência da função discriminante em classificar os solos, corretamente, quanto a origem gnáissica, basáltica e arenítica.

Pelo critério de classificação de ANDERSON (1958), classifica-se o  $i$ -ésimo solo com vetor de média  $\underline{x}$  na população  $\pi_j$  ( $j=1, 2$  ou  $3$ ) se, e somente se,  $D_j(\underline{x}_i)$  for o maior entre os elementos do conjunto  $\{D_G(\underline{x}_i), D_B(\underline{x}_i), D_A(\underline{x}_i)\}$ . Portanto, classifica-se um determinado solo como de origem basáltica se  $D_B(\underline{x})$  for maior que  $D_G(\underline{x})$  e  $D_A(\underline{x})$ , e assim, sucessivamente, para todos os solos a serem classificados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Contribuições antrópicas aos teores naturais de metais pesados do solo na topo-litosequência do Triângulo Mineiro

Na área da topo-litosequência coletada no Triângulo Mineiro, houve possibilidade de interferência nos resultados obtidos por metais pesados oriundos de resíduos produzidos por veículos automotores, já que a coleta foi feita relativamente próxima ao leito de estrada, bem como, pela maior concentração de metais pesados, provenientes de queima de resíduos culturais e, até mesmo, inorgânicos ( pneus, lixo etc).

Esta avaliação é interessante de ser feita para eliminar qualquer dúvida referente aos dados obtidos e as conclusões tiradas quanto a possíveis contribuições antrópicas ao estudo em questão. Assim, ao avaliar os dados apresentados no Quadro 5, pode-se verificar que na profundidade de 50-60 cm, praticamente não houve variação, estatisticamente significativa, dos teores dos elementos estudados ao longo dos pontos de coleta do transecto, a medida que se afasta do leito da estrada. Porém, quando avalia-se o comportamento destes mesmos elementos na profundidade de 0-10 cm, os teores de Cu, Ni e Zn são significativamente maiores que os encontrados a maiores distâncias.

A exceção da variação natural e espacial, possível de ocorrer, pode-se considerar que as duas únicas fontes de contaminação das camadas superficiais do solo e que referem-se aos resíduos de combustão, borracha e desgaste de peças, liberados por veículos automotores que trafegam pela rodovia BR 050, bem como a queima da vegetação, uma prática constatada na região e que não deve ser descartada como fonte concentradora destes elementos na superfície, foram efetivas na superfície.

Todavia, quando avaliam-se as diferenças relativas, máximas e mínimas, entre as duas profundidades estudadas em um mesmo ponto, verifica-se que, para

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

entre os valores dos coeficientes de variação calculados com base nas 10 repetições utilizadas para este estudo. Como exemplo: as variações relativas de Cu, Ni e Zn, os mesmos com diferenças significativas ao longo do

#### **3.1. Contribuições antrópicas aos teores naturais de metais pesados do solo na topo-litoseqüência do Triângulo Mineiro**

Na área da topo-litoseqüência coletada no Triângulo Mineiro, houve possibilidade de interferência nos resultados obtidos por metais pesados oriundos de resíduos produzidos por veículos automotores, já que a coleta foi feita relativamente próxima ao leito de estrada, bem como, pela maior concentração de metais pesados, provenientes da queima de resíduos culturais e, até mesmo, inorgânicos (pneus, lixo etc).

Esta avaliação é interessante de ser feita para eliminar qualquer dúvida referente aos dados obtidos e as conclusões tiradas quanto a possíveis contribuições antrópicas ao estudo em questão. Assim, ao avaliar os dados apresentados no Quadro 5, pode-se verificar que na profundidade de 50-60 cm, praticamente não houve variação, estatisticamente significativa, dos teores dos elementos estudados ao longo dos pontos de coleta do transecto, a medida que se afasta do leito da estrada. Porém, quando avalia-se o comportamento destes mesmos elementos na profundidade de 0-10 cm, os teores de Cu, Ni e Zn são significativamente maiores que os encontrados a maiores distâncias.

A exceção da variação natural e espacial, possível de ocorrer, pode-se considerar que as duas únicas fontes de contaminação das camadas superficiais do solo e que referem-se aos resíduos de combustão, borracha e desgaste de peças, liberados por veículos automotores que trafegam pela rodovia BR 050, bem como a queima da vegetação, uma prática constatada na região e que não deve ser descartada como fonte concentradora destes elementos na superfície, foram efetivas na superfície.

Todavia, quando avaliam-se as diferenças relativas, máximas e mínimas, entre as duas profundidades estudadas em um mesmo ponto, verifica-se que, para todos elementos estudados, estas variações encontram-se entre os valores dos coeficientes de variação calculados com base nas 10 repetições utilizadas para este estudo. Como exemplo: as variações relativas de Cu, Ni e Zn, os mesmos com diferenças significativas ao longo do transecto, entre as profundidades 1 e 2 nos pontos 1 e 4 situaram-se entre 1 e 10%, para um coeficiente de variação entre 5,90 e 15,14%, ou seja, os dados obtidos encontram-se dentro da faixa de variação obtida para as condições deste estudo. Tal fato leva a crer que, mesmo no caso dos elementos citados, a maior concentração em superfície não compromete a discussão dos dados, pelo efeito que podem ter como alteradores dos teores naturais das diferentes classes de solo nos materiais de gnaiss, basalto e arenito+sedimentos do Terciário estudados.

Além destes resultados, deve ser considerado também a rotina adotada para a escolha dos locais de coleta do solo para o estudo em questão. Considerou-se uma distância média de 50 m do leito da estrada, o sentido e a direção dos ventos na região e áreas predominantemente sem evidências de queima recente ou de cultivo. Todos estes procedimentos certamente amenizam os efeitos discutidos e as discussões feitas nos tópicos a seguir

Quadro 5- Médias dos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), coletado em transecto situado entre os locais de coleta dos solos 11 e 12, em quatro pontos nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Profundidade	Pontos de Coleta	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
1	1	1,37a (12,04) <sup>1/</sup>	21,63b (11,00)	178,11a (8,34)	129.533,58a (9,38)	961,98a (9,40)	31,37a (10,76)	16,89a (7,24)	120,90a (9,36)
	2	1,30a (13,37)	20,84b (10,22)	144,37b (11,69)	127.388,81a (9,67)	890,83a (11,32)	24,74b (14,92)	15,54a (5,39)	106,94b (9,35)
	3	1,34a (12,94)	24,56a (15,94)	139,67b (11,09)	118.809,72a (9,96)	932,55a (11,79)	23,90b (13,24)	16,97a (8,58)	103,43b (7,96)
	4	1,28a (14,03)	26,14a (10,76)	152,85b (15,64)	127.730,73a (6,61)	977,17a (16,65)	25,69b (11,89)	17,24a (8,27)	95,84b (14,14)
2	1	1,35a (8,97)	21,97a (6,87)	168,05a (6,04)	132.175,69b (7,44)	830,03a (6,67)	29,07a (10,66)	15,20b (6,31)	110,13a (7,48)
	2	1,34a (8,23)	21,85a (14,15)	157,28a (8,42)	132.082,44b (4,22)	757,59b (5,20)	28,75a (14,94)	15,01b (5,27)	108,15a (10,18)
	3	1,35a (15,14)	24,29a (12,04)	164,77a (7,03)	135.171,02b (6,02)	863,87a (8,19)	27,28a (11,40)	17,31a (13,33)	101,74a (7,08)
	4	1,18a (13,49)	24,67a (9,65)	170,13a (7,38)	143.272,55a (3,25)	900,85a (5,78)	25,52a (9,91)	16,58ab (6,43)	106,75a (5,90)

Em cada profundidade, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem a 5% de probabilidade pelo teste SNK.

1/ - Coeficientes de variação das 10 repetições utilizadas, em %.

### **3.2. Influência e Separação dos Diferentes Materiais de Origem pelos Teores de Metais Pesados do Solo na Topo-litosequência do Triângulo Mineiro**

#### **3.2.1. Análise de Agrupamento**

Método de Otimização de Tocher - Os resultados da aplicação desta técnica às variáveis em estudo são apresentadas no Quadro 6. Uma primeira constatação que se pode fazer refere-se a variabilidade do agrupamento obtido, tanto por conjunto de variáveis quanto profundidade de coleta adotada. Pode-se observar que na profundidade de 50-60 cm há uma maior divisão em grupos dos solos coletados, principalmente quando se utiliza o conjunto de variáveis 3 (C3), ou seja, identificou-se, nesta profundidade e conjunto de variáveis, uma maior diversidade dos solos coletados. O grupo 1, nas duas profundidades, normalmente engloba solos originários de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, como são os casos dos solos 1, 2, 3 e 4 e 21, 22, 23, 24, considerados, pelas observações de campo, como tipicamente formados a partir de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, respectivamente, e alguns outros que podem estar situados nas áreas de transição, ou não, com o basalto. O fato de se agrupar solos tão diferentes pode ser atribuído simplesmente a uma questão numérica, ou seja, a semelhança de teores totais dos solos coletados, obtidos pelos métodos de extração usados. Porém, não inviabiliza a separação qualitativa destes solos quanto à sua origem, pois, na seqüência coletada, estes se encontram separados pelos solos originários de basalto, definindo mais especificamente a origem destes. Entretanto, os solos originários de basalto foram agrupados, algumas vezes, em um único grupo, e em outros, em até três, nos casos dos solos 11, 12, 13 e 14, fato que se repete nas demais técnicas multivariadas utilizadas, constatando que a similaridade ou diversidade destes solos foi função das características das variáveis, quanto a fração analisada, profundidade de coleta e organização destas. Além desses aspectos, deve-se ressaltar, também, que observações de campo indicaram variações quanto a própria composição do basalto, ou mesmo, processos de derramamento

ocorridos em diferentes épocas, possibilitando, assim, a alternância com outros tipos de materiais. JING-SHENG et al. (1993) também constataram variações dos teores de metais pesados em vários solos com origem basáltica no leste da China.

De modo geral, o método de agrupamento de Tocher, com base na distância generalizada de Mahalanobis, permite classificar os solos 5 e 6 e 19 e 20, como formados a partir do gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, visto que estes se repetem em todos os grupos que também constam os solos considerados típicos destas áreas, somente com exceção do 6, que não foi classificado como tal no conjunto C2 e profundidade 2. Como estes dois materiais de origem situam-se entre o basalto, a própria distância entre estes, só pode levar a crer na classificação proposta. Já os demais solos, considerados como de localização em áreas de transição, são, algumas vezes, agrupados como originários de basalto, ou então, gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, alternadamente. Com as demais técnicas utilizadas tentar-se-á definir de forma mais precisa qual a origem destes solos.

Antes, porém, alguns comentários devem ser feitos com relação ao tipo de variável utilizada no presente estudo. Estas foram definidas em conjuntos, formados a partir do tipo de extração, fração utilizada e profundidade de estudo. A princípio bastaria um único tipo de extração total. Contudo, as razões para a adoção de tal procedimento estão em função, principalmente, da identificação das influências que estas variáveis teriam sobre a classificação obtida. É certo que existiram diferenças quanto aos teores em um e outro solo, bem como forma de extração, mas com tendências gerais semelhantes. Porém, estas diferenças poderão ser de grande auxílio na definição posterior da origem dos demais solos coletados, uma vez que as pequenas diferenças observadas levaram ao agrupamento diferenciado dos solos. Determinações em diferentes profundidades permitem uma visão mais global da identificação a ser feita, uma vez que o maior ou menor número de grupos formados podem ser indicativos da proximidade de solos de áreas de transição em um grupo pré-estabelecido e conhecido ou não, como é o caso do presente. A definição conjunta com informações obtidas por outros meios será facilitada com adoção desta prática. Já, com relação aos conjuntos de variáveis, observa-se que há

uma diferenciação acentuada dos agrupamentos obtidos, o que dificulta, até este ponto, uma definição mais clara da melhor recomendação.

Variáveis Canônicas - No presente estudo, em 7 dos 8 conjuntos de variáveis e profundidades analisados, observou-se que as duas primeiras variáveis canônicas contribuíram efetivamente para explicar a dispersão dos 24 solos coletados, viabilizando, portanto, a utilização desta técnica (Quadro 7). Devem-se destacar os conjuntos C1 e C4, o primeiro formado com as 8 variáveis estudadas e 10 repetições e o segundo composto de 24 variáveis, originário da junção dos três primeiros conjuntos, mas somente com 2 repetições, nos quais constatam-se que as contribuições das duas primeiras variáveis canônicas foram inferiores a 80% (profundidade 1), e superiores a 99%, respectivamente. Tal fato pode ser indicativo de que, no caso do presente estudo, um número maior de variáveis é mais explicativo quanto a divergência existente, tornando mais precisos os processos de avaliação da similaridade entre os solos estudados, dispensando o cuidado extremo com o número de repetições, ou mesmo, um indicativo da menor eficiência de extração do  $\text{HNO}_3$  e  $\text{HClO}_4$ , na proporção utilizada (4:1), uma vez que os teores constatados apresentam-se relativamente menores que os obtidos com a mistura de  $\text{HF}$ ,  $\text{HNO}_3$  e  $\text{HClO}_4$  (20:6:3).

Observou-se certa concordância entre os resultados obtidos pelo método de agrupamento de Tocher e a técnica de variáveis canônicas, principalmente quanto aos solos originários de gnaisse e arenito+sedimentos do Terciário, o que de certa forma deveria ser esperado, já que se trata de uma técnica de avaliação de similaridade ou de dissimilaridade entre indivíduos, como pode ser observado pelas Figuras de 3 a 10. Já com relação aos solos originários de basalto, constatou-se a formação de um grupo mais disperso dos solos originários deste, como é o caso dos solos 12, 13 e 14, e, a parte, o 11, este, certamente, por apresentar teores diferenciados dos demais em função da maior proximidade com o material de origem, já que se trata de um litossolo enquanto os demais caracterizam-se por serem latossolos, além do aspecto comentado anteriormente, quanto à composição do basalto.

Quadro 6 - Agrupamento dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, pelo método de otimização de Tocher com base na distância generalizada de Mahalanobis, utilizando-se conjuntos de variáveis (C1, C2, C3 e C4), nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2).

Prof.	Grupos	Conjuntos de variáveis <sup>1/</sup>			
		C1	C2	C3	C4
1	1	22, 23, 20, 24, 19, 21, 18, 5, 4, 2, 3, 6, 9, 17, 16, 15, 10, 1, 8	2, 4, 23, 22, 20, 24, 3, 5, 21, 19, 1, 6, 18, 7, 9, 17, 16, 15	23, 24, 22, 20, 6, 5, 2, 19, 7, 8, 18, 3, 21, 4, 9, 10	2, 3, 23, 4, 22, 21, 24, 24, 5, 6, 18, 8
	2	13, 14	10, 11, 8	15, 16, 17, 11, 14	19, 20
	3	12	13, 14	12, 13	15, 17, 16, 11, 10
	4	11	12	1	12, 14, 13
	5	7			1, 7
	6				9
2	1	20, 23, 22, 24, 19, 21, 4, 5, 2, 1, 3, 18, 6, 8, 9, 17, 15, 16	1, 3, 2, 5, 4, 23, 22, 21, 20, 24, 19, 8	20, 24, 23, 22, 2, 5, 19, 21, 6, 4	20, 23, 22, 4, 24, 3, 2, 1, 21, 19, 5, 8, 6
	2	10, 11, 7	10, 17, 11, 9, 18, 7, 16	7, 8, 9	7, 9, 17, 15, 16, 10, 18, 14, 11
	3	13, 14	13, 14	16, 17, 14	12, 13
	4	12	12	10, 11	
	5		15	12, 13	
	6		6	18	
	7			15	
	8			1	
	9			3	

1/ - C1, C2, C3 e C4 são conjuntos de variáveis formados pelos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos pelos procedimentos de extração total com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) (C1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) (C2) na TFSA e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na Argila (C3). O C4 é formado pelos três primeiros conjuntos, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, ou seja, os elementos extraídos com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA e Argila, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo: C4=C1+C2+C3.

Para o enquadramento dos demais solos quanto a influência de um material de origem ou outro, adotar-se-á estratégia de avaliar as distâncias relativas destes de grupos bem definidos, como constatado para os de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, ou individualmente, por intermédio de solos típicos de um ou outro material, como os de basalto, conforme definição em campo, durante coleta.

Especificamente para os solos originários de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, agrupados quase que em um único grupo pelo agrupamento de Tocher, o conjunto C1, quando analisado na profundidade 1, não apresenta dispersão que permita uma definição clara dos grupos, o que pode estar relacionado ao fato de que as duas primeiras variáveis canônicas não envolveram 80% da variância acumulada, no caso 77% (Figura 3). Como haveria necessidade de dispersão tridimensional para tão pouca diferença, o mesmo não foi feito, o que, certamente não levaria a uma melhora sensível do quadro apresentado. Todavia, pode-se observar uma tendência clara de isolamento dos solos com forte influência do basalto: 11, 12 e 13, com destaque para o 7 e 14. Os solos 10, 15 e 16, por sua vez encontram-se mais próximos do grupo com influência de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário. Já quando avalia-se na profundidade 2 (Figura 4), constata-se comportamento semelhante ao observado para os solos de basalto e os destaques: 7 e 14, mas, com relação aos solos agrupados como de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, observa-se a exclusão de alguns com forte influência destes, entre os quais: 6, 8, 9 e 17, o que pode caracterizar um grupo intermediário entre estes solos. Os resultados obtidos, se comparados ao agrupamento proposto pelo método Tocher, levam a indicação de pouca concordância, a um nível de exigência mais alto, pois o mesmo define bem os dois grupos, o que já não acontece quando se usam variáveis canônicas.

Quadro 7 - Estimativa dos autovalores ( $\lambda_i$ ) e da porcentagem de contribuição ( $\% \lambda_i$ ) obtidos da análise de variáveis canônicas, aplicada aos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjuntos de variáveis (C1, C2, C3 e C4) nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Profundidade	Variáveis canônicas	Conjunto de variáveis <sup>1/</sup>											
		C1		C2		C3		C4					
		$\lambda_i$	$\% \lambda_i$ <sup>2/</sup>	$\lambda_i$	$\% \lambda_i$	$\lambda_i$	$\% \lambda_i$	$\lambda_i$	$\% \lambda_i$				
1	1	136,31	41,55	1.299,71	72,69	2.254,08	79,47	32.993.182,00	99,87				
	2	119,08	77,85	291,91	89,01	221,09	87,26	36.123,14	99,98				
	3	42,05	90,67	87,99	93,94	188,50	93,91	3.927,65	99,99				
	4	16,50	95,70	53,62	96,93	114,27	97,93	2.159,95	99,99				
	5	9,29	98,53	31,01	98,67	44,72	99,51	1.029,45	100,00				
2	1	114,65	54,79	3.504,33	80,02	1.361,60	72,62	825.911,94	97,12				
	2	54,03	80,61	567,44	92,98	222,28	84,48	19.643,45	99,12				
	3	25,39	92,74	160,95	96,65	164,43	93,25	2.302,49	99,70				
	4	5,89	95,55	73,30	98,33	44,69	95,63	1.220,73	99,85				
	5	5,39	98,13	48,18	99,43	34,61	97,48	499,72	99,91				

1/ - C1, C2, C3 e C4 são conjuntos de variáveis formados pelos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos pelos procedimentos de extração total com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) (C1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA (C2), HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na Argila (C3). O C4 é formado pelos três primeiros conjuntos, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, ou seja, os elementos extraídos com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA e Argila, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, C4=C1+C2+C3.

2/ - Valores em porcentagem acumulada.

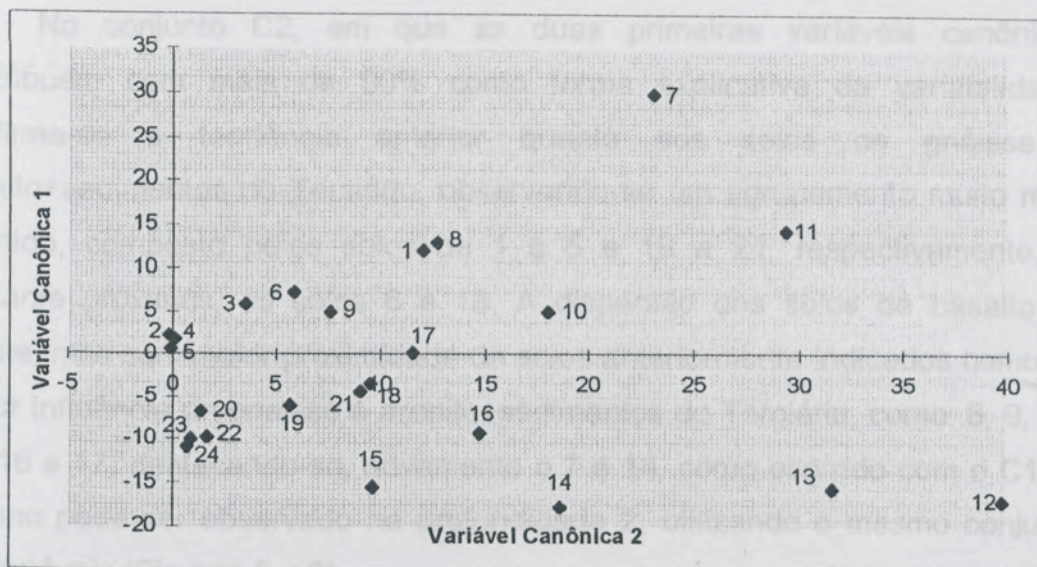


Figura 3 - Dispersão dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração com  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1) (C1) na TFSA e profundidade de 0-10 cm (1).

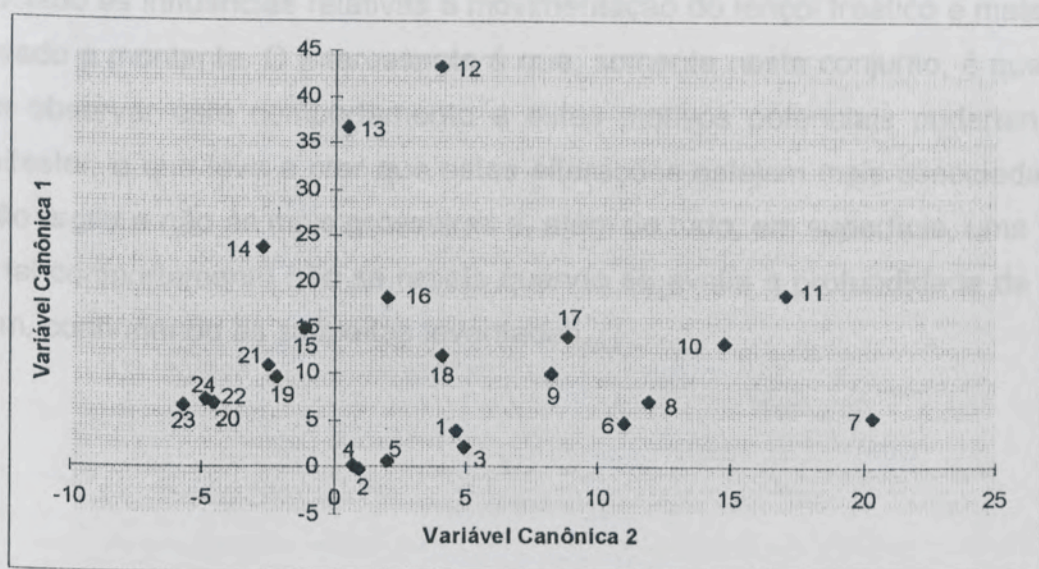


Figura 4 - Dispersão dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração com  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1) (C1) na TFSA e profundidade de 50-60 cm (2).

No conjunto C2, em que as duas primeiras variáveis canônicas contribuem com mais de 90% como forma explicativa da variabilidade, confirma-se a tendência anterior quanto aos solos de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, observando-se um agrupamento muito mais definido, composto pelos solos de 1 a 5 e 19 a 24, respectivamente, e, bastante próximos, os solos 6 e 18. A dispersão dos solos de basalto se repete, mas com maior proximidade de solos anteriormente indicados como de maior influência de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, como: 8, 9, 10, 15, 16 e 17, destacando-se, novamente o 7 e 14, como ocorrido com o C1. O mesmo pode ser observado na profundidade 2, utilizando o mesmo conjunto de variáveis (Figuras 5 e 6).

Os grupos de solos originários de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário apresentam-se também bem definidos quando se utilizou o grupo C3, tanto na profundidade 1 quanto 2 (Figuras 7 e 8), quando os teores de metais pesados foram determinados por HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na fração argila, estando situado em posição intermediária aos conjuntos C1 e C2 quanto a contribuição das duas primeiras variáveis canônicas na variância explicada por estas (Quadro 7). Observa-se que o solo 1 apresentou dispersão bastante diferenciada do observado até o presente, o que certamente deve estar associado às influências relativas a movimentação do lençol freático e material carregado a montante. O interessante é que, somente neste conjunto, é que se pode observar este comportamento e estes motivos potenciais puderam se manifestar, o que leva a crer que estas alterações estejam mais associadas à fração argila e não às mais grosseiras e, além de tudo, em superfície, uma vez que tal comportamento não se repete quando se avalia a profundidade de 50-60 cm, confirmando as suspeitas levantadas.

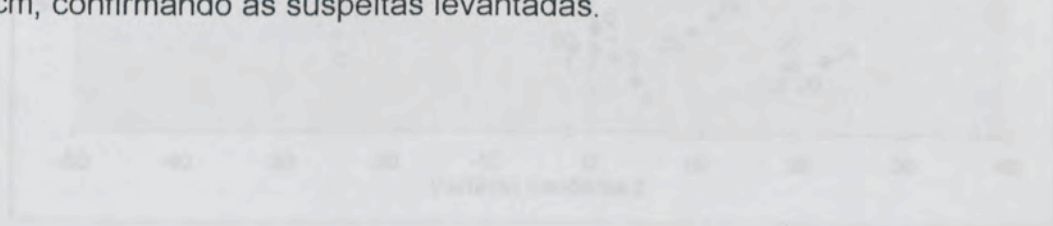


Figura 6 - Dispersão dos 24 solos correlatos na 1ª profundidade do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração com HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) (C2) na TESA e profundidade de 50-60 cm (2).

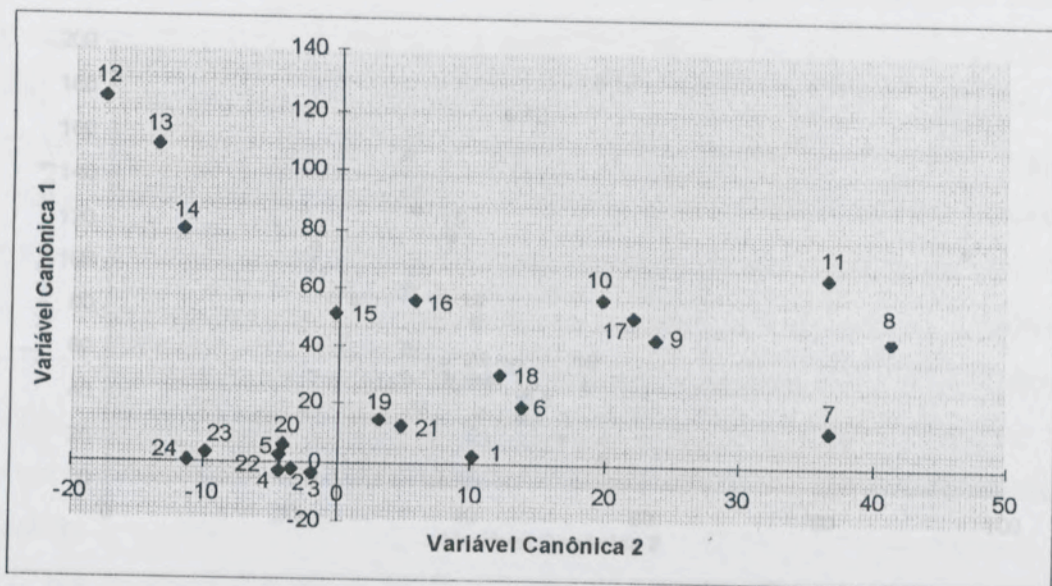


Figura 5 - Dispersão dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração com HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) (C2) na TFSA e profundidade de 0-10 cm (1).

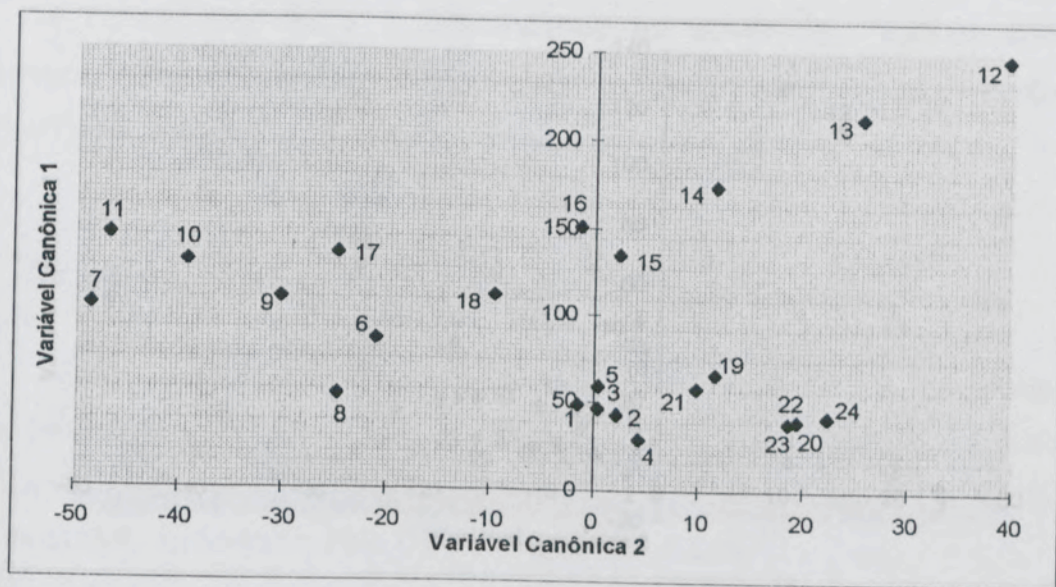


Figura 6 - Dispersão dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração com HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) (C2) na TFSA e profundidade de 50-60 cm (2).

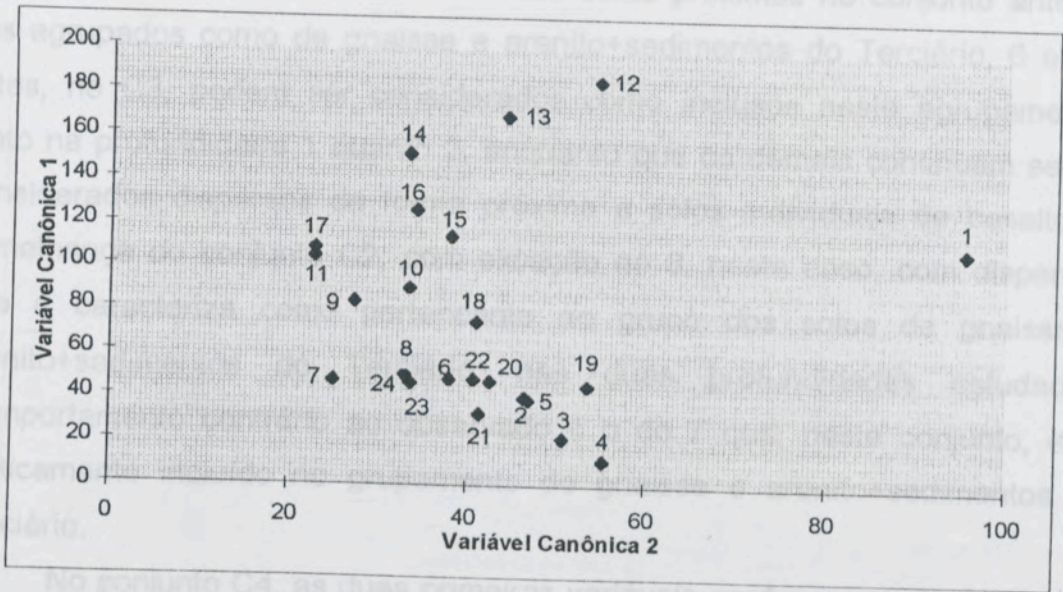


FIGURA 7 - Dispersão dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração com HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) (C3) na Argila e profundidade de 0-10 cm (1)

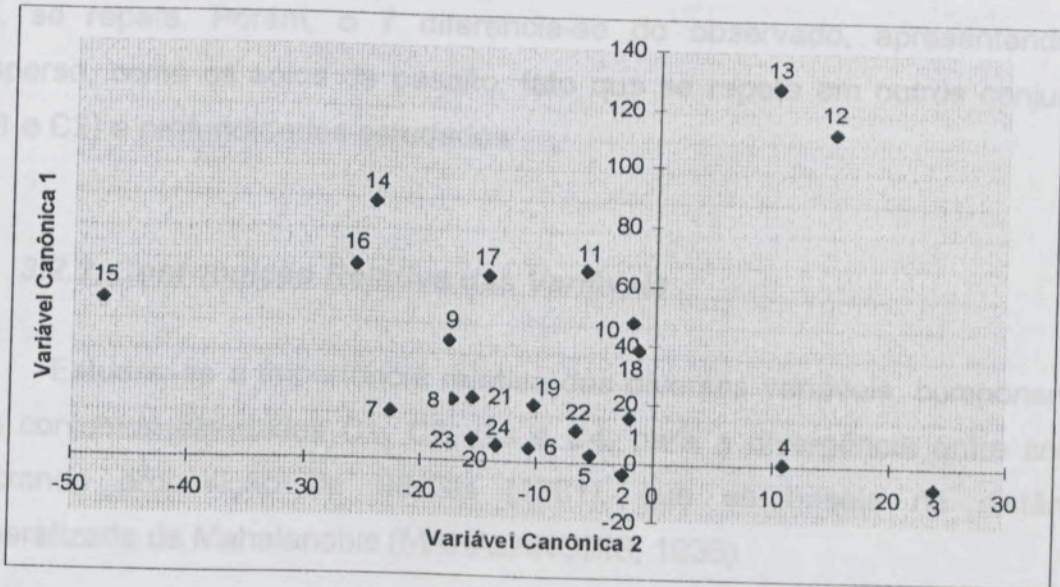


Figura 8 - Dispersão dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) (C3) na argila e profundidade de 50-60 cm (2)

Com relação aos solos indicados como próximos no conjunto anterior aos agrupados como de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, 6 e 18, estes, no C3, podem ser considerados como inclusos neste agrupamento, tanto na profundidade 1 quanto 2, enquanto que os demais continuam sendo considerados dispersos de forma próxima a solos individuais de basalto, a semelhança do conjunto C2, com exceção do 8, neste caso, com dispersão que o caracteriza como pertencente ao grupo dos solos de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, nas duas profundidades estudadas. Comportamento contrário ao observado é o do 7 que, neste conjunto, está praticamente incluído no grupamento do gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário.

No conjunto C4, as duas primeiras variáveis canônicas explicaram mais de 99% da variância, o que indica que a dispersão dos diferentes solos estudados reflete de forma mais confiável a diversidade existente (Quadro 7), podendo ser indicativo de que um maior número de variáveis é preferível neste tipo de estudo. Avaliando-se as Figuras 9 e 10, pode-se constatar que o comportamento observado até o presente com os demais conjuntos de variáveis, mesmo nos casos dos solos 1 e 8 e o grupo, até aqui considerado como próximo dos solos individuais de origem do basalto, 9, 10, 11, 15 16 e 17, se repete. Porém, o 7 diferencia-se do observado, apresentando-se disperso, como os solos de basalto, fato que se repete em outros conjuntos (C1 e C2) e profundidades estudadas.

### **3.2.2. Contribuição Relativa das Variáveis**

Estudou-se a importância relativa das diversas variáveis, componentes dos conjuntos estudados C1, C2, C3 e C4, para a divergência entre solos, utilizando proposição de SINGH (1981), que se baseia na distância generalizada de Mahalanobis (MAHALANOBIS, 1936).

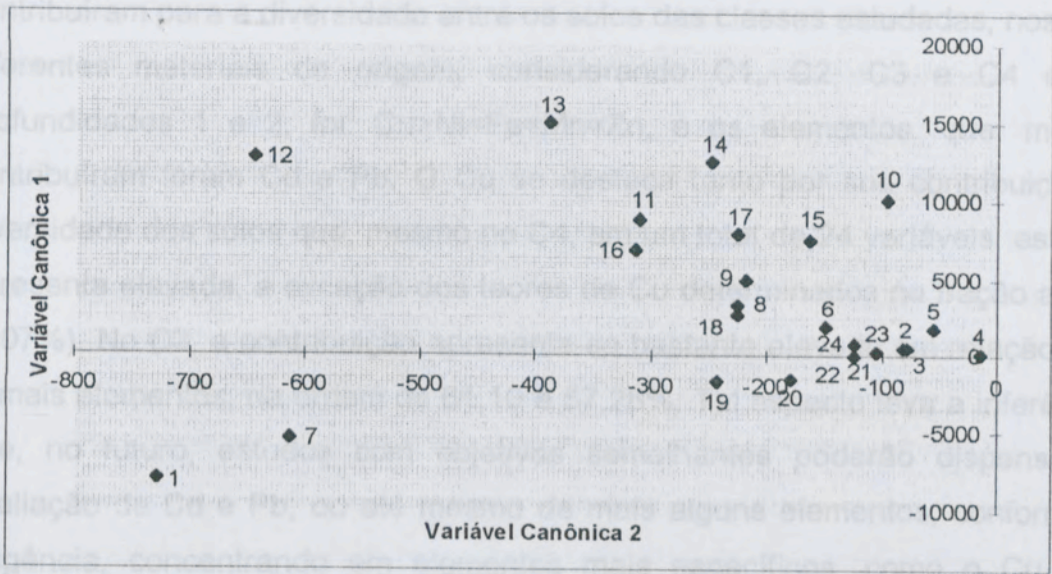


Figura 9 - Dispersão dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração com  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1) e  $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (20:6:3) (C4) na TFSA e argila e profundidade de 0-10 cm (1)

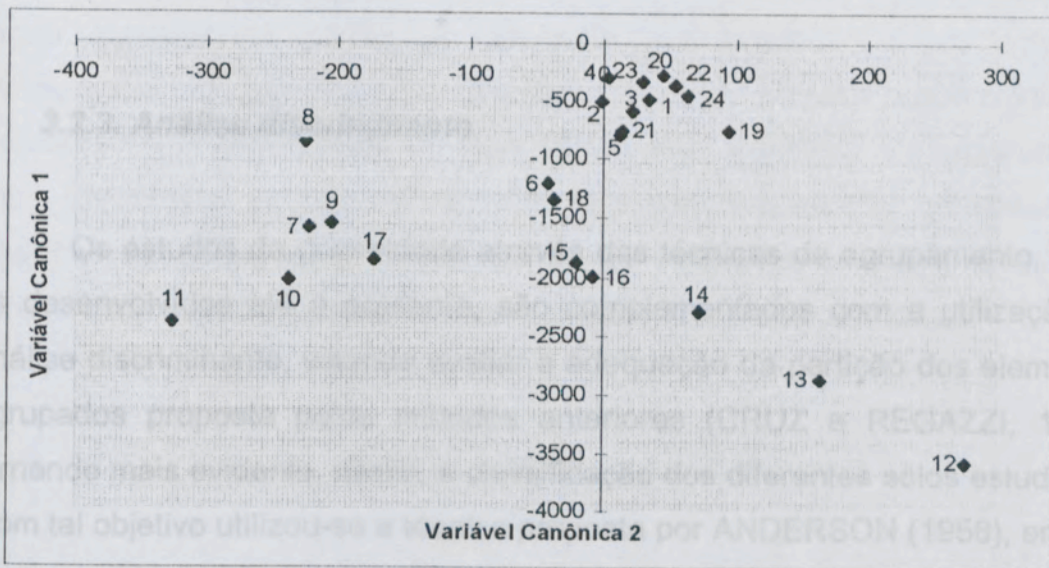


Figura 10 - Dispersão dos 24 solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, utilizando conjunto de variáveis obtidas por extração com  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1) e  $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (20:6:3) (C4) na TFSA e argila e profundidade de 50-60 cm (1)

Constata-se, pelo Quadro 8, que a ordem dos elementos que mais contribuíram para a diversidade entre os solos das classes estudadas, nos três diferentes materiais de origem, considerando C1, C2, C3 e C4 e as profundidades 1 e 2, foi:  $Cu > Ni = Fe = Mn = Zn$ , e os elementos que menos contribuíram foram Cd e Pb. O Cu se destaca tanto por sua contribuição a diversidade dos solos que, mesmo no C4, em um total de 24 variáveis, esta se apresenta elevada, a exceção dos teores de Cu determinados na fração argila (0,07%). No C3, a contribuição apresenta-se bastante elevada em relação aos demais elementos, na ordem de 61,10 e 57,28%. Tal aspecto leva a inferência que, no futuro, estudos com objetivos semelhantes poderão dispensar a avaliação de Cd e Pb, ou até mesmo de mais alguns elementos, conforme a exigência, concentrando em elementos mais específicos, como o Cu, por exemplo. Esta técnica desponta como uma alternativa potencial na avaliação preliminar dos solos com origens diferenciadas. Conforme considerações de CRUZ e REGAZZI (1994), as variáveis com pouca contribuição à diversidade, de acordo com a técnica proposta por SINGH (1981), certamente poderão ser dispensadas por não variarem com as classes de solo estudadas, e, ou, por serem redundantes, podendo estar correlacionadas com outras variáveis, não justificando a sua avaliação.

### **3.2.3. Análise discriminante**

Os estudos de diversidade através das técnicas de agrupamento, como os desenvolvidos até o presente, são complementados com a utilização de análise discriminante, visando avaliar a adequação da partição dos elementos agrupados proposta pelos métodos anteriores (CRUZ e REGAZZI, 1994), tornando mais evidente, assim, a classificação dos diferentes solos estudados. Com tal objetivo utilizou-se a técnica proposta por ANDERSON (1958), em que pressupondo uma otimização da classificação, quando se considera, simultaneamente, um conjunto de variáveis tomados em cada solo coletado, foram estabelecidas funções discriminantes a partir do conhecimento prévio dos elementos que sabidamente pertencem a cada um dos materiais de origem estudados, utilizando os conjuntos de variáveis C1, C2, C3 e C4. No presente

estudo foram definidos os solos 2, 3 e 4; 13, 14 e 15 e 22, 23 e 24, como tipicamente formados a partir do gnaiss, basalto e arenito+sedimentos do Terciário, respectivamente, de acordo com as observações de campo.

As funções discriminantes dos três materiais de origem, considerando os solos citados, são apresentados no Quadro 9, por conjunto de variáveis e profundidade estudados, sendo representadas por  $D_{G(x)}$ ,  $D_{B(x)}$  e  $D_{A(x)}$ , respectivamente. Cada função é uma combinação linear de alguns dos elementos estudados, sendo, os diferentes solos, classificados como de origem gnaissica, basáltica ou arenítica, conforme o maior valor de  $D_{r(x)}$ .

Entretanto, na obtenção das funções discriminantes, algumas variáveis foram eliminadas por haver uma dependência linear entre variáveis, proporcionando uma matriz de covariância singular. Como o processo de obtenção das funções discriminantes depende da inversa da matriz de covariância, a não singularidade é indispensável e, portanto, a eliminação de algumas variáveis foi a alternativa que permitiu contornar o problema matemático exposto.

A classificação dos solos coletados quanto a sua origem é apresentada pelo Quadro 10, para os quatro conjuntos de variáveis e profundidades analisadas. Deve-se salientar que a mesma foi conduzida a nível de repetição, sendo apresentado, porém, a resultante que predominou em todas as repetições, e, nos casos em que uma única repetição ou mais proporcionou um enquadramento diferenciado de mais de um solo, a mesma é apresentada e, entre parênteses, o número de repetições em que isto foi constatado. A classificação geral, coincidente nas várias situações testadas, é também apresentada, como proposta final de classificação do solo analisado.

Quadro 8 - Contribuição relativa (S.j) de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, variáveis componentes dos quatro conjuntos estudados (C1, C2, C3 e C4), avaliadas em solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Prof.	Var.	Conjunto de variáveis <sup>1/</sup>											
		C1			C2			C3			C4		
		S.j	%	S.j	%	S.j	%	S.j (VC1) <sup>2/</sup>	S.j (VC2)	S.j (VC3)	% (VC1)	% VC2	% VC3
1	Cd	875,25	0,48	25.943,31	2,55	37.630,18	2,40	23.869,042	236.031,552	15.035,003	0,06	0,61	0,04
	Cr	17.038,80	9,41	15.863,51	1,56	59.063,25	3,78	189.739,184	694.636,976	27.737,268	0,50	1,79	0,07
	Cu	40.684,00	22,47	320.948,72	31,50	956.645,00	61,10	9.860.649,984	7.036.384,768	2.402.377,472	25,45	18,16	0,07
	Fe	16.525,32	9,13	200.348,30	19,67	169.497,39	10,83	1.642.018,944	23.119,274	182.462,736	4,24	0,06	0,47
	Mn	67.229,40	37,13	116.698,91	11,46	142.745,69	9,12	749.901,504	2.917.378,816	24.684,542	1,94	7,53	0,06
	Ni	29.251,95	16,15	250.253,27	10,03	156.996,56	10,03	3.146.563,328	1.814.451,968	341.915,232	8,12	4,68	0,88
	Pb	2.371,32	1,31	25.784,62	2,53	33.830,35	2,16	90.818,360	21.652,620	173.377,856	0,23	0,06	0,45
	Zn	7.107,90	3,93	62.925,77	6,18	9.360,55	0,60	2.296.411,904	4.813.883,392	15.522,865	5,93	12,43	0,04
2	Cd	301,73	0,26	29.800,20	1,20	15.849,66	1,49	780,255	17.091,956	1.296,501	0,11	2,31	0,18
	Cr	6.153,80	5,33	248.508,17	10,03	51.537,92	4,83	21.923,164	13.770,940	1.164,802	2,96	1,86	0,16
	Cu	29.214,96	25,29	427.796,25	17,27	610.999,38	57,28	15.021,688	70.879,856	72.317,984	2,03	9,57	9,77
	Fe	12.834,57	11,11	161.691,80	6,53	108.312,55	10,15	15.929,715	41.256,424	46.102,256	2,15	5,57	6,23
	Mn	20.676,63	17,90	179.769,56	7,26	64.342,95	6,03	53.975,132	7.285,195	5.567,060	7,29	0,98	0,75
	Ni	31.122,18	26,94	715.584,56	28,89	168.992,56	15,84	32.851,296	137.094,320	55.527,940	4,44	18,51	7,50
	Pb	2.660,87	2,30	31.667,22	1,28	22.653,93	2,12	67,065	3.638,139	17,912	0,01	0,49	0,00
	Zn	12.548,19	10,86	682.132,88	27,54	23.963,75	2,25	36.000,600	83.684,144	7.353,533	4,86	11,30	0,99

1/ - C1, C2, C3 e C4 são conjuntos de variáveis formados pelos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos pelos procedimentos de extração total com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) (C1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA (C2), HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na Argila (C3). O C4 é formado pelos três primeiros conjuntos, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, ou seja, os elementos extraídos com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA e Argila, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, C4=C1+C2+C3.

2/ - Referem-se aos valores de S.j e % do conjunto das variáveis de C1, C2 e C3, na mesma seqüência disposta nestes.

Quadro 9 - Funções discriminantes estabelecidas a partir de solos com origem típica de gnaise (2, 3 e 4), basalto (13, 14 e 15) e arenito+sedimentos do Terciário (22, 23 e 24), coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro e conjuntos de variáveis avaliados (C1, C2, C3 e C4) nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Prof.	Conjunto de variáveis <sup>1/</sup>	Material de origem		
		Gnaise (G)	Basalto (B)	Arenito+sedimentos do Terciário (A)
1	C1	$D_{G(x)} = -24,0198+17,6004Cd-0,1308Cr+0,1225Cu -0,0315Mn-0,1057Ni+2,4270Pb+0,0747Zn$	$D_{B(x)} = -155,3000+40,0834Cd+2,5182Cr+1,0088Cu -0,1747Mn-0,3663Ni+3,0559Pb-0,4020Zn$	$D_{A(x)} = -116,6828+33,8614Cd-2,5254Cr+0,0920Cu -0,1463Mn-1,9669Ni+2,5835Pb-1,1207Zn$
	C2	$D_{G(x)} = -9,6766-0,080Cr+0,0074Mn+0,0074Ni+0,6382Pb$	$D_{B(x)} = -67,2213+0,9019Cr-0,0030Mn+0,4980Ni -0,7164Pb$	$D_{A(x)} = -34,8927+0,6265Cr-0,0467Mn+0,5507Ni-0,0698Pb$
	C3	$D_{G(x)} = -342,1311+64,5399Cd-0,6044Cu+0,3792Mn -1,3406Pb+3,5782Zn$	$D_{B(x)} = -337,2734+122,0425Cd-0,3198Cu+0,0020Mn -1,4875Pb+0,2126Zn$	$D_{A(x)} = -178,6719+80,7431Cd-0,0493Cu+0,1153Mn -1,1031Pb+1,1600Zn$
	C4 <sup>2/</sup>	$D_{G(x)} = -28,3380-0,6366Cr_{(1)}+4,2668Pb_{(2)}+0,0002Fe_{(2)} -0,8257Pb_{(2)}-0,0137Zn_{(2)}$ *	$D_{B(x)} = -613,4633+2,6909Cr_{(1)}+7,3436Pb_{(2)}+0,0048Fe_{(2)} -9,9790Pb_{(2)}+0,2246Zn_{(2)}$	$D_{A(x)} = -106,7960+4,1776Cr_{(1)}+0,3796Pb_{(2)}+0,0004Fe_{(2)} -2,0282Pb_{(2)}-0,0952Zn_{(2)}$
2	C1	$D_{G(x)} = -22,8878+19,7422Cd-0,4773Cr+0,0001Fe +0,0129Mn-0,1224Ni+1,6906Pb$	$D_{B(x)} = -105,5290-14,1793Cd+0,4773Cr+0,0016Fe -0,0342Mn+0,0377Ni-0,2872Pb$	$D_{A(x)} = -34,6184-9,4426Cd+1,0734Cr+0,0003Fe -0,0329Mn+0,1371Ni-0,3577Pb$
	C2	$D_{G(x)} = -35,0499+0,6721Cr+0,1199Cu-0,0012Fe +0,0177Mn+2,6586Pb$	$D_{B(x)} = -707,7925-0,8260Cr+0,04285Cu-0,0077Fe -0,0846Mn-10,9554Pb$	$D_{A(x)} = -75,7352+2,0904Cr+0,4807Cu-0,0007Fe -0,0719Mn+0,4126Pb$
	C3	$D_{G(x)} = -275,996+2,296Cr+0,001Fe+0,240Mn+4,377Pb$	$D_{B(x)} = -281,216+4,209Cr-0,0010Fe+0,194Mn+5,999Pb$	$D_{A(x)} = -281,216+4,209Cr-0,001Fe+0,194Mn+5,999Pb$
	C4	$D_{G(x)} = -588,6365+151,4917Cd_{(1)}+9,0839Cd_{(2)} +7,0466Cr_{(3)}+2,5317Pb_{(3)}-3,1781Zn_{(3)}$	$D_{B(x)} = -719,3441+333,2306Cd_{(1)}+9,5228Cd_{(2)} +9,5475Cr_{(3)}+1,6321Pb_{(3)}-2,1313Zn_{(3)}$	$D_{A(x)} = -573,8411+305,9358Cd_{(1)}+12,3506Cd_{(2)} +8,6105Cr_{(3)}+1,79667Pb_{(3)}-1,6647Zn_{(3)}$

1/ - C1, C2, C3 e C4 são conjuntos de variáveis formados pelos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos pelos procedimentos de extração total com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) (C1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA (C2), HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na Argila (C3). O C4 é formado pelos três primeiros conjuntos, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, ou seja, os elementos extraídos com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA e Argila, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, C4=C1+C2+C3.

2 - No caso específico do conjunto C4, os números entre parênteses referem-se ao conjunto que originalmente pertence a variável, já que o conjunto C4 compõe-se dos três primeiros conjuntos em seqüência

Da mesma forma, como observado para as outras técnicas testadas, não se constatou concordância entre as classificações obtidas, com variações entre conjuntos de variáveis e profundidades testadas, porém, pode-se observar que estas diferenças concentram-se naquelas áreas de transição entre materiais de origem, como é o caso dos solos 8, 9, 16, 17 e 18, por exemplo. Mas, mesmo assim, pode-se propor a classificação geral final proposta no Quadro 10, tomando como referência o número de vezes em que há coincidência da classificação proposta para determinado solo, nas profundidades e conjuntos de variáveis estudadas, a partir dos resultados obtidos pela técnica da função discriminante de Anderson, como também os obtidos pelos métodos de agrupamento utilizados: Tocher e variáveis canônicas, com base na distância generalizada de Mahalanobis. Os solos de 1 a 9 podem ser classificados como formados a partir do gnaisse, mesmo quando, em alguns casos, o 6, 7, 8 e 9 ainda sejam classificados como de basalto, pois esta sugestão é suportada pelo número de vezes em que estes solos estão agrupados, tanto pelo método Tocher, como pela dispersão obtida com a técnica das variáveis canônicas, estando próximos do grupo formado pelo gnaisse e arenito+sedimentos do Terciário ou, então, de solos específicos com esta origem.

A influência do basalto se faz sentir a partir do solo 10, mesmo quando este é ainda classificado como originário de gnaisse, pois se observa uma tendência geral para maior proximidade com os solos de origem evidente do basalto, tanto no agrupamento pelo método de Tocher, quanto pela técnica de variáveis canônicas, a semelhança das observações feitas para definição da origem dos solos de gnaisse já comentados. Todas estas avaliações indicam que se pode atribuir a maior influência do basalto a partir do ponto de coleta do solo 10 até o 18, este último, um tanto contraditório, em função de que nas demais técnicas utilizadas, existem indicações de influência do arenito+sedimentos do Terciário e, numericamente de gnaisse, junto com o seu enquadramento e mesmo proximidade de solos de basalto. Porém, a análise discriminante, como técnica de adequação da classificação proposta indicou a formação a partir do basalto. Finalmente, a partir do solo 19 constata-se a influência do arenito+sedimentos do Terciário na formação dos

solos, predominando, tanto na análise discriminante, quanto nas demais técnicas utilizadas, a maior participação deste solo.

Esta classificação geral, exposta no Quadro 10, definida pela avaliação conjunta das análises de agrupamento e discriminante, se comparada com as individuais feitas com base nas funções discriminantes de Anderson, indica que entre os conjuntos de variáveis utilizados, a partição que mais se aproximou da geral proposta foi a obtida com o C2 na profundidade de 50-60 cm, somente com divergência para o solo 8. Tal fato torna evidente que, nas condições deste estudo, a extração dos metais pesados na TFSA e com uso de HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub>, na proporção 20:6:3, parece ser a condição mais adequada para este tipo de investigação, o mesmo podendo ser referido a profundidade de estudo, no caso de 50 a 60 cm, até pelas próprias contribuições antrópicas possíveis de ocorrerem em superfície, avaliada no item 3.1.

Deve-se ressaltar a importância do conhecimento prévio da área em estudo, através de levantamentos geológicos e mapas, bem como as idas a campo, no uso conjunto de técnicas mais sistematizadas, como as utilizadas, tornando a definição da origem dos diferentes solos coletados na topolitosequência estudada mais acertada, uma vez que dois destes solos estavam, apesar de apresentarem teores semelhantes, separados literalmente em distância, além de várias outras características bastante diferenciadas. Está claro, na literatura consultada, que os teores no solo dos elementos estudados refletem bem o material que lhes deram origem (MOURA, 1985; CURI e FRANZMEIER, 1987; JING-SHENG et al., 1993; PETTRY e SWITZER, 1993). Todavia, a proximidade numérica, quanto aos teores obtidos, pode conduzir a resultados que não possibilitem a diferenciação de um ou outro solo. De certa forma é possível que um maior número de pontos amostrados seja útil nesta diferenciação, porém, uma avaliação mais global é necessária, não podendo se ater somente a análise estatística, além de escolha adequada dos métodos de análise química a serem utilizados.

Quadro 10 - Classificação individual e geral dos 24 solos coletados na toposequência do Triângulo Mineiro por conjunto de variáveis (C1, C2, C3 e C4) e profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Conjunto de variáveis <sup>1/</sup>								Geral
	C1		C2		C3		C4		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
1	G <sup>2/</sup>	G	G	G	G	G	G	G	G
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G
3	G	G	G	G	G	G	G	G	G
4	G	G	G	G	G	G	G	G	G
5	G	G	G	G	G	G	G	G	G
6	G	G	G	G	G	B	G	G	G
7	G	G	G	B	G	B	G	G	G
8	G	G	G	G	G	B	B	G	G
9	G	B	G	B	G	B	B	G	G
10	G	G, B(1) <sup>3/</sup>	G	B	G	B	B	G	B
11	G	B(7), G(3)	G	B	G	B	B	G	B
12	A(9), B(1)	B(8), A(2)	B	B	B	B, A	B	B	B
13	B	B	B	B	B	B	B	B	B
14	B	B(9), A(1)	B	B	B	B	B	B	B
15	B	B	B	B	B	B	B	B	B
16	B	B	B	B	G, B	B	B	G, A	B
17	G	B	G, B	B	A	B	B	G	B
18	G	B	B	B	A	B	B	G	B
19	A	A	B	A	A	B	A	A	A
20	A	A	A	A	A	A	A	A	A
21	A	A	G	A	A	A	B	A	A
22	A	A	A	A	A	A	A	A	A
23	A	A	A	A	A	A	A	A	A
24	A	A	A	A	A	A	A	A	A

1/ - C1, C2, C3 e C4 são conjuntos de variáveis formados pelos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos pelos procedimentos de extração total com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) (C1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA (C2), HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na Argila (C3). O C4 é formado pelos três primeiros conjuntos, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, ou seja, os elementos extraídos com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1) e HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3) na TFSA e Argila, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, C4=C1+C2+C3.

2/ - G: Gnaisse; B: Basalto e A: Arenito+sedimentos do Terciário

3/ - Casos em que as repetições não foram classificadas como de origem de um único material, sendo apresentado a segunda classificação e, entre parênteses, o número de repetições em que isto ocorreu.

Poucos trabalhos existem na literatura, referentes aos procedimentos adotados no presente estudo, principalmente quanto ao uso das técnicas multivariadas, o que leva a crer que o seu potencial de aplicação é elevado. MOURA (1985) e LI et al. (1992) fizeram uso de análises de agrupamento e discriminante em estudos semelhantes, porém adotando técnicas diferenciadas das utilizadas no presente estudo, obtendo-se resultados que atenderam aos objetivos propostos, porém, a partir de uma base de dados bastante superior aos disponíveis para o trabalho em questão. Somente a análise discriminante proposta de ANDERSON (1958), nas condições deste estudo, não foi suficiente para definir claramente a partição proposta pelas demais técnicas, além de não haver concordância entre as discriminações feitas, quando se usam frações do solo e mesmo métodos químicos diferentes. Quanto a este último aspecto, deve-se ressaltar o fato de como um único procedimento pode levar a conclusões nem sempre confiáveis, ou seja, nas condições deste estudo, o resultado final somente pôde ser obtido por uma avaliação conjunta de diferentes situações.

Está claro também que observações que são feitas em nível de campo confrontadas com dados obtidos em laboratório e os levantamentos geológicos podem levar a interpretações erradas. Verifica-se que apesar de várias outras características e, ou, propriedades indicarem a influência de determinado material de origem, a mesma pode não ser tão verdadeira, pois apesar de indicações como classe de solo predominante, cor, teores de  $Fe_2O_3$  etc. levarem a formação a partir do basalto, como nos solos 7, 8, e 9, na transição do gnaiss-basalto, e os próprios solos originários de arenito+sedimentos do Terciário, 19 a 24. Desta forma, constata-se que os metais pesados exercem melhor o papel de elementos marcadores e diferenciadores dos materiais de origem estudados, definindo bem a intensidade de influência de um ou outro material na formação dos solos em superfície. Comparações entre a classificação geral obtida pelas análises de agrupamento e discriminante (Quadro 10) e os dados da Figura 2 evidenciam bem estas observações, pois pode-se verificar a ocorrência de solos com classificação associada a origem basáltica (LR), enquanto pelo estudo proposto, a sua origem está mais relacionada ao gnaiss, com as inferências pertinentes a essa origem.

Também deve ser salientado a relação destas constatações com o status do solo em termos dos elementos estudados, tanto no que se refere ao potencial de incorporação na cadeia trófica pela sua maior abundância em algumas situações, a ser discutido, como também relativo a escassez, a tendência de deficiência destes elementos em plantas cultivadas. Pelo que foi apresentado, as áreas definidas como originárias de arenito+sedimentos do Terciário e gnaiss, situadas próximas à transição com o basalto, mas com fortes características e, ou, propriedades visuais, químicas e físicas e mesmo mineralógicas e, teoricamente, com teores de metais pesados em maior proporção, tenderão a apresentar deficiências destes elementos, o que nem sempre poderá ser percebido pelos técnicos envolvidos. Estudo neste sentido, ou seja, de maior esclarecimento do status nutricional dos elementos em estudo, a partir de técnicas de agrupamento e discriminação, foi conduzido por LI et al. (1992), conseguindo bons resultados, porém, sem a preocupação de avaliação conjunta com o material de origem, reforçando o tipo de estudo apresentado.

### **3.3. Extração ácida de metais pesados de alguns solos da toposeqüência do Triângulo Mineiro**

Pode-se constatar, inicialmente, que a aplicação do teste de identidade de modelos (REGAZZI, 1993) apresentou-se como uma excelente ferramenta para, não só a redução do número de equações, como também a possibilidade de identificação estatística da similaridade ou dissimilaridade entre os diferentes solos e profundidades quanto ao comportamento estudado. Tanto que se pode constatar pelos Quadros 11 a 18 que, de acordo com os modelos ajustados apresentados, alguns solos puderam ser agrupados em um único modelo, bem como profundidades estudadas. Todavia não foram testadas todas as combinações possíveis, pois a medida que os primeiros testes foram realizados, observaram-se diferenças estatísticas significativas entre coeficientes de modelos ajustados por profundidade e solos aparentemente similares, tanto nas observações de campo quanto na avaliação de outras características e/ou propriedades. Diante deste fato e da não identidade os modelos ajustados para cada profundidade em um único solo, além da

variação do tipo de modelo nas duas situações, adotou-se, portanto, o procedimento de aplicar testes em modelos ajustados individualmente por profundidade, como estabelecido inicialmente, em todos os solos estudados e, posteriormente, nos típicos, como é o caso da 2 e 3, 11, 12 e 13 e 22 e 23. Deve ser comentado também que modelos ajustados com  $R^2$  muito próximo de 1, em alguns casos não puderam ser reduzidos a uma única equação com o teste de identidade, a não ser quando os valores observados eram muito próximos e houvesse uma interposição de comportamentos. O Fe é um bom exemplo.

Quando avaliam-se os modelos ajustados para os teores de Cd (Quadro 11) em função das concentrações de  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1), utilizados com extratores, observa-se que a abundância (teores variáveis no solo estão entre 0,002 e 2 mg/kg) deste elemento na natureza, certamente foi o fator limitante para a falta de ajuste, os tipos de modelos ajustados, a magnitude dos coeficientes, bem como os valores de  $R^2$ , como é o caso dos solos originários de gnaiss: 2 e 3 e os de transição: 6 e 8. Mesmo no caso dos solos 11, 12 e 13, desenvolvidos de basalto, verifica-se que os modelos ajustados também traduzem este aspecto, pois os coeficientes negativos do componente linear nos modelos quadráticos ajustados, seguidos de coeficientes positivos, indicam comportamento inicial um tanto errático frente às concentrações iniciais de ácidos, para, em seguida, observarem-se aumentos proporcionais a concentrações maiores. Assim, o que se pode inferir é que as concentrações iniciais de ácidos utilizadas não foram suficientes para a extração de Cd em níveis detectáveis pela metodologia utilizada, e, em alguns casos, nem em concentrações maiores, além da abundância deste elemento. Juntamente com a variação espacial inerente, estas podem ser consideradas como as principais causas para os resultados obtidos. Como poderá ser observado quando os demais elementos forem discutidos, o Cd foi o único a apresentar modelos quadráticos desta forma. No caso do modelo cúbico do solo 8, profundidades 1 e 2, pode-se atribuir as mesmas razões apresentadas para o quadrático dos demais solos. Os aspectos comentados relativos a pequena abundância de Cd podem ser confirmados pelos dados de teores totais disponíveis no Quadro 11, obtidos por ataque total com os mesmos ácidos, só

que concentrados, e em concordância com os dados de variação média no solo, conforme disposto na literatura. Ainda assim, os solos originários do basalto apresentam teores bem mais elevados que os desenvolvidos a partir de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário. Pode-se constatar que o teste de identidade permitiu a redução do número de equações, indicando que o Cd, nas condições estudadas apresenta comportamento similar quanto a profundidade, como também no caso dos solos 22 e 23.

Quadro 11 - Equações ajustadas para os teores de Cd em função das concentrações (C) 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns solos da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Profundidade	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
1	1(0,49) / 2(0,36) <sup>1/</sup>	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$	-
2	1(0,21) / 2(0,48)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$	-
3	1(0,31) / 2(0,40)	$\hat{Y} = 0,0076 - 0,1102C + 0,1413C^2$	0,80
6	1(0,42) / 2(0,67)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$	-
8	1(0,60) / 2(0,58)	$\hat{Y} = -0,0025 + 0,4649C - 1,4020C^2 + 1,0064C^3$	0,95
11	1(0,86) / 2(0,60)	$\hat{Y} = 0,0334 - 0,2807C + 0,4556C^2$	0,85
12	1(0,49)	$\hat{Y} = 0,0322 - 0,2625C + 0,4254C^2$	0,73
	2(0,57)	$\hat{Y} = 0,0363 - 0,3696C + 0,5508C^2$	0,80
13	1(1,14) / 2(1,13)	$\hat{Y} = 0,0276 - 0,2655C + 0,4524C^2$	0,91
17	1(0,58) / 2(0,71)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$	-
20	1(0,39) / 2(0,47)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$	-
22,23	1(0,53/0,36) / 2(0,54/0,52)	$\hat{Y} = 0,0086 - 0,1816C + 0,2964C^2$	0,92

1/ - Dados referentes aos teores totais de Cd, em mg/kg, obtidos por ataque ácido concentrado, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

Comparativamente ao Cd, a falta de ajuste de modelos para o comportamento do Cr pode ser atribuída à pouca abundância nas frações atacadas pelas concentrações utilizadas de ácidos, mesmo quando solos com

teores totais semelhantes apresentam ajustes, como é o caso do 2 e 3, com 23,78 e 23,48 mg/kg na profundidade 2 (Quadro 12). A variação espacial dos solos utilizados também assume papel relevante, principalmente no 1, possivelmente bastante descaracterizado como material originário de gnaise, e 17 e 20, situados em áreas de transição. Contudo com relação aos modelos quadráticos ajustados, a magnitude dos coeficientes mudou significativamente com relação aos ajustados para Cd. No caso do Cr, verifica-se que há uma tendência de elevação dos teores, a medida que a concentração eleva-se, porém atingindo um máximo, o qual poderá ser modificado se fossem utilizadas concentrações mais altas, além das usadas no presente estudo. De certa forma, tal comentário pode ser confirmado pelos modelos lineares simples ascendentes ajustados para outros solos, principalmente os de maior abundância, 12 e 13, por sinal, coincidentes com os de Cd e originários de basalto, como pode ser observado no Quadro 12. O modelo linear simples foi o que mais se ajustou nas avaliações feitas para os teores de Cu (Quadro 13), novamente predominando naqueles solos de maior conteúdo, aumentando os teores a medida que a concentração de ácidos aumentava. De acordo com ROSS (1994), o Cu pode ser considerado como um dos elementos de maior afinidade com vários constituintes do solo, destacando-se óxidos de Fe e Al e mesmo alguns componentes da matéria orgânica. Em alguns, os modelos tiveram um ajuste tão bom que o teste de identidade de modelos não indicou coeficientes estatisticamente semelhantes, como nos solos 1, 6 e 17, situados em áreas de transição, um fato interessante no caso deste elemento. Mesmo no caso dos modelos quadráticos ajustados, o comportamento observado para o Cr repetiu-se com o Cu, indicando a existência de uma concentração máxima, a partir da qual não se elevam os teores de Cu em solução, ou torna-se necessário o uso de concentrações bem mais elevadas. Contudo, no caso dos solos originários de arenito+sedimentos do Terciário, 22 e 23, identificou-se o modelo cúbico comum às duas profundidades e solos. Novamente, ressalta-se aqui o comportamento destes solos, ascendente somente a concentrações mais elevadas, o que pode significar a ligação mais forte deste elemento a algum constituinte do solo, sendo, portanto, pouco efetiva as concentrações iniciais de ácidos utilizadas. Não se deve deixar de chamar a

atenção para o fato do arenito+sedimentos do Terciário ser um material pouco uniforme em virtude de sua formação e, portanto, passível de imprimir variação espacial acentuada nos solos utilizados para a condução deste estudo, a ser comentado mais a frente.

Quadro 12 - Equações ajustadas para os teores de Cr em função das concentrações (C) 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns solos da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Profundidade	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
1	1(32,84) / 2(28,45) <sup>1/</sup>	$\hat{Y} = 1,0820 + 9,6570C - 6,9525C^2$	0,65
2	1(13,98)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,22$	-
	2(23,78)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,40$	-
3	1(18,60) / 2(23,48)	$\hat{Y} = 0,0704 + 18,463C - 11,079C^2$	0,91
6	1(18,12) / 2(19,15)	$\hat{Y} = 0,1101 + 6,7818C - 5,3048C^2$	0,86
8	1(16,00) / 2(14,14)	$\hat{Y} = 2,9538 + 9,6797C - 4,8398C^2$	0,87
11	1(12,94) / 2(9,70)	$\hat{Y} = 0,5038 + 19,543C - 10,867C^2$	0,97
12	1(90,56) / 2(74,89)	$\hat{Y} = 2,6754 + 20,974C$	0,96
13	1(66,58) / 2(67,65)	$\hat{Y} = 3,6156 + 13,815C$	0,87
17	1(32,92)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,77$	-
	2(27,15)	$\hat{Y} = 0,2767 + 6,3473C - 5,1428C^2$	0,75
20	1(37,04)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,83$	-
	2(49,62)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,48$	-
22/23	1(55,78/45,51) / 2(51,94/58,96)	$\hat{Y} = 3,9000 + 7,428C$	0,80

1/ - Dados referentes aos teores totais de Cr, em mg/kg, obtidos por ataque ácido concentrado, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

Quadro 13 - Equações ajustadas para os teores de Cu em função das concentrações (C) 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns solos da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Profundidade	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
1	1(20,12) <sup>1/</sup> 2(16,20)	$\hat{Y} = 1,8838 + 24,799C - 12,519C^2$ $\hat{Y} = 2,0920 + 19,454C - 10,733C^2$	0,95 0,98
2	1(11,05) / 2(21,32)	$\hat{Y} = 1,6917 + 14,400C - 8,9216C^2$	0,98
3	1(15,21) / 2(16,14)	$\hat{Y} = 2,4376 + 18,069C - 9,7557C^2$	0,92
6	1(30,64) 2(41,12)	$\hat{Y} = 5,4425 + 63,031C$ $\hat{Y} = 3,5264 + 49,331C$	0,99 0,99
8	1(47,44) / 2(51,83)	$\hat{Y} = 3,5041 + 48,309C - 26,832C^2$	0,85
11	1(183,95) / 2(186,95)	$\hat{Y} = 8,5922 + 183,33C - 104,04C^2$	0,87
12	1(250,35) / 2(254,20)	$\hat{Y} = 24,769 + 95,741C$	0,83
13	1(254,20) / 2(287,26)	$\hat{Y} = 29,275 + 102,80C$	0,80
17	1(116,65) 2(145,00)	$\hat{Y} = 11,404 + 133,63C$ $\hat{Y} = 7,4961 + 105,31C$	0,99 0,99
20	1(12,50) / 2(15,34)	$\hat{Y} = 2,9052 + 18,673C$	0,94
22/23	1(17,76/18,07) / 2(20,78/18,36)	$\hat{Y} = 1,5496 + 20,603C - 31,011C^2 + 13,727C^3$	0,83

1/ - Dados referentes aos teores totais de Cr, em mg/kg, obtidos por ataque ácido concentrado, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

O comportamento observado para os teores de Fe (Quadro 14) nos solos estudados é o que mais se aproxima do esperado, ou seja, a tendência linear simples, com exceção dos solos formados a partir do arenito+sedimentos do Terciário. Todos os modelos lineares simples ajustados apresentam coeficiente angular positivo e um R<sup>2</sup> bastante alto, fato que levou a rejeição pelo teste de identidade dos modelos ajustados para alguns solos nas duas profundidades, mesmo naquelas condições em que a diferença entre teores não era muito elevada. Pode-se considerar que a abundância do elemento contribuiu efetivamente para o comportamento observado, nos casos dos solos formados a partir de gnaisse e basalto. Já, no caso dos solos 20 e 22, teoricamente originários de arenito+sedimentos do Terciário, os modelos ajustados não refletem o mesmo comportamento observado para os teores de

Fe como os demais solos. Nestes casos, o que se pode atribuir como razão para tal comportamento esteja relacionado ao fato do arenito+sedimentos do Terciário não ser um material uniforme pela sua própria origem, conseqüentemente proporcionando uma acentuada variação dos teores obtidos, o que dificultou o ajuste de modelos. Pode-se ressaltar, também, o fato destes solos estarem situados próximo à transição com o basalto, especificamente o 20, o que pode interferir mais ainda. O solo 22, na profundidade 2, com características mais influenciadas pelo arenito+sedimentos do Terciário, já começa a mostrar este efeito de transição, pois na profundidade 2 ajustou-se um modelo linear simples, o que não aconteceu na profundidade 1. Pode-se constatar que os valores de R<sup>2</sup> encontrados para os modelos dos solos 20 e 22 são baixos, comparativamente aos demais, o que também pode ser mais um indicativo da pouca uniformidade do arenito+sedimentos do Terciário. Apesar do observado, os solos sobre arenito+sedimentos do Terciário apresentam cores avermelhadas bastante fortes, indicando uma forte influência do Fe nas suas diferentes formas, principalmente hematita (RESENDE, 1976).

20	Profundidade 1	$\hat{Y} = 644,38 + 6900,80C - 14752,30C^2 + 8248,70C^3$	0,81
20	Profundidade 2	$\hat{Y} = 228,43 + 1508,40C$	0,67
22	Profundidade 1	$\hat{Y} = 142,70 - 1381,90C + 13133,40C^2 - 8538,80C^3$	0,74
22	Profundidade 2	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3082,2$	-
22	Profundidade 2 (sem Fe)	$\hat{Y} = 173,49 + 1619,40C$	0,85

11 - Dados relativos aos teores totais de Fe, em %, obtidos por ataque ácido com perclorato, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

Quadro 14 - Equações ajustadas para os teores de Fe em função das concentrações (C) 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns solos da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Profundidade	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
1	1(34.895,00) <sup>1/</sup>	$\hat{Y} = 274,63+4411,9C$	0,95
	2(35.738,28)	$\hat{Y} = 257,43+2774,1C$	0,99
2	1(17.252,20)	$\hat{Y} = 618,51+2525,5C$	0,82
	2(31.670,28)	$\hat{Y} = 99,123+1961,6C$	0,99
3	1(24.953,85) / 2(30.070,63)	$\hat{Y} = 446,89+5463,9C$	0,99
6	1(66.170,16)	$\hat{Y} = 1084,2+6033,1C$	0,99
	2(81.381,05)	$\hat{Y} = 135,42+6489,0C$	0,99
8	1(92.454,70)	$\hat{Y} = 33,231+12740,1C$	0,99
	2(87.686,88)	$\hat{Y} = 24,625+11149,5C$	0,99
11	1(89.840,35) / 2(107.773,10)	$\hat{Y} = -60,316+15961,8C$	0,99
12	1(113.434,61) / 2(115.219,51)	$\hat{Y} = -869,14+12255,5C$	0,97
13	1(128.871,72) / 2(141.013,91)	$\hat{Y} = -941,87+11993,4C$	0,97
17	1(101.107,58)	$\hat{Y} = 180,15+5067,0C$	0,99
	2(118.594,10)	$\hat{Y} = 65,011+5971,6C$	0,99
20	1(36.281,32)	$\hat{Y} = 644,58+6900,6C-14752,3C^2+8246,7C^3$	0,81
	2(46.200,66)	$\hat{Y} = 226,43+1508,4C$	0,67
22	1(38.737,54)	$\hat{Y} = 142,70-1381,5C+13133,4C^2-8538,8C^3$	0,74
	2(40.815,88)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2082,2$	-
23	1(45.048,13) / 2(45.822,78)	$\hat{Y} = 173,49+1619,4C$	0,95

1/ - Dados referentes aos teores totais de Fe, em %, obtidos por ataque ácido concentrado, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

Para o Mn, o que se observa é a ocorrência generalizada dos modelos linear simples e quadrático nos solos originados do gnaisse e basalto, sendo que os coeficientes do termo quadrático indicam a existência de um teor máximo, acima do qual os aumentos na concentração de ácido não implicam em aumentos significativos dos teores de Mn (Quadro 15). Uma das possíveis explicações para tal fato pode estar relacionado a uma maior solubilização inicial do Mn, certamente em função da forma de ocorrência deste elemento, associada a minerais do solo pouco cristalizados, principalmente se for considerado os solos estudados e sua origem, conforme LINDSAY (1979), sendo que formas mais estruturais devem ter tendência de maior necessidade de ácido. Avaliando o modelo cúbico, ajustado para os solos 6 e 17, pode-se constatar a coincidência deste com áreas de transição entre materiais, no caso gnaisse-basalto e basalto-arenito+sedimentos do Terciário, um ambiente mais desuniforme, fato que por si só justifica uma maior variabilidade das condições existentes nestas áreas e o ajuste deste modelo. Porém, com relação ao solo 1, a justificativa mais condizente para o modelo ajustado, principalmente no que se refere a profundidade 1 (cúbico) e mesmo a 2 (quadrático), estaria relacionado a maior variabilidade desta área de coleta, visto ser, certamente, bastante alterada por materiais carreados, a montante da área coletada, pelo rio Araguari, como comentado inicialmente. No caso específico do Mn, outro fator relacionado a proximidade do rio, é a variação dos movimentos do lençol freático em relação aos períodos chuvosos. As condições de redução e oxidação inerentes, podem levar a um aumento da variabilidade espacial, dificultando o ajuste dos modelos linear simples e quadrático, este último ajustado para a profundidade 2, porém com um  $R^2$  bem menor. Com relação aos solos 17 e 20 e 22 e 23, situados em áreas de transição e originários de arenito+sedimentos do Terciário, respectivamente, a falta de ajuste de modelos pode ser atribuída, mais uma vez, a desuniformidade do material de origem destes solos. No caso específico das áreas desenvolvidas de arenito+sedimentos do Terciário, deve-se salientar que, de acordo com observações de campo, não se constatou nenhum afloramento de tal rocha, o que leva a crer que esta área foi muito trabalhada com relação a processos de intemperismo, além de ser constatado forte presença de material esverdeado

próximo não identificado. Tal fato, como referido para os elementos discutidos até o presente, pode ser um fator de desuniformidade de interferência nos resultados obtidos. Outro aspecto, já salientado, refere-se a abundância deste elemento. SMITH (1990) indica os arenito+sedimentos do Terciários como as rochas de menores conteúdos de Mn.

O Ni foi o que mais se destacou com relação a tendência linear simples e coeficiente angular positivo nos modelos ajustados (Quadro 16). Porém, alguns solos não apresentaram teores detectáveis pelo método utilizado, salientando a diferenciação entre solos, realçando importância das diferenças entre as características e propriedades destes, pois observam-se solos com teores totais semelhantes, mas sem ajuste de modelos e nível zero do elemento: 3 e 6, respectivamente. De acordo com McGRATH e SMITH (1990), extrações seqüenciais de Ni indicam, em alguns casos, que mais de 50% do Ni do solo está relacionado a fração residual do solo, aquela extraída com um ataque total forte, utilizando ácidos como o HF, por exemplo. Óxidos de Fe e Mn ficariam com 20% e pequena parte estaria ligada às frações orgânica e trocável. Assim, pode-se explicar porque as concentrações de ácido utilizadas não foram suficientes para se obter Ni, principalmente nos solos originários de arenito+sedimentos do Terciário e gnaiss, relativamente mais pobres neste elemento que o basalto. Esta informação pode ser uma explicação plausível para os resultados obtidos relativos a falta de ajuste e mesmo os teores nulos de alguns elementos discutidos até o presente, mas que infelizmente não são referidas na literatura. Vários solos puderam ser representados por um único modelo, de acordo com o teste de identidade de modelos, indicando uma certa uniformidade no perfil, principalmente daqueles materiais de solo tipicamente representativos dos materiais de origens estudados. Os solos 22 e 23, anteriormente comentados como pouco uniformes em virtude do material que lhe deu origem, não tiveram comportamento similar aos outros elementos.

Quadro 15 - Equações ajustadas para os teores de Mn em função das concentrações (C) 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns solos da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Profundidade	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
1	1(901,67) <sup>1/</sup>	$\hat{Y} = -9,1526+5655,5C-10058,7C^2+4760,8C^3$	0,95
	2(428,62)	$\hat{Y} = 13,297+409,58C-239,11C^2$	0,85
2	1(190,81)	$\hat{Y} = 8,2735+237,94C-152,45C^2$	0,76
	2(110,01)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 13,764$	-
3	1(439,67) / 2(404,03)	$\hat{Y} = 18,196+657,31C-380,68C^2$	0,86
6	1(610,51) / 2(695,34)	$\hat{Y} = 1,8524+709,64C-1140,70C^2+556,83C^3$	0,94
8	1(981,55)	$\hat{Y} = 77,150+1858,1C-1068,1C^2$	0,78
	2(575,89)	$\hat{Y} = 86,408+276,51C$	0,71
11	1(1.408,91)	$\hat{Y} = 139,71+3061,2C-1752,6C^2$	0,74
	2(919,35)	$\hat{Y} = 100,72+500,47C$	0,85
12	1(994,88)	$\hat{Y} = 68,207+1483,7C-881,65C^2$	0,73
	2(898,74)	$\hat{Y} = 80,810+404,51C$	0,87
13	1(847,08)	$\hat{Y} = 64,510+1482,4C-806,3C^2$	0,79
	2(671,05)	$\hat{Y} = 26,720+711,66C-372,67C^2$	0,85
17	1(632,27)	$\hat{Y} = 4,7574+758,92C-1318,9C^2+663,66C^3$	0,75
	2(344,56)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 27,27$	-
20	1(71,02)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 7,59$	-
	2(81,06)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 5,86$	-
22	1(42,97)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 4,72$	-
	2(44,83)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 4,68$	-
23	1(30,66)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,10$	-
	2(30,08)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,61$	-

1/ - Dados referentes aos teores totais de Mn, em mg/kg, obtidos por ataque ácido concentrado, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

Quadro 16 - Equações ajustadas para os teores de Ni em função das concentrações (C) 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns solos da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Profundidade	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
1	1(23,96) <sup>1/</sup>	$\hat{Y} = 0,0976+1,2773C$	0,74
	2(18,50)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$	-
2	1(4,87) / 2(12,79)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$	-
	3	1(11,79) / 2(13,99)	$\hat{Y} = -0,1314+2,504C$
6		1(14,38)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$
	8	2(17,19)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,08$
8		1(28,59)	$\hat{Y} = -0,0332+3,3373C$
	11	2(31,23)	$\hat{Y} = 0,0732+3,7180C$
11		1(36,82)	$\hat{Y} = 0,3012+4,2093C$
	12	2(39,58)	$\hat{Y} = 0,7520+5,5707C$
12		1(121,67) / 2(119,77)	$\hat{Y} = 2,1074+13,392C$
	13	1(83,10) / 2(85,16)	$\hat{Y} = 2,2426+14,278C$
17		1(25,26) / 2(32,39)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$
	20	1(14,05) / 2(20,07)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,00$
22/23		1(18,35/18,35) / 2(17,68/16,53)	$\hat{Y} = 0,0102+0,9258C$

1/ - Dados referentes aos teores totais de Ni, em mg/kg, obtidos por ataque ácido concentrado, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

O teste de identidade de modelos mostrou-se de grande utilidade no caso do Pb (Quadro 17) , pois foi o elemento que apresentou a maior redução do número de equações, indicando, assim, a uniformidade de distribuição deste elemento no perfil e condições avaliadas. No caso, predominou o modelo linear simples seguido do quadrático, este com comportamento, indicado pelos coeficientes do modelo, atingindo um máximo, após o qual adições de ácido não implicam em teores proporcionais do elemento. Os solos originários de basalto foram os que se mostraram mais uniformes, pois puderam ser representados por uma única equação, ressaltando a importância da variação espacial no comportamento comentado para os outros elementos e, principalmente, no caso dos solos originários do arenito+sedimentos do Terciário. O fator poluição pode estar exercendo um possível efeito de uniformização dos teores de Pb nas duas profundidades. Com relação a abundância, o Pb foge um pouco a regra até aqui observada, ou seja, teores mais elevados nos solos formados a partir de basalto, sendo associados ao gnaiss, os maiores teores de Pb. Tal fato é confirmado por JING-SHENG et al. (1993), ao avaliar as tendências geográficas do Pb e outros elementos em solos desenvolvidos de granito, basalto e siltitos no leste da China.

A tendência dos modelos ajustados, incluindo apenas o efeito linear simples da concentração para os teores de Zn foi a mais comum nos solos e profundidades estudadas (Quadro 18), embora possa ser constatado que o teste de identidade de modelos indica maior desuniformidade entre profundidades, inicialmente, sem falar nos solos. Não há uma tendência clara de maior ou menor teor com a profundidade dos solos, observando-se, entretanto, a existência de diferenças significativas entre teores, como constatado pelo teste de identidade. Os valores de  $R^2$  encontrados refletem o bom ajuste dos modelos e ressaltam as diferenças entre profundidades dos teores de Zn observados. Alguns modelos quadráticos foram constatados, principalmente para aqueles solos situados nas áreas de transição (6 e 17) ou as formadas a partir do arenito+sedimentos do Terciário, 22 e 23, indicando mais uma vez a existência de um máximo a partir do qual adições de ácido não levam a teores crescentes de Zn, o que pode estar relacionado a abundância ou mesmo a fração predominante no solo. O único modelo cúbico ajustado foi

para um solo de arenito+sedimentos do Terciário, confirmando novamente a desuniformidade deste material de origem.

Quadro 17 - Equações ajustadas para os teores de Pb em função das concentrações (C) 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns solos da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Profundidade	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
1	1(21,59) / 2(18,78) <sup>1/</sup>	$\hat{Y} = 4,4348 + 12,509C$	0,76
2	1(15,05) / 2(23,23)	$\hat{Y} = 1,4323 + 31,449C - 17,860C^2$	0,84
3	1(19,86) / 2(20,01)	$\hat{Y} = 1,6504 + 40,245C - 20,859C^2$	0,93
6	1(13,81) / 2(16,51)	$\hat{Y} = 0,7963 + 15,815C - 9,4851C^2$	0,89
8	1(13,43) / 2(12,78)	$\hat{Y} = 1,9174 + 5,6640C$	0,89
11/12/13	1(15,77/13,76/12,40) / 2(12,10/14,79/13,88)	$\hat{Y} = 2,5156 + 8,0092C$	0,87
17	1(15,00)	$\hat{Y} = 0,6746 + 16,320C - 10,797C^2$	0,88
	2(12,98)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,82$	-
20	1(10,84)	$\hat{Y} = 0,6805 + 15,142C - 29,610C^2 + 13,741C^3$	0,70
	2(13,29)	$\hat{Y} = -0,1172 + 10,621C - 8,3110C^2$	0,77
22/23	1(9,74/7,98) / 2(14,85/14,32)	$\hat{Y} = 2,1099 + 4,1100C$	0,88

1/ - Dados referentes aos teores totais de Pb, em mg/kg, obtidos por ataque ácido concentrado, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

Quadro 18 - Equações ajustadas para os teores de Zn em função das concentrações (C) 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns solos da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Profundidade	Equações ajustadas	R <sup>2</sup>
1	1(60,71) <sup>1/</sup>	$\hat{Y} = 3,6112+15,640C$	0,83
	2(42,46)	$\hat{Y} = -0,5564+15,699C$	0,96
2	1(27,97)	$\hat{Y} = 0,6164+11,527C$	0,95
	2(41,76)	$\hat{Y} = -0,0472+8,4613C$	0,95
3	1(39,35) / 2(41,01)	$\hat{Y} = 0,7628+16,761C$	0,95
6	1(56,86)	$\hat{Y} = 0,6585+35,229C-20,173C^2$	0,82
	2(58,41)	$\hat{Y} = -0,4256+11,465C$	0,94
8	1(139,72)	$\hat{Y} = 4,3048+16,939C$	0,79
	2(114,73)	$\hat{Y} = 0,6900+10,365C$	0,97
11	1(151,96)	$\hat{Y} = 3,8472+20,004C$	0,87
	2(139,42)	$\hat{Y} = -0,7172+15,483C$	0,99
12	1(123,91) / 2(125,91)	$\hat{Y} = -0,7658+12,118C$	0,94
13	1(97,61)	$\hat{Y} = 1,2040+11,904C$	0,95
	2(107,35)	$\hat{Y} = -0,6460+7,8577C$	0,97
17	1(117,16)	$\hat{Y} = 1,3959+37,757C-21,114C^2$	0,90
	2(114,39)	$\hat{Y} = -0,3060+11,080C$	0,98
20	1(13,26)	$\hat{Y} = 0,4042+7,1260C$	0,90
	2(13,17)	$\hat{Y} = 0,1708+2,3246C$	0,65
22	1(13,57)	$\hat{Y} = 0,2245+11,825C-7,7729C^2$	0,86
	2(11,49)	$\hat{Y} = -0,0469-1,6034C+21,079C^2-16,052C^3$	0,95
23	1(15,79) / 2(13,45)	$\hat{Y} = -0,1104+9,0384C-6,2834C^2$	0,81

1/ - Dados referentes aos teores totais de Zn, em mg/kg, obtidos por ataque ácido concentrado, utilizando HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1)

No geral, observou-se o predomínio do modelo linear simples com coeficiente angular positivo, indicando aumento contínuo dos teores a medida que a concentração dos ácidos eleva-se. É de se esperar este comportamento para todos elementos, pois à medida que o meio acidifica-se, maiores devem ser os teores de elementos no extrato obtido, uma vez que o equilíbrio químico, nas condições deste estudo, favorece às formas solúveis, conforme comentado por LINDSAY (1979), ALLOWAY (1990) e JENG (1992). Este comportamento é de ocorrência comum, principalmente para os elementos e materiais de origem com teores no solo naturalmente elevados, como Cu, Fe, Ni e Pb e os solos originários do basalto: 11, 12 e 13, respectivamente. Porém, para os demais elementos tal comportamento não é constatado, o que deve estar relacionado às propriedades e características dos diferentes solos e materiais de origem.

O método utilizado, proposto por AMARAL SOBRINHO et al. (1992), modificado com o uso de  $\text{HNO}_3$  e  $\text{HClO}_4$  em concentrações de ácidos relativamente mais altas, conseqüentemente com capacidade extrativa muito maior, comparativamente a outros tipos de extratores como o EDTA e o HCl (GATTI et al., 1991, ANGELONE et al., 1993), de certa forma foi proposital. Objetivava-se não só avaliar a fração solúvel destes elementos como também aquelas ligadas a outros constituintes do solo e que, de certa forma, seriam fornecedores potenciais para a fração prontamente absorvida pelas plantas, constituindo, assim, a reserva mineral destes elementos.

Procedendo-se desta forma, foi possível avaliar quantitativamente e com perspectivas de modelagem a contribuição dos diferentes constituintes do solo como fonte destes elementos ao sistema solo-planta, a semelhança do estudo conduzido por MELO et al. (1995). Estes autores avaliaram qualitativamente a reserva mineral de alguns solos do Rio Grande do Sul quanto a macroelementos como o K, Mg e Ca. Outra opção seria a de usar alguns dos métodos de extração seqüencial disponíveis na literatura, discutidos e comparados por HIRNER (1992), detalhando-se mais ainda as frações do solo a que estariam ligados estes elementos, o que caracterizaria por ser mais uma avaliação semi-qualitativa que efetivamente quantitativa. Todavia, tais métodos também apresentam limitações, de acordo com o autor, sendo indicados, pela

sua eficiência, em estudos comparativos de áreas contaminadas, auxiliando na avaliação da estabilidade de resíduos a longo prazo e sobre diferentes condições ambientais.

Assim, de acordo com os objetivos propostos, o tempo a ser dedicado e o custo final destas análises levaram à definição do método utilizado, uma vez que a informação relativa a diferenciação quantitativa da influência dos diferentes materiais de origem no comportamento de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn era mais relevante do que o detalhamento de frações a que estariam ligadas estes elementos. Os resultados observados indicaram o acerto do uso deste procedimento, tornando evidente as tendências, o comportamento e os conteúdos dos diferentes solos e a influência do material de origem.

Os resultados obtidos refletem a observação de que os materiais de origem, como fonte de formação dos diferentes solos pelos processos pedogenéticos, podem imprimir características bastante diferenciadoras quanto aos metais pesados. Constatou-se, no geral, a existência de uma diferença evidente nos solos formados a partir do gnaisse, basalto e arenito+sedimentos do Terciário, destacando principalmente o basalto por sua abundância e o arenito+sedimentos do Terciário pelo seu conteúdo relativamente baixo. O gnaisse pode ser situado em posição intermediária. Mesmo entre solos de um mesmo material de origem, verificou-se comportamentos distintos.

Algumas considerações podem ser feitas com relação a expectativa de comportamento dos metais pesados no ambiente em que estão inseridos. Mudanças no pH da rizosfera podem diferir do pH do solo em mais de duas unidades, sendo máximas a um pH de solo entre 5 e 6, em uma mesma capacidade tampão. É de se esperar, portanto, que a mudança natural ou induzida do pH da rizosfera, implique em maior solubilidade no solo de alguns dos elementos estudados e, conseqüentemente, uma maior absorção destes pelas plantas, conforme estudos de RILEY e BARBER (1971), SAKAR e WYN JONES (1982), GRINSTED et. al. (1982) e Römheld (1984) citado por MARSCHNER (1991). Com base nestas informações, pode-se fazer a simulação relativa a condição de maior solubilidade do solo, a partir das informações anteriores e as equações apresentadas nos Quadros 11 a 18,

calculando-se as quantidades de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn solubilizadas quando o pH na rizosfera varia de 6 para 4. Estes resultados são apresentados no Quadro 19, para cada elemento e em mg/ha, considerando uma camada de solo de 0,20 m, a densidade do solo ( $D_s$ ), determinada para cada solo e profundidade, e igualdade estequiométrica entre concentrações de  $H^+$ ,  $HNO_3$  e  $HClO_4$ . Pela falta de ajuste de modelos, em alguns solos ou profundidades não foi possível o cálculo dos teores solubilizados e, nos casos em que os cálculos realizados com a equação originária do teste de identidade de modelos, aplicado conforme REGAZZI (1993), obteve-se um único valor calculado, este pode representar as duas profundidades estudadas, ou mesmo, mais de um solo, como é o exemplo do Pb para o solo 1, e, este mesmo elemento, para os solos 11, 12 e 13, nas profundidades estudadas.

Inicialmente, ao avaliar o pH do solo observa-se que, a exceção dos solos desenvolvidos a partir de arenito+sedimentos do Terciário, os demais possuem pH de solo próximo da faixa considerada como ótima para as mudanças provocadas pela rizosfera, ou seja, entre 5 e 6, conforme MARSCHNER (1991) (Quadro 3), o que já permite inferir que estes solos estão muito mais sujeitos às mudanças de pH na rizosfera das plantas. Já, quando avaliam-se os teores calculados dos elementos estudados, potencialmente solubilizados pela rizosfera com a mudança do pH, observa-se que os solos desenvolvidos de basalto apresentam, de modo geral, quantidades de Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn solubilizadas maiores que gnaisse e arenito+sedimentos do Terciário, na seqüência. Com relação ao Cd, certamente pela pequena abundância, os resultados não indicaram mudanças nos seus teores, enquanto que o Pb apresentou comportamento diferente do observado, uma vez que nos solos originários de gnaisse os teores deste elemento foram maiores que no basalto e arenito+sedimentos do Terciário, em concordância com os resultados de JING-SHENG et al. (1993).

Quadro 19 - Simulação das quantidades solubilizadas de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/ha, pela mudança do pH da rizosfera em duas unidades, estimadas pelas equações ajustadas em função de extração ácida a concentrações (C) de 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L de HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), em alguns dos solos da toposequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Prof.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
1	1	-		5,65	987,11	1.265,13	0,29		3,50
	2	-	2,16	4,35	620,67	91,64	-	2,80	3,51
2	1	-	-		625,05	58,89	-		2,85
	2	-	-	3,54	477,72	-	-	7,72	2,06
3	1								
	2	0,00	4,65	4,54	124,41	165,28	0,63	10,12	4,22
6	1	-		14,85	1.421,51		-		8,30
	2	-	1,69	12,89	1.695,97	177,01	-	3,95	3,00
8	1				3.329,75	485,61	0,87		4,43
	2	0,11	2,34	11,67	2.450,44	161,21	0,82	1,37	2,28
11	1					509,10	0,70		3,33
	2	0,00	3,27	30,67	2.654,77	84,23	0,94		2,61
12	1	0,00				234,99			
	2	0,00	3,20	14,59	1.868,43	58,47	2,04	1,35	1,85
13	1					252,21			2,03
	2	0,00	2,57	19,13	2.232,21	142,31	2,66		1,57
17	1	-	-	36,51	1.384,51	207,33	-	4,46	9,87
	2	-	1,73	28,78	1.631,67	-	-	-	3,03
20	1	-	-		1.680,21	-	-	3,69	1,74
	2	-	-	4,33	1.466,82	-	-	2,33	1,20
22	1				0,00	-			2,67
	2				-	-			0,00
23	1	0,00	0,15	4,65			0,21	0,93	
	2				362,33	-			2,62

Um aspecto interessante e constatado refere-se aos solos situados naqueles pontos de transição entre um material de origem e outro. Observa-se pelo Quadro 2 que as proporções de cascalho tendem a ser maiores nestas situações, também coincidentes com as mudanças de relevo mais acentuadas. Reflexos nos teores dos elementos estudados podem ser constatados pela discrepância com os solos típicos desenvolvidos dos materiais de origem estudados (principalmente os solos 6 e 17), o que pode ser atribuído ao efeito concentrador destes representantes diretos da rocha de origem, devendo ser considerado nas observações inferidas até o presente. O teores de Mn e Fe no solo 1 novamente chamam a atenção para comentários feitos a respeito da sua maior desuniformidade em relação a materiais transportados a montante, bem como as variações dos ambientes de oxidação e redução em função do lençol freático.

Portanto, a partir das informações disponíveis na literatura e de comparações das características e, ou, propriedades dos solos desenvolvidos nos diferentes materiais de origem estudados, quanto aos aspectos físicos e, principalmente, químicos e os resultados obtidos pela extração dos elementos estudados a concentrações crescentes de ácidos, podem ser feitas algumas inferências.

Os estudos de RILEY e BARBER (1971), SAKAR e WYN JONES (1982), GRINSTED et al. (1982), os comentários de MARSCHNER (1991) e os resultados obtidos levam a crer que as plantas desenvolvidas em solos originários de basalto, comparativamente aos de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, estão muito mais sujeitas a uma disponibilidade maior de elementos e conseqüentemente a um "status" nutricional destes elementos muito mais elevado, principalmente aqueles de maior abundância, como Fe, Mn, Cu e Zn, relativamente. A condição de solubilidade natural dos solos, predominantemente latossolos, e a capacidade de sobrevivência de plantas nativas desta região, em condições tão adversas quimicamente, levam a crer que os teores destes elementos nos seus tecidos sejam maiores do que as mesmas plantas em áreas de arenito+sedimentos do Terciário ou até mesmo gnaiss, como pode ser observado pelos dados de solubilização modelados e apresentados no Quadro 19.

Outros aspectos contribuem e devem ser considerados, envolvendo o fato de que vários dos solos utilizados neste estudo encontram-se em estádios pedogenéticos de desenvolvimento diferenciados, ou seja, com potencial de suprimento bastante variável, a presença em vários solos de grande quantidade de calhaus e cascalhos, representantes naturais das rochas que lhe deram origem, a diversidade genética das espécies nativas ocorrentes e adaptadas às condições adversas dos solo da região dos Cerrados, um aspecto salientado por MARSCHNER (1991), e a possibilidade de transferência na cadeia trófica quando se considera a existência de grandes áreas de pastagens com espécies nativas na região dos Cerrados, por exemplo. O que também pode acontecer mesmo em condições alteradas de solo, no caso correção de pH, adubações e revolvimento das camadas superficiais, pois é de se esperar que as plantas cultivadas tenham o mesmo comportamento com relação aos teores de elementos. Como pode ser constatado na literatura (RILEY e BARBER, 1971, SAKAR e WYN JONES 1982, GRINSTED et al., 1982), espécies cultivadas também têm capacidade de alterar as condições de meio da rizosfera, solubilizando elementos químicos e absorvendo-os. Tal fato torna-se mais crítico ainda quando se tem a informação da existência de teores consideráveis de metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos utilizados nestas áreas.

AMARAL SOBRINHO et al. (1992) verificaram, avaliando os teores de metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos utilizados em Minas Gerais, teores considerados baixos, de modo geral, porém, em alguns, constatou-se Cd, Pb, Ni e Zn em teores consideráveis. Este tipo de estudo potencializa as diferenças entre solos de áreas formadas a partir de materiais de origem do tipo estudado e os efeitos discutidos, certamente maximizando a transferência dos elementos estudados e os efeitos cumulativos. ROSS (1994) considera a possibilidade de concentrações tóxicas de metais pesados no solo, tendo como fonte o material de origem, dando como exemplo áreas formadas a partir de rochas ultramáficas.

### **3.4. Relação entre teores de metais pesados e a magnetização da argila, areia e silte de solos de diferentes materiais de origem**

Eficiência da separação magnética - A avaliação da eficiência dos procedimentos de separação magnética tem sido realizada predominantemente de forma semi-qualitativa pela avaliação dos minerais presentes nas frações magnéticas e não-magnéticas com o uso de difratogramas de raios-X e determinação da cor das frações separadas, ou, então, quantitativamente através dos teores de Fe recuperados em uma e outra fração magnética (SCHULZE e DIXON, 1979; FONTES, 1992).

Os difratogramas de raios-X da fração areia, separada por via seca, indicaram que o processo conduzido foi relativamente eficiente (Figura 11). Pode-se constatar que o quartzo concentrou-se na fração não-magnética de todos os solos estudados, de certa forma esperado por ser caracteristicamente um mineral diamagnético. Porém, o mesmo não ocorreu com a caulinita e muscovita, paramagnéticos e presentes nesta fração nos solos 3 e 4, de forma bastante discrepante, principalmente a muscovita, que se apresenta com picos de intensidade elevada, sugerindo a presença de Fe na sua estrutura, o que levou a sua concentração na fração magnética.

Os minerais com titânio na sua composição comportaram-se de forma contraditória, ou seja, constatou-se rutilo na fração magnética dos solos 3, 14, 15, 58 e 61, enquanto que nas frações não-magnéticas dos solos 4 e 22, foram observados, além do rutilo, o anatásio. Já a ilmenita, também foi constatada tanto em uma fração quanto outra nos solos comentados, em alguns casos com intensidades relativamente semelhantes. Este comportamento sugere que, apesar da relativa contribuição da susceptibilidade magnética dos óxidos de titânio na separação (SCHULZE e DIXON, 1979), a mesma não é suficiente para explicar tal comportamento, ressaltando a associação íntima com óxidos de Fe ou a presença de Fe na sua estrutura, conforme IANNICELLI (1976), WEED e BOWEN (1990) e FONTES (1992). Da mesma forma, pode-se explicar o comportamento da gibbsita, presente nas duas frações separadas magneticamente, constatando-se picos relativamente maiores na fração magnética e, principalmente, nos solos originários de basalto.

Já com relação aos minerais com Fe na sua composição, tais como: goethita, hematita e maghemita, observa-se, de modo geral, para os solos de menor abundância, como os derivados de gnaiss (3 e 4) e arenito+sedimentos do Terciário (22 e 23), a sua presença somente na fração magnética, enquanto que para os mais ricos, como os de basalto (14, 15 e 62) constata-se a sua ocorrência nas duas frações, com algumas diferenças relativas a intensidade dos picos. Exceção ao observado é o solo 61 em que se constatou hematita somente na fração magnética. O solo 64, derivado de itabiritos e filitos hematíticos, pela própria abundância de minerais de Fe em sua composição não deveria proporcionar uma separação que fosse constatada eficientemente pelos difratogramas de raios-X, o que provavelmente o será pela avaliação quantitativa a ser discutida mais a frente.

No silte não foram estudados os solos derivados do gnaiss (3 e 4), arenito+sedimentos do Terciário (22 e 23) e diabásio (58), principalmente, pela reduzida magnetização destes, e, também, os baixos teores de silte destes solos, o que levaria a um processo de separação bastante moroso e cansativo, com rendimento de fração magnética baixo. Contribuiu ainda para a inviabilização deste procedimento as observações feitas durante a condução do processo de separação magnética da fração argila, também realizada via úmida, destes mesmos solos, nas quais se constatou os aspectos levantados acima.



Figura 11 - Difratogramas de raios-X entre 4 e 40° 2θ das frações magnéticas (FMA) e não-magnéticas separadas (FNMA) da areia dos solos estudados (montagem em pó - sem orientação). Ct = caulinita; M = muscovita; Q = quartzo; Ht = hematita; Mh = maghemita; A = anatásio; Gb = gibbsita; Gt = goethita; R = rutílio; Il = ilmenita.

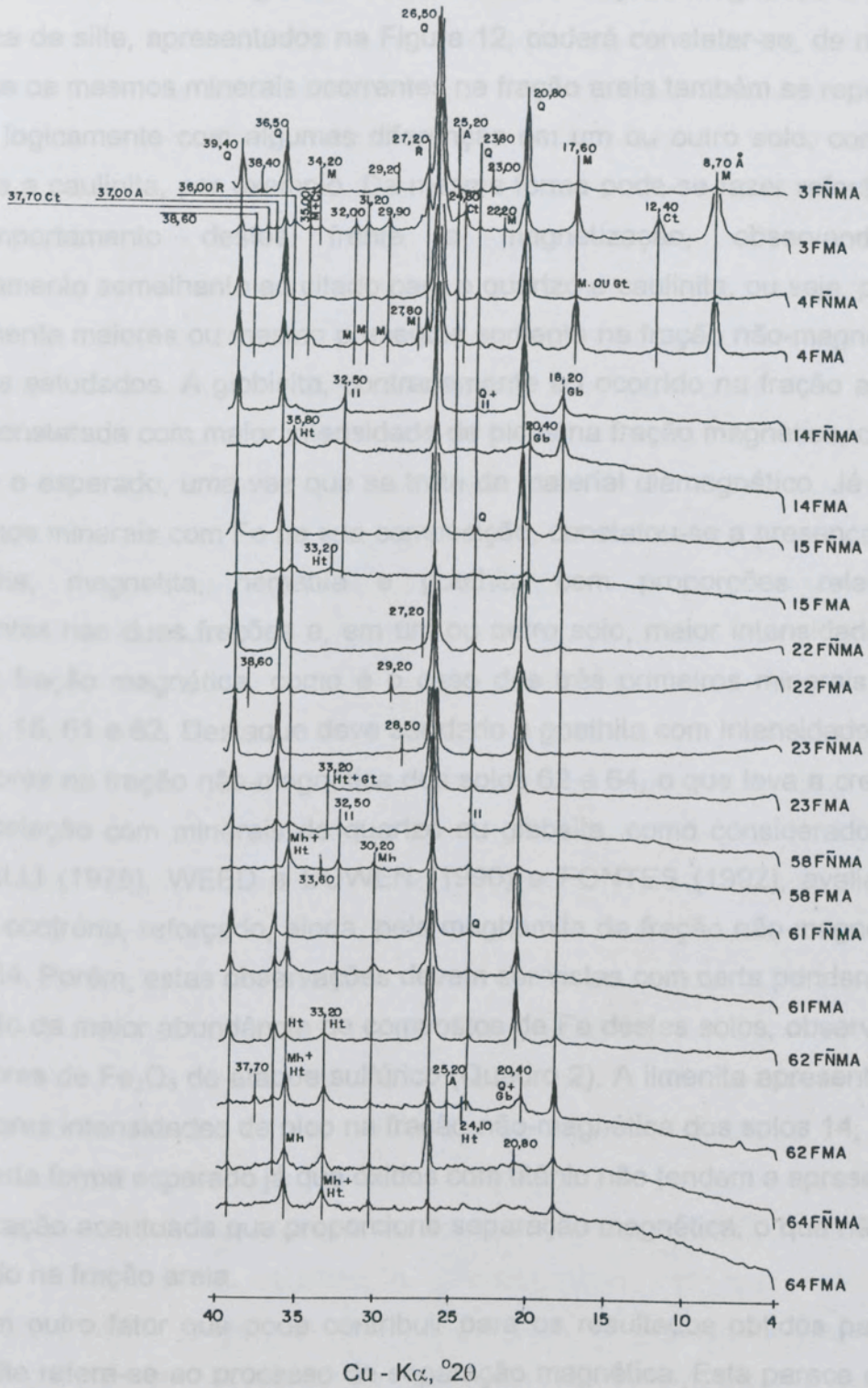


Figura 11 - Difratogramas de raios-X entre 4 e 40° 2θ das frações magnéticas (FMA) e não-magnéticas separadas (FÑMA) da areia dos solos estudados (montagem em pó - sem orientação). Ct = caulinita; M = muscovita; Q = quartzo, Ht = hematita; Mh = maghemita; A = anatásio; Gb = gibbsita; Gt = goethita; R = rutilo; II = ilmenita.

Ao avaliar os difratogramas de raios-X das frações magnética e não-magnética de silte, apresentados na Figura 12, poderá constatar-se, de modo geral, que os mesmos minerais ocorrentes na fração areia também se repetem no silte, logicamente com algumas diferenças em um ou outro solo, como o quartzo e a caulinita, por exemplo. Da mesma forma pode-se fazer referência ao comportamento destes frente a magnetização, observando-se comportamento semelhante ao citado para o quartzo e caulinita, ou seja, picos relativamente maiores ou mesmo presentes somente na fração não-magnética dos solos estudados. A gibbsita, contrariamente ao ocorrido na fração areia, não foi constatada com maior intensidade de picos na fração magnética, como deve ser o esperado, uma vez que se trata de material diamagnético. Já com relação aos minerais com Fe na sua composição, constatou-se a presença de maghemita, magnetita, hematita e goethita com proporções relativas semelhantes nas duas frações e, em um ou outro solo, maior intensidade de picos na fração magnética, como é o caso dos três primeiros minerais nos solos 14, 15, 61 e 62. Destaque deve ser dado a goethita com intensidades de pico maiores na fração não-magnética dos solos 62 e 64, o que leva a crer na sua associação com minerais de quartzo ou gibbsita, como considerado por IANNICELLI (1976), WEED e BOWEN (1990) e FONTES (1992), avaliando situação contrária, reforçado, ainda, pela maghemita da fração não-magnética do solo 64. Porém, estas observações devem ser vistas com certa ponderação em função da maior abundância de compostos de Fe destes solos, observável pelos teores de  $Fe_2O_3$  do ataque sulfúrico (Quadro 2). A ilmenita apresenta-se com maiores intensidades de pico na fração não-magnética dos solos 14, 15 e 61, de certa forma esperado já que óxidos com titânio não tendem a apresentar magnetização acentuada que proporcione separação magnética, o que não foi observado na fração areia.

Um outro fator que pode contribuir para os resultados obtidos para a fração silte refere-se ao processo de separação magnética. Esta parece estar comprometida, pois, observou-se, durante o procedimento, a sedimentação das partículas, certamente em função do tamanho destas (0,05-0,002 mm) e de sua densidade. Esta situação levou a acumulação do material no recipiente utilizado e, em alguns casos, pode ser identificado, também, a obstrução

mecânica do filtro da palha de aço, prejudicando o fluxo normal. Sendo assim, é de se esperar, nestas condições, a existência natural de dificuldades na separação do silte via úmida, a não ser que a manutenção da suspensão se faça de forma ininterrupta por algum equipamento qualquer, o que não foi possível no caso, ou, então, a pulverização do material, o que nem sempre pode ser indicado. Dificuldades também foram encontradas quando se tentou a separação via seca, porém, neste caso, mais pela individualização da partícula, não evidente, tornando o processo de separação pouco eficiente.

Observou-se nas frações separadas magneticamente da argila comportamentos, relativos a maior ou menor intensidade dos picos de raios-X, semelhantes às demais frações do solo estudadas (Figura 13), principalmente com relação a muscovita, caulinita e gibbsita. Geralmente os picos destes minerais são maiores na fração não-magnética, como são os casos dos solos 4, 14, 23, 58 e 61, quando de ocorrência nestes, atribuindo-se as mesmas razões, já discutidas com relação ao comportamento destes minerais frente a um campo magnético. Os solos 3, 15, 22, 61, especificamente para a gibbsita, 62 e 64 apresentaram, por sua vez, intensidades semelhantes nas duas frações separadas magneticamente, o que leva a crer na relação, já discutida anteriormente, relativa a associação com óxidos de Fe ou Fe estrutural. A eficiência da separação nestes casos pode ser questionada, porém, a avaliação quantitativa, a ser discutida logo em seguida, reforçará os aspectos levantados por IANNICELLI (1976), WEED e BOWEN (1990) e FONTES (1992). Com relação aos óxidos de Fe, estes se apresentam com maior intensidade nos solos 3 e 58 e semelhantes nos solos 14, 15, 22, 23, 61, 62 e 64, para o caso da goethita e hematita. A exceção fica por conta do solo 4, onde constata-se goethita somente na fração não-magnética, podendo estar associada a muscovita, caulinita e gibbsita, uma vez que estes se concentraram nesta fração, já comentado para a separação magnética procedida para o silte. Maghemita foi observada na fração magnética do solo 15 com maior intensidade de pico, apesar dos demais óxidos de Fe possíveis de ocorrerem não serem identificados, confirmando, por sua vez, a separação magnética deste solo.

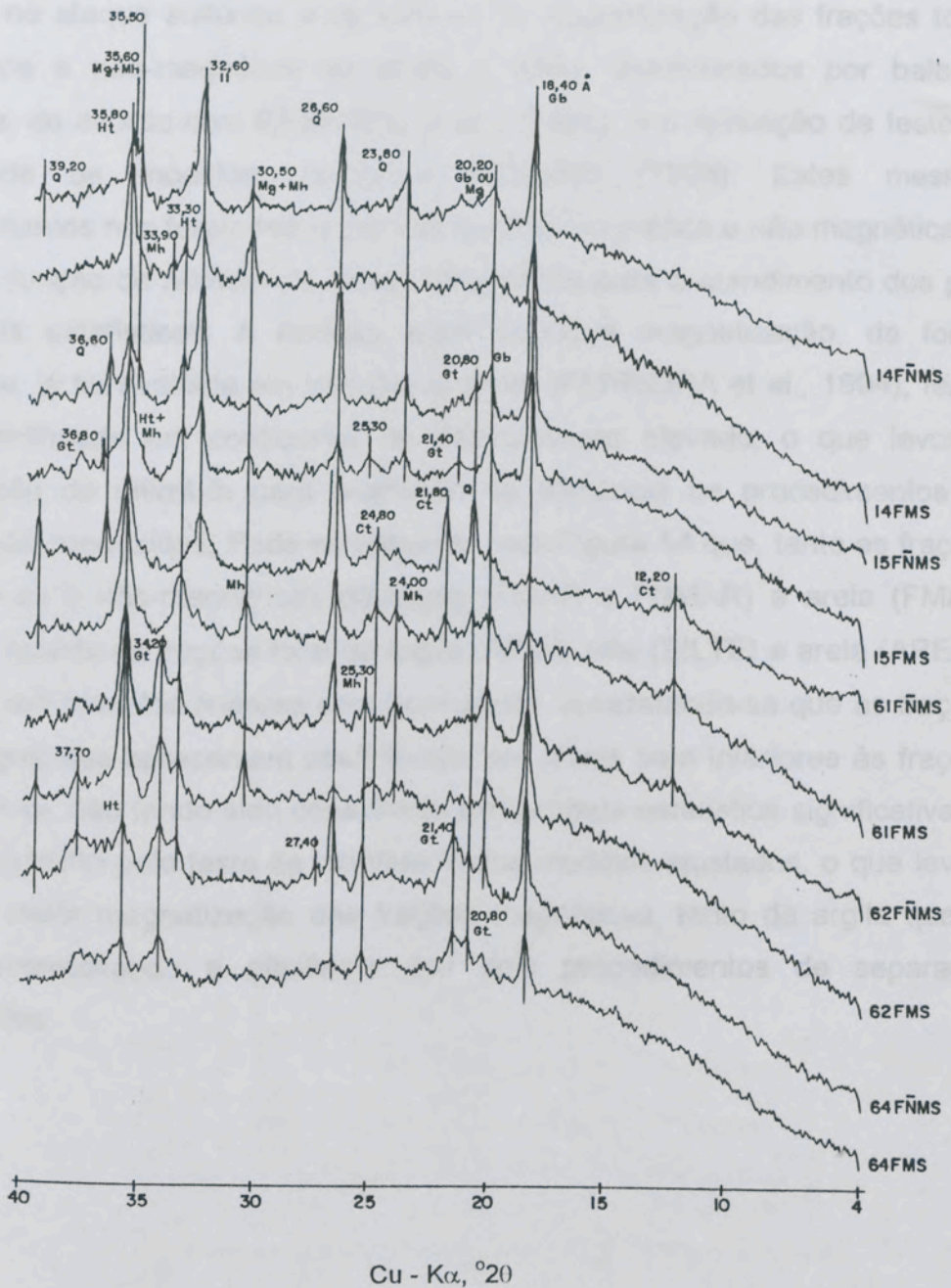


Figura 12 - Difractogramas de raios-X entre 4 e 40° 2θ das frações magnéticas (FMS) e não-magnéticas (FÑMS) separadas do silte dos solos estudados (montagem em pó - sem orientação). Ct = caulinita; M = muscovita; Q = quartzo, Ht = hematita; Mh = maghemita; Mg = magnetita; A = anatásio; Gb = gibbsita; Gt = goethita; R = rutilo; Il = ilmenita.

Quantitativamente foi possível a avaliação da eficiência dos dois métodos de separação utilizados, via seca e úmida, através do ajuste de modelos de regressão, relacionando os teores de  $Fe_2O_3$  da fração argila obtidos no ataque sulfúrico e os valores de magnetização das frações total, magnética e não-magnética de argila e areia, determinados por balança analítica, de acordo com RESENDE et al. (1986b), e a aplicação de teste de identidade de modelos, conforme REGAZZI (1993). Estes mesmos procedimentos não foram feitos para as frações magnética e não-magnética do silte em função do número de dados disponíveis para o atendimento dos pré-requisitos estatísticos. A relação entre  $Fe_2O_3$  e magnetização, da forma estudada, já foi avaliada em trabalho anterior (FERREIRA et al., 1994), tendo sido identificado um coeficiente de determinação elevado, o que levou a proposição de utilizá-la para avaliação da eficiência os procedimentos de separação conduzidos. Pode-se observar pela Figura 14 que, tanto as frações magnéticas e não-magnéticas da argila (FMAR e FNMAR) e areia (FMA e FNMA), quanto as frações total da argila (ARG), silte (SILTE) e areia (AREIA), apresentam modelos lineares com bom ajuste, constatando-se que as frações não-magnéticas apresentam coeficientes em níveis bem inferiores às frações magnéticas, não tendo sido constatado similaridade estatística significativa de comportamento pelo teste de identidade dos modelos ajustados, o que leva a crer na maior magnetização das frações magnéticas, tanto da argila quanto areia, comprovando a eficiência dos dois procedimentos de separação conduzidos.

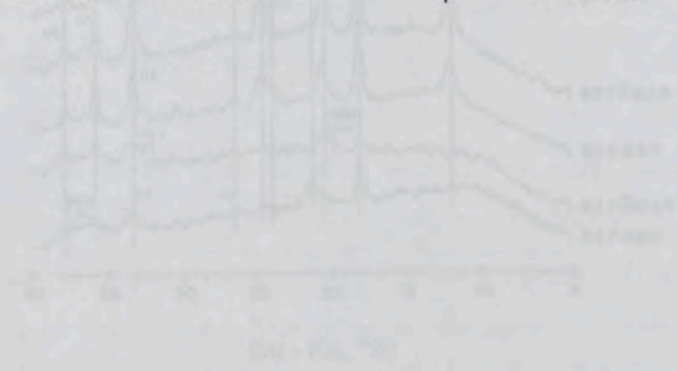


Figura 14 - Difratogramas de raios-X entre  $\theta$  e  $40^\circ 2\theta$  das frações magnéticas (FMAR) e não-magnéticas (FNMAR) separadas da argila dos solos estudados (montagem em pó - com magnetização). Cl = caulinita; M = muscovita; Ht = hematita; Mt = magnetita; Gb = gibbsite; Qt = quartzo.



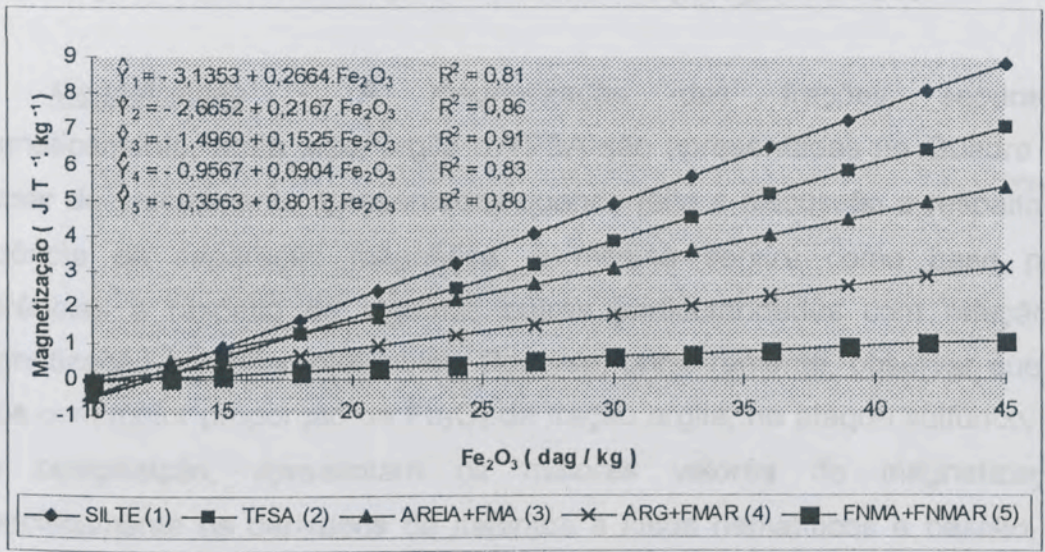


Figura 14 - Magnetização das frações magnética e não-magnética de argila (FMAR e FNMAR) e areia (FMA e FNMA), separadas por via úmida e seca, silte e TFSA em função dos teores de  $Fe_2O_3$ , determinados pelo ataque sulfúrico na argila dos solos coletados: 3, 4, 14, 15, 22, 23, 58, 61, 62 e 64.

O teste de identidade de modelos, conforme REGAZZI (1993), permite, ainda alguns outros comentários, principalmente com relação ao modelo ajustado individualmente para silte e a similaridade dos modelos ajustados individualmente para a argila e areia e as frações magnéticas. No primeiro, constatou-se modelo linear que leva a estimativa dos maiores níveis de magnetização dentre as frações analisadas, inferindo-se uma grande concentração de componentes magnéticos nesta fração do solo, comparativamente às demais frações do solo. Deve-se considerar, porém, que esta fração é a de menor proporção quando se considera toda a massa do solo, devendo ser considerado a relatividade da participação desta fração ao se avaliar o magnetismo do solo como um todo. A identidade dos coeficientes dos modelos ajustados para a argila e areia e as frações magnéticas destas, é indicativo de que a maior parte dos componentes magnéticos destas frações

concentraram-se nas porções magnéticas obtidas, tornando-se mais uma comprovação da eficiência do procedimento de separação efetuado.

Magnetização - A magnetização das frações separadas magneticamente, areia silte, argila e TFSA são apresentadas no Quadro 20. Apesar de parcialmente apresentadas quando feita a discussão a respeito da eficiência da separação magnética, a mesma servirá como base para inferências a respeito de algumas outras particularidades com relação a magnetização dos diferentes solos. Pode-se, primeiramente, observar que os solos com maior proporção de  $Fe_2O_3$  da fração argila, no ataque sulfúrico, em sua composição, apresentam os maiores valores de magnetização, especificamente os derivados de itabiritos e filitos hematíticos e basalto, no caso: 64>62>61>15>14, quando se considera a TFSA, enquanto que nas demais frações o solo desenvolvido de diabásio se destaca, principalmente na areia e silte. Os solos de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário apresentam-se com valores de magnetização baixos, comparativamente aos demais, explicável até pelo próprio teor de  $Fe_2O_3$ . Magnetita e maghemita, presentes nas frações mais grosseiras e argila do solo, respectivamente, são os principais minerais responsáveis por esta diferenciação (RESENDE, 1976; RAUEN, 1980; SANTANA, 1984; RESENDE et al., 1986a e RESENDE et al., 1988b). Isso é constatado em alguns difratogramas de raios-X das frações magnética ou não-magnética destes solos (Figuras 11, 12 e 13), embora esta forma de identificação não seja muito sensível a estes minerais. Novamente pelos dados obtidos, pode-se constatar que o procedimento de separação magnética foi comprovadamente eficiente, observando-se os valores de magnetização das frações magnéticas da areia, silte e argila, revelando ser a areia proporcionalmente muito mais concentrada magneticamente que a argila, o que de certa forma ainda não tinha sido constatado pela Figura 11, identificando-se variações da ordem de 3,37 a 119,31 e 1,82 a 4,67 vezes mais magnetização da fração magnética da areia e argila, respectivamente. Estes resultados confirmam a eficiência do uso do separador magnético neste tipo de procedimento, principalmente no que se refere a areia.

Quadro 20 - Magnetização, em  $J.T^{-1}.kg^{-1}$ , da areia, silte, argila (total) e TFSA e frações magnéticas (FM) e não-magnéticas (FNM) separadas dos solos coletados: 3, 4, 14, 15, 22, 23, 58, 61, 62 e 64

Solos	Magnetização ( $J.T^{-1}.kg^{-1}$ )									TFSA
	Areia			Silte			Argila			
	FM	FNM	Total	FM	FNM	Total	FM	FNM	Total	
3	0,138	0,030	0,034	-	-	0,053	0,091	0,035	0,050	0,034
4	0,295	0,031	0,051	-	-	0,136	0,138	0,030	0,047	0,039
14	2,737	0,371	2,084	9,799	2,310	4,935	1,754	0,702	1,331	2,314
15	3,363	0,430	2,333	6,305	2,466	3,838	2,796	1,480	2,478	2,835
22	0,786	0,037	0,178	-	-	0,265	0,140	0,053	0,098	0,138
23	1,100	0,038	0,242	-	-	0,394	0,073	0,034	0,071	0,139
58	14,079	0,118	5,959	-	-	0,225	0,204	0,051	0,072	0,869
61	17,040	0,159	5,753	9,616	2,585	8,913	1,449	0,557	1,205	3,008
62	7,193	0,671	4,845	8,487	3,942	7,821	3,157	0,676	2,542	4,365
64	24,601	7,306	17,722	2,250	-	2,171	2,332	1,283	2,415	8,320

Pode-se constatar que a exceção do solo 58, o silte apresenta os maiores valores de magnetização, comparativamente a areia e argila, mesmo para aqueles solos em que se espera maior participação da argila ou areia, ou seja, altos teores de  $Fe_2O_3$  do ataque sulfúrico ( $> 17\%$ ) e cores mais avermelhadas que 3YR ou amareladas, conforme RESENDE e SANTANA (1988) e RESENDE et al. (1988b), o que leva a crer na maior proporção de materiais ferromagnéticos nesta fração. Discrepâncias relativas a estas citações também foram observadas por KER (1995), sendo identificada maior magnetização na areia e argila, respectivamente nas mesmas situações, não havendo, portanto, um comportamento ainda bem definido.

Outra razão possível para tal comportamento, pode estar ligada ao fato de que a separação granulométrica em areia, silte e argila da TFSA proporcionou a concentração de materiais com comportamentos diamagnéticos ou paramagnéticos, como o quartzo na areia e caulinita, muscovita e compostos orgânicos fortemente ligados a argila, alguns destes componentes constatados pelos difratogramas de raios-X (Figuras 11, 12 e 13), muito mais associados a estas frações do solo, ocasionando, desta forma, a redução dos valores de magnetização, o que seria muito mais difícil de ocorrer no silte, pela própria quantidade relativa deste componente na TFSA frente a areia e argila.

Assim, é possível que os valores de magnetização obtidos a um campo magnético fixo de 0,5 T, como previsto pelo método proposto por RESENDE et al. (1986b), sejam super ou sub estimados, estando diluídos na TFSA. Este efeito concentrador pode ainda ser observado, comparativamente, pelos valores obtidos de magnetização das frações magnéticas e não-magnéticas destes mesmos solos (Quadro 20).

Modelos foram ajustados para as determinações de magnetização da argila dos solos 3, 15, 22, 58, 61 e 62, em função do campo magnético induzido por um magnetômetro de amostra vibrante (Figuras 15 a 20). Tal procedimento não foi feito no solo 64 por problemas técnicos no equipamento. Na seleção dos modelos considerou-se, além da significância dos coeficientes pelo teste t e os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o coeficiente de variação (CV), os desvios percentuais:  $DP = (Y_{est.} - Y_{observ.}) / Y_{observ.} \cdot 100$  e a análise gráfica de resíduos. Para todos os solos analisados, o melhor modelo ajustado foi o cúbico-raiz, tornando claro que o aumento do campo magnético leva a valores de magnetização que refletirão o predomínio do comportamento paramagnético ou diamagnético de componentes do solo, uma vez que estes tendem a uma maior proporção na composição da argila, e, porque não, da areia, silte e TFSA. A diferença, ou seja, a magnitude ou intensidade com que este efeito é observado, dependerá principalmente da maior ou menor proporção de materiais ferromagnéticos na composição do solo e suas frações. Estes modelos, de certa forma, podem confirmar os aspectos comentados relativos ao efeito concentrador de determinados constituintes do solo pela separação da TFSA em areia, silte e argila, pois, o comportamento descendente dos valores de magnetização com o aumento do campo magnético, naqueles solos com composição diamagnética ou paramagnética característica, como é o caso do 22 (arenito+sedimentos do Terciário) (Figura 16), levam a um valor máximo.

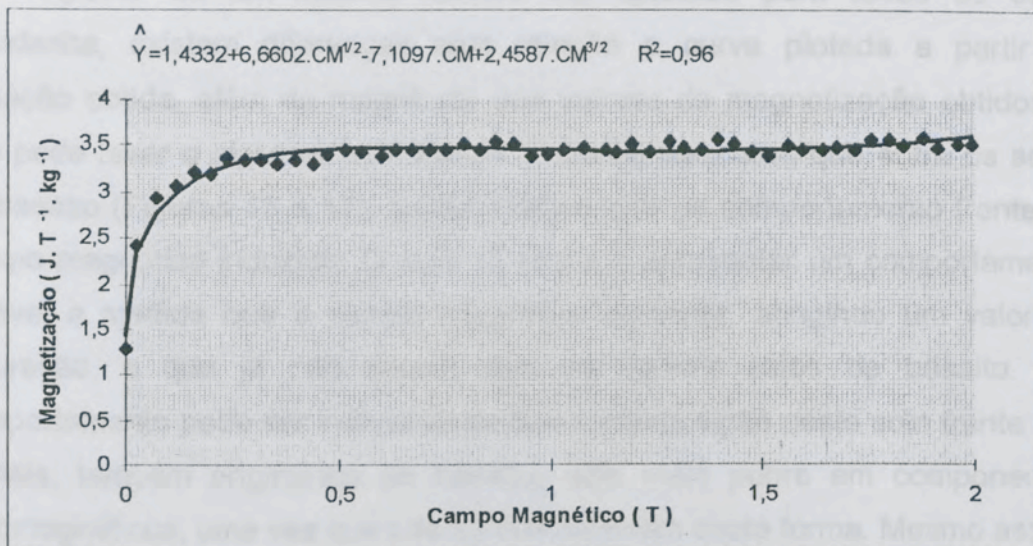


Figura 15 - Magnetização, em J.T<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>, observada e estimada da argila 15 (basalto) em função de campo magnético (CM), variável entre 0 e 2 T, induzido em magnetômetro de amostra vibrante, a temperatura de 27°C

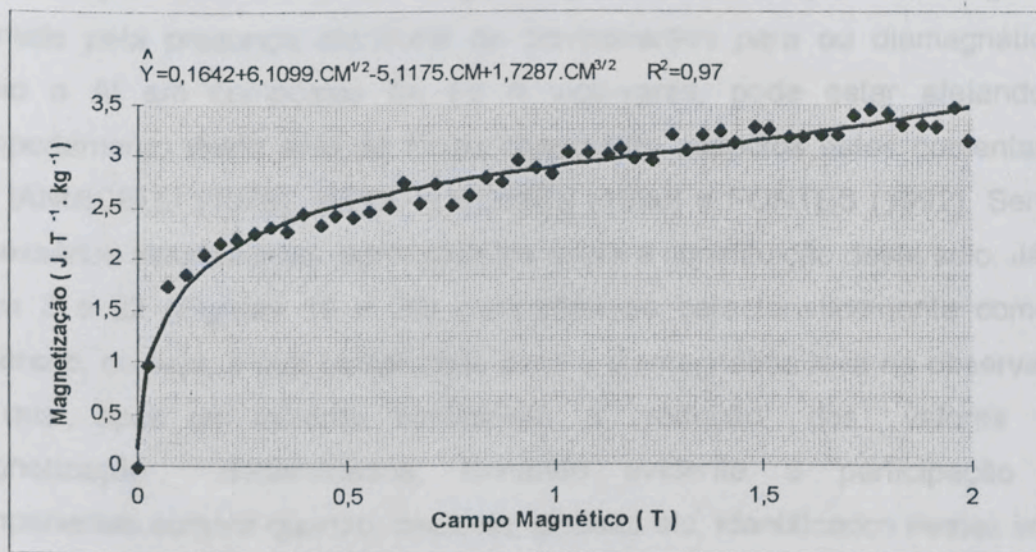


Figura 16 - Magnetização, em J.T<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>, observada e estimada da argila 61 (basalto) em função de campo magnético (CM), variável entre 0 e 2 T, induzido em magnetômetro de amostra vibrante, a temperatura de 27°C

Apesar de um mesmo modelo ser ajustado para todos os solos estudados, existem diferenças com relação a curva plotada a partir da equação obtida, além da magnitude dos valores de magnetização obtidos, o que pode levar a algumas inferências. Pode-se constatar, que entre os solos de basalto (Figuras 15 a 17), existem diferenças de comportamento frente ao campo magnético induzido. O solo 15 tende a apresentar um comportamento estável a medida que o campo magnético aumenta, atingindo um valor de saturação, o que já não ocorre com os demais solos de basalto. Tal comportamento pode ser indicativo de que a composição deste solo frente aos demais, também originários de basalto, seja mais pobre em componentes ferromagnéticos, uma vez que não se comportaram desta forma. Mesmo assim, no caso do solo 15, a faixa de variação testada não foi suficiente para se observar a porção descendente da curva plotada. Por sua vez, os solos 61 e 62 comportaram-se de forma diferenciada do solo 15, ascendentemente, tornando claro a existência de material ferromagnético em quantidades suficientes para a obtenção de valores de magnetização ainda maiores. O solo 58, pela própria forma da curva obtida, reflete melhor ainda o comportamento comentado para o 61 e 62, pois não se observa tendência de estabilização nem redução dos valores de magnetização. A constituição ferromagnética alterada pela presença estrutural de componentes para ou diamagnéticos, como o Al em compostos de Fe e vice-versa, pode estar afetando o comportamento deste solo da forma observada, aspectos estes comentados por IANNICELLI (1976), WEED e BOWEN (1990) e FONTES (1992). Seriam necessários estudos mais aprofundados sobre a constituição deste solo. Já os solos 3 e 22 (Figuras 19 e 20) comportam-se caracteristicamente como o esperado, ou seja, a sua composição para e diamagnética leva ao observado, no qual, após um máximo, verifica-se a redução dos valores de magnetização determinados, tornando evidente a participação de componentes como o quartzo, caulinita, gibbsita etc, identificados nestes solos pela difratometria de raios-X, no comportamento magnético destes solos, além da composição ferromagnética destes solos certamente estar em teores muito menores.

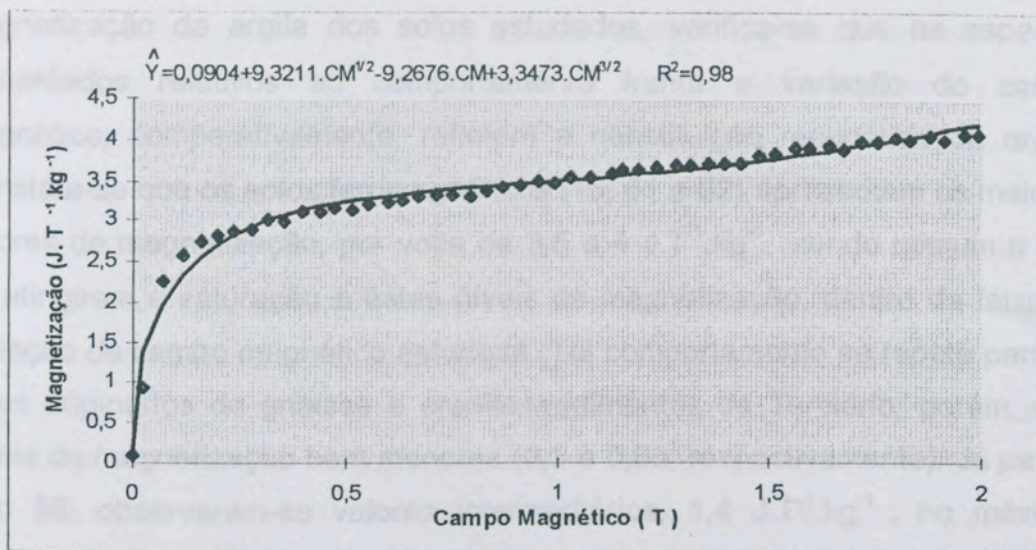


Figura 17 - Magnetização, em  $J.T^{-1}.kg^{-1}$ , observada e estimada da argila 62 (basalto) em função de campo magnético (CM), variável entre 0 e 2 T, induzido em magnetômetro de amostra vibrante, a temperatura de  $27^{\circ}C$

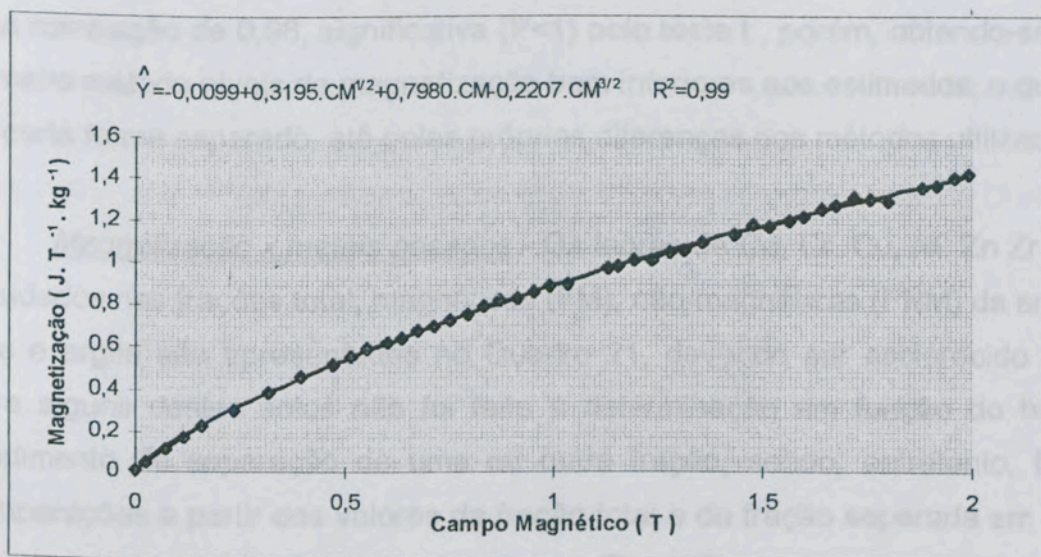


Figura 18 - Magnetização, em  $J.T^{-1}.kg^{-1}$ , observada e estimada da argila 58 (diabásio) em função de campo magnético (CM), variável entre 0 e 2 T, induzido em magnetômetro de amostra vibrante, a temperatura de  $27^{\circ}C$ . (Alguns pontos observados foram eliminados para melhor visualização dos pontos estimados)

Especificamente com relação às magnitudes dos valores de magnetização da argila dos solos estudados, verifica-se que os aspectos comentados relativos ao comportamento frente a variação do campo magnético, comparativamente, refletem a constituição magnética da argila. Consta-se que os solos ferrimagnéticos (15, 61 e 62) apresentam os maiores valores de magnetização, por volta de  $3,5$  a  $4 \text{ J.T}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ , sendo comum o fato de atingirem a saturação a estes níveis de magnetização, dentro da faixa de variação de campo magnético estudada. Tal comportamento se repete para os solos originários de gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário, porém, com níveis de magnetização bem menores ( $0,3$  e  $0,65$ , respectivamente). Já para o solo 58, observaram-se valores intermediários,  $1,4 \text{ J.T}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ , no máximo, porém, com comportamento diferenciado, em relação aos demais solos analisados, não sendo atingido a saturação, como os demais solos, a maiores valores de campo magnético.

Quanto aos dois métodos de avaliação do comportamento da magnetização utilizados, os valores determinados pelo método da balança analítica (RESENDE et al., 1986b) para os solos estudados e a estimativa feita pelas equações obtidas, a partir dos valores observados no magnetômetro de amostra vibrante, considerando um campo magnético de  $0,5 \text{ T}$ , apresentam uma correlação de  $0,98$ , significativa ( $P < 1$ ) pelo teste  $t$ , porém, obtendo-se no primeiro método níveis de magnetização bem inferiores aos estimados, o que é de certa forma esperado, até pelas próprias diferenças dos métodos utilizados.

Magnetização x metais pesados - Os teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn Zr e V estudados nas frações total, magnéticas (FM), não-magnéticas (FNM) da areia, silte e argila são apresentados no Quadro 21, devendo ser esclarecido que para alguns destes solos não foi feita a determinação em função do baixo rendimento de separação de uma ou outra fração, sendo, entretanto, feito comparações a partir dos valores da fração total e da fração separada em que a quantidade obtida permitiu a análise. Especificamente para o Pb, os resultados obtidos não são apresentados, pois os níveis deste elemento, em grande parte das situações observadas, estavam abaixo da faixa de

sensibilidade de leitura do ICP-AES (<20 mg/kg), impossibilitando as comparações dos efeitos estudados nas diferentes situações de estudo.

Segundo ALLOWAY (1990), os teores observados encontram-se dentro da faixa normal de ocorrência no solo e na mesma ordem de grandeza daquelas verificadas por outros pesquisadores para os solos brasileiros (CURI, 1983; FERREIRA, 1991; KER et al., 1993; KER, 1995), com exceção do Cd, Cu e V, os dois últimos somente para as frações magnéticas, certamente pelo efeito concentrador da separação magnética a ser discutido mais a frente. Com relação ao Cd, os teores se encontram bem superiores aos considerados normais por ALLOWAY (1990), constatados também por CURI (1983) e KER (1995), com certa coincidência destes entre teores e solos formados a partir de rochas básicas, o que também foi constatado no presente estudo. Tal fato sugere a normalidade destes teores para solos com esta origem, ainda mais pela alta correlação deste elemento com os teores de  $Fe_2O_3$  da argila e a magnetização das diferentes frações estudadas, então, a adequação de métodos e técnicas empregadas na determinação deste elemento para permitir a comparação com diferentes classes de solo, como comentado por KER (1995).

A relação entre os teores de metais pesados e a magnetização nas diferentes frações do solo, inclusive as separadas magneticamente, foi, primeiramente, estudada pelo uso de correlações lineares simples, na tentativa de identificar comportamentos mais gerais, da mesma forma procedido por FERREIRA et al. (1994), ao avaliar os teores de Mn, Zn, Cu, Co e Ti (Quadro 22).

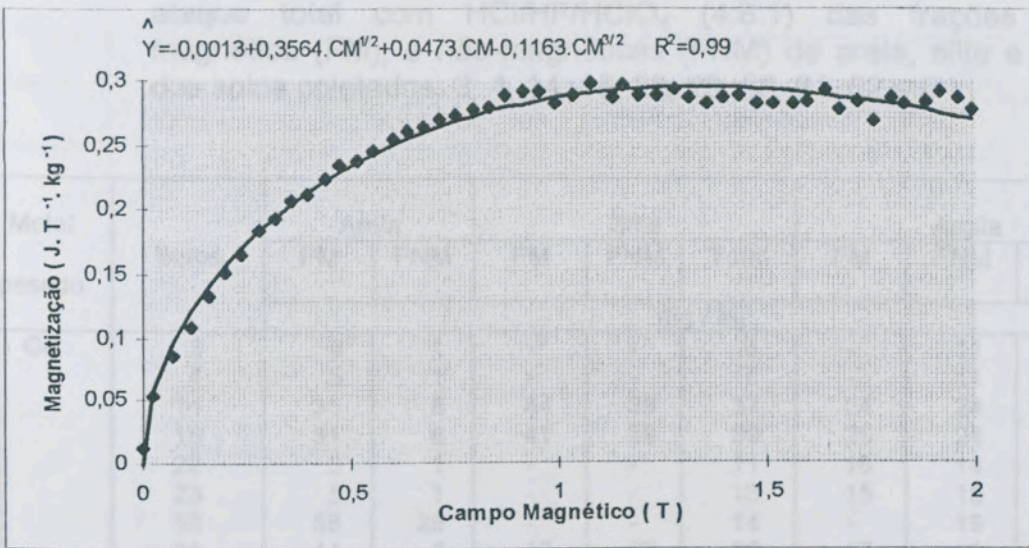


Figura 19 - Magnetização, em  $J.T^{-1}.kg^{-1}$ , observada e estimada da argila 3 (gnaiss) em função de campo magnético (CM), variável entre 0 e 2 T, induzido em magnetômetro de amostra vibrante, a temperatura de  $27^{\circ}C$ .

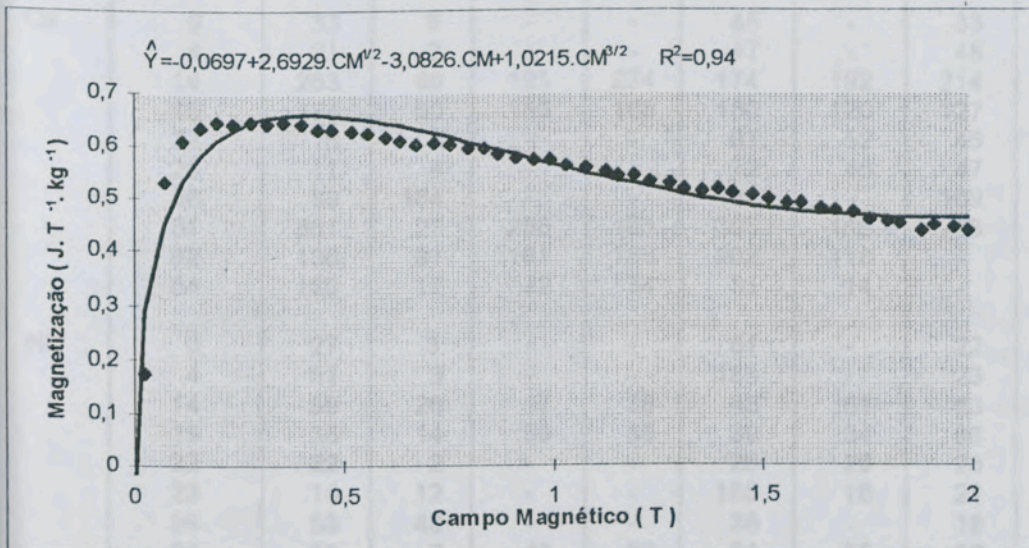


Figura 20 - Magnetização, em  $J.T^{-1}.kg^{-1}$ , observada e estimada da Argila 22 (arenito+sedimentos do Terciário) em função de campo magnético (CM), variável entre 0 e 2 T, induzido em magnetômetro de amostra vibrante, a temperatura de  $27^{\circ}C$ .

Quadro 21- Teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Zr e V, em mg/kg, determinados por ataque total com HCl/HF/HClO<sub>4</sub> (4:8:1) das frações total, magnética (FM), e não-magnéticas (FNM) de areia, silte e argila dos solos coletados: 3, 4, 14, 15, 22, 23, 58, 61, 62 e 64

Metal pesado	Solos	Areia		Silte			Argila		
		FM	FNM	FM	FNM	Total	FM	FNM	Total
		mg / kg							
Cd	3	8 <sup>1/</sup>	1	- <sup>2/</sup>	-	8	-	11	11
	4	5	1	-	-	7	-	11	11
	14	31	8	44	38	37	24	24	23
	15	31	6	41	36	39	25	24	27
	22	5	1	-	-	11	16	14	16
	23	5	1	-	-	13	15	15	15
	58	58	28	-	-	14	-	19	18
	61	44	4	40	25	36	17	16	17
	62	34	11	42	30	39	25	-	26
64	54	43	33	30	31	30	-	33	
Cr	3	55	9	-	-	193	-	36	52
	4	103	6	-	-	521	-	40	52
	14	111	72	62	62	70	58	58	66
	15	118	39	123	77	85	66	67	77
	22	162	14	-	-	195	67	57	75
	23	203	13	-	-	652	62	63	64
	58	80	37	-	-	22	-	27	31
	61	330	118	72	63	152	55	44	48
	62	289	223	67	51	76	47	-	44
64	184	142	64	54	76	65	-	63	
Cu	3	33	9	-	-	45	-	33	43
	4	21	2	-	-	47	-	45	72
	14	263	86	191	224	174	192	214	236
	15	194	60	180	188	180	120	127	157
	22	16	5	-	-	67	52	45	66
	23	11	4	-	-	72	46	47	63
	58	86	184	-	-	141	-	169	173
	61	861	27	258	183	305	166	203	196
	62	136	81	181	185	202	110	-	113
64	129	12	32	34	31	14	-	12	
Ni	3	27	3	-	-	61	-	22	29
	4	51	3	-	-	183	-	23	26
	14	59	26	47	38	45	61	68	66
	15	35	14	59	36	39	34	36	38
	22	22	2	-	-	26	26	23	26
	23	14	12	-	-	185	18	21	20
	58	53	48	-	-	36	-	39	38
	61	59	7	43	29	61	55	62	56
	62	37	68	48	31	42	42	-	38
64	12	9	9	7	9	8	-	6	

Continua...

1/ - Procedimento de separação magnética e determinação dos teores de metais pesados realizados no CPMTC-UFMG

2/ - Valores não determinados pela baixa quantidade da fração separada

Quadro 21, Cont.

Metal pesado	Solos	Areia		Silte			Argila		
		FM	FNM	FM	FNM	Total	FM	FNM	Total
		mg / kg							
Zn	3	87 <sup>1/</sup>	14	- <sup>2/</sup>	-	77	-	99	110
	4	34	10	-	-	59	-	102	108
	14	119	33	342	140	198	74	109	70
	15	121	35	255	119	160	59	67	57
	22	21	5	-	-	106	69	64	66
	23	16	11	-	-	75	66	71	80
	58	1.128	91	-	-	74	-	78	67
	61	590	16	201	93	197	69	80	71
	62	104	52	239	107	218	66	-	100
	64	79	38	59	62	50	38	-	43
Zr	3	129	30	-	-	129	-	44	54
	4	160	19	-	-	190	-	84	107
	14	543	140	597	596	603	398	417	482
	15	577	127	616	525	614	379	477	493
	22	102	10	-	-	265	228	204	255
	23	72	13	-	-	375	178	196	208
	58	613	353	-	-	380	-	187	182
	61	221	26	552	344	464	187	154	211
	62	397	193	462	493	553	385	-	367
	64	135	182	340	297	335	175	-	191
V	3	82	16	-	-	149	-	167	190
	4	75	8	-	-	145	-	202	196
	14	950	222	166	1.287	1.572	502	546	560
	15	1.014	172	1.304	1.138	1.274	540	618	667
	22	117	21	-	-	348	346	316	353
	23	109	11	-	-	274	286	300	295
	58	2.785	370	-	-	190	-	235	237
	61	2.335	80	971	518	1.108	324	305	320
	62	1.109	303	1.658	939	1.732	626	-	630
	64	267	276	268	252	289	286	-	289

1/ - Procedimento de separação magnética e determinação dos teores de metais pesados realizados no CPMTC-UFMG

2/ - Valores não determinados pela baixa quantidade da fração separada

Destaca-se, a princípio, a correlação, significativa a 1 e 5% de probabilidade, dos teores de Cd e a magnetização das diferentes frações dos solos estudados, a exceção da fração não-magnética da areia. Indiretamente pode-se associar este comportamento aos teores de  $Fe_2O_3$  do ataque sulfúrico, uma vez que se trata de uma relação já conhecida e comprovada para o estudo em questão (Figura 14) utilizando as mesmas frações. Tal comportamento, diferentemente dos demais elementos, é forte indicativo da associação com materiais magnéticos e óxidos de Fe dos solos, não ocorrendo somente com uma ou outra fração, mas em todas, dando maior embasamento a tal relação. Este resultado é concordante com os obtidos por SINGH e GILKES (1992) que identificaram coeficiente de correlação linear alto e significativo, relativamente aos demais metais pesados analisados, no estudo de associação deste elemento com óxidos de Fe e concentrados destes em solos australianos. Maior detalhamento, todavia, leva a necessidade de estudos mais pormenorizados para possibilitar identificação do grau de associação dos compostos envolvidos e a participação do Cd, uma vez que não há relatos na literatura a respeito disto.

De forma semelhante observa-se a relação significativa entre Zr e V com a magnetização da fração não-magnética e total da argila. Indicações para tal comportamento podem ser tiradas dos estudos conduzidos por BUSACCA e SINGER (1989) e XING e DUDAS (1993). No primeiro, os resultados obtidos levaram a identificação do Zr como elemento-índice de intemperismo em diferentes frações de silte, em vista da sua resistência às perdas por lixiviação frente ao Mg, Na, Ca, Fe, Al, Si, Ti e K. Desta forma, pode-se considerar o Zr do silte, nos solos estudados, como uma reserva mineral deste elemento para a argila e, portanto, levar às diferenças observadas, além de uma possível associação com a fração magnética, de acordo com os resultados obtidos. Com relação ao V, XING e DUDAS (1993) identificaram maior associação deste elemento, bem como do Cr, Rb, Sc e Zn com determinados minerais da argila, em estudo conduzido com solos chineses, composta principalmente por vermiculita, micas e caulinita, caracteristicamente de comportamento para e diamagnético. A separação destes materiais na fração não-magnética pode ter levado a uma maior

concentração deste elemento nesta fração, viabilizando, portanto os resultados observados.

Constatou-se também um maior número de elementos correlacionados com a fração total de silte, tais como: Cd, Cu, Zn, Zr e V, o que, de acordo com os resultados de BUSACCA e SINGER (1989) e XING e DUDAS (1993), podem ser parcialmente explicados. Entretanto, para os demais resultados apresentados no Quadro 22, estes não estão em concordância com os obtidos por FERREIRA et al. (1994), principalmente para os mesmos elementos estudados, caso do Zn e Cu, no qual foram identificadas correlações significativas com a magnetização da TFSA e argila, em duas seqüências de solos do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, embora estes autores não tenham estudado esta mesma relação com o silte o que já não ocorre no presente estudo. Observou-se associação significativa destes elementos com a fração magnética da areia e o silte, o que não ocorreu com a argila. Já para o estudo de XING e DUDAS (1993), os resultados encontrados estão em acordo, a semelhança do V, quando não se encontra significância da correlação com a fração magnética, como é o caso do Cr, Zn e V, pela maior associação com minerais específicos da argila, como comentado anteriormente.

Já, para os demais elementos a não significância dos coeficientes de correlação, bem como os baixos valores observados, indicam comportamento diferenciado relativo aos solos estudados, tanto no que se refere a argila, silte e areia, quanto as frações separadas magneticamente, com a avaliação estatística do efeito da separação magnética pela análise de variância (ANOVA) (Quadros 23 a 25), procedida para as situações em que foi possível a determinação dos elementos analisados em conjunto com os dados (Quadro 21). Tal resultado leva a inferência de que a afinidade geoquímica dos metais pesados com os óxidos de Fe, conforme KRAUSKOPF (1972), QUIRK e POSNER (1975), PLICHTA e KUCZYNSKA (1991), SINGH e GILKES (1992), XING e DUDAS (1993) e JING-SHENG et al. (1993) e a correlação com a magnetização dos principais constituintes granulométricos do solo, argila, silte e areia, de acordo com NALOVIC e SEGALEN (1973), RESENDE (1976), RAUEN (1980), SANTANA, (1984), RESENDE et al. (1986a) e RESENDE et al.

(1988a) não pode ser mais generalizada, pois existem indicações de diferenças, tanto no que se refere aos conteúdos de  $Fe_2O_3$  quanto de metais pesados.

Quadro 22 - Coeficientes de correlação entre magnetização ( $J.T^{-1}.kg^{-1}$ ) e os teores médios de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Zr e V (mg/kg) nas frações total, magnéticas (FM) e não-magnética (FNM) da areia, silte e argila e TFSA dos solos coletados<sup>1/</sup>: 3, 4, 14, 15, 22, 23, 58, 61 e 62

Metal pesado	Coeficientes de correlação					
	Areia		Silte	Argila		
	FM	FNM	Total	FM	FNM	Total
Cd	0,83**	0,27 <sup>ns</sup>	0,89**	0,92**	0,79*	0,90**
Cr	0,54 <sup>ns</sup>	0,81**	-0,45 <sup>ns</sup>	-0,52 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
Cu	0,70**	0,39 <sup>ns</sup>	0,92**	0,53 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>
Ni	0,51 <sup>ns</sup>	0,72*	-0,36 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
Zn	0,83**	0,41 <sup>ns</sup>	0,94**	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>
Zr	0,33 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,69*	0,80*	0,84**	0,80**
V	0,93**	0,65*	0,87**	0,91**	0,89**	0,92**

1 - Neste estudo, o solo 64 não foi considerado em função de sua exceção a relação entre teores de metais pesados e magnetização. No estudo da correlação utilizou-se para a FM e FNM da areia e total do silte e argila, 18 observações, para a FM e FNM da argila, 6 e 8, respectivamente.

\* - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t;

\*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t;

ns - Não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

Na areia, a significância do efeito da separação magnética com relação aos teores de metais pesados é geral (Quadro 23), o que, em conjunto com as médias observadas no Quadro 21, indicam a maior proporção dos elementos estudados na fração magnética da areia dos solos avaliados, apenas com exceções para Cu e Ni nos solos 58 e 62, respectivamente. Fica evidente, assim, a associação dos metais pesados com os componentes magnéticos da areia, material ainda pouco intemperizado, comparativamente aos demais constituintes do solo, o que pode levar a ser considerado como um registro

atual da rocha de origem nos solos estudados, principalmente para aqueles originários de rochas máficas, como é o caso do 14, 15, 61 e 62, com elevada concentração de alguns elementos na fração magnética (Quadro 21). Assim, estes resultados, no caso da areia, confirmam a associação geoquímica dos elementos estudados com os óxidos de Fe e a magnetização conforme os vários autores já citados, exemplificados por NALOVIC e SEGALEN (1973), em estudo comparativo da composição química de uma série de minerais, entre os quais a magnetita, normalmente associado a areia, em que observou-se a retenção 4 vezes maior, no conjunto, de Mn, Cr, V, Ni, Co e Zn do que, por exemplo, a augita ou a olivina e algo como 25 vezes mais que a hematita ou a goethita.

Exceções ficam por conta dos solos originários de gnaiss (3 e 4) e arenito+sedimentos do Terciário (22 e 23) em que se observam efeitos não-significativos para o Cu, Ni, Zn, Zr e V, certamente associados a pouca abundância destes elementos nestes solos, juntamente com a menor proporção de materiais magnéticos e as observações de BUSACCA e SINGER (1989) e XING e DUDAS (1993), já comentadas, para Zn, Zr e V. O mesmo pode ser referido quando se trata do solo 64, desenvolvido de itabiritos e filitos hematíticos, pois este se destaca em relação aos demais, pela relativa pobreza em metais pesados em contraste com o alto teor de  $Fe_2O_3$  do ataque sulfúrico e elevada magnetização, o que não tem confirmado a regra geral de afinidade geoquímica pela associação destas características e, ou, propriedades. A pobreza do próprio meio de sedimentação que deu origem as rochas itabiríticas parece ser a razão principal dos resultados observados, conforme MELFI et al. (1976), CURI (1983) e FONTES et al. (1985).

Para o silte, somente foi feita a separação magnética dos solos originários de basalto, opção tomada após os procedimentos realizados para a argila e areia, em que se constatou, nos demais solos utilizados, quantidades de fração magnética muito baixas. A seqüência de etapas no processo de separação via úmida é longa e cansativa, inviabilizando a determinação dos teores de metais pesados estudados.

Quadro 23 - Resumo da análise de variância dos teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Zr e V, em mg/kg das frações magnética e não magnética de areia, separados via seca, dos solos estudados: 3, 4, 14, 15, 22, 23, 58, 61, 62 e 64, com desdobramento da interação entre solo (S) e fração magnética (FM)

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios (Q.M.)							
		Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Zr	V	
Solo (S)	9	1.078,87**	22.459,62**	69.330,84**	1.027,34**	142.322,00**	105.943,70**	1.111.598,00**	
Fração magnética (FM)	1	2.932,65**	92.063,93**	164.096,20**	3.150,62**	389.273,20**	290.020,90**	5.646.770,00**	
S x FM	9	166,32**	4.209,64**	67.608,38**	596,40**	115.846,30**	18.456,56**	804.072,20**	
FM / S <sub>3</sub>	1	49,00**	2.116,00**	600,25 <sup>ns</sup>	576,00**	5.184,00**	9.801,00 <sup>ns</sup>	4.356,00 <sup>ns</sup>	
FM / S <sub>4</sub>	1	18,06**	9.312,25**	342,25 <sup>ns</sup>	2.304,00**	576,00*	20.164,00*	4.556,25 <sup>ns</sup>	
FM / S <sub>14</sub>	1	529,00**	1.406,25**	31.329,00**	1.089,00**	7.396,00**	64.262,25**	531.441,00**	
FM / S <sub>15</sub>	1	625,00**	6.241,00**	17.956,00**	441,00**	7.310,25**	202.050,30**	708.964,00**	
FM / S <sub>22</sub>	1	16,00**	21.904,00**	196,00 <sup>ns</sup>	400,00**	240,25 <sup>ns</sup>	8.464,00 <sup>ns</sup>	60.762,25**	
FM / S <sub>23</sub>	1	12,25**	36.100,00**	49,00 <sup>ns</sup>	4,00 <sup>ns</sup>	20,25 <sup>ns</sup>	3.481,00 <sup>ns</sup>	9.604,00 <sup>ns</sup>	
FM / S <sub>58</sub>	1	930,25**	1.849,00**	9.506,25**	30,25 <sup>ns</sup>	1.077.444,00**	66.822,25**	5.832.224,00**	
FM / S <sub>61</sub>	1	1.600,00**	44.944,00**	696.390,30**	2.704,00**	330.625,00**	38.025,00**	5.085.025,00**	
FM / S <sub>62</sub>	1	529,00**	4.356,00**	2.862,25**	961,00**	2.652,25**	40.804,00**	646.416,00**	
FM / S <sub>64</sub>	1	121,00**	1.722,25**	13.340,25**	9,00 <sup>ns</sup>	441,00 <sup>ns</sup>	2.256,25 <sup>ns</sup>	72,25 <sup>ns</sup>	
Resíduo (R)	20	0,41	18,98	131,60	9,85	102,54	3.276,01	2.352,20	
C V (%)		3,40	3,79	10,35	11,23	7,84	27,32	9,27	

ns - Não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

\* - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

\*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

A semelhança da areia, constatou-se que o comportamento observado para o silte se repetiu, como pode ser constatado quando realizada a análise de variância, ou seja, observou-se, no geral, a significância do efeito estudado (Quadro 24) e a indicação de maiores teores na fração magnética destes solos, apenas com exceções relativas ao Cu e o V, coincidentemente para o solo 14, o que aparentemente há razões relacionadas, podendo estar associado a variabilidade dos solos de basalto, como já salientado em outras situações deste estudo.

Pelos resultados apresentados na análise da eficiência do procedimento de separação magnética adotado para argila, silte e areia, constatou-se que, relativamente, o silte apresenta mais minerais magnéticos que as demais frações estudadas, provavelmente com a presença de magnetita e, ou, maghemita. Estes minerais normalmente associados a areia e argila, respectivamente, segundo a literatura, devem estar presentes por se tratarem de uma fração pedogeneticamente em transformação recebendo contribuições de uma e outra fração, já que não há relatos na literatura quanto a presença de um ou outro mineral magnético específico para o silte, além do fato de apresentar quantidades proporcionalmente muito menores em relação as outras frações do solo.

Para os demais solos estudados, originários de gnaiss, arenito+sedimentos do Terciário e diabásio, os aspectos relativos a baixa proporção do silte, os teores dos elementos estudados e o rendimento da separação magnética, certamente levaria a tendência de não existir diferenciação entre as frações separadas magneticamente que fossem significativas para os objetivos do trabalho em questão, razões para a tomada de decisão quanto a não realização do procedimento de separação.

Quadro 24 - Resumo da análise de variância dos teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Zr e V, em mg/kg, das frações magnética e não magnética de silte, separados via úmida, dos solos estudados: 14, 15, 61, 62 e 64, com desdobramento da interação entre solo (S) e fração magnética (FM)

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios (Q.M.)						
		Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Zr	V
Solo (S)	4	62,43**	1.225,45**	22.821,55**	968,75**	17.460,05**	50.377,63**	719.512,40**
Fração magnética (FM)	1	296,45**	1.328,45**	120,05*	819,20**	65.780,45**	18.120,20*	1.631,20**
S x FM	4	26,58**	306,20**	1.721,80**	68,20**	5.587,20**	8.904,57*	509.334,30**
FM / S <sub>14</sub>	1	30,25**	0,25 <sup>ns</sup>	1.296,00**	72,25**	40.804,00**	0,25 <sup>ns</sup>	1.255.520,00**
FM / S <sub>15</sub>	1	20,25**	2.116,00**	64,00 <sup>ns</sup>	529,00**	18.225,00**	8.281,00 <sup>ns</sup>	27.722,22**
FM / S <sub>61</sub>	1	225,00**	81,00**	5.625,00**	182,25**	11.664,00**	43.472,25**	253.009,00**
FM / S <sub>62</sub>	1	121,00**	256,00**	16,00 <sup>ns</sup>	306,25**	17.424,00**	961,00 <sup>ns</sup>	516.961,00**
FM / S <sub>64</sub>	1	6,25**	100,00**	6,25 <sup>ns</sup>	2,25*	12,25 <sup>ns</sup>	1.024,00 <sup>ns</sup>	256,00 <sup>ns</sup>
Resíduo (R)	10	0,45	1,75	15,95	0,40	10,75	2.237,50	873,40
C V (%)		1,89	1,91	2,42	1,83	2,03	9,83	3,50

\* - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

\*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

ns - Não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

É na argila que se encontram os resultados que em parte contrariam o que tem sido levantado por alguns trabalhos já citados no que se refere a maior proporção de metais pesados com a presença ou não de minerais magnéticos. Inicialmente pode se observar que para os solos estudados a significância do efeito de separação magnética e os maiores teores na fração magnética já não são mais uma regra geral. Constata-se pelo Quadro 21 e 25, que as maiores proporções na fração magnética quando significativas, somente ocorrem em alguns poucos casos, tanto no que se refere ao solo quanto ao elemento estudado. Este é o caso do Cd e Cr, com afinidade geoquímica comprovada com os óxidos de Fe no presente estudo e por SINGH e GILKES (1992), apresentam-se em maiores proporções na fração magnética dos solos estudados, enquanto que para os demais solos não foram constatadas diferenças significativas. Já o Cu, também associado a magnetização da argila por FERREIRA et al. (1994), o que se observou foi a sua maior proporção nas frações não-magnéticas dos solos 14, 15 e 61, justamente os desenvolvidos de basalto, o que de certa forma não era esperado, por se tratarem de solos com valores de magnetização bastante altos, comparativamente aos de arenito+sedimentos do Terciário, como observado. De forma semelhante, os maiores teores de Ni e Zn foram observados como estatisticamente significativos somente nas frações não-magnéticas dos solos 14 e 15, em concordância com os resultados observados por FERREIRA et al. (1994), que não encontrou correlação significativa para o Zn com a magnetização da argila, como também uma possível associação do Zn com minerais silicatados da argila, observada por XING e DUDAS (1993), que pode levar aos resultados encontrados. Este comportamento pode ser atribuído a outros elementos como o Ni, como ocorrido para o Zn. XING e DUDAS (1993) encontraram a mesma relação para o V quanto aos minerais silicatados, porém os resultados observados indicam teores deste elemento elevados também na fração magnética, indicando a necessidade de ter mais cuidados com relação a esta generalização, especialmente para este elemento. Por sua vez o Zr, como já comentado relativo a sua resistência a lixiviação frente a outros elementos (BUSACCA e SINGER, 1989), o seu teor é também observado significativamente maior nas duas frações separadas, não

sendo, portanto definido claramente um comportamento padrão, apesar de se poder extrapolar como no caso da areia, que quanto mais intemperizado o solo é, ou seja quanto maior a proporção de óxidos de Fe, menor deveria ser a sua associação com estes compostos, o que leva a presença deste elemento na fração não-magnética com maior intensidade, porém, não é o observado. Mas como a argila, nos solos estudados, se trata de uma fração bastante alterada pedogeneticamente, o que em conjunto com a resistência comentada do Zr, talvez este comportamento possa ser esperado.

Com relação aos solos em que não foram determinados os teores dos elementos estudados em uma ou outra fração separada, pode-se observar pelo Quadro 23, que não existem diferenças tão acentuadas, porém, a simples questão do baixo rendimento da fração magnética na separação dos solos 3, 4 e 58, respectivamente por volta de 2,41%, 2,25% e 5,00%, praticamente inviabilizando o procedimento de separação, indicam que na argila destes solos, os elementos estudados estão ligados à fração não-magnética, pois quantitativamente esta fração é mais representativa. O mesmo pode ser referido aos solos 62 e 64 em que a quantidade da fração não-magnética obtida foi baixa, apesar de que neste caso devem ser consideradas as perdas desta fração durante o manuseio no procedimento de separação magnética, mas com indicação de mesmo que esta tenha sido elevada, os teores observados para a fração magnética destes solos não apresentam diferenças que levem a uma tendência evidente de concentração maior nesta fração. Pode-se considerar viável os aspectos comentados pelos dados apresentados relativos aos demais solos em que a obtenção da fração magnética e não-magnética foi possível.

Quadro 25 - Resumo da análise de variância dos teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Zr e V, em mg/kg, das frações magnética e não magnética de argila, separadas via úmida, dos solos estudados: 14, 15, 22, 23 e 61, com desdobramento de interação entre solo (S) e fração magnética (FM)

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios (Q.M.)							
		Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Zr	V	
Solo (S)	4	85,95**	164,95**	21.600,50**	1.604,80**	520,30 <sup>ns</sup>	62.952,44**	70.430,81**	
Fração magnética (FM)	1	2,45**	68,45*	720,00**	115,20*	616,05 <sup>ns</sup>	1.248,20**	1.531,25**	
S x FM	4	0,70*	38,95 <sup>ns</sup>	299,50**	31,70 <sup>ns</sup>	218,05 <sup>ns</sup>	2.683,70**	1.998,50**	
FM / S <sub>14</sub>	1	0,00 <sup>ns</sup>		462,25**			380,25*	1.936,00**	
FM / S <sub>15</sub>	1	0,25 <sup>ns</sup>		42,25**			9.604,00**	6.084,00**	
FM / S <sub>22</sub>	1	4,00**		42,25**			600,25*	900,00**	
FM / S <sub>23</sub>	1	0,00 <sup>ns</sup>		2,25 <sup>ns</sup>			342,25*	225,00**	
FM / S <sub>61</sub>	1	1,00*		1.369,00**			1.056,25**	380,25**	
Resíduo (R)	10	0,15	11,65	1,80	22,60	177,35	65,80	19,65	
C V (%)		2,06	5,72	1,11	11,54	18,36	2,90	1,09	

\* - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

\*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

ns - Não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Justificativas para o comportamento observado na argila podem ser levantadas a partir dos estudos já citados e comentados, uma vez que não há disponibilidade na literatura que tratem estes aspectos mais especificamente. É certo que existe uma afinidade dos metais pesados por diferentes componentes do solo e que nem sempre estes se tratam de materiais com comportamento ferromagnético típico como é o da magnetita e maghemita, sendo questionável esta generalização, podendo estes elementos estarem associados a outros materiais componentes do solo, principalmente quando refere-se a solos bastante intemperizados e a argila. Nem sempre tal aspecto pode ser dito para o silte e a areia, pois estas frações tiveram comportamentos bem mais uniforme nos diferentes solos estudados. Neste sentido, ROSS (1994) considera, citando vários autores, uma série de componentes do solo com afinidade por diferentes elementos considerados metais pesados, grande parte aqui estudados, o que leva a inferência de que consideráveis proporções destes elementos podem estar associados a óxidos amorfos de Al e Fe, goethita, hematita, óxidos de Mn e compostos orgânicos fúlvicos e húmicos, tornando difícil uma generalização, principalmente no que se refere a argila, o que não ocorre com o silte e areia. É certo, portanto, pelos dados apresentados, que a maior magnetização da areia e do silte corresponderá a maiores teores de metais pesados, o que não pode ser referido quando se trata da argila, pois se constata que os metais pesados não estão sempre associados a compostos ferromagnéticos, mesmo quando se constata a presença destes, como a maghemita, e teores semelhantes em uma ou outra fração magnética separada.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se, com o presente estudo: (a) determinar os teores de metais pesados em amostras de solos de uma topo-litosequência coletada no Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais, para testar a hipótese de que estes elementos podem ser utilizados como marcadores na identificação e separação da influência do material de origem; (b) avaliar os teores de metais pesados, obtidos por extração ácida, a concentrações crescentes, em solos de formação típica e de transição dos materiais de origem da topo-litosequência do Triângulo Mineiro, simulando a disponibilidade destes elementos através das equações obtidas, para verificar a hipótese de que solos com diferentes origens apresentam potencial de disponibilidade diferenciado com relação aos elementos estudados; e (c) separar magneticamente e determinar os teores de metais pesados e a magnetização das frações magnéticas da areia, silte e argila de solos com diferentes origens, para avaliar a hipótese de que maiores níveis de magnetização correspondem a teores elevados destes elementos.

Para a primeira parte deste estudo, coletaram-se solos, nas áreas consideradas típicas dos materiais de origem da topo-litosequência, ou seja, gnaisse, basalto e arenito+sedimentos do Terciário, bem como as áreas de transição, estes últimos em intervalos menores, nas profundidades de 0-10 cm e 50-60 cm, num total de 24 pontos de amostragem. Os teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn foram determinados na TFSA e argila por dois diferentes

procedimentos de ataque ácido e espectrofotometria de absorção atômica. Na TFSA extraíram-se os metais pesados utilizando  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1) e  $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (20:6:3), todos concentrados, enquanto que na argila somente foi utilizado o último procedimento. As técnicas de análise multivariada utilizadas envolveram o estudo da dissimilaridade entre classes de solo pela distância generalizada de Mahalanobis, o agrupamento destes pelo método de Tocher e a análise de variáveis canônicas e o estabelecimento de funções discriminantes a partir de dados de solos de origem conhecida e posterior classificação das demais. Estudou-se, ainda, a importância relativa dos teores de metais pesados na divergência entre solos. Para execução destes procedimentos foi utilizado o programa estatístico GENES. Adotou-se a estratégia de analisar as variáveis em quatro conjuntos de dados, sendo estes conjuntos formados pelos teores dos metais pesados determinados com  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (4:1) na TFSA (C1),  $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (20:6:3) na TFSA (C2) e argila (C3) e um último conjunto com todas as variáveis anteriores (C4), ou seja,  $C4=C1+C2+C3$ , na mesma ordem apresentada.

Já no estudo dos teores de metais pesados por extração ácida utilizaram-se alguns solos típicos dos materiais de origem da topolitoseqüência do Triângulo Mineiro e outros em áreas situadas na transição destes (12, no total). Para tanto, foram utilizados 10 g de TFSA, triturada em almofariz de ágata, submetidos a duas horas de agitação com solução 100 mL de 0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L, sendo, os teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Modelos de regressão foram ajustados até o terceiro grau e, posteriormente, testados em sua similaridade, visando, além da redução do número de equações, a identificação da semelhança dos comportamentos nas diferentes profundidades e solos.

No estudo da relação entre a magnetização e os teores de metais pesados, procedeu-se a separação magnética da areia, silte e argila de 10 solos com diferentes materiais de origem, incluindo, além de alguns solos de materiais típicos da topo-litoseqüência do Triângulo Mineiro, outros originários de basalto, diabásio e itabiritos e filitos hematíticos. Os procedimentos de separação foram realizados de duas formas: via seca (areia) e via úmida (silte

e argila). Nos dois casos foi utilizado separador magnético a regulagens crescentes, sendo que via úmida houve a necessidade de adaptação de um filtro de palha de aço e a dispersão do material, neste caso com trituração em almofariz de ágata, banho ultra-sônico e uso constante de água pH ajustado a 10,5. A eficiência da separação procedida foi comprovada tanto, qualitativamente, por comparação dos difratogramas de raios-X das frações magnética (FM) e não magnética (FNM) separadas, quanto, quantitativamente, através da relação entre a magnetização destas frações e os teores de  $Fe_2O_3$  na argila pelo ataque sulfúrico, com o ajuste de modelos lineares simples e aplicação de teste de identidade de modelos. Os elementos determinados foram o Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V, dosados por espectrofotometria de absorção atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES). As comparações do efeito da separação magnética sobre os teores de metais pesados foi feita pela análise de variância, com a significância ou não estabelecida pelo teste F, em até 5% de probabilidade.

Os resultados permitiram estabelecer as seguintes conclusões:

- (a) Os metais pesados são indicativos do material de origem, podendo ser usados como marcadores para a separação e delimitação da área de influência destes;
- (b) As técnicas multivariadas adotadas se mostraram viáveis para este tipo de estudo, porém, somente quando analisadas conjuntamente;
- (c) Entre os elementos estudados os que mais contribuíram para a diversidade foram:  $Cu > Ni = Fe = Mn = Zn$ , sendo que Cd e Pb foram os de menor importância, o que pode levar a inferir sobre a dispensa da avaliação destes elementos em estudos futuros em áreas semelhantes;
- (d) Pela simulação feita, os solos originários de basalto apresentam maior potencial de disponibilidade de metais pesados para as plantas, comparativamente aos solos desenvolvidos de gnaisse e arenito+sedimentos do Terciário;
- (e) Comprova-se a associação entre magnetização e metais pesados, identificando-se, com exceção de solos desenvolvidos de itabiritos e filitos hematíticos, o comportamento para e diamagnético de certos componentes da argila tende a predominar sobre a ferromagnético, com efeito cúbico-raiz;

(g) O tipo de separador magnético utilizado e os procedimentos adotados mostraram-se eficientes para a separação magnética dos solos estudados e o relacionamento com a magnetização da areia, silte e argila,

(h) A afinidade geoquímica dos metais pesados da areia e silte com os componentes magnéticos destas é constatada, sendo observados teores maiores destes elementos na fração magnética separada, o que não ocorre com a argila.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B.J. *Heavy metals in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1990. 339p.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B., COSTA, L.M., OLIVEIRA, C., VELLOSO, A.C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v. 16, n.2, p.271-276, 1992.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B. *Interação dos metais pesados de resíduos siderúrgicos com um podzólico vermelho-amarelo*. Viçosa: UFV, 1993. 163p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- ANDERSON, T.W. *An introduction to multivariate statistical analysis*. New York: John Wiley, 1959. 374p.
- ANGELONE, M., VASELLI, O., BINI, C., CORADOSSI, N. Pedogeochemical evolution and trace elements availability to plants in ophiolitic soils. *The Sci. of the Total Envir.*, Amsterdam, v. 129, p.291-309, 1993.
- BARBOSA, O., BRAUN, O.P.G., DYER, R.C., CUNHA, C.A.B.R. *Geologia da região do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. 140p. (Boletim 136)
- BITELL, J., MILLER, R.J. Lead, cadmium and calcium selectivity coefficients on a montmorillonite, illite and kaolinite. *J. Env. Qual.*, Madison, v.3, p.250-253, 1974.
- BUSACCA, A.J., SINGER, M.J. Pedogenesis of a chronosequence in the Sacramento Valley, California, U. S. A., II. Elemental chemistry of silt fractions. *Geoderma*, Amsterdam, v.44, p.43-75, 1989.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B.J. *Heavy metals in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1990. 339p.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B., COSTA, L.M., OLIVEIRA, C., VELLOSO, A.C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.16, n.2, p.271-276, 1992.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B. *Interação dos metais pesados de resíduos siderúrgicos com um podzólico vermelho-amarelo*. Viçosa: UFV, 1993. 163p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1993
- ANDERSON, T.W. *An introduction to multivariate statistical analysis*. New York: John Wiley, 1958. 374p.
- ANGELONE, M., VASELLI, O., BINI, C., CORADOSSI, N. Pedogeochemical evolution and trace elements availability to plants in ophiolitic soils. *The Sci. of the Total Envir.*, Amsterdam, v. 129, p.291-309, 1993.
- BARBOSA, O., BRAUN, O. P. G., DYER, R.C., CUNHA, C.A.B.R. *Geologia da região do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. 140p. (Boletim 136)
- BITELL, J., MILLER, R.J. Lead, cadmium and calcium selectivity coefficients on a montmorillonite, illite and kaolinite. *J. Env. Qual.*, Madison, v.3, p.250-253, 1974.
- BUSACCA, A. J., SINGER, M. J. Pedogenesis of a chronosequence in the Sacramento Valley, California, U. S. A., II. Elemental chemistry of silt fractions. *Geoderma*, Amsterdam, v.44, p.43-75, 1989.

- CAMPBELL, N. A., ATCHLEY, W. R. The geometry of canonical variate analysis. *Syst. Zool.*, Washington, v.30, p.268-280, 1981
- CHITTLEBOROUGH, D. J., OADES, J. M., WALKER, P. H. Textural differentiation in chronosequences from eastern Australia, III. Evidence from elemental chemistry. *Geoderma*, Amsterdam, v.32, p.227-248, 1984.
- CIAVATTA, C., GOVI, M., SIMONI, A., SEQUI, P. Evaluation of heavy metals during stabilization of organic matter in compost produced with municipal solid wastes. *Bioresource Tech.*, England, v.43, p.147-153, 1993.
- COEY, J.M.D. Magnetic properties of iron in soil iron oxides and clay minerals. In: STUCKI, J.W., GOODMAN, B.A., SCHWERTMANN, U. (eds.). *Iron in soils and clays minerals*. Dordrecht: Reidel, 1988. p.165-202.
- CRUZ, C.D. *Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 188p. Tese (Doutorado em Melhoramento Genético) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1990.
- CRUZ, C.D., REGAZZI, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 1994. 390p.
- CURI, N. *Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil*. West Lafayette: Purdue University, 1983. 158p. Thesis (Ph. D. in Soil Science) - Purdue University, 1983.
- CURI, N., FRANZMEIER, D. P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.51, p.153-158, 1987.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo*. Viçosa: UFV, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: 1979. n.p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro: 1982. 526p. (Boletim de Pesquisa, 1)
- ESSER, K. B., BOCKHEIM, J. G., HELMKE, P. A. Trace element distribution in soils formed in the Indiana dunes, U.S.A. *Soil Sci.*, Baltimore, v.152, n.5, p.340-350, 1991.

- FASOLO, P.J. *Mineralogical identification of four igneous extrusive rock derived oxisols from state of Paraná, Brazil*. West Lafayette: Purdue University, 1978, 108p. Dissertation (Magister Science in Soil Science) - Purdue University, 1978.
- FERREIRA, S. A. D. *Relação entre magnetismo e teores de elementos traços em solos de duas regiões de Minas Gerais*. Viçosa: UFV, 1991. 94p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- FERREIRA, S.A.D., SANTANA, D.P., FABRIS, J.D., CURI, C., NUNES FILHO, E., COEY, J. M. D. *Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas seqüências de solos do estado de Minas Gerais*. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.18, n. 2, p.167-174, 1994.
- FONTES, M. R., RESENDE, M., RIBEIRO, A.C. *Concreções ferruginosas de alguns solos brasileiros. I. Caracterização química*. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.9, n.2, p.113-117, 1985.
- FONTES, M. P. F. *Iron oxide-clay mineral association in brazilian oxisols: a magnetic separation study*. *Clays Clays Min.*, Lawrence, v.40, n.2, p.175-179, 1992.
- FONTES, M.P.F., MATOS, A.T., JORDÃO, C.P. *Mobilidade de metais no perfil de um latossolo vermelho amarelo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. *Anais...* Goiânia: SBCS, 1993. v.3.p.297.
- FURLANI, P.R., BATAGLIA, O.C., VALADARES, J.M.A.S. *Cobalto em solos do Estado de São Paulo*. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.1, n.1, p.65-67, 1977.
- GAMBRELL, R.P., WIESEPAPE, J.B., PATRICK JUNIOR, W. H., DUFF, M. C. *The effects of pH, redox and salinity on metal release from a contaminated sediment*. *Water, Air and Soil Pollution*, Dordrecht, v. 57-58, p. 359-367, 1991.
- GATTI, M., ANGUISSOLA SCOTTI, I., LUCCHI, M., SILVA, S. *Influence of soil properties on the distribution and availability of Zn, Cu, Mn and Fe*. *Agr. Med.*, v.121, p.272-281, 1991.
- GRINSTED, M. J., HEDLEY, M. J., WHITE, R. E., NYE, P. H. *Plant - induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. Emerald) seedlings. I. pH change and increase in P concentration in the soil solution*. *New Phytol.*, v.19, p.19-29, 1982.
- GUPTA, S. K., STADELMANN, F. X. *Effect of sewage sludge on the biorelevant cadmium concentration*. In: HERMITE, P. L., OTT, H. *INTERNATIONAL SYMPOSIUM PROCESSING AND USE OF SEWAGE SLUDGE*, 3, 1983, Brighton. *Proceedings...* Brighton: Commission of the European Communities, 1983. p.435-445.

- HIRNER, A. V. Trace element speciation in soils and sediments using sequential chemical extraction methods. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, v.46, p.77-85, 1992.
- IANNICELLI, I. High extraction magnetic filtration of clay. *Clays Clays Min.*, Lawrence, v.24, p.64-68, 1976.
- JENG, A. S. Weathering of some norwegian alum shales, II. Laboratory simulations to study the influence of aging, acidification and liming on heavy metal release. *Act Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.*, Copenhagen, v.42, p.76-87, 1992.
- JENG, A. S., BERGSETH, H. Chemical and mineralogical properties of norwegian alum shale soils, with special emphasis on heavy metal content and availability *Act. Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.*, Copenhagen, v.42, p.88-93, 1992.
- JING-SHENG, C., BAO-SHAN, D., MAO, P., XUE-JUN, W., SHUI-QUAN, Z., QUN, HE. Geographical tendencies of trace element contents in soils derived from granite, basalt and limestone of Eastern China. *Pedosphere*, Beijing, v.3, n.1, p.45-55, 1993.
- JUCKSCH, I. *Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho - Escuro*. Viçosa: UFV, 1987. 37p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1987.
- KER, J. C., MOTTA, P. E. F., RESENDE, M., CARVALHO FILHO, A. C. Elementos traços em Latossolos Roxos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993. Goiânia. *Resumos...Goiânia*: SBCS, 1993. p.319.
- KER, J.K. *Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil*. Viçosa: UFV, 1995. 181p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- KRAUSKOPF, K. B. Geochemistry of nutrients. In: MORTVEDT, J. J., GIORDANO, P. M., LINDSAY, W. M. (ed.). *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.7-40.
- LAGERWERFF, J. V. Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants. In: DINAUER, R. C. (ed.) *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1977. p.593-628.
- LEMO, R. C., SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Campinas: SBCS, SNLCS, 1984. 45p.

- LI, G. C., MAHLER, R.L., EVERSON, D.O. Micronutrients in the Kootenai River Valley of Northern Idaho. II. Use of cluster and discriminant analyses to evaluate soil micronutrient status. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* New York, v.23, n. 11/12, p.1179-1194, 1992.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449p.
- MAHALANOBIS, P.C. On the generalized distance in statistic. *Proc. Nat. Inst. Sci.*, v.2, p.49-55, 1936.
- MALMER, N., HORTON, D.G., VITT, D.H. Element concentrations in mosses and surface waters of western canadian mires to precipitation chemistry and hydrology. *Ecography*, Copenhagen, v.15, p.114-128, 1992.
- MALTONI, K.L. *Estudo de compactação e / ou adensamento em subsuperfície de latossolos sob diferentes usos*. Viçosa: UFV, 1994. 139p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- MANN, S.S., RITCHIE, G.S.P. The influence of pH on the forms of cadmium in four west australian soils. *Aust. J. Soil Res.*, Melbourne, v.31, p.255-270, 1993
- MARIÑO, F., LIGERO, A., DIAZ COSIN, D.J. Heavy metals and earthworms on the border of a road next to Santiago (Galicia, northwest of Spain). Initial results. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v.24, n. 12, p.1705-1709, 1992.
- MARSCHNER, H. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: WASEL, Y., ESHEL, A. KAFKAFI, U. *Plant roots: the hidden half*. New York: Marcel Dekker, 1991. p.503-528.
- MATOS, A.T. *Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG*. Viçosa: UFV, 1995. 110p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- MATOS, A.T., FONTES, M.P.F., JORDÃO, C.P. Mobility and retention of Cd, Zn, Cu and Pb in a brazilian oxisol profile. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15, 1994, Acapulco. *Anais...Acapulco*: ISSS, 1994, v.3b.p.193.
- McKEAGUE, J. A. *Manual on soil sampling and methods of analysis*. S.I.:1., Canadian Society of Soil Science, 1978. 212p.
- McGRATH, S. P., SMITH, S. Chromium and nickel. In: ALLOWAY, B.J. (ed.). *Heavy metals in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1990. p.125-150.
- PLICHTA, W. KUCZYŃSKA, I. Metal contents in soils of Książ, Szczyberga

- MEHRA, J.P., JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite - citrate - bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Min.*, Lawrence, v.7, p.317-327, 1960.
- MELFI, A. J., PEDRO, G., NALOVIC, L., QUEIROZ NETO, J. P. Étude sur l'alteration géochimique des itabirites du Brésil. Dissolution du quartz et instabilité de l'hématite primaire en conditions tropicales hydrolysantes. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, v.3, p.179-192, 1976.
- MELO, V. F., COSTA, L. M., BARROS, N. F., FONTES, M. P.F., NOVAIS, R.F. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 19, n.2, p.159-164, 1995.
- MINAS GERAIS. Secretária de Planejamento e Coordenadoria Geral, Instituto de Geo-Ciências Aplicadas. *Mapa geológico do estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: 1976.
- MITCHELL, R.L. Trace elements in soils. In: BEAR, F.E. (ed.). *Chemistry of the soil*. New York: Reinhold, 1964. p.320-368.
- MOURA, C.A.V. Aplicação de tratamento estatístico multivariante em dados geoquímicos de solo no mapeamento geológico na província de Carajás (alvo 2 - corpo 4). *R. Bras. Geoc.*, v.15, n.3, p.241-248, 1985.
- MULLINS, C.E. Magnetic susceptibility of the soils and its significance in soil science - a review. *J. Soil Sci.*, Oxford, v.28, p.223-246, 1977.
- MUNSELL COLOR. *Munsell soil color charts*. Baltimore: Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, 1975. (n.p.).
- NALOVIC, L. Étude spectrographique des éléments traces et leur distribution dans quelques types de sols de Madagascar. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, II: v.16-31, p.11-17, 1969.
- NALOVIC, L. e SEGALEN, P. Relations entre le fer et les éléments traces de transition dans un certain nombre de minéraux ferriques. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, v.11, p.181-191, 1973.
- PASCOE, G.A., BLANCHET, R. J., LINDER, G. Bioavailability of metals and arsenic to small mammals at a mining waste-contaminated wetland. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, New York, v.27, p.44-50, 1994.
- PETTRY, D. E., SWITZER, R. E. *Heavy metal concentration in selected soils and parent materials in Mississippi*. M.S.U., 1993. 33p. (Bulletin, 998).
- PICCOLO, A., CELANO, G. Distribution of heavy metals in profiles of a hydromorphic soil system. *Fresenius Envir. Bull.*, Basel, v.1, p.16-21, 1992.
- PLICHTA, W. KUCZYNSKA, I. Metal contents in soils of Kaffiöyra, Spitsbergen. *Polish Polar Res.*, v.12, n.2, p.183-193, 1991.

- PLICHTA, W., KUCZYNSKA, I, SAPEK, A. Profile distribution of metals in gelic cambisols of Kaffiöyra, Spitsbergen. *Polish Polar Res.*, v.12, n. 2, p.195-201, 1991.
- QUIRK, J.P., POSNER, A.M. Trace elements by soil minerals. In: NICHOLAS, D.J.D., EGAN, A.R., (eds.). *Trace elements in soil-plant-animal system*. New York: Academic Press, 1975. p. 95-107.
- RAO, R. C. *Advanced statistical methods in biometric research*. New York: John Wiley and Sons, 1952. 390p.
- RAUEN, M. J. *Mineralogical identification of a toposequence of soils from basaltic rocks in the State of Paraná, Brazil*. West Lafayette: Purdue University, 1980. 161p. Dissertation (Magister Science in Soil Science) Purdue University, 1980
- REGAZZI, A.J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. *Revista Ceres*, Viçosa, v.40, n.228, p.176-195, 1993.
- RESENDE, M. *Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the central plateau of Brazil*. West Lafayette: Purdue University, 1976. 327p. Thesis (Ph.D. in Soil Science) - Purdue University, 1976.
- RESENDE, M., ALLAN, J., COEY, J.M.D. The magnetic soils of Brazil. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v.78, p.322-326, 1986a.
- RESENDE, M., SANTANA, D.P., FRANZMEIER, D.P., COEY, J.M.D. Magnetic properties of brazilian oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, classification, characterization and utilization of oxisols, 8, 1986, Rio de Janeiro. *Proceedings*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, SMSS, ATD, UPR, 1986b. pt. 1, p. 78-108.
- RESENDE, M., SANTANA, D. P. Uso das relações  $K_i$  e  $K_r$  na estimativa da mineralogia para a classificação dos latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3, 1988, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, SBCS, 1988. p.225-232.
- RESENDE, M., SANTANA, D. P., REZENDE, S.B. Susceptibilidade magnética em latossolos do Sudeste e Sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3, 1988, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, SBCS, 1988a. p.233-258.
- RESENDE, M., SANTANA, D. P., CURI, N. *Pedologia e fertilidade do solo. Interações e aplicações*. Brasília: MEC, ESAL, POTAFOS, 1988b. 81p.

- RILEY, D., BARBER, S. A. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, v.35, p.301-306, 1971.
- ROSS, S. M. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. In: ROSS, S.M. (ed.). *Toxic metals in soil-plant systems*. New York: John Wiley & Sons, 1994., p.63-151.
- SAKAR, A. N., WYN JONES, R.G. Effect of rhizosphere pH on availability and uptake of Fe, Mn and Zn. *Plant Soil*, v.66, p. 361-372, 1982.
- SANTANA, D. P. *Soil formation in a toposequence of oxisols from Patos de Minas Region, Minas Gerais State, Brazil*. West Lafayette: Purdue University, 1984. 129p. Thesis ( Ph.D. in Soil Science) - Purdue University.
- SCHULZE, D. G., DIXON, J. B. High gradient magnetic separation of iron oxides and other magnetic minerals from soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.43, p.793-799, 1979.
- SCHMITT, H. W., STICHER, H. Heavy metal compounds in the soil. In: Merian, E. (ed.). *Metals and their compounds in the environment*. New York: VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1991. p.311-331.
- SHOTYK, W., NESBITT, W., FYFE, W. S. Natural and anthropogenic enrichments of trace metals in peat profiles. *Int. J. Coal Geol.*, Amsterdam, v.20, p.49-84, 1992.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *The Ind. J. Genet. Plant Breed.*, New Delhi, v. 41, p.237-245, 1981.
- SINGH, B., GILKES, R.J. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soils of south-western Australia. *J. Soil Sci.*, Oxford, v.43, p.77-98, 1992.
- SINGH, M., SEKHON, G.S. DTPA extractable micronutrient cations in twenty soil series of India. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, New Delhi, v.39, p. 129-133, 1991.
- SMITH, K. A. Manganese and cobalt. In: ALLOWAY, B.J. (ed.). *Heavy metals in soils*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1990. p.197-221.
- TAYLOR, R. W., IBEABUCHI, I. O., SISTANI, K. R., SHUFORD, J. W. Heavy metal concentration in forage grasses and extractability from some acid mine spoils. *Water, Air and Soil Pollution*, Dordrecht, v.68, p.363-372, 1993
- TILLER, K. G. Micronutrients. In: *SOILS, an australian viewpoint*. London, Melbourne: Academic Press, 1980. p.365-388.

- TRANGMAR, B.B., YOST, R.S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, New York, v.38, p.45-94, 1985.
- VALADARES, J.M.A.S. Cobre em solos do estado de São Paulo. I. Cobre total. *Bragantia*, Campinas v.34, n.4, p.125-132, 1975.
- VALADARES, J.M.A.S., CATANI, R. A. Zinco em solos do estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.34, n. 5, p.133-139, 1975.
- VOGEL, H., DESAULES, A., HÄNI, H. Heavy metal contents in the soil of Switzerland. *Intern. J. Environ. Anal. Chem*, v.46, p.3-11, 1992
- WEED, S. B., BOWEN, L.H. High gradient magnetic concentration of chlorite and hydroxy - interlayered minerals in soils clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.54, p.274-280, 1990.
- WOPEREIS, M. C., GASCUEL-ODOUX, C., BOURRIE, G., SOIGNET, G. Spatial variability of heavy metals in soil on a one-hectare scale. *Soil Sci.*, Baltimore, v.146, p.113-118, 1988.
- XING, B., DUDAS, M. J. Trace and rare earth element content of white clay soils of the Three River Plain, Heilongjiang Province, P.R. China. *Geoderma*, Amsterdam, v.58, p.181-199, 1993.
- ZABOWSKI, D., ZASOSKI, R.J. Cadmium, copper and zinc. Adsorption by a forest soil in the presence of sludge leachate. *Water, Air, Soil Poll.*, Dordrecht, v.36, p.103-130, 1987
- ZANINI, E., BONIFACIO, E. Variabilità spaziale di microelementi assimilabili nei suoli alluvionali della pianura a sud di Torino. *Riv. di Agron.*, Bologna, v.25, n.3, p.416-421, 1991

## APÊNDICE

2	1	0,30	24,04	20,12	34,858	801,67	23,95	21,54	60,71
	2	0,21	28,45	18,20	28,738	426,62	16,56	18,78	42,46
3	1	0,48	13,96	11,05	17,252	190,61	4,87	15,05	27,97
	2	0,31	23,78	21,31	31,670	110,61	2,78	23,23	41,76
4	1	0,40	18,66	15,21	24,864	439,67	11,78	18,68	39,35
	2	0,18	23,48	18,14	30,071	404,03	3,90	29,01	41,01
5	1	0,31	9,18	7,38	14,828	167,48	6,10	11,09	17,28
	2	0,31	12,23	10,61	20,600	124,64	8,77	11,71	19,94
6	1	0,36	17,10	22,00	46,716	295,22	15,15	18,40	21,10
	2	0,42	18,98	22,93	58,097	167,78	13,25	18,37	24,87
7	1	0,67	18,12			610,51	14,38	13,51	58,96
	2	0,15	19,15			685,34	17,19	16,51	56,41
8	1	0,65	14,49	26,71	45,734	1,677,60	11,93	27,35	69,10
	2	0,60	10,67	41,12	71,630	838,51	25,01	9,90	140,43
9	1	0,58	16,06	47,44	92,455	981,55	28,59	13,43	139,72
	2	0,54	14,14	51,03	87,687	575,89	31,23	12,78	154,73
10	1	0,40	18,79	54,89	37,549	606,59	27,46	13,04	117,45
	2	0,72	17,73	36,83	107,773	438,86	31,43	13,04	110,05
11	1	0,78	14,14	151,10	103,534	897,13	32,20	15,21	139,64
	2	0,66	12,94	139,84	100,410	775,14	32,95	12,48	127,82
12	1	0,60	9,70	183,93	89,540	1,408,01	35,82	15,77	151,69
	2	0,49	90,56	186,55	107,773	918,35	36,58	19,78	136,42
13	1	0,67	74,89	260,35	112,436	894,95	121,87	12,40	123,91
	2	1,14	65,58	264,20	115,220	898,74	119,77	12,10	125,14
14	1	1,13	67,95	287,25	141,014	671,05	83,10	14,79	97,91
	2	0,99	63,91	161,30	135,143	473,47	81,11	19,88	107,35
15	1	0,87	69,08	176,46	123,959	359,29	80,02	14,27	95,13
	2	0,76	64,36	125,11	138,912	338,58	35,67	13,96	77,87
16	1	0,89	54,33	119,02	125,466	321,13	31,84	18,11	87,56
	2	0,71	55,88	132,26	113,698	548,10	44,65	18,14	69,20
17	1	0,68	67,16	143,83	123,686	462,23	42,77	14,44	82,55
	2	0,71	32,92	116,65	101,198	632,27	25,24	14,16	87,93
18	1	0,67	27,15	145,00	118,594	544,59	32,39	15,80	117,16
	2	0,60	45,69	72,51	99,888	533,48	35,49	12,99	114,38
19	1	0,68	44,96	78,57	111,287	507,63	28,31	13,92	63,89
	2	0,71	36,79	32,48	89,909	297,25	27,05	13,05	76,55
20	1	0,39	36,87	36,59	74,504	252,35	24,15	15,69	30,87
	2	0,47	37,04	12,50	38,361	71,02	14,05	10,94	27,88
21	1	0,47	49,82	16,34	48,261	81,06	20,07	13,28	13,17
	2	0,51	54,15	35,01	68,004	457,44	30,49	12,62	38,36
22	1	0,73	56,55	37,41	73,295	278,71	36,87	13,44	35,03
	2	0,53	56,78	17,76	38,736	42,37	18,35	9,74	13,67
23	1	0,30	45,91	18,07	40,815	41,83	18,35	7,98	11,49
	2	0,54	51,94	20,73	48,048	30,85	17,68	14,85	15,78
24	1	0,52	58,98	18,36	45,823	30,08	16,63	14,32	13,45
	2	0,85	66,14	17,53	54,949	63,79	20,45	17,22	21,95
	2	0,72	64,94	17,24	58,441	49,90	21,69	18,94	18,05

1/ - Médias referentes a 10 repetições

## APÊNDICE A

Quadro 1A - Teores médios<sup>1/</sup> de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), da TFSA dos solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Prof.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
		mg/kg							
1	1	0,49	32,84	20,12	34.859	901,67	23,96	21,59	60,71
	2	0,36	28,45	16,20	35.738	428,62	18,55	18,78	42,46
2	1	0,21	13,98	11,05	17.252	190,81	4,87	15,05	27,97
	2	0,48	23,78	21,31	31.670	110,01	2,79	23,23	41,76
3	1	0,31	18,66	15,21	24.954	439,67	11,79	19,86	39,35
	2	0,40	23,48	16,14	30.071	404,03	3,99	20,01	41,01
4	1	0,18	9,16	7,38	14.826	157,48	6,10	11,09	17,29
	2	0,31	12,23	10,61	20.600	124,84	8,77	11,71	19,94
5	1	0,31	17,10	22,00	43.715	235,22	15,15	19,40	25,10
	2	0,36	16,66	22,63	53.097	167,76	13,25	18,27	24,87
6	1	0,42	18,12	30,64	66.170	610,51	14,38	13,81	56,96
	2	0,67	19,15	37,63	81.381	695,34	17,19	16,51	58,41
7	1	0,15	14,49	26,71	45.484	1.677,60	11,93	27,35	69,10
	2	0,55	10,97	41,12	71.830	839,31	25,01	9,90	140,48
8	1	0,60	16,00	47,44	92.455	981,55	28,59	13,43	139,72
	2	0,58	14,14	51,83	87.687	575,89	31,23	12,78	114,73
9	1	0,54	16,79	54,89	87.549	608,50	27,46	13,04	117,15
	2	0,40	17,73	96,83	107.773	436,88	31,43	13,04	110,06
10	1	0,72	17,37	151,10	103.534	897,13	32,20	13,21	138,84
	2	0,78	14,14	139,84	100.410	775,14	32,55	12,46	127,95
11	1	0,86	12,94	183,95	89.840	1.408,91	36,82	15,77	151,96
	2	0,60	9,70	186,55	107.773	919,35	39,58	13,76	139,42
12	1	0,49	90,56	250,35	113.435	994,88	121,67	12,40	123,91
	2	0,57	74,89	254,20	115.220	898,74	119,77	12,10	125,14
13	1	1,14	66,58	254,20	128.872	847,08	83,10	14,79	97,61
	2	1,13	67,65	287,26	141.014	671,05	85,16	13,88	107,35
14	1	0,99	63,91	191,30	135.143	473,47	61,11	14,27	90,13
	2	0,93	60,06	176,46	123.068	359,29	60,02	13,95	77,62
15	1	0,87	69,36	125,11	138.912	338,98	35,57	16,11	67,56
	2	0,76	64,23	119,02	125.469	321,13	31,84	16,14	69,20
16	1	0,89	55,68	132,28	113.686	546,10	44,65	14,44	82,65
	2	0,71	57,18	143,83	123.586	452,23	42,77	14,16	87,55
17	1	0,58	32,92	116,65	101.108	632,27	25,26	15,00	117,16
	2	0,71	27,15	145,00	118.594	544,56	32,39	12,98	114,39
18	1	0,57	46,60	72,51	99.685	533,48	25,49	13,92	63,85
	2	0,68	44,99	79,57	111.287	507,63	29,31	13,95	75,55
19	1	0,68	36,79	32,46	69.969	297,25	27,05	15,88	30,87
	2	0,71	38,67	35,59	74.504	252,35	29,15	16,69	37,88
20	1	0,39	37,04	12,50	36.281	71,02	14,05	10,84	13,26
	2	0,47	49,62	15,34	46.201	81,06	20,07	13,29	13,17
21	1	0,61	54,15	35,01	68.004	450,44	30,49	12,52	38,36
	2	0,73	56,55	37,41	73.295	278,71	30,87	13,44	36,03
22	1	0,53	55,78	17,76	38.738	42,97	18,35	9,74	13,57
	2	0,36	45,51	18,07	40.816	44,83	18,35	7,98	11,49
23	1	0,54	51,94	20,78	45.048	30,66	17,68	14,85	15,79
	2	0,52	58,96	18,36	45.823	30,08	16,63	14,32	13,45
24	1	0,65	66,14	17,53	54.949	63,79	20,45	17,22	23,95
	2	0,72	64,94	17,24	56.441	49,90	21,69	13,94	18,05

1/ - Médias referentes a 10 repetições.

Quadro 2A - Teores médios<sup>1/</sup> de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos com HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3), da TFSA dos solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Prof.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
		mg/kg							
1	1	2,11	37,24	27,06	45.560	935,58	40,41	36,37	85,87
	2	2,06	32,81	24,55	47.096	442,10	38,28	32,99	63,71
2	1	0,88	16,85	15,43	24.464	199,83	16,54	21,87	39,39
	2	2,17	37,24	29,40	43.637	123,70	33,03	37,26	65,85
3	1	2,02	37,24	22,42	36.058	486,80	32,81	36,53	65,47
	2	2,17	39,90	23,80	39.041	394,61	35,54	30,97	65,47
4	1	0,95	22,61	12,83	24.507	203,24	18,90	22,03	33,94
	2	1,36	29,26	14,97	31.574	149,61	23,69	24,69	39,45
5	1	2,54	41,23	35,18	67.266	395,45	39,65	39,19	86,37
	2	2,94	46,55	39,45	90.930	344,23	43,75	39,67	82,19
6	1	2,65	38,57	55,00	112.364	888,49	42,84	28,31	126,36
	2	3,05	44,19	47,85	146.331	1.299,72	47,63	35,08	124,26
7	1	1,80	25,27	39,54	93.610	1.672,96	26,88	27,10	105,35
	2	2,98	23,94	71,93	151.747	1.514,82	44,43	16,95	182,74
8	1	3,53	35,91	83,88	201.331	1.666,66	51,27	24,20	217,89
	2	3,20	36,21	55,65	182.022	1.116,24	55,38	26,62	186,58
9	1	3,39	39,90	101,45	183.253	1.156,31	54,01	23,48	195,09
	2	3,02	40,20	44,41	178.745	905,36	53,10	27,83	176,14
10	1	3,64	49,51	56,65	227.175	1.331,53	60,17	32,66	204,73
	2	2,72	47,88	165,18	192.391	1.275,29	54,92	22,75	196,38
11	1	3,13	41,53	88,09	200.920	1.974,23	58,11	30,25	226,70
	2	3,16	15,96	246,73	204.329	1.350,61	59,48	23,24	211,77
12	1	3,79	147,93	116,52	231.813	1.440,99	47,63	31,45	197,61
	2	4,05	153,25	259,16	240.667	1.281,32	47,85	33,15	191,67
13	1	2,94	94,73	257,54	226.107	1.546,44	51,50	29,76	192,76
	2	3,09	81,13	367,88	246.818	1.257,21	159,98	25,41	172,25
14	1	4,05	98,72	186,83	244.993	934,86	61,53	34,11	166,64
	2	3,24	79,80	275,73	238.898	931,84	117,14	25,65	164,18
15	1	3,46	101,38	127,23	247.430	910,75	41,24	34,84	142,41
	2	3,98	115,71	168,10	251.082	904,73	67,23	29,76	141,85
16	1	3,31	110,86	177,46	216.748	1.181,90	80,91	26,14	163,53
	2	3,35	112,19	194,77	222.113	1.145,74	84,11	26,14	161,63
17	1	2,80	68,30	158,85	187.359	1.501,24	60,85	23,48	188,71
	2	3,09	61,65	187,13	200.518	1.139,72	66,78	18,64	175,88
18	1	3,05	84,26	84,22	147.881	998,12	55,83	23,72	120,79
	2	3,09	84,26	102,06	167.620	1.079,47	60,39	24,44	138,36
19	1	2,24	78,94	38,64	108.012	590,46	43,29	20,82	56,15
	2	2,83	74,95	42,16	116.712	500,99	49,22	19,37	61,14
20	1	1,54	70,96	13,76	57.299	141,39	26,19	10,42	25,17
	2	1,95	74,95	14,97	62.173	148,62	29,84	13,56	24,10
21	1	2,69	73,45	36,73	106.281	617,37	43,29	25,17	60,06
	2	2,69	73,45	37,66	113.793	410,19	40,56	24,44	56,07
22	1	2,02	76,11	20,40	48.582	78,33	33,95	19,13	28,65
	2	2,09	85,42	21,26	52.676	81,76	35,09	20,09	27,16
23	1	2,43	81,43	17,86	60.864	62,46	35,77	26,38	32,78
	2	2,43	77,44	17,68	57.063	57,54	33,95	26,38	29,94
24	1	3,09	94,73	21,26	77.532	116,65	46,71	36,53	53,22
	2	3,53	100,05	21,32	83.381	94,59	48,54	33,63	41,48

1/ - Médias referentes a duas repetições.

Quadro 3A - Teores médios<sup>1/</sup> de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos com HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (20:6:3), da argila dos solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Prof.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
		mg/kg							
1	1	5,10	130,93	162,54	325.890	293,44	111,67	73,89	239,01
	2	5,64	145,12	161,45	149.055	373,58	117,60	86,30	205,62
2	1	3,82	83,05	95,40	71.679	230,11	67,44	62,69	140,48
	2	4,19	75,07	61,92	84.838	142,14	68,35	55,44	122,25
3	1	3,45	80,39	49,22	67.644	264,59	73,82	49,16	128,71
	2	3,45	75,07	47,61	68.887	351,36	69,72	44,80	122,25
4	1	3,53	75,07	50,03	70.461	360,26	73,36	49,16	110,47
	2	3,89	72,41	79,59	72.410	230,11	66,52	50,12	113,13
5	1	4,12	59,12	92,06	114.812	261,44	69,72	60,72	132,13
	2	4,48	59,12	86,98	125.325	285,55	72,45	65,11	119,59
6	1	4,04	40,50	111,84	137.732	232,84	67,44	43,35	153,02
	2	4,41	40,50	84,82	150.014	325,63	71,54	41,90	135,92
7	1	3,16	24,54	106,45	121.426	146,03	52,39	29,33	118,83
	2	3,01	16,56	108,53	106.004	72,57	49,65	18,70	103,36
8	1	4,04	24,54	123,77	155.643	249,71	66,52	26,92	145,15
	2	3,60	21,88	135,89	128.521	182,23	62,42	22,08	120,45
9	1	4,41	37,84	222,75	149.502	203,32	73,82	30,30	133,75
	2	4,26	37,84	221,37	143.410	178,01	75,64	28,37	117,60
10	1	4,48	40,50	277,25	174.968	320,76	75,64	39,97	157,70
	2	4,78	35,18	276,79	186.055	507,55	81,57	37,55	137,52
11	1	3,97	32,52	347,29	166.438	314,74	64,70	34,17	168,39
	2	4,04	29,86	362,53	146.822	338,84	70,17	32,72	142,27
12	1	4,48	138,91	505,39	174.968	164,10	185,84	37,07	116,15
	2	4,93	152,21	481,95	209.936	459,35	176,72	41,42	130,39
13	1	4,56	83,05	494,88	161.370	236,41	162,64	38,04	108,11
	2	4,93	85,71	531,29	185.251	338,84	180,42	41,42	104,31
14	1	4,78	83,05	368,00	175.699	43,60	128,49	37,55	92,91
	2	5,22	91,03	359,91	188.833	91,80	135,78	41,90	87,21
15	1	5,30	104,33	241,30	217.491	85,77	85,68	45,77	70,11
	2	5,30	106,99	235,07	229.432	115,90	84,31	44,80	68,21
16	1	4,56	80,39	307,81	188.175	121,93	101,64	40,94	182,20
	2	4,71	83,05	289,79	201.021	218,33	105,28	42,87	90,06
17	1	3,89	43,16	285,95	130.839	109,88	85,68	34,17	123,30
	2	3,89	40,50	301,53	129.962	127,95	86,13	30,30	99,56
18	1	4,12	64,43	200,66	145.753	242,43	84,76	41,42	90,06
	2	4,71	59,12	195,81	151.894	326,79	90,69	43,35	81,51
19	1	4,56	69,75	100,37	171.507	292,96	82,48	49,64	68,88
	2	4,63	67,09	106,72	172.019	339,96	85,68	53,02	70,30
20	1	4,48	85,71	81,20	126.787	171,48	62,88	47,71	66,33
	2	4,71	88,37	57,42	135.560	176,90	62,42	45,77	61,20
21	1	3,75	69,75	122,19	14.691	306,40	70,63	40,94	76,86
	2	4,12	72,41	118,50	167.228	293,57	69,26	41,42	73,72
22	1	4,12	104,33	58,11	104.187	78,14	66,98	39,49	57,36
	2	4,12	99,01	75,66	96.294	77,77	66,52	40,45	63,34
23	1	3,89	85,71	51,19	101.353	44,15	53,30	42,39	56,40
	2	4,04	91,03	71,16	100.949	47,41	56,49	48,67	65,34
24	1	3,97	85,71	41,60	95.282	73,80	57,86	44,80	68,31
	2	4,19	88,37	41,26	102.568	69,10	57,86	43,35	56,79

1/ - Médias referentes a duas repetições.

Quadro 4A - Teores médios<sup>1/</sup> de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos da TFSA com HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (4:1), nas concentrações de 0,0; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 mol/L, de solos coletados na topotosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Conc. (mol/L)	Solos	Prof.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
			(mg/g)							
0,0	1	1	0,00	0,45	1,79	33,58	0,46	0,00	0,83	0,00
		2	0,00	1,33	1,88	251,51	1,10	0,00	1,24	0,21
	2	1	0,00	0,21	1,63	43,36	0,56	0,00	0,62	0,01
		2	0,00	0,55	1,49	0,00	0,26	0,00	0,81	0,00
	3	1	0,00	0,08	1,93	177,18	0,57	0,00	0,47	0,28
		2	0,00	0,08	1,78	203,10	0,52	0,00	0,47	0,37
	6	1	0,00	0,00	2,93	965,95	1,84	0,00	0,00	1,06
		2	0,00	0,00	1,69	4,88	0,13	0,00	0,49	0,00
	8	1	0,00	3,68	1,55	20,17	0,46	0,00	1,06	0,00
		2	0,00	2,81	1,47	1,32	0,38	0,00	0,89	0,00
	11	1	0,00	0,31	1,49	11,94	0,76	0,00	0,66	0,01
		2	0,00	0,47	1,44	0,00	0,21	0,00	0,78	0,00
	12	1	0,00	0,76	1,50	20,72	0,65	0,00	0,95	0,00
		2	0,00	0,45	1,39	0,00	0,25	0,00	1,24	0,00
	13	1	0,00	0,45	1,58	14,61	0,32	0,00	1,06	0,00
		2	0,00	1,18	1,47	0,00	0,14	0,00	1,06	0,00
	17	1	0,00	0,89	3,04	51,84	0,99	0,00	0,85	0,31
		2	0,00	0,45	1,61	3,05	0,22	0,00	0,54	0,00
	20	1	0,00	1,33	1,93	616,73	0,86	0,00	0,77	0,01
		2	0,00	0,36	1,58	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00
	22	1	0,00	2,23	1,52	57,71	0,00	0,00	1,18	0,00
		2	0,00	1,94	1,44	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00
	23	1	0,00	1,65	1,44	19,14	0,00	0,00	1,35	0,00
2		0,00	2,52	1,45	0,00	0,00	0,00	1,29	0,02	
0,3	1	1	0,00	4,39	8,07	1.781,91	872,25	0,29	13,03	11,54
		2	0,00	3,52	7,35	1.120,91	137,73	0,00	10,24	2,82
	2	1	0,00	1,33	5,67	1.818,29	80,04	0,00	10,03	3,81
		2	0,00	2,20	5,30	763,13	15,55	0,00	10,86	2,05
	3	1	0,00	5,19	8,40	2.232,65	249,99	0,52	15,22	7,07
		2	0,00	3,52	8,21	2.287,47	189,57	0,58	14,17	5,24
	6	1	0,00	1,76	26,39	3.028,20	153,28	0,00	5,38	7,67
		2	0,00	2,20	19,09	2.170,73	107,79	0,38	4,76	1,97
	8	1	0,04	5,13	21,06	3.787,04	719,96	1,04	4,68	12,90
		2	0,02	4,55	19,10	3.216,54	244,41	1,25	3,99	4,03
	11	1	0,06	5,71	73,52	4.701,91	1.200,03	1,69	7,26	13,05
		2	0,05	5,71	67,01	4.294,15	325,72	3,25	5,54	3,06
	12	1	0,05	10,94	84,14	1.829,02	586,26	8,44	6,52	3,76
		2	0,05	9,78	77,12	1.998,06	279,70	7,86	6,23	1,54
	13	1	0,07	8,91	91,59	2.230,48	587,52	7,82	6,46	5,41
		2	0,04	10,94	87,29	1.033,13	269,94	8,85	5,77	0,97
	17	1	0,00	2,64	58,18	1.831,13	146,64	0,00	4,45	13,33
		2	0,00	1,24	43,49	1.907,54	32,57	0,00	2,17	2,12
	20	1	0,00	1,33	8,50	1.720,77	15,43	0,00	2,59	2,01
		2	0,00	1,76	7,81	1.287,79	11,27	0,00	2,28	0,41
	22	1	0,00	8,33	6,36	1.018,59	3,46	0,22	4,33	3,42
		2	0,00	8,04	5,25	996,43	3,79	0,42	4,05	0,75
	23	1	0,00	6,87	6,00	951,36	2,33	0,26	4,33	2,51
2		0,00	6,59	5,03	709,07	2,72	0,18	4,10	1,22	

Continua...

Quadro 4A, Cont.

Conc. (mol/L)	Solos	Prof.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
			(mg/g)							
0,6	1	1	0,00	4,39	13,21	2.825,96	849,11	1,21	14,37	15,08
		2	0,00	3,08	10,00	1.854,48	176,91	0,00	12,92	10,06
	2	1	0,00	2,64	6,95	2.545,80	100,12	0,00	11,60	9,39
		2	0,00	3,52	7,21	1.348,74	19,17	0,00	17,57	6,08
	3	1	0,00	8,83	9,64	3.947,89	293,01	1,94	17,41	13,81
		2	0,00	6,94	8,94	3.797,18	237,98	1,34	16,23	10,54
	6	1	0,00	1,76	44,42	4.629,20	140,18	0,00	6,00	17,35
		2	0,00	2,20	36,41	4.047,04	123,98	0,00	6,10	6,28
	8	1	0,00	6,58	22,69	8.007,54	723,08	1,78	6,46	17,45
		2	0,00	7,46	19,93	6.796,10	303,40	2,43	5,77	7,88
	11	1	0,05	8,62	79,71	9.754,26	1.280,05	3,16	9,79	18,52
		2	0,00	7,45	71,94	9.650,96	493,38	4,35	7,09	8,22
	12	1	0,04	17,04	95,39	5.734,92	589,45	11,34	8,06	7,22
		2	0,00	17,03	87,36	6.542,54	375,85	10,85	7,95	4,39
	13	1	0,01	14,42	108,57	6.317,16	596,16	11,75	8,52	9,33
		2	0,00	13,84	101,61	5.349,90	289,18	12,98	8,35	4,14
	17	1	0,00	2,64	98,66	3.208,11	106,15	0,00	6,00	15,41
		2	0,00	2,64	75,57	3.681,11	29,87	0,00	3,21	6,62
	20	1	0,00	1,33	17,97	1.088,70	6,34	0,00	2,58	5,82
		2	0,00	1,76	16,45	824,90	4,65	0,00	2,69	2,30
	22	1	0,00	9,78	6,30	1.688,89	7,70	0,87	4,91	4,82
		2	0,00	10,65	4,78	1.571,51	7,20	0,80	4,79	3,39
	23	1	0,00	10,36	5,14	1.308,56	5,01	0,43	5,31	3,12
2		0,00	9,78	4,53	1.078,48	5,78	0,51	4,91	2,59	
0,9	1	1	0,00	4,83	12,91	4.849,92	365,35	1,52	17,57	18,26
		2	0,00	3,95	10,38	2.818,74	159,92	0,00	13,54	12,13
	2	1	0,00	1,76	7,22	3.041,59	79,55	0,00	12,30	10,48
		2	0,00	2,64	7,18	1.889,10	16,23	0,00	13,86	6,61
	3	1	0,00	6,93	10,48	5.563,45	320,09	2,09	21,29	13,66
		2	0,00	7,08	9,74	5.585,77	232,24	1,93	18,90	13,89
	6	1	0,00	2,20	63,78	6.733,91	124,55	0,00	7,44	14,01
		2	0,00	1,76	46,40	6.195,41	127,38	0,00	8,69	11,67
	8	1	0,00	8,91	23,81	11.095,69	815,34	3,00	7,38	20,26
		2	0,01	7,75	21,75	10.447,71	352,06	3,29	6,69	10,14
	11	1	0,10	10,07	84,01	14.285,75	1.262,69	4,23	11,80	22,24
		2	0,07	8,62	76,74	14.432,23	543,83	5,78	9,04	13,67
	12	1	0,06	22,55	108,49	9.090,66	605,81	14,81	9,44	10,26
		2	0,09	21,68	100,51	10.938,81	429,79	14,41	9,04	8,01
	13	1	0,13	15,88	120,02	10.612,00	684,71	15,55	9,96	12,86
		2	0,13	16,75	113,07	9.327,31	342,58	15,51	9,96	5,93
	17	1	0,00	1,33	130,91	4.885,56	118,32	0,00	7,55	17,15
		2	0,00	1,76	102,85	5.467,72	35,64	0,00	8,17	10,57
	20	1	0,00	0,18	21,50	1.028,77	6,87	0,00	0,00	7,70
		2	0,00	2,20	16,82	1.276,19	5,63	0,00	3,52	2,83
	22	1	0,02	9,78	6,33	3.651,61	6,09	1,00	5,94	3,82
		2	0,08	9,49	5,05	5.093,12	5,94	0,74	5,43	3,69
	23	1	0,09	12,10	5,26	1.759,33	3,78	0,63	6,00	3,40
2		0,11	9,78	4,68	1.594,99	4,63	0,59	5,60	3,35	
1,2	1	1	0,00	3,52	14,03	5.117,35	529,13	1,30	19,64	20,10
		2	0,00	1,76	10,23	3.563,72	173,99	0,00	16,02	19,10
	2	1	0,00	0,18	5,90	3.219,88	83,31	0,00	13,65	13,97
		2	0,00	3,08	6,59	2.379,39	17,61	0,00	15,20	40,41
	3	1	0,08	6,57	10,70	6.496,86	289,80	2,73	20,37	22,06
		2	0,10	6,45	10,30	6.960,46	256,38	3,32	20,82	21,27

Continua...

Quadro 4A, Cont.

Conc. (mol/L)	Solos	Prof.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
			(mg/g)							
1,2	6	1	0,00	0,36	78,78	8.162,69	180,75	0,00	6,31	14,42
		2	0,00	0,89	62,03	7.726,07	163,62	0,00	5,48	12,35
	8	1	0,24	7,75	25,65	15.476,04	817,36	4,03	8,70	21,73
		2	0,31	6,87	23,00	13.110,05	361,31	4,56	7,55	12,50
	11	1	0,39	7,75	86,92	18.756,49	1.406,50	5,05	12,48	25,43
		2	0,38	8,91	81,35	19.279,91	641,86	7,09	10,53	17,92
	12	1	0,37	25,46	137,48	13.617,16	629,38	17,06	10,99	14,77
		2	0,42	26,91	128,76	15.068,06	531,98	16,65	10,70	15,09
	13	1	0,38	18,49	147,63	14.293,31	723,97	18,08	11,28	14,13
		2	0,38	18,20	136,73	13.363,60	360,51	17,55	11,11	9,31
	17	1	0,00	1,33	167,11	6.125,14	159,37	0,00	4,34	17,04
		2	0,00	0,45	129,90	7.180,30	38,04	0,00	0,00	12,40
	20	1	0,00	0,00	25,05	1.904,51	8,45	0,00	0,04	7,86
		2	0,00	1,33	23,47	2.268,35	7,46	0,00	0,35	2,28
	22	1	0,21	10,65	6,02	2.557,56	6,37	1,16	6,63	3,55
		2	0,19	12,10	5,06	2.750,07	6,45	1,37	6,23	0,69
	23	1	0,28	11,81	5,34	2.134,97	4,37	0,96	6,98	2,07
		2	0,22	12,68	4,58	1.895,50	4,94	1,08	6,86	0,93

1/ - Médias referentes a 5 repetições.