UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS DO SOLO EM UNIDADES DE MAPEAMENTO DE UM LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO

FERNANDO CESAR BERTOLANI

Tese de Doutorado apresentada à FEAGRI/UNICAMP como cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola - Área de Concentração: Água e Solo.

CAMPINAS
OUTUBRO – 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS DO SOLO EM UNIDADES DE MAPEAMENTO DE UM LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO

FERNANDO CESAR BERTOLANI

Orientador:
Prof. Dr. JOÃO BERTOLDO DE OLIVEIRA

Tese de Doutorado apresentada à FEAGRI/UNICAMP como cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola - Área de Concentração: Água e Solo.

CAMPINAS
OUTUBRO – 2003

Dedico e Ofereço esse trabalho à minha querida esposa **Ana Liria**, pela compreensão e apoio nos momentos de dificuldades e incertezas e ao meu filho **Thiago**, que mesmo sem saber, deu-me muita força para a conclusão de mais essa etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu a oportunidade de compreender a importância da fé e da perseverança quando se deseja alcançar novos caminhos;

Aos meus pais Sylvio e Rosemary pela determinação e amor de toda uma vida, e as minhas irmãs Silmary e Andrea pelo carinho e apoio recebido;

Ao Dr. Benedito e à D. Liria pelo incentivo e pela torcida em todos os momentos;

Ao Pesquisador Científico Dr. João Bertoldo de Oliveira pelas sugestões, orientação e, principalmente, pelo exemplo de determinação e incansável dedicação à busca do conhecimento;

Ao Pesquisador Científico Dr. João Roberto Ferreira Menk pela amizade e pelo grande apoio dado em todas as etapas desse trabalho, principalmente, na realização das análises estatísticas;

À Faculdade de Engenharia Agrícola pela cooperação e amizade de seus docentes e funcionários;

Ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais por disponibilizar toda sua estrutura e pela acolhida amiga dos pesquisadores e funcionários que foram fundamentais para a realização deste trabalho;

À técnica de laboratório Renata Cristina Giraldelli Schiavianatto pelo apoio dado na manipulação dos aparelhos utilizados nas determinações químicas, e aos técnicos de apoio José da Silva Pinto Filho e Alfredo Armando Carlstron Filho pela colaboração nos trabalhos de campo;

À FAPESP pelo financiamento deste projeto (processo nº 98/15763-8).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS vi
LISTA DE QUADROS ix
LISTA DE APÊNDICES xi
RESUMO xii
SUMMARY xiv
1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
2.1. Levantamento de Solos - Estado da Arte e Perspectivas 4
2.2. Variabilidade de atributos dos solos em mapas pedológicos 6
2.3. Métodos estatísticos utilizados em Levantamentos Pedológicos 8
2.3.1. Estatística descritiva e tratamento de dados 8
2.3.2. Geoestatística 12
2.4. Apresentação da variabilidade de atributos em levantamentos pedológicos 14
2.5. Atributos do solo apresentados em levantamentos pedológicos 16
2.5.1. Potencial hidrogeniônico 16
2.5.2. Frações granulométricas 16
2.5.3. Saturação por bases e por alumínio 17
2.5.4. Espessura do horizonte A 18
3. MATERIAL E MÉTODOS 19
3.1. Descrição do meio físico 19
3.2. Sistema de amostragem 20
3.3. Análises laboratoriais e valores calculados 23
3.4. Preparação dos dados 25
3.5. Procedimento estatístico descritivo 26
3.6. Procedimento geoestatístico 29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 32
4.1. Relação solo-paisagem da área de estudo (município de Espírito Santo do Turvo) 32
4.2. Caracterização dos atributos do solo nas unidades de mapeamento 34
4.2.1. Análise dos dados obtidos nos transetos 34
4.2.2. Análise dos dados dos perfis de solo 42

4.3. Média e distribuição de freqüência de atributos do solo em unidades de mapeamento 45
4.4. Transformação de atributos do solo para análise estatística 49
4.5. Análise da variabilidade de atributos do solo realizada por delineamentos 55
4.5.1. Potencial hidrogeniônico 55
4.5.2. Frações granulométricas 62
4.5.3. Saturação por bases e por alumínio 70
4.5.4. Espessura do horizonte A 76
4.6. Dependência espacial de atributos do solo em levantamentos pedológicos semidetalhados 79
4.6.1. Unidade de mapeamento Latossolo Vermelho 83
4.6.2. Unidade de mapeamento Argissolo Vermelho 89
4.7. Formas de apresentação da variabilidade de atributos dos solos em levantamentos pedológicos semidetalhados 95
5. CONCLUSÕES 99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101
Apêndices 115

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Semivariograma experimental e modelo matemático ajustado.....	12
2	Localização do Município de Espírito Santo do Turvo no Estado de São Paulo.....	19
3	Mapa pedológico do município de Espírito Santo do Turvo com curvas de nível e pontos de amostragem georreferenciados.....	21
4	Diagramas de repartição de classes texturais utilizadas para descrição de perfil e para classes de solos.....	23
5	Sistemas de transformação de Johnson (S_B, S_L ou S_U).....	28
6	"Box-plot" experimental e seus respectivos parâmetros.....	29
7	Litosseqüência representativa da região norte do município de Espírito Santo do Turvo.....	32
8	Litosseqüência representativa da região sul do município de Espírito Santo do Turvo.....	34
9	Localização de delineamentos de unidades de mapeamentos que possuem solos com influência de material basáltico em relação aos delineamentos das unidades de mapeamento estudadas.....	39
10	Dispersão dos atributos do solo no horizonte A, em ambas unidades de mapeamento.....	40
11	Dispersão dos atributos do solo no horizonte B, em ambas unidades de mapeamento.....	41
12	Distribuição de freqüência amostral (histogramas) de argila do horizonte B para a unidade de mapeamento Argissolo Vermelho.....	48
13	Distribuição da soma de bases (S) e da saturação por bases (V), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo-Vermelho, para dados observados e transnormalizados.....	51
14	Distribuição da capacidade de troca de cátions (CTC) e da saturação por alumínio (m), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo-Vermelho, para dados observados e transnormalizados.....	52
15	Distribuição da soma de bases (S) e da capacidade de troca de cátions (CTC), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Argissolo-Vermelho, para dados observados e transnormalizados.....	52
16	Distribuição da saturação por bases (V) e da saturação por alumínio (m), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Argisolo-Vermelho, para dados observados e transnormalizados.....	53
17	Distribuições de freqüência (histogramas) de pH em água, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.....	58
18	Distribuições de freqüência (histogramas) de pH em água, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.....	59
19	Distribuições de freqüência (histogramas) de pH em KCl, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.....	60
20	Distribuições de freqüência (histogramas) de pH em KCl, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos	

horizontes A e B..... 61
21 Distribuições de freqüência (histogramas) de areia total, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 64
22 Distribuições de freqüência (histogramas) de areia total, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 65
23 Distribuições de freqüência (histogramas) de argila, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 66
24 Distribuições de freqüência (histogramas) de argila, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 67
25 Distribuições de freqüência (histogramas) de silte, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 68
26 Distribuições de freqüência (histogramas) de silte, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 69
27 Distribuições de freqüência de saturação por bases, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 72
28 Distribuições de freqüência de saturação por bases, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 73
29 Distribuições de freqüência de saturação por alumínio, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 74
30 Distribuições de freqüência de saturação por alumínio, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 75
31 Distribuições de freqüência de espessura do horizonte A, referente aos delineamentos das unidades de mapeamento Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho..... 78
32 Semivariogramas de pH em água, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 84
33 Semivariogramas de pH em KCl, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 84
34 Semivariogramas de argila, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 85
35 Semivariogramas de silte, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 85
36 Semivariogramas de areia total, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 86
37 Semivariogramas de soma de bases, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 86
38 Semivariogramas de CTC, referentes aos delineamentos da unidade de

mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 87
39 Semivariogramas de saturação por bases, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 87
40 Semivariogramas de saturação por alumínio, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 88
41 Semivariogramas de pH em água, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 91
42 Semivariogramas de pH em KCl, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 91
43 Semivariogramas de argila, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 92
44 Semivariogramas de silte, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 92
45 Semivariogramas de areia total, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 93
46 Semivariogramas de soma de bases, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 93
47 Semivariogramas de CTC, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 94
48 Semivariogramas de saturação por bases, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 94
49 Semivariogramas de saturação por alumínio, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B..... 95

LISTA DE QUADROS

Quadro		Pág.
1	Parâmetros estatísticos de atributos dos horizontes A e B de solos contidos na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.....	35
2	Parâmetros estatísticos de atributos dos horizontes A e B de solos contidos na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho.....	36
3	Atributos físicos e químicos de inclusões de solos ocorrentes nos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.....	36
4	Atributos físicos e químicos de inclusões de solos ocorrentes nos delineamentos da unidade de mapeamento ArgissoloVermelho.....	37
5	Atributos morfológicos do horizonte A, descritos nos perfis de todos os delineamentos estudados.....	43
6	Atributos morfológicos do horizonte B, descritos nos perfis de todos os delineamentos estudados.....	43
7	Média de atributos físicos e químicos do horizonte A, descritos nos perfis de todos os delineamentos estudados.....	44
8	Média de atributos físicos e químicos do horizonte B, descritos nos perfis de todos os delineamentos estudados.....	44
9	Valores médios de atributos do solo, em ambos os horizontes da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, com e sem os dados dos solos considerados inclusões.....	46
10	Valores médios de atributos do solo, em ambos os horizontes da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, com e sem os dados dos solos considerados inclusões.....	46
11	Coeficientes de assimetria (g_1) e curtose (g_2), teste de normalidade, e parâmetros (β_1, β_2, T_1 e T_2) usados na seleção do tipo de transnormalização	50
12	Freqüências absoluta (f), relativa (fr) e relativa acumulada (fra), respectivos escores da normal reduzida (Zt) e função logarítmica (L) do tipo S_B para a soma de bases (S), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.....	50
13	Freqüências absoluta (f), relativa (fr) e relativa acumulada (fra), respectivos escores da normal reduzida (Zt) e função logarítmica (L) do tipo S_B para a saturação por bases (V), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.....	51
14	Parâmetros estatísticos de dados observados e transformados na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho.....	54
15	Parâmetros estatísticos de dados observados e transformados na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.....	54
16	Parâmetros estatísticos de pH em água dos horizontes A e B, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho.....	57
17	Parâmetros estatísticos de pH em KCl dos horizontes A e B, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho.....	57
18	Parâmetros estatísticos de silte (dag/kg), obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho,	

horizontes A e B..... 62
19 Parâmetros estatísticos de argila (dag/kg), obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B..... 63
20 Parâmetros estatísticos de Areia total (dag/kg), obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B..... 63
21 Parâmetros estatísticos de saturação por bases, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B..... 71
22 Parâmetros estatísticos de saturação por alumínio, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B..... 71
23 Parâmetros estatísticos da espessura do horizonte A, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho..... 77
24 Parâmetros dos atributos estudados em diferentes delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho textura média – horizontes A e B..... 81
25 Parâmetros dos atributos estudados em diferentes delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho textura arenosa/média – horizontes A e B..... 82
26 Grau de dependência espacial, nos delineamentos da unidade mapeamento de Latossolo Vermelho - horizontes A e B..... 89
27 Grau de dependência espacial, nos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho - horizontes A e B..... 95

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice		**Pág.**
1	Descrição dos perfis de solo dos cinco delineamentos analisados na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho textura média.....	116
2	Descrição dos perfis de solo nos diferentes delineamentos analisados na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho textura arenosa/média.....	121
3	Etapas do processo de normalização e transformação dos atributos do solo, utilizando o sistema de Johnson (1949).....	126

VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS DO SOLO EM UNIDADES DE MAPEAMENTO DE UM LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO

Autor: Fernando Cesar Bertolani
Orientador: João Bertoldo de Oliveira

RESUMO

As unidades de mapeamento em levantamentos pedológicos semidetalhados podem apresentar importantes variações no conjunto de atributos que as caracterizam. Dentro desse contexto, é necessário analisar os atributos do solo de forma que possibilite a detecção da variabilidade, melhorando a qualidade das informações contidas nesses inventários. O trabalho teve como objetivo: a) avaliar a variabilidade de atributos do solo, existentes em delineamentos de unidades de mapeamentos, utilizando parâmetros estatísticos descritivos; b) determinar a dependência espacial dos atributos nos delineamentos com o uso da geoestatística e; c) propor formas de apresentação das informações de variabilidade de atributos do solo em boletins e mapas de levantamentos pedológicos semidetalhados. As amostras de solo foram coletadas nos horizontes diagnósticos de superfície e de subsuperfície, no período de 2000/2001, no município de Espírito Santo do Turvo (SP), utilizando-se o sistema de transetos, em cinco delineamentos de cada uma das unidades de mapeamento (Argissolo Vermelho textura arenosa/média e Latossolo Vermelho textura média). Com a caracterização geral dos atributos observou-se que os dados provenientes de solos considerados inclusões devem ser excluídos do cálculo dos parâmetros estatísticos para a caracterização das unidades de mapeamento, pois podem alterá-los. A maioria dos atributos do solo apresentou distribuição assimétrica, denotando a importância da transformação dos dados para a distribuição normal e o sistema de Johnson mostrou-se adequado para esse procedimento. Comparando-se a variabilidade dos atributos do solo nas unidades de mapeamento estudadas verificou-se que a maioria desses atributos apresenta variabilidade mais elevada na unidade composta por Argissolos. Em levantamento pedológico semidetalhado, a análise estatística dos atributos do solo realizada por delineamentos, permite caracterizar a variabilidade dos atributos nesses agrupamentos, melhorando a qualidade das informações. Com a análise

geoestatística, calculando-se os semivariogramas de atributos do solo, por delineamento, verificaram-se comportamentos diferenciados tanto dos parâmetros, como também dos modelos dos semivariogramas ajustados, evidenciando diferentes comportamentos da dependência espacial em cada delineamento de ambas as unidades de mapeamento. Este estudo indica elevada variabilidade dos atributos do solo em unidades de mapeamento e, principalmente entre delineamentos de uma mesma unidade de mapeamento. Isso evidencia a necessidade de apresentar nos boletins de levantamentos pedológicos dados quantitativos por delineamentos e de obter uma maneira adequada para a representação gráfica dessas informações no mapa, permitindo que os usuários façam interpretações mais corretas e com maior confiabilidade.

Palavras chave: levantamento pedológico; variabilidade de atributos do solo; parâmetros estatísticos; geoestatística.

SOIL ATTRIBUTES VARIABILITY IN MAPPING UNITS OF A SEMIDETAILED SOIL SURVEY

Author: Fernando Cesar Bertolani
Adviser: João Bertoldo de Oliveira

ABSTRACT

In semidetailed soil surveys the mapping units can show important variations in a set of soil attributes inherent to them. This indicates the need to use new ways of analysing soil data to detect the intrinsic variations and of offering additional information for improving the quality of semidetailed soil surveys. This study was carried out aiming to: (i) evaluate the soil attributes variability in delineations of mapping units of a semidetailed soil survey using descriptive statistical parameters; (ii) determine the spatial variability of soil attributes in these delineations using geostatistical tools and; (iii) propose ways to insert information of soil properties variability in semidetailed soil surveys. Soil samples were collected in surface and sub-surface diagnostic horizons during the years of 2000 and 2001, in Espírito Santo do Turvo (São Paulo state, Brazil), by the transect method, in five delineations of each mapping unit (red Latosol - hapludox and red Podzolic soil - kandiudalf). It was observed that data of soil inclusions must be excluded from the statistical analysis of each mapping unit in order to avoid biased results. Soil attributes showed non-normal distribution, indicating the need to normalize data before applying statistical characterization. In general, the Johnson system for data transformation was adequate for data normalization. Comparing the variability of soil attributes within mapping units it was possible to verify that most of these properties show greater variability in the Podzolic soil mapping unit. Statistical analysis of soil attributes data performed by soil survey delineations allowed characterize attributes variability, increasing the quality of this information. Using geostatistical analysis, with semivariograms being calculated for each delineation, higher variation was verified for semivariogram parameters and for adjusted models, showing different degrees of spatial dependency for each delineation within both mapping units. This study indicates high variability of soil attributes in the

mapping units, and, mainly among delineations of the same mapping unit. This leads to include additional information by soil delineation such as quantitative data in a report and special representation on a map, in order to allow reliable soil interpretation.

Key words: soil survey; soil attributes variability; statistical parameters; geostatistics.

1. INTRODUÇÃO

Os levantamentos pedológicos têm como produtos finais o mapa de solos e o respectivo boletim, constituindo documentos importantes a todos aqueles que pretendem utilizar a terra de maneira adequada e eficiente (FASOLO, 1996). Os mapas permitem aos usuários verificar qual é a distribuição dos solos na paisagem, e os boletins, qual a organização e constituintes importantes de cada horizonte das classes de solo, bem como as descrições de seus atributos. Essas informações dão indicações do comportamento agrícola, geotécnico e ambiental de cada unidade de mapeamento. Esse conjunto de dados auxilia o usuário a tomar as decisões mais adequadas conforme o tipo de solo existente em uma determinada área a ser explorada.

Todo trabalho interpretativo feito com base em levantamento de solo, independente de sua escala, parte de uma célula indivisa delimitada por uma linha contínua que é denominada polígono ou delineamento do mapa (MAPPING SYSTEM WORKING GROUP, 1981; ARNOLD, 1992). O conjunto de delineamentos apresentando o mesmo solo ou o mesmo conjunto de solos, incluindo uma certa porcentagem de solos diferentes, considerados como inclusão, é definido como uma unidade de mapeamento. Essa pode ser constituída por apenas uma classe de solo (mais as inclusões permitidas), sendo denominada unidade de mapeamento simples, ou por duas ou mais classes sendo, nesse caso, definida como unidade composta ou associação.

As unidades de mapeamento podem estar representadas por apenas um ou por vários delineamentos, sendo esta segunda condição a mais comum nos levantamentos de solos. Tradicionalmente, os dados analíticos (físicos, químicos e mineralógicos) apresentados nos boletins referem-se a um ou a poucos perfis de solos representativos de cada classe de solo contida em uma unidade de mapeamento (OLIVEIRA & MONIZ, 1975; LEPSCH & VALADARES, 1976; OLIVEIRA et al, 1989), ou, em alguns casos, os dados de perfis de solos são complementados com a caracterização estatística da classe de solo e/ou da unidade de mapeamento (OLIVEIRA & PRADO, 1984; MENK et al, 2000; BERTOLANI et al, 2000). Nessa caracterização os parâmetros estatísticos descritivos são obtidos com base no conjunto dos solos pertencentes a uma mesma classe de solo, amostrados em todos os delineamentos de uma determinada unidade de mapeamento. Quando esta é constituída por apenas um

delineamento há menor probabilidade de erros de interpretação, pois todos os dados são relativos a este único delineamento. No entanto, o mesmo não ocorre quando uma unidade de mapeamento é constituída por vários delineamentos o que é mais freqüente nos mapas de solo. Neste caso, apesar dos delineamentos pertenceram a uma mesma unidade de mapeamento, esses estão espacialmente delimitados por outras unidades, as quais poderão influenciar na variabilidade dos atributos dos solos de cada delineamento.

Em levantamento pedológico semidetalhado, o conjunto de solos de um delineamento, mesmo considerando aquele constituído por apenas uma classe de solo, pode apresentar elevado grau de variação em um ou mais atributos, em relação ao conjunto de solos de outros delineamentos referente à mesma unidade de mapeamento. Desta forma, o comportamento dos solos de cada delineamento, apesar de pertencentes a uma mesma unidade de mapeamento, pode apresentar importantes diferenças e, por vezes, até requerer manejos diferenciados. Tal percepção é impossível com a atual forma de apresentação das informações descritas nos boletins dos levantamentos de solos e representadas nos mapas. Isso evidencia a necessidade de uma análise mais aprofundada para melhorar a qualidade de tais informações e a sua utilização nas atividades de planejamento do uso da terra (AMEYAN, 1986; ARNOLD & WILDING, 1991).

Nos levantamentos pedológicos detalhados, em função da maior densidade de amostragem utilizada (EMBRAPA, 1995), é possível traçar os limites entre unidades de mapeamentos distintas com maior precisão, bem como gerar mapas de isolinhas por atributo de solo, utilizando interpolação por krigagem – técnica de predição geoestatística que utiliza duas ou mais variáveis conhecidas para estimar a mesma variável, em um ponto desconhecido (BURGESS & WEBSTER, 1980; ROGOWSKI & WOLF, 1994; GOOVAERTS & JOURNEL, 1995), ou mesmo, utilizar a lógica Fuzzy – generalização da algebra booleana que tem como princípio definir classes de objetos de forma imprecisa, utilizando aplicações numéricas e descrevendo uma determinada variável de forma contínua (BURROUGH, P.A., 1989; ODEH et al., 1992; TRIANTAFILIS et al., 2001). Tais procedimentos informam aos usuários a ocorrência da variabilidade espacial dos atributos do solo. No entanto, são raros os levantamentos pedológicos detalhados disponíveis no Brasil, estando, muito deles, restritos ao setor privado e destinados a objetivos específicos, dado o elevado custo para a sua execução.

Uma alternativa para contornar tal problema seria disponibilizar, nos boletins dos levantamentos pedológicos semidetalhados, informações quantitativas dos atributos do solo, e não apenas dados pontuais que representem toda uma unidade de mapeamento. Essas informações complementares poderiam melhorar a qualidade de tais levantamentos pedológicos, reduzindo, para o usuário, o risco de erros nas suas interpretações. Estudos dirigidos para a compreensão da variabilidade de atributos dos solos, e que visem proposições de novas metodologias de apresentação de mapas e boletins, são, portanto, fundamentais para fornecer aos usuários informações mais precisas, melhorando a qualidade de trabalhos desenvolvidos a partir de tais inventários.

Nesse trabalho formularam-se as seguintes hipóteses: (i) a unidade de mapeamento constituída por Latossolos Vermelhos apresenta menor variação de seus atributos em relação à unidade constituída por Argissolos Vermelhos; (ii) a variabilidade dos atributos do solo não é similar em cada um dos delineamentos que compõem uma unidade de mapeamento.

Com base nessas hipóteses, este trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos: a) avaliar a variabilidade de alguns atributos do solo nas unidades de mapeamento: Latossolo Vermelho distrófico típico álico A moderado textura média e Argissolo Vermelho distrófico típico álico ou não A moderado textura arenosa/média; b) comparar a variabilidade de alguns atributos do solo entre os delineamentos amostrados nas unidades de mapeamento estudadas; c) propor formas de apresentação da variabilidade de atributos do solo em levantamentos pedológicos semidetalhados (mapa e boletim) para melhorar a qualidade dos mesmos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Levantamento de Solos - Estado da Arte e Perspectivas

As bases da Pedologia, bem como as da classificação de solos, foram lançadas, na Rússia, em 1880, por Dockuchaiev, levando em consideração aspectos morfo-genéticos. MILNE (1935), desenvolvendo trabalho de mapeamento e classificação de solos, relatou pela primeira vez a dependência existente entre compartimentos fisiográficos e formação dos solos, sendo considerado assim, pioneiro nos estudos de relação solo-paisagem. JENNY (1941) organizando as informações disponíveis na época, conceituou os fatores de formação do solo utilizando a seguinte expressão $s = f(mo, c, o, r, t)$, onde ***s*** é o solo; ***mo*** é o material de origem; ***c*** é o clima; ***o*** são os organismos; ***r*** é o relevo e; ***t*** é o tempo. Segundo a concepção de Jenny, o solo é, portanto, o resultado da transformação de um determinado material de origem, situado em um tipo de relevo qualquer, no qual estão agindo o clima e os organismos durante um certo período de tempo. A combinação de todos esses fatores, bem como, a atuação diferenciada dos processos de formação do solo, determina a constituição e organização dos diferentes horizontes ou camadas do solo e, conseqüentemente, o seu comportamento.

O marco inicial de estudos em Pedologia no Brasil deu-se em 1889, no Instituto Agronômico de Campinas, com a realização das primeiras análises químicas e físicas dos solos do Estado de São Paulo. Somente em 1935, com a criação da Seção de Agrogeologia (atual Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais), foram iniciados os trabalhos de levantamento e mapeamento de solos. Em 1943 foi realizado o primeiro mapa de solos efetuado no Brasil e denominado de Esboço Agro-Geológico do Estado de São Paulo (SETZER, 1949). Nesse trabalho foram identificados 21 “tipos” de solos, os quais estavam relacionados com as formações geológicas e, foram nomeados com nomes populares (massapé, salmorão, terra roxa), com nomes relacionados às respectivas formações geológicas (arenito Bauru, Corumbataí), e até mesmo, com nomes de eras geológicas (Devoniano e Glacial).

Em 1951, Paiva Neto e colaboradores publicaram um trabalho relatando os principais tipos de solos do Estado de São Paulo. Esse trabalho foi realizado com base no material de origem, e secundariamente, na textura do solo (PAIVA NETTO et al., 1951). Os mesmos

autores, em 1953, introduziram aos levantamentos pedológicos os primeiros registros de distinção de horizontes nos solos paulistas (PAIVA NETTO et al., 1953).

Outro marco da evolução da Pedologia no Brasil foi o levantamento pedológico de reconhecimento dos Estados do Rio de Janeiro e de São Paulo publicados em 1958 (BRASIL, 1958) e 1960 (BRASIL, 1960), pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo (atualmente denominado Centro Nacional de Pesquisa de Solo – EMBRAPA-Solos). Nesses trabalhos utilizaram-se concepções de unidade taxonômica e de mapeamento adaptados do Soil Survey Manual (ESTADOS UNIDOS, 1951). Estes foram os primeiros levantamentos pedológicos tratados, a nível estadual, sob uma ótica realmente pedológica, resultante das ações combinadas dos fatores de formação e identificáveis em classes distintas segundo critérios taxonômicos (OLIVEIRA, 1988).

Em 1988, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária definiu critérios e normas utilizadas para a distinção de classes de solos (EMBRAPA, 1988), sendo amplamente utilizados nos Levantamentos de solos realizados no Brasil. No entanto, em 1980 iniciou-se o projeto de elaboração do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos com a publicação da primeira aproximação. Na seqüência foram publicadas as seguintes aproximações: segunda, em 1981; terceira, em 1988; quarta, em 1997 e; somente em 1999, utilizando os parâmetros e critérios referentes à quarta aproximação (EMBRAPA, 1997), é que foi publicado o primeiro Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Trata-se de um sistema hierárquico, multicategórico e aberto, o qual permite a inclusão de novas classes de solo, assim como, a classificação de todos os solos conhecidos até o presente no território nacional.

Uma forte tendência na execução de levantamento pedológico é a inserção de dados relacionados à variabilidade de atributos dos solos, utilizando-se informações complementares da estatística descritiva e da geoestatística, assim como, o suporte técnico de sistemas de informação geográfica (ARNOLD & WILDING, 1991; McBRATNEY et al., 2000). O estudo da variabilidade de atributos do solo em unidades de mapeamento é muito promissor na melhoria das informações contidas nos mapas pedológicos e nos seus boletins. Tal procedimento poderá fornecer informações complementares, as quais permitirão aos usuários tomar decisões mais acertadas nos planejamentos das atividades agrícolas realizados com base em mapas pedológicos (NORDT et al., 1991).

Os mapas pedológicos e seus respectivos boletins fornecem dados para diversas áreas da ciência do solo, entre elas as relacionadas: a) aos planejamentos agroambientais (OLIVEIRA & BERG, 1985; FORMAGGIO et al., 1992; OLIVEIRA & BURGOS SOSA, 1995; GODOY & LOPES-ASSAD, 2002); b) à modelagem matemática de perda de solo (FLANAGAN, 1991; DE ROO et al., 1995); c) à estudos de descarte de resíduos orgânicos e poluição de águas subterrâneas (ALVES et al., 1999; BERTONCINI & MATTIAZZO, 1999; OLIVEIRA et al., 2001), visando a otimização do uso da terra, bem como a preservação dos recursos naturais.

2.2. Variabilidade de atributos dos solos em mapas pedológicos

O mapeamento de solos compreende a identificação, descrição e delineamento, em um mapa, dos diferentes tipos de solo existentes em uma determinada área. Baseia-se em observações de campo (descrição morfológica, aspectos da paisagem, uso atual etc), em dados analíticos (pH, V%, m%, Carbono orgânico, etc) e em interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite (compartimentação fisiográfica, densidade de drenagens, padrões de vegetação, relação solo-paisagem, etc). Essas informações permitem classificar os diferentes tipos de solos de acordo com um determinado referencial ou sistema de classificação e, delimita-los por unidades de mapeamento (EMBRAPA, 1995). Isso possibilita fazer avaliações da qualidade dos solos quanto à utilização, comportamento e produtividade das terras de uma determinada área.

O *pedon* é uma unidade básica de referência, tridimensional, com limites e dimensões arbitrárias, determinada a partir das características utilizadas em taxonomia de solos (EMBRAPA, 1995). O conjunto de *pedons* semelhantes e espacialmente contíguos constitui o *polipedon*, servindo ao propósito de identificação e delineamento de classes de solos no campo (ESTADOS UNIDOS, 1975). Dentro desse contexto, a unidade de mapeamento pode ser definida como uma área espacialmente delimitada e constituída por um ou mais *polipedons* (unidades simples ou compostas) dependendo da variação de solos e da escala utilizada no mapeamento. Tais unidades são determinadas por meio de um conjunto de solos que apresentam características semelhantes e que são passíveis de serem delimitados.

Segundo ARNOLD (1996) a legenda de um mapa de solos indica o nome ou nomes dos componentes de uma unidade de mapeamento representados por delineamentos ou

polígonos com formatos irregulares, os quais podem ser considerados homogêneos, para alguns usuários. No entanto, o mesmo autor complementa que a homogeneidade em termos de solo é extremamente rara devido a problemas relacionados à escala do mapa e às convenções utilizadas para definir e classificar os solos.

A delimitação das unidades de mapeamento nos trabalhos de levantamento de solos é dificultada devido à variabilidade dos atributos do solo ao longo da paisagem (WILDING & DREES, 1983). Tal variabilidade ocorre devido à combinação dos fatores de formação do solo e a atuação diferenciada dos processos pedogenéticos. BECKETT & WEBSTER (1971) sugerem cinco fontes para a variabilidade dos solos: (i) a forma de relevo; (ii) o material de origem; (iii) a gradação continental do clima produzindo mudanças graduais no solo; (iv) contraste na topografia regional e; (v) atividade biológica. Nota-se que para obter uma melhor precisão nos limites das unidades de mapeamento é necessário, não apenas conhecer as relações existentes entre o solo e os elementos da paisagem, mas também, utilizar as informações provenientes dos pontos amostrados em todos os seus delineamentos.

Nos planejamentos agropecuários e ambientais não tem sido incorporado o conhecimento das variações dos solos que ocorrem dentro das unidades de mapeamento, no sentido de evitar a degradação dos recursos naturais, bem como auxiliar na redução dos custos de produção das atividades agrícolas. THOMAS et al. (1989), analisando a variabilidade de atributos do solo, realizou amostragem em cinco delineamentos de uma determinada unidade de mapeamento. Com base na análise estatística descritiva foi possível observar uma elevada variação dos solos em todos os delineamentos analisados. Outros autores também verificaram variações de solos entre delineamentos de uma mesma unidade de mapeamento (WANG, 1982a; EDMONDS et al., 1985; AMEYAN, 1986), evidenciando a necessidade de informações complementares que permitam o conhecimento de tais variações.

Os métodos tradicionais de compilação de mapas de solos tendem a ser qualitativos (SILVA, 2000), omitindo informações a respeito da variação dos solos. Isso pode resultar em dúvidas quanto à confiabilidade dos dados fornecidos nos levantamentos pedológicos. BRUBAKER & HALLMARK (1991), BURROUGH (1991) e GOOVAERTS (1999) destacam a importância em se utilizar técnicas estatísticas e geoestatísticas para elaborar esquemas de amostragem para mapeamento e caracterização do solo. Esse tipo de estudo gera

uma grande quantidade de informações georreferenciadas, permitindo uma análise quantitativa dos atributos do solo.

A pedometria, portanto, vem tomando espaço da pedologia tradicional (McBRATNEY et al., 2000), devido à grande demanda por informações quantitativas, como por exemplo, em trabalhos de: modelagem matemática de perda de solo; manejo de microbacias hidrográficas; contaminação de lençol freático e aqüíferos subterrâneos; etc. Essa mudança de enfoque tem ocorrido devido à necessidade por informações complementares, assim como, a facilidade com que essas informações são trabalhadas nos sistemas de informação geográfica, os quais permitem agilizar o armazenamento e processamento dos dados (BURROUGH, 1993; ROGOWISKI & WOLF, 1994).

2.3. Métodos estatísticos utilizados em Levantamentos Pedológicos

2.3.1. Estatística descritiva e tratamento de dados

A estatística descritiva paramétrica considera a distribuição normal dos valores e os seus princípios e fundamentos estão descritos, principalmente, em FISHER (1950) e SNEDECOR (1967).

A distribuição de uma determinada população é representada por parâmetros estatísticos que podem ser divididos em três classes: (i) de tendência central; (ii) de dispersão dos dados e; (iii) de assimetria e curtose (SPIEGEL, 1993).

Os parâmetros de tendência central mais conhecidos são: a média, a mediana e a moda. A média tem sido muito utilizada na estatística básica, pois é de fácil obtenção e tem boa representatividade quando os dados apresentam distribuição normal. Ressalta-se que em populações onde ocorrem dados discrepantes ou valores extremos, ou mesmo assimetria na distribuição dos dados, a média não é o parâmetro mais adequado para descrever tal população (WEBSTER, 1977). A mediana representa o valor central da variável, em que o número de observações de valores maiores e menores que a mediana são iguais. Em relação à média ela tem a vantagem de ser menos sensível aos valores extremos (WEBSTER & OLIVER, 1990). A moda de um conjunto de dados, por sua vez, é o valor que ocorre com maior freqüência, podendo apresentar mais de um valor (SPIEGEL, 1993).

As medidas de tendência central ou de posição, geralmente, são insuficientes para caracterizar, de forma confiável, as variações dos conjuntos de dados, havendo a necessidade de utilizar-se medidas de dispersão, as quais são representadas pela amplitude total, pelo desvio-padrão e pela amplitude interquartílica.

Complementando os parâmetros descritos acima e descrevendo as características da curva de distribuição tem-se a medida de assimetria e de curtose (achatamento), sendo derivadas, respectivamente, do terceiro e quarto momentos centrados na média (WEBSTER & OLIVER, 1990).

Para investigar a assimetria e a curtose de uma distribuição, FISCHER (1958) propôs a utilização dos coeficientes g_1 e g_2, respectivamente. No caso da assimetria divide-se o coeficiente g_1 por $(6/n)^{0,5}$, obtendo-se o valor que deve ser comparado com o valor "t" tabelado ao nível de significância desejado. Quando o módulo do valor calculado for menor que o valor encontrado na tabela ("t") tem-se uma distribuição simétrica. Caso contrário, a distribuição é assimétrica, podendo ter assimetria positiva ou negativa. A curtose, em uma distribuição normal, tem o valor igual a três e nesse caso a curva denomina-se mesocúrtica. Para valores menores a distribuição passa a ser denominada platicúrtica (topo achatado) e para valores maiores, denomina-se leptocúrtica (picos relativamente altos). Para testar se o coeficiente de curtose (g_2) desvia significativamente de zero divide-se o seu valor por $(24/n)^{0,5}$, comparando também com o valor "t" tabelado.

A maioria dos atributos do solo apresenta distribuição assimétrica (YOUNG et al., 1998; YOUNG et al., 1999), o que dificulta a escolha da melhor medida de tendência central a ser usada (WEBSTER, 1977). A condição de assimetria faz com que a comparação entre médias de diferentes grupos de dados seja especialmente incerta devido às mudanças de variâncias de um grupo ao outro. Além disso, estimativas dos limites de confiança da média e, principalmente, estimativas dos limites de classe podem ser totalmente errôneas se a normalidade é assumida quando na realidade há assimetria e/ou apreciável curtose (MENK & NAGAI, 1983).

Um dos procedimentos que tem sido muito utilizado para a transformação de dados que não seguem uma distribuição normal é o sistema Johnson de distribuição de probabilidade (JOHNSON, 1949). O autor propôs a transformação do tipo $Z = \gamma + \delta\, f(X)$, desenvolvendo um sistema de três classes de distribuição. O ajuste dos dados com distribuição não-normal para o

sistema de Johnson consiste: a) na seleção do tipo de transformação (S_B, S_L ou S_U) com base no terceiro e quarto momentos da distribuição dos dados observados e; b) na estimativa dos parâmetros (γ, δ, ε, λ) da função escolhida com base na translação da densidade de freqüência observada, referente a um intervalo do atributo X, para uma correspondente densidade teórica, referente ao intervalo da escala normal reduzida Z (NAGAI & MENK, 1976; MENK & NAGAI, 1983). MAKLIN (1973) afirma que a estimativa dos parâmetros ε e λ nem sempre é necessário, sugerindo o uso do mínimo e amplitude de variação dos dados originais.

Vários autores confirmam a eficiência da transformação de dados utilizando o método de Johnson (MAKLIN, 1973; MENK & NAGAI, 1983; ZHOU & McTAQUE, 1996; CHOU et al., 1998), possibilitando, inclusive, que o seu processamento seja realizado de forma automática em computadores, utilizando algoritmos (SLIFKER & SHAPIRO, 1980; POLANSKY et al., 1999; TUENTER, 2001).

BREDJA et al. (2000) utilizaram parâmetros da estatística descritiva e distribuição de freqüência para analisar a variação de atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Os autores verificaram que a maioria dos atributos estudados apresentou também distribuição assimétrica havendo a necessidade de transformar os dados para a sua normalização e, posterior cálculo dos parâmetros estatísticos descritivos. Por outro lado, AMEYAN (1986,) analisando também atributos do solo em diferentes delineamentos de uma determinada unidade de mapeamento, verificou que, para alguns atributos, os histogramas indicaram uma distribuição aproximadamente normal e que a transformação dos dados não trouxe uma melhoria significativa. Isso evidencia que apesar de haver uma tendência da distribuição dos atributos do solo apresentarem assimetria (YOUNG et al., 1999; BREDJA et al., 2000) há necessidade de verificar a distribuição dos dados dentro das unidades de mapeamento para a tomada de decisão de transformação ou não desses dados.

Em levantamentos pedológicos poucos autores apresentam informações relacionadas à dispersão dos atributos do solo (OLIVEIRA et al., 1982; OLIVEIRA & PRADO, 1984; OLIVEIRA & MENK, 2000; BERTOLANI et al., 2000), para caracterizar a variação dos mesmos dentro das unidades de mapeamento. Quando isso ocorre, os parâmetros estatísticos são calculados utilizando todos os pontos amostrados na unidade de mapeamento, exceto as inclusões, o que impossibilita a detecção da variação dos atributos do solo em cada um dos diferentes delineamentos que compõem uma determinada unidade de mapeamento. Tal fato

indica a necessidade de um maior detalhamento e estudo para o tratamento dos dados e análise estatística, bem como para a apresentação dessas informações nos boletins e mapas, fornecendo, assim, informações mais detalhadas aos usuários de levantamentos de solos.

O "box-plot" tem sido muito utilizado como uma análise exploratória de dados (LIBARDI et al., 1996; GONÇALVES, 1997; MATA, 1997; FIETZ, 1998), complementando a análise da estatística descritiva, bem como para detectar e visualizar os atributos do solo considerados como dados discrepantes ("outliers").

LIBARDI et al. (1996), estudando a variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico, verificaram que a escolha de uma medida de posição (média ou mediana) e a caracterização de sua variabilidade devem ser realizadas não apenas pelo resumo estatístico, mas, também confirmadas por técnicas de análise exploratória de dados, isto é, análises complementares, como por exemplo, o "box-plot". Os mesmos autores complementam que os parâmetros da estatística descritiva podem ser bastante afetados pela presença de valores discrepantes ou periféricos, denominados "outliers", de forma que a qualidade desses parâmetros estatísticos, por si só, como avaliadores da variabilidade, pode ser questionada.

GONÇALVES (1997) e FIETZ (1998) avaliando a variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação, também utilizaram os gráficos "box-plot" para avaliar a distribuição dos valores no espaço e para se decidir sobre os valores periféricos.

BROWN & HUDDLESTON (1991) propuseram a utilização de parâmetros estatísticos para representar as unidades de mapeamento em levantamentos de solo. No entanto, os mesmos autores alertam que a utilização de parâmetros estatísticos descritivos isolados pode não ser apropriada para representar as unidades de mapeamento, e também, para ser aplicada em análises de risco em interpretação de mapas de solos.

Segundo MAYS (1996) a comunidade científica envolvida com a ciência do solo tem falhado ao desenvolver ou aplicar metodologias ou métodos que incorpore uma abordagem quantitativa para o acesso às informações do solo, porque isso requer tempo, recursos e conhecimento extras.

2.3.2. Geoestatística

A técnica da goestatística foi elaborada por KRIGE (1951) e desenvolvida por MATHERON (1963), o qual formulou a base da teoria das variáveis regionalizadas. Esse procedimento permite detectar se os valores de uma propriedade do solo estão, de alguma forma, relacionados à sua distribuição espacial. Portanto, para que haja dependência espacial, as observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; JOURNEL & HUIJBREGTS, 1991).

De acordo com VIEIRA (2000) um dos procedimentos mais antigos de estimar a dependência espacial ou temporal de amostras vizinhas é através da autocorrelação, a qual foi muito utilizada por vários autores no estudo de propriedades do solo (WEBSTER, 1973; VIEIRA et al., 1981; LIBARDI et al., 1986; REICHARDT et al., 1986; SILVA et al., 1989). Tal procedimento é representativo quando se tem amostragem realizada somente em uma direção, como é o caso dos transetos. No entanto, se as amostras forem coletadas em duas dimensões há a necessidade de se utilizar o semivariograma que é uma ferramenta mais adequada para essa situação (VIEIRA, 2000).

O gráfico das semivariâncias obtidas (γ) em função dos valores correspondentes de distância entre amostragem (h), representa o semivariograma (Figura 1).

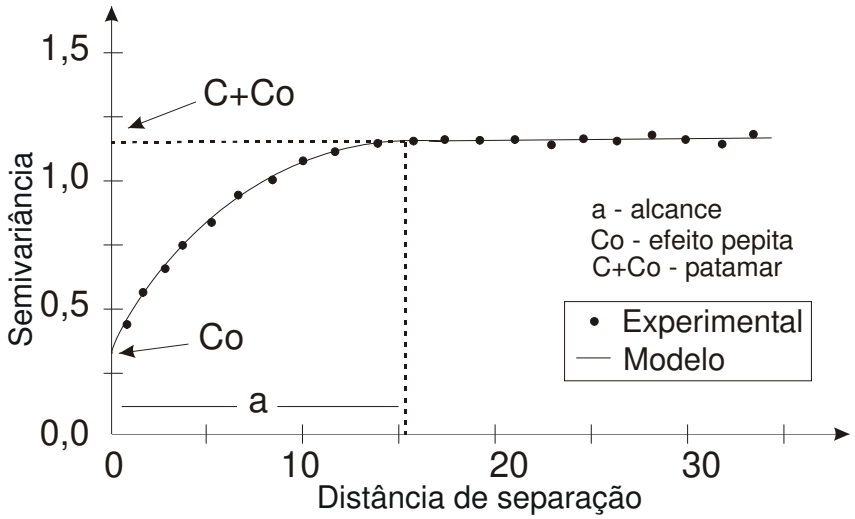

Figura 1. Semivariograma experimental e modelo matemático ajustado.

Os modelos que tem sido testados para atributos do solo são, predominantemente, os seguintes: esférico, exponencial, gaussiano e linear (MCBRATNEY & WEBSTER, 1986; VIEIRA, 2000). O ajuste matemático dos dados no gráfico define o modelo do

semivariograma e, conseqüentemente, os seguintes parâmetros: **efeito pepita** (**Co**) - valor de γ quando h = 0; **alcance** da dependência espacial **(a) -** valor de h quando a semivariância (γ) estabiliza próximo a um valor constante; **patamar (C+Co)** - valor da semivariância (γ) quando h = a.

A variabilidade espacial dos atributos do solo, portanto, pode ser bem representada por procedimentos geoestatísticos. CAMBARDELLA et al. (1994) utilizaram tanto parâmetros estatísticos descritivos (média, desvio-padrão, coeficiente de variação), como a análise geoestatística (semivariogramas), sendo esta considerada pelos autores uma metodologia complementar aos estudos estatísticos convencionais, a qual tem sido amplamente utilizada na detecção da variabilidade espacial de atributos do solo (McBRATNEY et al., 1991; ALBUQUERQUE et. al., 1996; VIEIRA et al., 1997; BURROUGH et al., 1997; McBRATNEY et al., 2000; BERG & OLIVEIRA, 2000; BERTOLANI & VIEIRA, 2001).

Aplicando procedimentos estatísticos descritivos e a geoestatística para uma cronosseqüência de solos, SALDAÑA et al. (1998) analisaram a distribuição espacial de algumas propriedades do solo (frações granulométricas, pH, carbonato de cálcio e carbono orgânico). Nesse trabalho a geoestatística contribuiu para estabelecer um modelo de evolução da paisagem. Com o procedimento estatístico foi possível analisar as diferenças entre terraços e, com a geoestatística identificaram-se variações do alcance dentro dos terraços em diferentes escalas.

Utilizando alguns delineamentos de uma mesma unidade de mapeamento ROGOWISKI & WOLF (1994), estudaram a variabilidade espacial da densidade do solo e da condutividade hidráulica, utilizando análises geoestatísticas conjugado a um sistema de informação geográfica. Esse procedimento possibilitou detectar e visualizar importantes variações existentes nos diferentes delineamentos.

MCBRATNEY & PRINGLE (1997), demonstraram a importância do semivariograma para a determinação da variabilidade espacial dos solos, assim como, a necessidade da elaboração de um banco de dados contendo informações quantitativas dos atributos do solo, o que permite um conhecimento mais detalhado da área.

Nota-se, portanto, uma crescente demanda por dados quantitativos de atributos do solo, bem como pelo conhecimento da variabilidade desses atributos em levantamentos pedológicos. Amostragens adequadas juntamente com análises de parâmetros da estatística

descritiva e da geoestatística podem fornecer essas informações adicionais. No entanto, há a necessidade de organizar corretamente esses dados e apresentá-los, de forma clara e acessível, permitindo que os usuários utilizem essas informações em seus planejamentos, melhorando a qualidade dos mesmos.

2.4. Apresentação da variabilidade de atributos em levantamentos pedológicos

Os solos variam ao longo da paisagem devido à intensidade de manifestação de seus fatores e processos de formação. Quanto maior a variação desses fatores, principalmente a do material de origem e a do relevo, maior será a heterogeneidade dos solos em uma determinada área. Tal fato pode ser exemplificado com os solos ocorrentes nos compartimentos geomorfológicos do Planalto Atlântico e do Planalto Ocidental, localizados no Estado de São Paulo, e que apresentam formas de relevo e materiais de origem distintos. No Planalto Atlântico observa-se uma variação de relevo (ROSS & MOROZ, 1997) e de materiais de origem (IPT, 1981a; IPT, 1981b) bem mais acentuada do que no Planalto Ocidental, implicando, também, em uma variação de solos mais elevada naquele compartimento.

Com o intuito de conhecer a disposição dos solos, nos levantamentos pedológicos são delimitadas áreas com solos ou grupo de solos que apresentam um conjunto de atributos semelhantes. Essas áreas são representadas no mapa de solos pelas unidades de mapeamento, sendo possível indicar manejos diferenciados para cada uma delas. No entanto, dependendo da escala do mapa, como os exploratórios, esquemáticos e de reconhecimento, indicações de manejo podem não ser adequadas. Nesses mapas, as unidades de mapeamento apresentam, de forma geral, associações (unidades de mapeamentos compostas) podendo conter classes de solos bastante distintas e em alto nível categórico, devido ao nível de detalhamento que é baixo (EMBRAPA, 1995). Por outro lado, em mapas pedológicos detalhados a ultradetalhados, dada a elevada densidade de amostragem, é comum que as unidades de mapeamento, sejam representadas por unidades simples (EMBRAPA, 1995). Os levantamentos pedológicos ao nível de semidetalhe, por sua vez, ficam em uma condição intermediária, apresentando unidades simples e compostas, porém estas quando presentes são formadas, na maioria das vezes, por classes de solos semelhantes. Isso evidencia a ocorrência de variações dos atributos dos solos dentro das unidades de mapeamento em levantamento semidetalhado, podendo incorrer em erros interpretativos quando tais levantamentos são

utilizados em trabalhos que exigem maior detalhamento, como é o caso de planejamentos conservacionistas (BREGT et al., 1992; FORMAGGIO et al., 1992; GODOY & LOPES-ASSAD, 2002).

Na tentativa de se conhecer melhor a variação dos atributos dos solos ao longo da paisagem, os boletins dos levantamentos produzidos no Instituto Agronômico de Campinas apresentam um item específico comentando as variações e inclusões que venham a ocorrer nas unidades de mapeamento, bem como tabelas apresentando parâmetros de dispersão estatística (OLIVEIRA et al., 1982; OLIVEIRA & PRADO, 1984; OLIVEIRA & MENK, 1999; BERTOLANI et al., 2000). Tais informações são muito úteis para os usuários desses trabalhos, porém não indicam como ocorrem tais variações dentro de cada um dos delineamentos, o que dificulta, na prática, a interpretação e utilização dessas informações. Há, portanto, necessidade de estudos mais aprofundados direcionados a detectar a melhor forma de apresentação de tais informações, contribuindo assim para melhorar a qualidade desses levantamentos.

A qualidade dos mapas pedológicos depende dos componentes pedológico e cartográfico. O componente pedológico está relacionado: ao tipo de levantamento; ao nível categórico utilizado; aos tipos de unidades de mapeamento e seus componentes; aos métodos de prospecção e; ao sistema de amostragem e verificação de limites, refletindo na acurácia e na precisão da informação presente nos mapas. O componente cartográfico, por sua vez, depende da natureza do material básico utilizado; da escala do mapa planaltimétrico; dos mecanismos de transposição das unidades identificadas no campo para o mapa e; da área mínima mapeável, os quais refletem a facilidade de leitura do mapa (SILVA, 2000). Com base no exposto, a qualidade pedológica dos mapas de solo é representada pela acurácia e precisão e, a qualidade cartográfica relaciona-se com a concordância e legibilidade (MARSMAN & GRUIJTER, 1986). Os mesmos autores complementam que a acurácia pode ser determinada pelas medidas de pureza do mapa e a precisão com medidas de variabilidade. Por outro lado, a concordância pode ser medida pelos níveis de concordância (equivalentes, concordantes, semelhantes e não-correspondentes) e a legibilidade pela facilidade de leitura do mapa (número de unidades de mapeamentos, número de delineamentos, etc).

Além de textos e gráficos apresentados no boletim, outra forma de se apresentar a variabilidade dos solos é através de indicações cartográficas relacionadas com a legibilidade

do mapa. GIRARD (1984) preocupado com a necessidade de informações sobre a variabilidade do solo em mapas pedológicos desenvolveu um sistema em que a delimitação entre duas unidades de mapeamento (linha tracejada fina, linha tracejada em negrito, linha contínua, etc) representa o grau de similaridade ou dissimilaridade entre os solos nelas existentes. Tal representação possibilitou a inserção de informações adicionais relacionadas à variabilidade dos solos, complementando as que são apresentadas de forma convencional.

2.5. Atributos do solo apresentados em levantamentos pedológicos

2.5.1. Potencial hidrogeniônico

O pH é considerado como um importante atributo para uma análise preliminar do solo, pois conhecendo-se o seu valor é possível fazer algumas inferências tais como: a) pH (água) abaixo de 4,0 indica a presença de ácidos livres, bem como de excesso de alumínio trocável, prejudiciais ao desenvolvimento das plantas; b) pH (água) em torno de 8,0 indica a presença de carbonato de cálcio, denotando elevada soma de bases, em geral, associada à saturação por bases igualmente elevada; c) valor expressivo de delta pH (diferença aritmética entre os valores do pH em KCl e em água), indica a predominância de argilas silicatadas, quando o resultado é negativo, ou de óxidos de ferro e de alumínio, quando o delta pH é próximo de zero, zero ou positivo – solos muito intemperizados (KIEHL, 1979).

A variação do pH dos solos é bastante ampla, podendo ser encontrados valores inferiores a dois, como é o caso de "solos tiomórficos" drenados, tendo como exemplo o perfil 42 (ESTADOS UNIDOS, 1975) com pH de 1,7 até valores maiores que 10, em solos de regiões áridas.

2.5.2. Frações granulométricas

O solo é constituído por material mineral, orgânico e por poros que, estão preenchidos com água e/ou ar. A proporção desses constituintes, bem como do espaço poroso varia muito dependendo do tipo e condições do solo (MACHADO et al., 1981; CINTRA et al., 1983; FERNANDEZ MEDINA, 1985; ANJOS et al., 1994; PEÑA et al., 1996; DE MARIA et al., 1999). A composição granulométrica está relacionada apenas com a parte mineral do solo e é representada pela proporção relativa das frações granulométricas que compõem a terra fina

(frações de diâmetro igual ou inferior a 2 mm). As frações granulométricas são classificadas de acordo com o diâmetro das partículas (LEMOS & SANTOS, 1996), possibilitando a repartição das mesmas segundo determinados limites de intervalo de tamanho em classes: areia grossa, areia fina, silte e argila. Há inúmeras proposições para esses limites, contudo as mais difundidas na pedologia são: escala de Atterberg; do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e; no Brasil, a da Embrapa. Assim, conhecendo-se a proporção das frações de um determinado solo pode-se enquadrá-las em diferentes classes texturais: arenosa, argilosa, siltosa, etc.

O conhecimento das frações granulométricas do solo é de grande importância para os usuários de levantamentos pedológicos, pois muitas das suas propriedades estão à elas relacionadas, tais como infiltração de água, retenção de nutrientes, suscetibilidade à erosão, etc. Além disso, as frações granulométricas são muito estáveis não sofrendo variações importantes com o manejo (OLIVEIRA et al., 1992).

Durante a exploração agrícola um solo pode sofrer alterações nos atributos químicos (MUZILLI, 1983; CENTURION et al., 1985; TOGNON et al., 1997), nos físicos (SILVA et al., 1986; DIAS JUNIOR & ESTANISLAU, 1999; STONE & SILVEIRA, 2001) e nos biológicos (IMHOFF et al., 2001; ALBUQUERQUE & REINERT, 2001), no entanto, a proporção dos teores de areia, de silte e de argila sofre pouca ou quase nenhuma alteração. Ressalta-se que em determinadas situações tal afirmação não se aplica, como é o caso de alguns Argissolos com elevado gradiente textural e com horizonte A pouco espesso. Nesse caso, a aração pode provocar alteração na composição granulométrica, em uma determinada camada do solo, pois mescla o horizonte A com o horizonte subseqüente, o qual pode possuir teores mais elevados de argila.

2.5.3. Saturação por bases e por alumínio

Os valores de saturação por bases e por alumínio são calculados a partir de dados obtidos em determinações laboratoriais, os quais fornecem indicações, respectivamente, do nível de fertilidade, e do teor de alumínio trocável no solo.

A saturação por bases representa qual é a proporção dos cátions trocáveis (cálcio, magnésio, potássio e sódio) na neutralização das cargas negativas dos colóides do solo. Valores de saturação por bases elevados indicam boa disponibilidade desses cátions para as

plantas, bem como quantidades de H^+ e Al^{3+} proporcionalmente baixas na solução do solo. Por outro lado, a saturação por alumínio indica se há elevada quantidade de íons alumínio na solução do solo e, portanto, se há risco de toxidez para as plantas. Quanto mais elevado o valor de saturação por alumínio maior o risco de toxidez e vice-versa.

2.5.4. Espessura do horizonte A

Os horizontes do solo são seções de constituição mineral ou orgânica, aproximadamente paralelas á superfície do terreno; parcialmente expostas no perfil do solo e; dotadas de propriedades geradas por processos formadores do solo, que lhe conferem características de inter-relacionamento com outros horizontes componentes do perfil, dos quais se diferenciam em virtude de diversidade de atributos resultantes da ação pedogenética (CURI et al., 1993).

O horizonte A, por sua vez, é considerado um horizonte mineral superficial, no qual as feições enfatizadas são a acumulação de matéria orgânica associada à fração mineral e a atividade biológica. A espessura desse horizonte é muito variável em função dos fatores e processos de formação que lhe deram origem, bem como devido à influência antrópica, representada pelas atividades agrícola e de pecuária. O manejo incorreto do solo pode propiciar a ocorrência de processos erosivos e, conseqüentemente, a perda parcial ou total desse horizonte na forma de enxurradas, resultando em erosão laminar ou em sulco. Isso indica que a espessura do horizonte Á de um solo é fortemente influenciada pelo seu manejo.

O conhecimento da espessura do horizonte A é importante em vários aspectos, principalmente nos relacionados às atividades agrícolas, tais como: volume de solo com teor de matéria orgânica relativamente elevado, melhorando a absorção de nutrientes; capacidade de armazenamento e disponibilidade de água; escolha da profundidade adequada para a utilização de implementos agrícolas, etc.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição do meio físico

O município de Espírito Santo do Turvo possui aproximadamente 19.357 hectares e está localizado na região oeste do Estado de São de Paulo (Figura 2), na província geomorfológica do Planalto Ocidental, com cotas altimétricas variando de 500 a 630 metros e coordenadas geográficas aproximadas de 22º35' a 22º45' latitude sul e 49º31' a 49º19' longitude oeste.

O clima é subtropical de altitude com inverno seco (Cwa, segundo classificação de Köppen), com temperatura média anual 21,4ºC, e pluviosidade média anual de 1.443mm. O material geológico desse município é constituído por basalto do Grupo São Bento - Formação Serra Geral, localizado próximo ao Rio Turvo e alguns afluentes, e por Arenito do Grupo Bauru, Formação Adamantina (IPT, 1981b) acima do basalto.

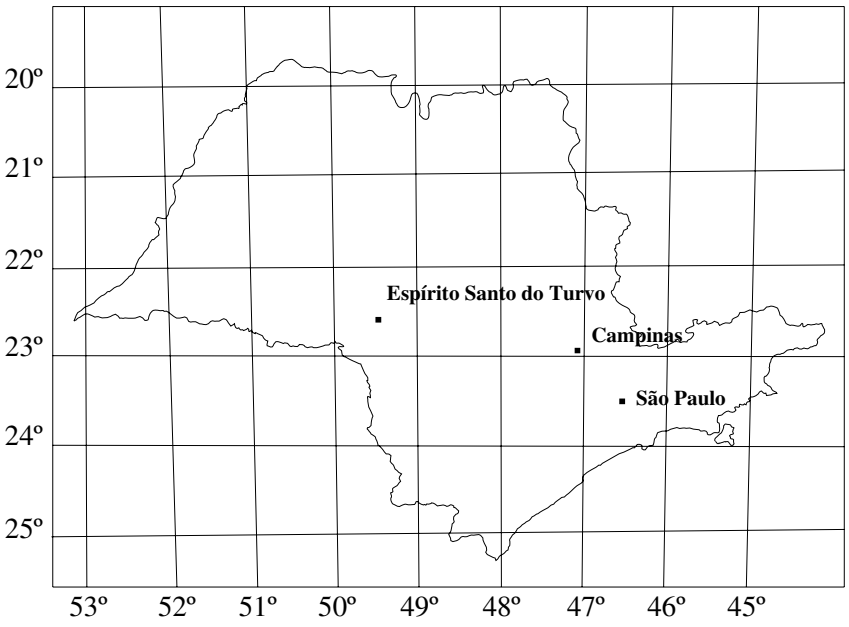

Figura 2. Localização do Município de Espírito Santo do Turvo no Estado de São Paulo.

A vegetação natural existente no município é a floresta latifoliada subcaducifólia (LEITÃO FILHO, 1982), representada por apenas alguns remanescentes às margens do Rio Turvo e em algumas áreas isoladas. A vegetação natural foi substituída, durante o processo de ocupação agropecuária por diversas culturas, com predominância de pastagens e cana de

açúcar. Atualmente, observa-se também o crescimento da fruticultura representada, principalmente pela cultura da melancia.

Nas cotas mais elevadas do município observa-se uma predominância de Latossolo Vermelho textura média em relevo plano a suave ondulado, Argissolo Vermelho textura arenosa/média em relevo suave ondulado a ondulado e, Argissolo Vermelho com caráter abrúptico em relevo ondulado a forte ondulado, denotando uma estreita correlação solo-paisagem, pois tem-se apenas o arenito Bauru como material de origem. Nas cotas mais abaixo verifica-se uma maior porcentagem de solos apresentando teor mais elevado de argila, em relação ao observado nas cotas mais altas, tanto para os Latossolos quanto para os Argissolos, devido à contribuição do material basáltico (Figura 3).

Com a utilização de fotografias aéreas (escala 1:35.000), imagens de satélite (escala 1:50:000) e observações de campo, detectou-se áreas com sinais evidentes de degradação do solo, representada por: variações na espessura do horizonte A; erosão laminar e em sulcos; presença de voçorocas profundas e extensas e; assoreamento de afluentes do Rio Turvo. Esses processos erosivos ocorrem, principalmente, em porções do relevo com declividade mais acentuada, e/ou relacionados a solos de textura mais arenosa em superfície.

3.2. Sistema de amostragem

Foram selecionadas, no mapa de solos do Município de Espírito Santo do Turvo duas unidades de mapeamento de grande importância para as atividades agropecuárias dessa região, representadas por solos que apresentam significativa distinção em relação à fisiografia, suscetibilidade à erosão e comportamento agronômico. Utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), MENK et al. (2000) classificaram tais solos como: Latossolo Vermelho Distrófico típico álico A moderado textura média e Argissolo Vermelho Distrófico típico álico ou não A moderado textura arenosa/média, os quais representam, em área, aproximadamente 61% do Município.

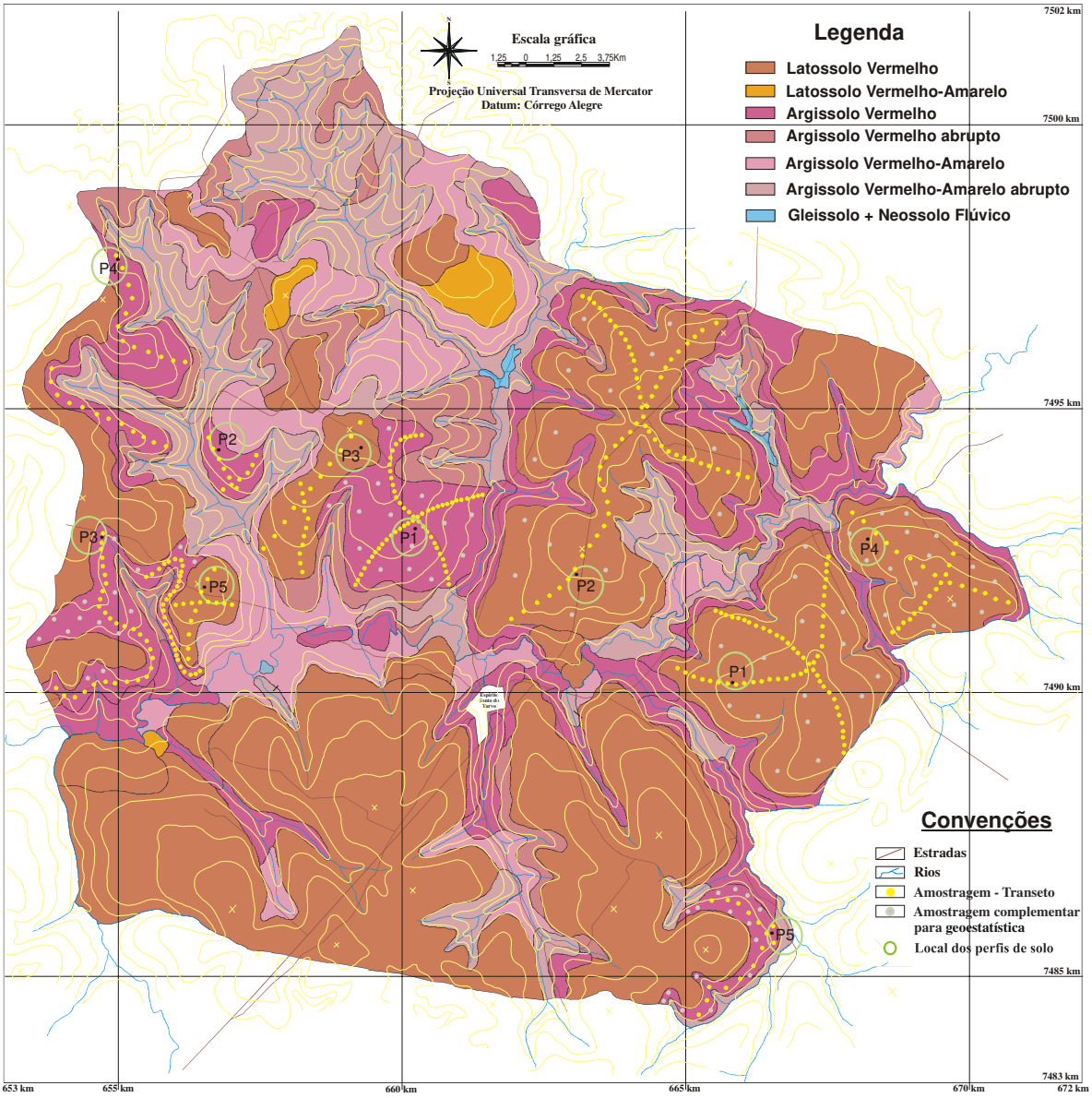

Figura 3. Mapa pedológico do município de Espírito Santo do Turvo com curvas de nível e pontos de amostragem georreferenciados.

Em cada uma dessas unidades de mapeamento foram selecionados cinco delineamentos, nos quais foram realizadas amostragens em transetos (WANG, 1982b). Esta forma de amostragem tem sido recomendada para o estudo da variação dos solos ao longo da paisagem (LEPSCH et al., 1977; MONIZ & BUOL, 1982; VIDAL-TORRADO, 1999; SILVA et al., 2001), assim como em mapeamento de solos (JOHNSON, 1961; NASH & DAUGHERTY, 1990; YOUNG & HAMMER, 2000). Foram posicionados 2 (dois) transetos em cada delineamento, totalizando 10 por unidade de mapeamento, de forma que ocupasse a

maior área possível, conferindo boa representatividade, dado que os delineamentos possuem geralmente formatos irregulares (Figura 3). Tanto as distâncias entre amostragem, como o comprimento dos transetos, apresentaram-se variáveis em função do tamanho de cada delineamento sendo os seguintes (área do delineamento; distância entre amostras do transeto1; distância entre amostras do transeto2): **a) Latossolo:** delineamento 1 (L1) = 1053ha;173m;135m; delineamento 2 (L2) = 1501ha;223m;173m; delineamento 3 (L3) = 298ha;264m;153m; delineamento 4 (L4) = 512ha;265m;130m e; delineamento 5 – (L5) = 148ha;208m;156m; **b) Argissolo:** delineamento 1 – (A1) = 529ha;133m;95m; delineamento 2 (A2) = 118ha;194m;165m; delineamento 3 (A3) = 386ha;157m;100m; delineamento 4 (A4) = 381ha;235m;195m e; delineamento 5 (A5) = 174ha;298m;231m. Esta forma de amostragem se ajusta ao sistema utilizado durante a coleta de amostras realizada em levantamentos de solo, isto é, não há eqüidistância entre os pontos amostrados, mantendo-se, contudo uma mesma densidade de pontos por área.

Foram coletadas amostras nos horizontes diagnósticos de superfície (horizonte A) e de subsuperfície (horizonte B). No primeiro a coleta foi realizada em uma profundidade fixa na camada de 0-20 cm, ou menos quando o horizonte superficial apresentou-se decapitado e, portanto, com espessura menor do que 20 cm. Já em subsuperfície houve diferença na profundidade de coleta entre os delineamentos de Latossolo e Argissolo. Para os Latossolos adotou-se a camada de 80-100 cm, e para os Argissolos a coleta deu-se na camada de 70-90 cm. Foi possível adotar esses valores em função do conhecimento prévio da profundidade de ocorrência do horizonte diagnóstico de subsuperfície, de ambos os solos, verificados no boletim referente ao levantamento de solos realizado neste município (MENK et al., 2000).

Para a análise geoestatística, além da utilização dos dados dos transetos procedeu-se a uma coleta complementar de 15 pontos nos delineamentos 1, 2 e 4 para a unidade de mapeamento Latossolo Vermelho e, nos delineamentos 1, 3, 5 para a unidade Argissolo Vermelho. Esses pontos adicionais de amostragem foram dispostos de tal forma que ficassem distribuídos por todo o delineamento, possibilitando a formação de uma malha de amostragem. Para a escolha dos delineamentos acima levou-se em consideração o tamanho dos mesmos, dado que os maiores delineamentos de cada unidade de mapeamento contém mais pontos de amostragem, conferindo, assim, melhor representatividade aos semivariogramas.

Todos os pontos amostrados foram georreferenciados com um GPS da marca Garmim. Isso possibilitou a marcação desses pontos no mapa de solos, utilizando o sistema de informação geográfica Idrisi.

3.3. Análises laboratoriais e valores calculados

As metodologias utilizadas nas análises físicas e químicas (alumínio trocável, bases trocáveis, pH em água e em KCl e granulometria) foram as mesmas adotadas pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico de Campinas (CAMARGO et al., 1986), sendo as seguintes:

Composição granulométrica: foi utilizado o método da pipeta, tendo-se como solução dispersante o hexametafosfato de sódio e o hidróxido de sódio (NaOH). Nesse método, a fração areia (grossa + fina) é separada por peneiras, a argila é determinada por pipetagem e o silte obtido por diferença entre às frações areia e argila. No enquadramento das classes texturais, utilizou-se o diagrama de repartição de classes generalizada de textura para a classificação dos solos (EMBRAPA, 1999) e o diagrama mais detalhado para os perfis de solos (LEMOS & SANTOS, 1996), como esquematizado na Figura 4.

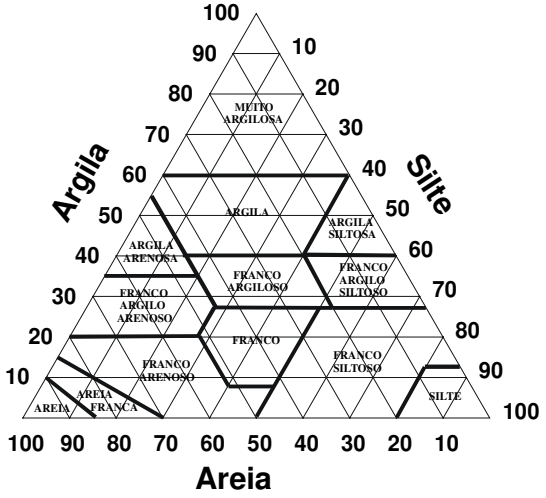

Diagrama de repartição de classes texturais para classificação granulométrica do material constitutivo de horizontes de perfis de solos (LEMOS & SANTOS, 1996)

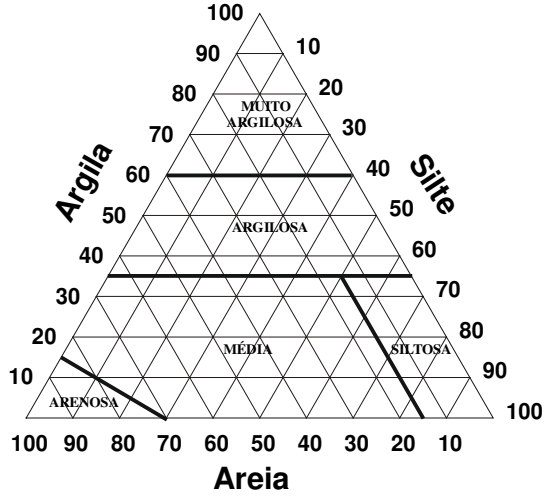

Diagrama de repartição de classes generalizadas de textura (EMBRAPA, 1999)

Figura 4. Diagramas de classes texturais utilizadas para descrição de perfil e para classificação de solos

Potencial hidrogeniônico (pH): para a determinação do pH utilizou-se um potenciômetro procedendo-se da seguinte maneira: pesou-se uma amostra de 10g de TFSA, a

qual foi colocada em 25 ml de água juntamente com a solução extratora (KCl 1N – utilizada para fins de classificação do solo). Após esse procedimento a solução final foi colocada em tubos separados e agitou-se por 10 minutos. Com o término da agitação as amostras permaneceram em repouso por 30 minutos e em seguida realizou-se as leituras no pHmetro, determinando, assim, a atividade hidrogeniônica da solução em água e em KCl separadamente;

Acidez potencial (H^+ e Al^{3+}): Na determinação da acidez potencial foi utilizada a titulação com fenolftaleína, procedendo-se da seguinte maneira: colocou-se solução extratora (acetato de cálcio) em uma amostra de 5 gramas de TFSA e agitou-se por 10 minutos. Após o procedimento de agitação, as amostras ficaram em repouso por um período de 16 horas, sendo posteriormente tituladas com a solução de NaOH, obtendo-se a quantidade de hidrogênio mais alumínio. Para determinar somente a quantidade de alumínio, realizou-se o mesmo procedimento de titulação, tendo como a única alteração a substituição da solução extratora acetato de potássio por cloreto d potássio. Com a determinação do alumínio mais hidrogênio, na primeira titulação e, somente do alumínio, na segunda titulação foi possível, por diferença, obter a quantidade de hidrogênio contido na amostra;

Bases trocáveis: na determinação das bases trocáveis (cálcio, magnésio, potássio e sódio) procedeu-se da seguinte maneira: pesou-se amostras de 5 gramas de TFSA em um erlenmeyer de 125 ml. Nesse recipiente adicionou-se também 50 ml da solução de acetato de amônio (1N – pH 7,0) e agitou-se mecanicamente por um período de 10 minutos. Após esse procedimento as amostras permaneceram em repouso por 16 horas e, posteriormente, com uma pipeta, retirou-se aproximadamente 10 ml do sobrenadante, transferindo-o para um recipiente de 25 ml. Desse recipiente retirou-se 0,5 ml de extrato para transferi-lo a um outro recipiente de 15 ml, adicionando-se, com repipetador, 19,5 ml da solução de óxido de lantânio (La_2O_3 - 0,2%), juntamente com 0,5 ml de acetato de amônio. Preparada a solução, com o espectrofotômetro de absorção atômica efetuaram-se as leituras para a determinação da quantidade de cálcio e de magnésio contido na amostra. Com o espectrofotômetro de chama determinou-se a quantidade de potássio e de sódio;

Saturação por bases: esse valor é obtido da seguinte maneira: soma-se o total de cátions trocáveis (Ca^{2+}, Mg^{2+},K^+ e Na^+), denominado de valor S, com os teores de alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio trocáveis (H^+), tendo-se com isso a capacidade de troca de cátions à pH7,0 (CTC).

Dividindo-se o valor S pela CTC obtêm-se então o grau de saturação por bases (V). Portanto, V(%) = (S/CTC)*100;

Saturação por alumínio: para a obtenção desse valor divide-se o teor de alumínio trocável pela somatória dos cátions trocáveis (valor S) e do teor de alumínio trocável (Al^{3+}). Portanto, m(%) = $[Al^{3+}/(S+Al^{3+})]*100$. Nota-se que tanto a saturação por bases, como a saturação por alumínio, foram multiplicadas por 100. Isso se deve ao fato de que ambos os valores são apresentados em porcentagem, seguindo-se as normas da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo;

Espessura do horizonte A: a espessura foi obtida por medições realizadas com uma régua graduada. Para isso foram abertas pequenas trincheiras (profundidade variando de 30 a 40cm) e, posteriormente feita a separação dos horizontes de acordo com os atributos morfológicos, principalmente a cor, a estrutura e a textura. Determinado o horizonte A procedeu-se então, a sua medição. A abertura das mini-trincheiras foi necessária, pois a transição dos horizontes, em ambos as unidades de mapeamento estudadas, ocorre de forma gradual e difusa e, portanto, de difícil percepção quando se utiliza apenas o procedimento de prospecção com tradagens. Para a distinção do horizonte A utilizou-se os seguintes atributos morfológicos: cor, textura e estrutura (LEMOS & SANTOS, 1996). De todos os procedimentos descritos acima, esse é o único que não está em CAMARGO et al (1986).

Os atributos do solo avaliados nesse projeto (CTC; soma de bases; saturação por bases; saturação por alumínio; pH; espessura do horizonte A; teores de argila, silte e areia total) foram selecionados em função do grau de importância que os mesmos tem na realização de planejamentos agropecuários e ambientais.

3.4. Preparação dos dados

Em unidades de mapeamento é comum a ocorrência de outros tipos de solos e em proporções muito menores que o componente ou componentes principais. Estas ocorrências são designadas por inclusões e, em geral, podem ocorrer em menos de 20% da área total da unidade de mapeamento quando aparecem isoladamente (EMBRAPA, 1989). Quando ocorre mais de um tipo inclusão, aceita-se até 30% (EMBRAPA, 1979).

Com base nisso, os dados de todos os atributos do solo foram inseridos em uma planilha do programa Excel, por delineamento, para verificar a ocorrência dessas inclusões

dentro de cada um dos delineamentos referentes às unidades de mapeamento estudadas. Para isso, analisou-se o conjunto de atributos em cada solo amostrado, verificando se os atributos estavam dentro dos limites estabelecidos para a unidade em questão.

Identificado os solos considerados inclusão, elaborou-se uma outra base de dados, eliminando-se o conjunto de atributos dos solos pertencentes às inclusões. Isso foi necessário visto que o cálculo dos parâmetros estatísticos foi realizado com e sem as inclusões, para possibilitar comparações.

Algumas informações georreferenciadas foram extraídas do levantamento pedológico do município de Espírito Santo do Turvo (MENK et al., 2000), tais como o mapa de localização da área estudada e o mapa de solos. O mapa, contendo o posicionamento dos transetos e dos perfis dentro dos delineamentos amostrados, foi digitalizado no programa Tosca (JONES, 1993) e, posteriormente, transferido para o sistema de informação geográfica Idrisi (EASTMAN, 1995). Nesse sistema procedeu-se também ao cálculo de área para cada delineamento.

3.5. Procedimento estatístico descritivo

Inicialmente foi determinada a distribuição de freqüência de todos os atributos analisados para verificar o tipo de distribuição dos dados (CONAGIN et al., 2000). Para isso obteve-se os histogramas por atributo, em todos os delineamentos de ambas as unidades de mapeamento, utilizando-se o programa Plotit (PLOTIT, 1995).

Para a investigação dos tipos de assimetria e de curtose, foram utilizados os coeficientes de assimetria (g_1) e de curtose (g_2), sendo calculados, respectivamente, por (FISHER, 1958):

$$g_1 = m_3/(m_2^{3})^{0,5} \quad (1)$$

$$m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^3 \quad (2)$$

em que m_2 é o momento de segunda ordem sendo igual à variância (WEBSTER & OLIVER, 1990) e m_3 é o terceiro momento centrado na média.

$$g_2 = [m_4/(m_2)^2]-3 \quad (3)$$

$$m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^4 \quad (4)$$

em que m_4 é o quarto momento centrado na média.

Utilizando os coeficientes g_1 e g_2 fez-se o teste de assimetria e de curtose procedendo-se da seguinte maneira:

$$g_1/(6/n)^{0,5} \text{ (assimetria)} \quad (5)$$

$$g_2/(24/n)^{0,5} \text{ (curtose)} \quad (6)$$

em que os valores acima devem ser comparados com o valor "t" tabelado ao nível de significância desejado.

No caso da distribuição não-normal, os dados foram transformados para que as distribuições dos mesmos se tornassem normalizados, permitindo assim que os parâmetros descritivos caracterizem de maneira mais adequada a unidade de mapeamento (MENK & NAGAI, 1983). Para isto utilizou-se a transformação do tipo $Z = \gamma + \delta\, f(X)$ (JOHNSON, 1949), baseado nos seguintes sistemas de classes de distribuição:

$$S_L:\ Z = \gamma + \delta\, \text{Log}[(X- \varepsilon)/\lambda)]\ ,\ X \geq \varepsilon; \quad (7)$$

$$S_B:\ Z = \gamma + \delta\, \text{Log}[(X- \varepsilon)/(\lambda + \varepsilon - X)]\ ,\ \varepsilon \leq X \leq \lambda + \varepsilon; \quad (8)$$

$$S_U:\ Z = \gamma + \delta\, \text{senh}^{-1}[(X- \varepsilon)/\lambda)]\ ,\ -\infty < X < +\infty. \quad (9)$$

em que γ e δ determinam a posição e forma da distribuição normal reduzida; Z, ε e λ medidas de posição e de amplitude dos dados observados em X.

O ajuste dos dados com distribuição não-normal para o sistema de Johnson consiste de duas etapas:

a) Seleção do tipo de transformação (S_B, S_L ou S_U) com base no terceiro e quarto momentos da distribuição dos dados observados (β_1^{-1} e β_2). Para isso foi utilizado o método proposto por Johnson (1949), o qual recomenda o uso de $\beta_1 = g_1^2$ e $\beta_2 = g_2+3$, sendo g_1 coeficiente de assimetria e g_2 coeficiente de curtose, selecionando-se o tipo de transformação mais adequado (Figura 5). Para agilizar e facilitar os cálculos, MENK & NAGAI (1983) sugeriram uma alternativa descritiva ao invés de utilizar o gráfico, procedendo-se da seguinte maneira:

$$T_1 = \beta_2 - \beta_1 - 1 \quad (10)$$

$$T_2 = \beta_2 - 1{,}89*\beta_1 - 3 \quad (11)$$

em que: se $T_1 < 0$, encontra-se na área crítica e não há função definida; se $T_2 < 0$, tipo de transformação é S_B; se $T_2 = 0$, o tipo é S_L e; se $T_2 > 0$, o tipo é S_U. Para a definição das áreas críticas efetuou-se uma correção no trabalho original de MENK & NAGAI (1983).

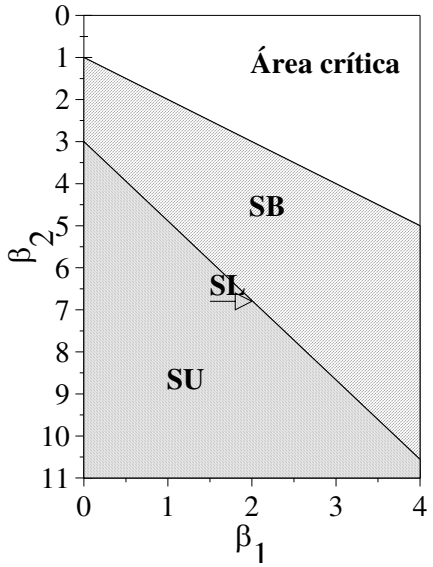

Figura 5. Sistemas de transformação de Johnson (S_B, S_L ou S_U)

b) Estimativa dos parâmetros (γ, δ, ε, λ) da função escolhida. Para isso utiliza-se o método dos quadrados mínimos em regressão linear:

$$Z = \gamma + \delta L \quad (12)$$

sendo

$$L = \log[y] \text{ para } S_L; \quad (13)$$

$$L = \log[(y/(1-y)] \text{ para } S_B \text{ e;} \quad (14)$$

$$L = \log[y+(y^2+1)^{1/2}] \text{ para } S_U \quad (15)$$

em que $y=(X-\varepsilon)/\lambda$); ε é o valor mínimo e; λ a amplitude de variação dos dados.

Os parâmetros estatísticos foram calculados abordando as seguintes formas de análise:

a) Conjunto de dados de todos os delineamentos da unidade de mapeamento. Com isso têm-se os parâmetros estatísticos para apenas um grupo de dados, desconsiderando a estratificação dos delineamentos de solo;
b) Conjunto de dados de cada delineamento da unidade de mapeamento. Nesse tipo de análise obtêm-se então os parâmetros para cada delineamento de solo individualizado;

Com essa forma de análise é possível verificar as variações dos atributos selecionados: i) entre delineamentos de uma mesma unidade de mapeamento e; ii) entre as duas unidades de mapeamento.

Os parâmetros da estatística descritiva calculados foram: valores mínimo e máximo, média ($\overline{X}$), variância (s^2) desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV) e intervalo de classe.

Complementando a análise da estatística descritiva, bem como para detectar e visualizar os atributos do solo considerados dados discrepantes ("outliers"), utilizou-se o "box-plot" (Figura 6). Nesta metodologia os dados discrepantes são aqueles que apresentam valores menores que a diferença entre o quartil inferior e 1,5 vezes a amplitude interquartílica ou valores maiores que a soma do quartil superior com 1,5 vezes a amplitude interquartílica (MINITAB™ Inc., 1995).

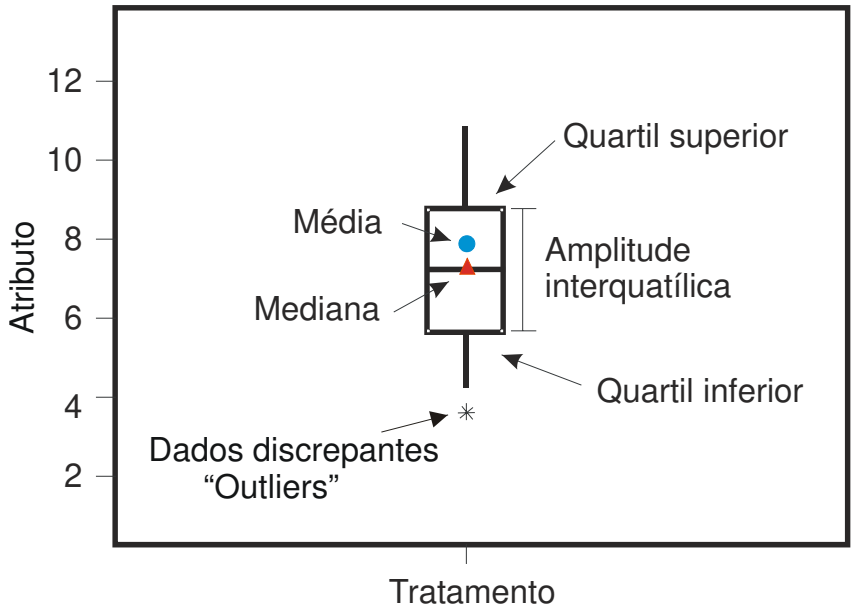

Figura 6. "Box-plot" experimental e seus respectivos parâmetros.

3.6. Procedimento geoestatístico

A geoestatística foi utilizada com o propósito de avaliar a dependência espacial de alguns atributos do solo, em alguns delineamentos das unidades de mapeamento estudadas, usando o semivariograma para a análise da variabilidade espacial. Esse procedimento da geoestatística pode ser estimado por meio da seguinte equação (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1991; VIEIRA, 2000):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \qquad (16)$$

em que $\gamma(h)$ é a semivariância; N(h) é o número de pares de valores medidos, "$Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$", separadas por uma distância h e; Z representa os valores medidos dos atributos do solo.

Para o cálculo dos semivariogramas foi utilizado o software geoestatístico Variowin (PANNATIER, 1995), procedendo-se da seguinte maneira: a) preparação do arquivo contendo o cabeçalho próprio para a execução do programa (unidade de mapeamento/delineamento estudado; número de variáveis; descrição das variáveis) e os dados propriamente ditos, utilizando o Excel; b) comparação dos pares de dados para o cálculo das semivariâncias, utilizando Prevar2D.exe; c) cálculo do semivariograma utilizando o arquivo gerado no Prevar2D (valores de semivariância em função da distância) realizado com programa Vario2D.exe; d) ajuste dos modelos matemáticos para obtenção dos parâmetros do semivariograma (pepita, patamar e alcance), utilizando-se o Model.exe.

Os semivariogramas foram escalonados para possibilitar a interpretação dos atributos do solo, sendo obtidos através da divisão dos valores de semivariância pela variância dos valores medidos (VIEIRA et al., 1997).

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos semivariogramas utilizou-se um método de validação, no qual foram analisados os valores de média e variância dos erros reduzidos (SOUZA et al., 1997). Os modelos testados foram os seguintes:

a) esférico (Sph), $\gamma(h) = C_0 + C_1[1{,}5(h/a) - 0{,}5(h/a)^3]$ (17)

para $0<h<a$ e $\gamma(h) = Co + C1$ para $h>a$;

b) exponencial (Exp), $\gamma(h) = C_0 + C_1[1-\exp(-3h/a)]$ (18)

para $0<h<d$, onde d é a distância máxima na qual o semivariograma é definido;

c) gaussiano (Gau)), $\gamma(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-3h^2/a^2)]$. (19)

d) linear (Lin), $\gamma(h) = C_0 + (C_1/a)h$; $0<h<a$ e $\gamma(h) = Co + C1$ (20)

para $h>a$.

No semivariograma é possível visualizar que os valores de semivariância vão aumentando à medida que a distância entre amostragem também aumenta, até atingir o patamar (valor próximo da variância). Esse valor corresponde a uma distância "a" denominado alcance. Com isto pode-se dizer que as amostras separadas por distâncias menores que o valor do alcance são correlacionadas espacialmente.

A dependência espacial foi estudada utilizando o semivariograma e também a relação percentual do efeito pepita com a semivariância total, a qual é representada pelo valor do patamar (CAMBARDELLA et al., 1994). Com isso, para classificar a dependência espacial os mesmos autores consideraram as seguintes classes: relação menor que 25% indica forte dependência espacial; quando esse valor está entre 25 e 75% a dependência é moderada e; relação maior que 75%, dependência fraca.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Relação solo-paisagem da área de estudo (município de Espírito Santo do Turvo)

Analisando a distribuição dos solos contidos no mapa do levantamento pedológico do município de Espírito Santo do Turvo (MENK et al, 2000), bem como nos transetos de amostragem obtidos nesse trabalho, verificaram-se dois padrões de relevos e, conseqüentemente, de diferentes litosseqüências representativas de solos, visto que o relevo é um dos fatores de marcante influência na formação do solo.

Observou-se que ao Norte do município o relevo apresenta-se mais movimentado, sendo uma região com predominância de Argissolos. A litosseqüência representativa (Figura 7) evidencia o domínio de Argissolos com textura arenosa/média (unidade de mapeamento estudada). Este fato se deve à presença de material de origem relativamente homogêneo relacionado ao arenito do Grupo Bauru – formação Adamantina.

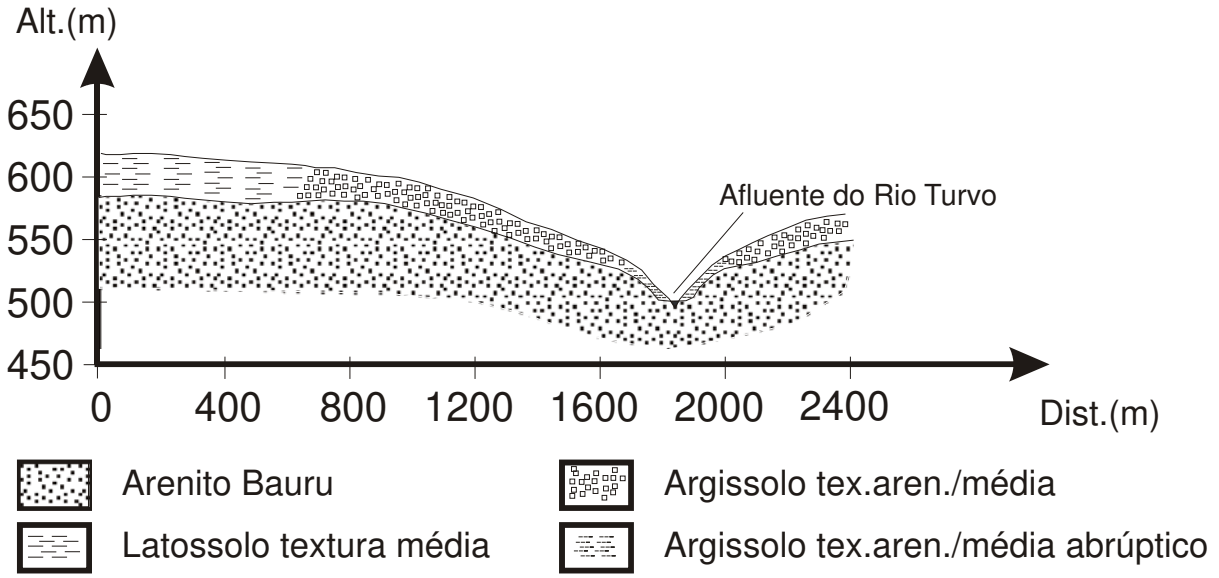

Figura 7. Litosseqüência representativa da região norte do município de Espírito Santo do Turvo.

A litosseqüência apresenta as seguintes feições: a) nos topos extensos de relevo suave ondulado, solos com B latossólico ou B textural, porém com incremento de argila relativamente pequeno; b) solos com horizonte B textural sem caráter abrupto nas cotas altimétricas abaixo, com declividade mais acentuada e em relevo suave ondulado a ondulado e; c) solos com horizonte B textural e mudança textural abrupta (Argissolos abrúpticos), nas

áreas próximas às drenagens em que as vertentes encontram-se bem encaixadas e, com relevo ondulado a forte ondulado.

A região mais ao sul apresenta outro padrão fisiográfico (Figura 8). Nela verificam-se feições diferenciadas do relevo, bem como variações no material de origem. O relevo apresenta-se menos movimentado implicando em drenagens com encaixes mais suavizados quando comparado com o da região anteriormente citada. Nesse tipo de relevo predomina a outra unidade de mapeamento estudada que é constituída pelos Latossolos Vermelhos textura média. Esta litosseqüência caracteriza-se por apresentar: a) solos de textura média com horizonte B latossólico, nos topos amplos e aplainados, de relevo plano a suave ondulado; b) solos de textura arenosa/média e com horizonte B textural, sem mudança textural abrupta, nas cotas abaixo, onde o declive se torna um pouco mais acentuado em relação ao anterior, passando a ser suave ondulado a ondulado, e; c) solos de textura média/argilosa ou argilosa, devido a influência do material basáltico, localizados próximo as drenagens e em relevo semelhante ao anterior.

Com relação ao material de origem, a área estudada apresenta o arenito do Grupo Bauru ainda predominando e sobrepondo-se ao material basáltico que aflora apenas nas calhas do Rio Turvo e seus principais afluentes. Portanto, dentre as unidades de mapeamento analisadas neste trabalho e de acordo com o mapa pedológico do município de Espírito Santo do Turvo, os Argissolos predominam na região Norte (Figura 7), e os Latossolos na parte Sul (Figura 8), ambos com boa representatividade no município (Figura 5). Ressalta-se que a litosseqüência representativa do norte do município (Figura 3) também o é, para grande parte do Planalto Ocidental (ROSSI et al., 2000; BERTOLANI et al., 2000), o qual é formado, em sua grande maioria, pelo arenito do Grupo Bauru, com exceção de algumas áreas em que ocorrem afloramentos de basalto, nas calhas dos grandes rios da bacia do Paraná (Paranapanema, Tietê, Mogi-Guaçú e Grande).

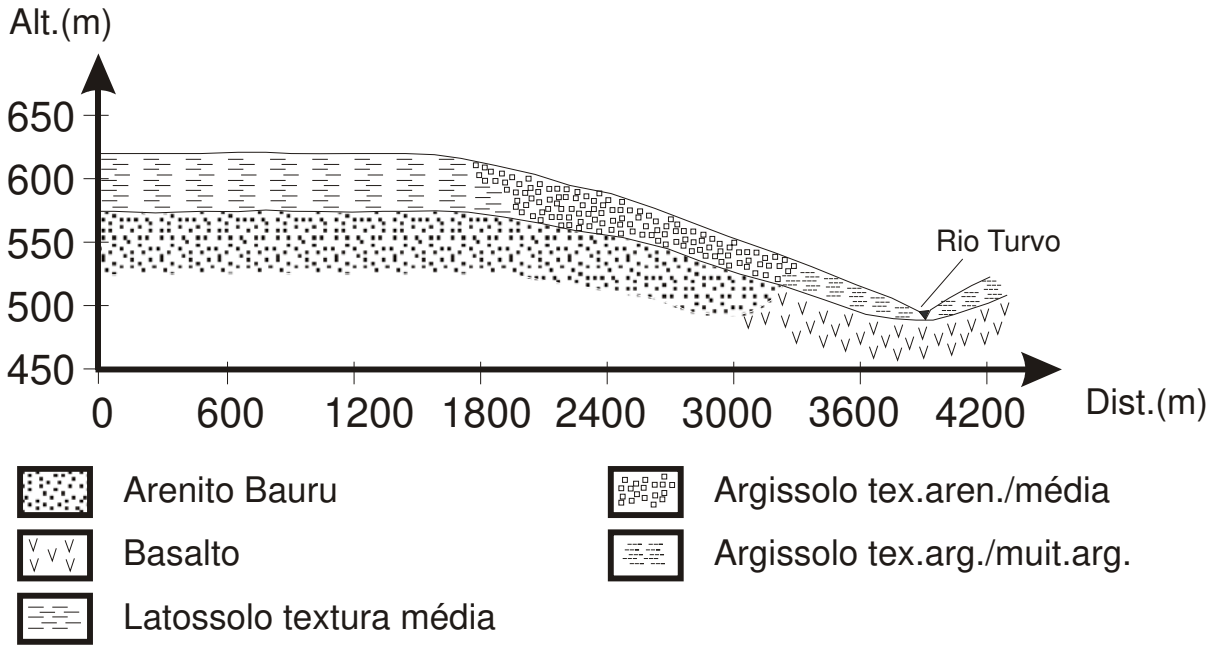

Figura 8. Litosseqüência representativa da região sul do município de Espírito Santo do Turvo.

4.2. Caracterização dos atributos do solo nas unidades de mapeamento

4.2.1. Análise dos dados obtidos nos transetos

Em função da variação do material de origem e das formas de relevo, como visto no item anterior, observou-se variações dos atributos do solo, nas unidades de mapeamento estudadas (Quadros 1 e 2), resultando em elevados valores de coeficiente de variação e de amplitude, principalmente para os atributos químicos.

Observou-se ainda que na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho (Quadro 1), para todos os atributos apresentados, a variação no horizonte A foi maior que no horizonte B, denotando a marcante influência do uso agrícola. Tal influência se deve, principalmente, à aplicação de corretivos e fertilizantes químicos, pois foram os valores de saturação por bases e por alumínio, no horizonte A, que apresentaram respectivamente a maior amplitude e os maiores valores de coeficiente de variação.

Quadro 1. Parâmetros estatísticos de atributos dos horizontes A e B de solos contidos na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.

Parâmetro estatístico	Atributo do solo					
	Argila (dag/kg)	Areia total (dag/kg)	pH H_2O	pH KCl	V (%)	m (%)
Horizonte A						
Desvio padrão	0,969	1,715	0,311	0,273	10,903	16,053
Amplitude	4	6	1,8	1,7	43	68
Mínimo	12	78	4,7	3,8	4	20
Máximo	16	84	6,5	5,5	47	88
Média	14	81	5,3	4,3	20	61
CV	7	2	6	6	55	26
Horizonte B						
Desvio padrão	0,876	1,460	0,191	0,106	3,536	4,999
Amplitude	4	7	1,0	0,5	21	31
Mínimo	16	73	4,8	3,9	4	60
Máximo	20	80	5,8	4,4	25	91
Média	17	77	5,1	4,1	11	79
CV	3	2	4	3	32	6

Condição semelhante foi verificada na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho (Quadro 2), a qual também apresentou, para a maioria dos atributos, maior variabilidade no horizonte A, com exceção dos teores de argila e areia total, que apresentaram amplitudes maiores no horizonte B. Tal fato pode ter ocorrido devido: a) tratar-se de solos contidos em zona de transição de material de origem, na qual a distribuição irregular de basalto e arenito propiciou a formação de solos com maior variação na composição granulométrica, além da presença de solos com textura mais fina, devido ao material basáltico; b) a atuação diferenciada dos processos pedogenéticos, tais como, acumulação ou concentração absoluta ou relativa decorrente de processos de iluviação de argila e/ou formação *in situ* (EMBRAPA, 1999), para os quais o relevo e o fluxo hídrico em subsuperfície são determinantes, propiciando também, variações na composição granulométrica.

Nos Quadros 3 e 4 são apresentados os atributos físicos e químicos dos solos considerados inclusões nas unidades de mapeamento. Os valores desses atributos evidenciam forte influência do basalto visto que, além de teores mais elevados de argila, os valores de capacidade de troca de cátions e de saturação por bases, nos solos dessas inclusões foram mais elevados do que os valores médios referentes aos solos das unidades de mapeamento estudadas.

Quadro 2. Parâmetros estatísticos de atributos dos horizontes A e B de solos contidos na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho.

Parâmetro estatístico	Atributo do solo					
	Argila (dag/kg)	Areia total (dag/kg)	pH H_2O	pH KCl	V (%)	m (%)
Horizonte A						
Desvio padrão	2,356	2,992	0,353	0,339	8,733	13,678
Amplitude	12	14	2,1	2,0	42	58
Mínimo	5	76	4,9	4,1	16	7
Máximo	17	90	7,0	6,1	58	65
Média	9	85	5,5	4,5	27	41
CV	26	4	7	8	32	33
Horizonte B						
Desvio padrão	4,102	4,762	0,257	0,187	3,700	5,444
Amplitude	18	22	1,4	1,2	17	25
Mínimo	16	58	4,7	3,9	15	43
Máximo	34	80	6,1	5,1	32	68
Média	23	70	5,3	4,3	20	58
CV	18	7	5	4	19	9

Quadro 3. Atributos físicos e químicos de inclusões de solos ocorrentes nos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.

Inclusões de solos	Atributos físicos e químicos			
	Argila (dag/kg)	Relação textural B/A	V (%)	CTC ($cmol_c/kg$)
Delineamento 1				
Sem inclusão	---	---	---	---
Delineamento 2				
Inclusão 1	35[1]/39[2]	1,1	52/56	3,76/4,25
Delineamento 3				
Sem inclusão	---	---	---	---
Delineamento 4				
Inclusão 1	32/38	1,2	57/63	3,54/3,97
Inclusão 2	36/39	1,1	54/60	3,77/4,11
Delineamento 5				
Sem inclusão	---	---	---	---
Unidade de mapeamento				
Média[3]	14/17	1,3	20/11	2,14/2,43

[1] referente ao horizonte A; [2] referente ao horizonte B; [3] média da unidade de mapeamento sem considerar as inclusões.

Quadro 4. Atributos físicos e químicos de inclusões de solos ocorrentes nos delineamentos da unidade de mapeamento ArgissoloVermelho

Inclusões de solos	Atributos físicos e químicos			
	Argila (dag/kg)	Relação textural B/A	V (%)	CTC ($cmol_c/kg$)
Delineamento 1				
Inclusão 1	22[1]/47[2]	2,1	56/48	4,47/4,66
Inclusão 2	23/52	2,3	52/55	3,89/4,34
Inclusão 3	25/54	2,2	56/58	4,41/4,38
Delineamento 2				
Sem inclusão	---	---	---	---
Delineamento 3				
Inclusão 1	19/41	2,2	45/39	3,96/4,09
Inclusão 2	26/55	2,1	56/59	4,67/5,27
Inclusão 3	22/46	2,1	52/46	4,07/4,33
Inclusão 4	24/56	2,3	54/61	5,12/5,49
Delineamento 4				
Sem inclusão	---	---	---	---
Delineamento 5				
Inclusão 1	21/46	2,2	55/53	4,12/4,23
Unidade de mapeamento				
Média[3]	9/23	2,5	27/20	3,17/3,56

[1] referente ao horizonte A; [2] referente ao horizonte B; [3] média da unidade de mapeamento sem considerar as inclusões.

Os solos considerados inclusões e que apresentam elevada variação de seus atributos em relação aos das unidades de mapeamento estudadas ocorrem nos delineamentos limítrofes aos das unidades de mapeamento constituídas por solos com influência de material basáltico (Figura 9). Isso ocorreu em ambas as unidades de mapeamento, porém apenas nas proximidades do Rio Turvo e de seus principais afluentes. Tal fato se ajusta ao padrão encontrado na litosseqüência representativa da região sul do município (Figura 8), na qual a presença de materiais de origem distintos favorece a ocorrência de solos variados e, conseqüentemente, de maior número de unidades de mapeamento.

Mesmo não sendo consideradas as inclusões, a variabilidade dos atributos do solo nos diferentes delineamentos de ambas as unidades de mapeamento, indicada pelos parâmetros estatísticos (Quadros 1 e 2), é confirmada pela análise de dispersão dos dados - "box-plot" (Figuras 10 e 11). Nessa análise exploratória foram observados solos com elevada discrepância em relação à média, sendo os dados discrepantes representados pelos "outliers" (MINITAB™ Inc., 1995). Portanto, nota-se que mesmo fazendo-se um tratamento prévio no

conjunto de dados dos delineamentos de ambas as unidades de mapeamento, retirando-se as inclusões, verifica-se ainda dados bastante discrepantes em relação à média e à distribuição dos dados, confirmando, assim, a elevada variabilidade dos atributos dos solos observadas nos diferentes delineamentos de uma unidade de mapeamento.

Na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho notou-se algumas diferenças importantes nos parâmetros estatísticos dos atributos físicos e químicos, em relação ao Latossolo Vermelho, tanto no horizonte A (Figura 10), quanto no horizonte B (Figura 11). Com relação aos atributos físicos observa-se, que em ambos os horizontes, os teores de argila e de areia total, apresentaram-se em posições diferentes no eixo y do gráfico "box-plot", evidenciando importantes diferenças na composição granulométrica das duas unidades de mapeamento, bem como de seus delineamentos.

Da mesma forma, com relação aos atributos químicos, observaram-se posicionamentos diferenciados nos gráficos, principalmente da saturação por bases e por alumínio, no horizonte B. No entanto, isso não foi verificado no horizonte A, provavelmente, devido às alterações que o uso agrícola provocou nesses atributos, evidenciando a influência do manejo do solo também sobre a composição química (MUZILLI, 1983; CENTURION et al., 1985; TOGNON et al., 1997), ao contrário do que ocorre com as frações granulométricas por serem mais estáveis no solo (OLIVEIRA et al., 1992).

Nota-se, ainda, no horizonte B (Figura 11), que em um dos delineamentos da unidade Argissolo o teor de argila apresentou valores menores (em torno de 18 dag/kg) em relação aos dos demais delineamentos (em torno de 25 dag/kg) e, foi semelhante aos teores encontrados nos delineamentos da unidade Latossolo (em torno de 18 dag/kg). Em termos de recomendação para manejo do solo, tal informação é de grande importância, pois apesar dos cinco delineamentos pertencerem à unidade Argissolo, em um deles o teor de argila menor, provavelmente, acarretará em modificações na drenagem interna e, conseqüentemente, na disponibilidade de água e de nutrientes.

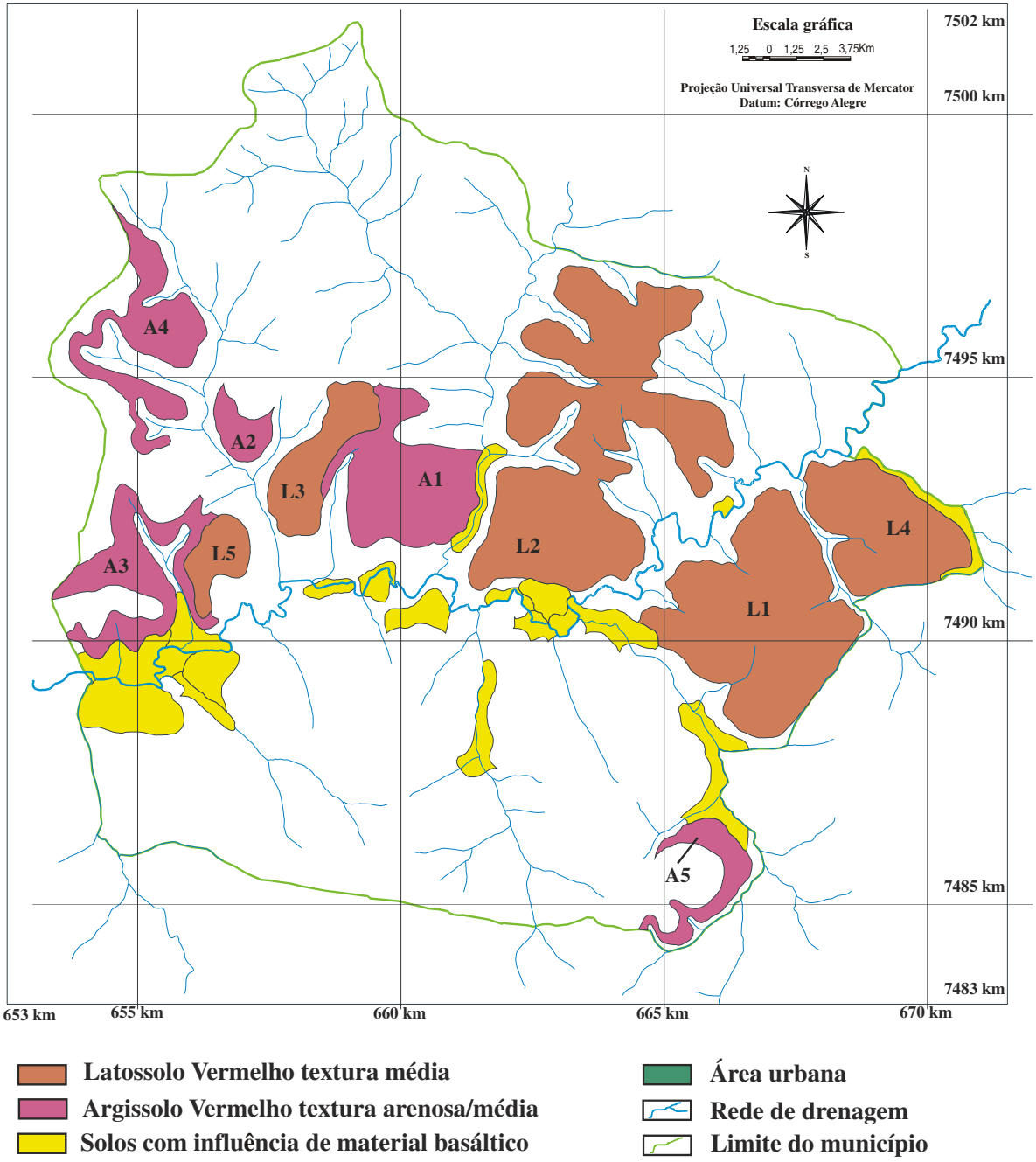

Figura 9. Localização de delineamentos de unidades de mapeamentos que possuem solos com influência de material basáltico em relação aos delineamentos das unidades de mapeamento estudadas.

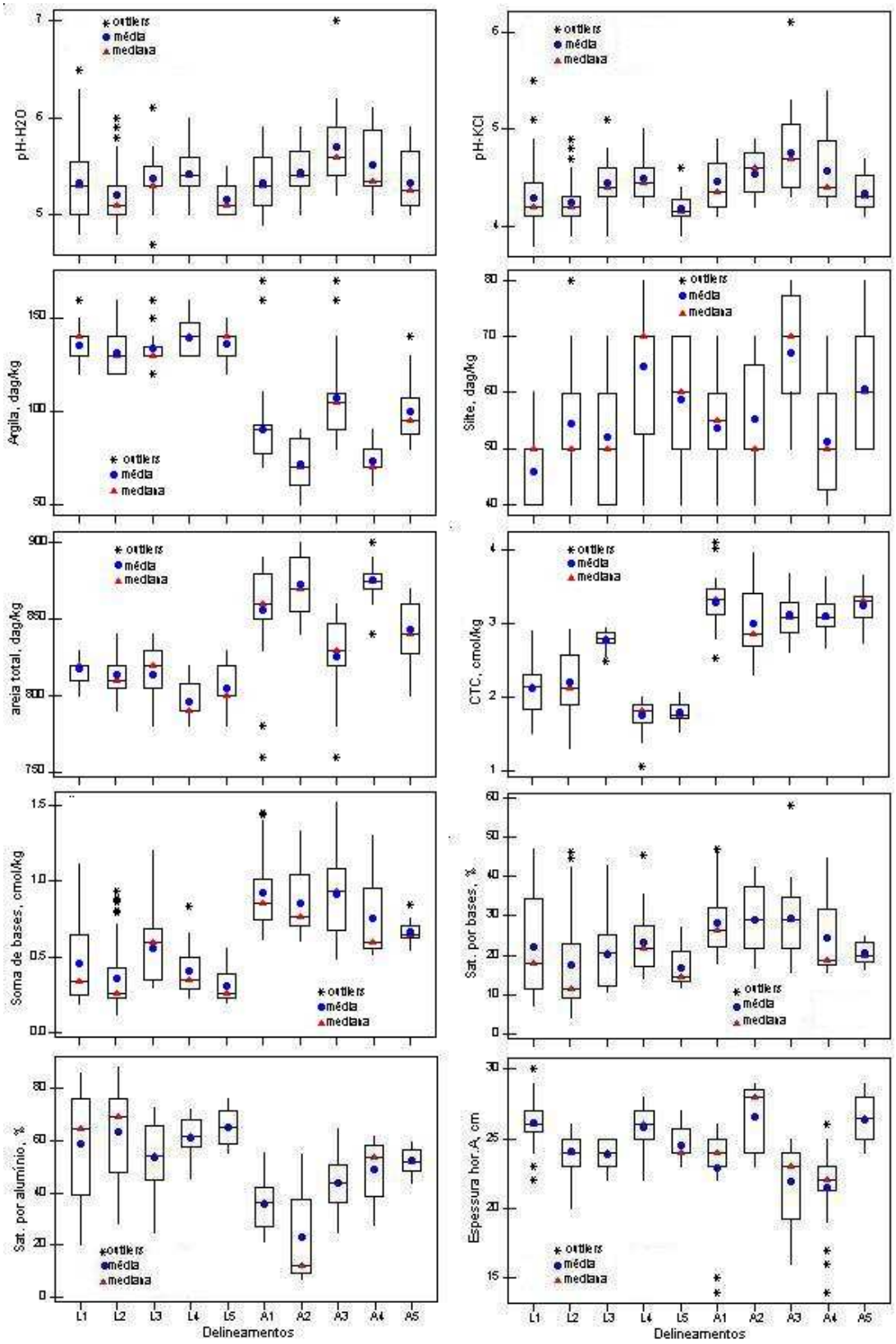

Figura 10. Dispersão dos atributos do solo no horizonte A, em diferentes delineamentos das unidades de mapeamento Latossolo (L1 a L5) e Argissolo (A1 a A5).

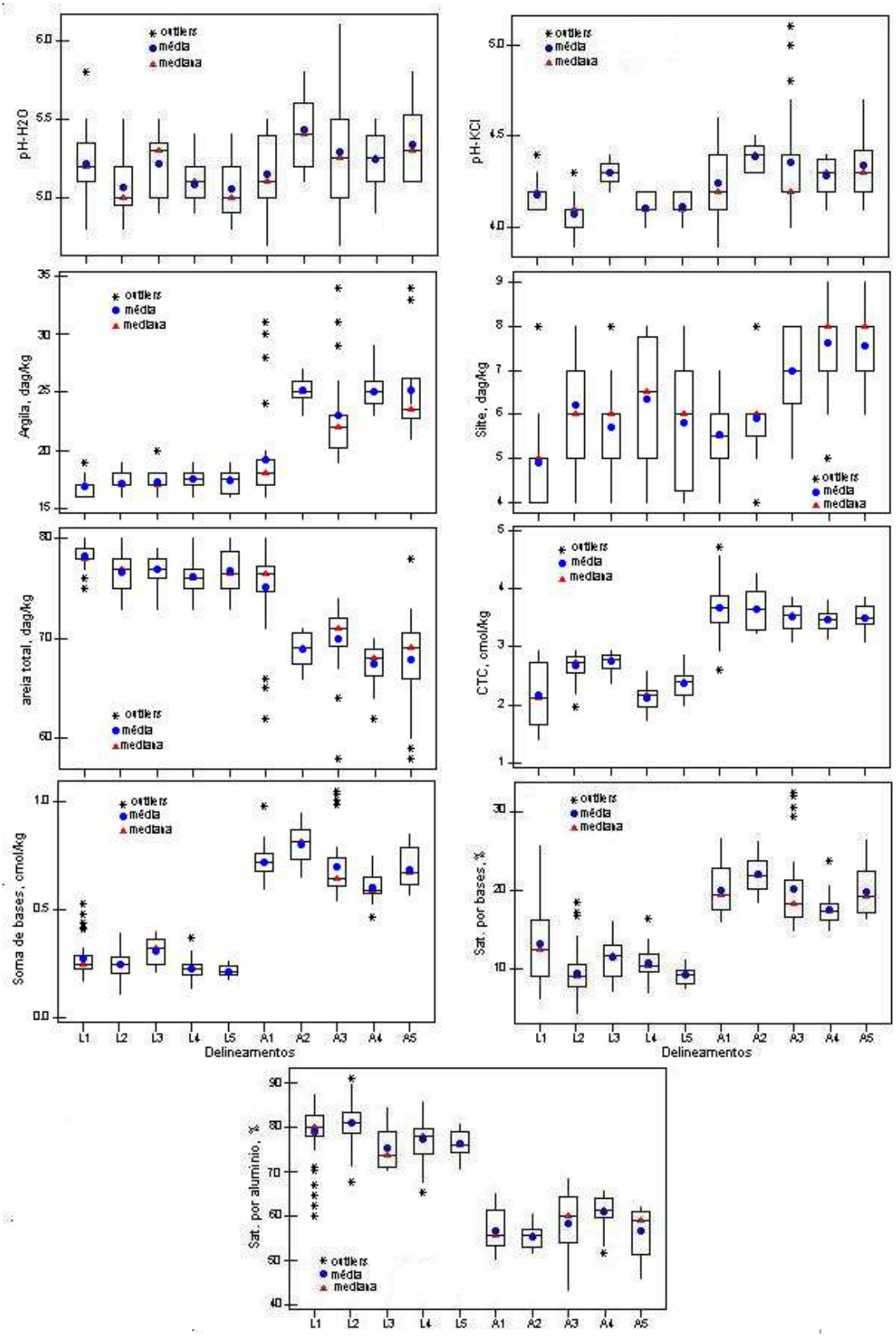

Figura 11. Dispersão dos atributos do solo no horizonte B, em diferentes delineamentos das unidades de mapeamento Latossolo (L1 a L5) e Argissolo (A1 a A5).

4.2.2. Análise dos dados dos perfis de solo

Com relação aos atributos morfológicos descritos nos perfis de solo, nos delineamentos das duas unidades de mapeamento (Quadros 5 e 6), notou-se pouca variação dentro de uma mesma unidade. A variação dos atributos morfológicos foi pouco expressiva no horizonte A (Quadro 5), de ambas as unidades, sendo contudo relativamente mais acentuada para a cor e a estrutura. Tais variações reafirmam as alterações do solo provocadas pelas práticas agrícolas, pois a cor do horizonte A, especialmente de solos com pouco óxido de ferro, relaciona-se positivamente com o teor de matéria orgânica. Pelas notações de cor obtidas nos solos dos diferentes delineamentos nota-se cores claras (notação Munsell com valor mais elevado), o que indica esgotamento de matéria orgânica.

A estrutura, por sua vez, representada pelo arranjo das frações granulométricas e orgânicas do solo, juntamente com a quantidade e distribuição de poros, pode indicar o nível de compactação do solo. Assim, nota-se que, apesar da estrutura descrita, no horizonte superficial dos perfis (áreas que sofreram alteração pelo manejo), ter sido do tipo granular, esta se apresenta com tamanho pequeno, associada a uma matriz de solo desestruturada, conferindo um certo grau de endurecimento. Tal condição não se assemelha com o que foi encontrado em áreas de vegetação natural. Nesses casos a estrutura granular apresenta-se com tamanho maior que o observado nos perfis, bem como permite visualizar nitidamente as unidades estruturais quando uma amostra é desfeita, não estando associada à torrões endurecidos. Esse fato evidencia a ocorrência de áreas compactadas nos delineamentos estudados, conferindo maior variabilidade dos atributos no horizonte A.

No horizonte B, os atributos morfológicos apresentaram-se mais homogêneos nos diferentes delineamentos, verificando-se somente variação na cor do solo, porém menos expressiva do que a registrada no horizonte superficial.

Os atributos químicos das amostras dos perfis descritos nos diferentes delineamentos, ao contrário do que foi observado para os morfológicos, apresentaram elevada variação no horizonte A (Quadro 7), dada à influência do manejo, fato já comentado anteriormente. No entanto, no horizonte B, os atributos químicos, assim como os físicos, igualmente ao que ocorreu com os atributos morfológicos apresentaram maior homogeneidade dentro dos delineamentos (Quadro 8). Isso evidencia a dificuldade de detectar a variabilidade dos

atributos nas unidades de mapeamento utilizando somente as informações provenientes dos perfis de solo.

Quadro 5. Atributos morfológicos do horizonte A, descritos nos perfis de todos os delineamentos estudados.

Delinea-mentos	Atributos morfológicos			
	Cor[1]	Textura	Estrutura[2]	Consistência[3]
Latossolo Vermelho textura média				
L1	5YR 5/4	Areia franca	Bloco subangulares pequenos e médios	Muito friável
L2	5YR 4/4	Franco arenosa	Granular pequena e bloco subangular média	Muito friável
L3	5YR 4/3	Areia franca	Granular pequena	Muito friável
L4	5YR 4/4	Franco arenosa	Granular pequena e bloco subangular média	Friável
L5	5YR 4/6	Areia franca	Grãos simples	Muito friável
Argissolo Vermelho textura arenosa/média				
A1	5YR 4/3	Areia	Granular pequena e bloco subangular média	Muito friável
A2	5YR 4/4	Areia	Granular pequena	Muito friável
A3	5YR 4/4	Areia	Granular pequena	Muito friável
A4	5YR 4/4	Areia	Granular pequena e bloco subangular média	Muito friável
A5	5YR 4/3	Areia	Granular pequena	Muito friável

[1] cor úmida; [2] tipo e tamanho; [3] consistência úmida

Quadro 6. Atributos morfológicos do horizonte B, descritos nos perfis de todos os delineamentos estudados.

Delinea-mentos	Atributos morfológicos			
	Cor[1]	Textura	Estrutura[2]	Consistência[3]
Latossolo Vermelho textura média				
L1	2,5YR 3,5/6	Franco arenosa	Bloco subangular média	Friável
L2	2,5YR 3/5	Franco arenosa	Bloco subangular média	Friável
L3	2,5YR 3/6	Franco arenosa	Bloco subangular média	Friável
L4	2,5YR 3,5/6	Franco arenosa	Granular pequena e bloco subangular média	Friável
L5	2,5YR 3,5/6	Franco arenosa	Bloco subangular média	Friável
Argissolo Vermelho textura arenosa/média				
A1	2,5YR 3/5	Franco argilo arenosa	Bloco subangular média	Firme
A2	2,5YR 4/6	Franco argilo arenosa	Bloco subangular média	Firme
A3	2,5YR 4/6	Franco argilo arenosa	Bloco subangular média	Firme
A4	2,5YR 3,5/6	Franco argilo arenosa	Bloco subangular média	Firme
A5	2,5YR 4/6	Franco argilo arenosa	Bloco subangular média	Firme

[1] cor úmida; [2] tipo e tamanho; [3] consistência úmida

Quadro 7. Média de atributos físicos e químicos do horizonte A, descritos nos perfis de todos os delineamentos estudados.

Delineamentos	Atributos químicos			
	Argila (dag/kg)	Areia total (dag/kg)	V (%)	m (%)
Latossolo Vermelho textura média				
L1	14	80	10	63
L2	14	81	10	78
L3	14	80	22	57
L4	15	80	32	37
L5	14	80	28	47
Argissolo Vermelho textura arenosa/média				
A1	7	87	26	50
A2	8	88	33	40
A3	6	89	22	57
A4	8	88	24	55
A5	6	90	19	63

Quadro 8. Média de atributos físicos e químicos do horizonte B, descritos nos perfis de todos os delineamentos estudados.

Delineamentos	Atributos químicos			
	Argila (dag/kg)	Areia total (dag/kg)	V (%)	m (%)
Latossolo Vermelho textura média				
L1	19	75	12	78
L2	19	76	11	79
L3	19	76	11	76
L4	18	78	12	78
L5	19	77	12	75
Argissolo Vermelho textura arenosa/média				
A1	25	68	17	66
A2	25	69	19	61
A3	25	68	15	69
A4	24	69	16	65
A5	25	69	15	66

Analisando-se os dados por delineamentos individualizados, foi possível observar a elevada variação dos atributos físicos e químicos existente nos diferentes delineamentos de uma mesma unidade de mapeamento. No entanto, tomando-se os atributos morfológicos, físicos e químicos relativos ao perfil de cada delineamento, observou-se variação menos expressiva e, conseqüentemente, maior homogeneidade desses atributos nos diferentes delineamentos. Dentro desse contexto, ressalta-se que os levantamentos de solos produzidos no Brasil, em sua quase totalidade, apresentam apenas dados de perfis para caracterizar os solos mapeados em uma determinada área, ou quando muito, alguns dados de dispersão

estatística, representando toda uma unidade de mapeamento (OLIVEIRA et al., 1982; OLIVEIRA & PRADO, 1984; OLIVEIRA & MENK, 1999). Tais dados não são, portanto, suficientes para caracterizar a variabilidade dos atributos dos solos contidos em unidades de mapeamento. Isso evidencia a necessidade de utilizar dados complementares (quantitativos) conjuntamente com as descrições dos perfis para melhorar a qualidade das informações contidas nos boletins de levantamentos pedológicos semidetalhados, conferindo assim, maior precisão e representatividade aos dados apresentados nesses inventários.

4.3. Média e Distribuição de freqüência de atributos do solo em unidades de mapeamento

Antes de se aplicar análise estatística descritiva em dados de levantamentos pedológicos, deve-se, inicialmente, verificar quais solos compõem cada um dos delineamentos das unidades de mapeamento e a possibilidade da presença de inclusões. Solos identificados como inclusões apresentam um ou mais atributos não condizentes com a unidade de mapeamento em questão podendo alterar de forma bastante significativa os parâmetros estatísticos e, conseqüentemente, sua representatividade (Quadros 9 e 10). Para a determinação de parâmetros estatísticos que caracterizem uma unidade de mapeamento, os dados das inclusões não devem, portanto, fazer parte do conjunto de dados que serão submetidos a analise estatística.

Nota-se também, nos Quadros 9 e 10, que quando foram inseridos os dados de solos considerados como inclusão, a média de alguns atributos mostrou-se mais elevada, como é o caso do teor de argila e saturação por bases e por alumínio. Essa variação está relacionada ao número de inclusões presentes em cada delineamento, bem como à quantidade de pontos utilizada para o cálculo da média de cada delineamento. Quanto maior o número de inclusões, maior a possibilidade de alteração da média e; quanto menor o número de pontos por delineamento, maior é o efeito proporcional das inclusões sobre a alteração da mesma.

Ressalta-se também que os tipos de solos identificados como inclusão influem diretamente no valor da média da unidade de mapeamento. Quando o conjunto dos atributos dos solos pertencentes às inclusões for muito discrepante em relação ao conjunto de atributos dos solos da unidade de mapeamento considerada, o efeito sobre a alteração da média, poderá ser ainda mais elevado. Para certos atributos de grande importância no comportamento do

solo, como por exemplo, a textura, a capacidade de troca de cátions, a saturação por bases, etc, a assertiva acima também é valida quando considerado apenas um atributo isoladamente.

Quadro 9. Valores médios de atributos do solo, em ambos os horizontes da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, com e sem os dados dos solos considerados inclusões.

	Atributo do solo						
Delineamento	**pHKCl**	**Argila (dag/kg)**	**Silte (dag/kg)**	**Areia (dag/kg)**	**CTC (cmol/kg)**	**V (%)**	**m (%)**
Horizonte A							
L2	4,2[1]/4,2[2]	13/13	5/5	81/81	2,21/2,24	17/18	63/63
L4	4,5/4,5	14/15	6/7	80/78	1,75/1,88	23/25	61/59
Ltotal	4,3/4,3	13/14	6/6	81/80	2,07/2,12	19/20	63/62
Horizonte B							
L2	4,1/4,1	17/17	6/6	77/76	2,67/2,69	9/10	81/80
L4	4,1/4,2	18/19	6/6	76/75	2,13/2,25	11/14	77/73
Ltotal	4,1/4,1	17/18	6/6	77/76	2,50/2,55	10/11	80/78

[1] média desconsiderando as inclusões; [2] média considerando as inclusões

Quadro 10. Valores médios de atributos do solo, em ambos os horizontes da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, com e sem os dados dos solos considerados inclusões.

	Atributo do solo						
Delineamento	**pHKCl**	**Argila (dag/kg)**	**Silte (dag/kg)**	**Areia (dag/kg)**	**CTC (cmol/kg)**	**V (%)**	**m (%)**
Horizonte A							
A1	4,5[1]/4,5[2]	9/10	5/5	86/84	3,30/3,39	28/31	36/34
A3	4,8/4,8	11/12	7/7	83/81	3,12/3,31	30/33	44/40
A5	4,3/4,4	10/11	6/6	84/83	3,25/3,30	21/23	53/50
Atotal	4,5/4,6	10/11	6/6	84/83	3,23/3,34	27/30	42/40
Horizonte B							
A1	4,2/4,3	19/22	6/6	75/72	3,67/3,74	20/23	57/53
A3	4,4/4,4	23/27	7/7	70/66	3,53/3,71	20/25	58/53
A5	4,3/4,4	25/27	8/8	68/66	3,50/3,55	20/22	57/54
Atotal	4,3/4,4	22/25	6/7	72/69	3,59/3,69	20/23	57/53

[1] média desconsiderando as inclusões; [2] média considerando as inclusões

A distribuição de freqüência é um procedimento da estatística descritiva que permite visualizar como os dados de uma determinada população estão distribuídos em torno da média (CONAGIN et al., 2000), permitindo avaliar o padrão de distribuição e visualizar se a mesma tende à normal. Vários autores têm mostrado que, para a maioria dos atributos do solo, não ocorre distribuição normal dos dados, mas sim outros tipos de distribuição (MAKLIN, 1973;

WEBSTER, 1977; CHOU et al., 1998). Isso denota a necessidade de transformação dos dados (normalização) para que a análise estatística possa ser empregada de forma consistente.

Em levantamentos pedológicos não é comum a apresentação, nos seus boletins, de histogramas representando a distribuição de freqüência amostral da população de determinados atributos. No entanto, eles são importantes quando apresentados por unidade de mapeamento, bem como por delineamentos que compõem tal unidade, pois fornecem um indicativo da variabilidade dos dados, além de serem facilmente visualizados. Através dos histogramas é possível verificar se há maior ou menor variação nos dados e, também, se os parâmetros de dispersão estatística estão representando os atributos das unidades de mapeamento com maior ou menor precisão. Como exemplo temos a distribuição de freqüência de argila do horizonte B para a unidade de mapeamento de Argissolo Vermelho (Figura 12), indicando uma elevada variação nos diferentes delineamentos, bem como nos intervalos de classes em que os pontos de amostragem estão mais concentrados. Isso permite comparar a distribuição dos dados entre os delineamentos analisados, bem como entre delineamentos e a unidade de mapeamento como um todo.

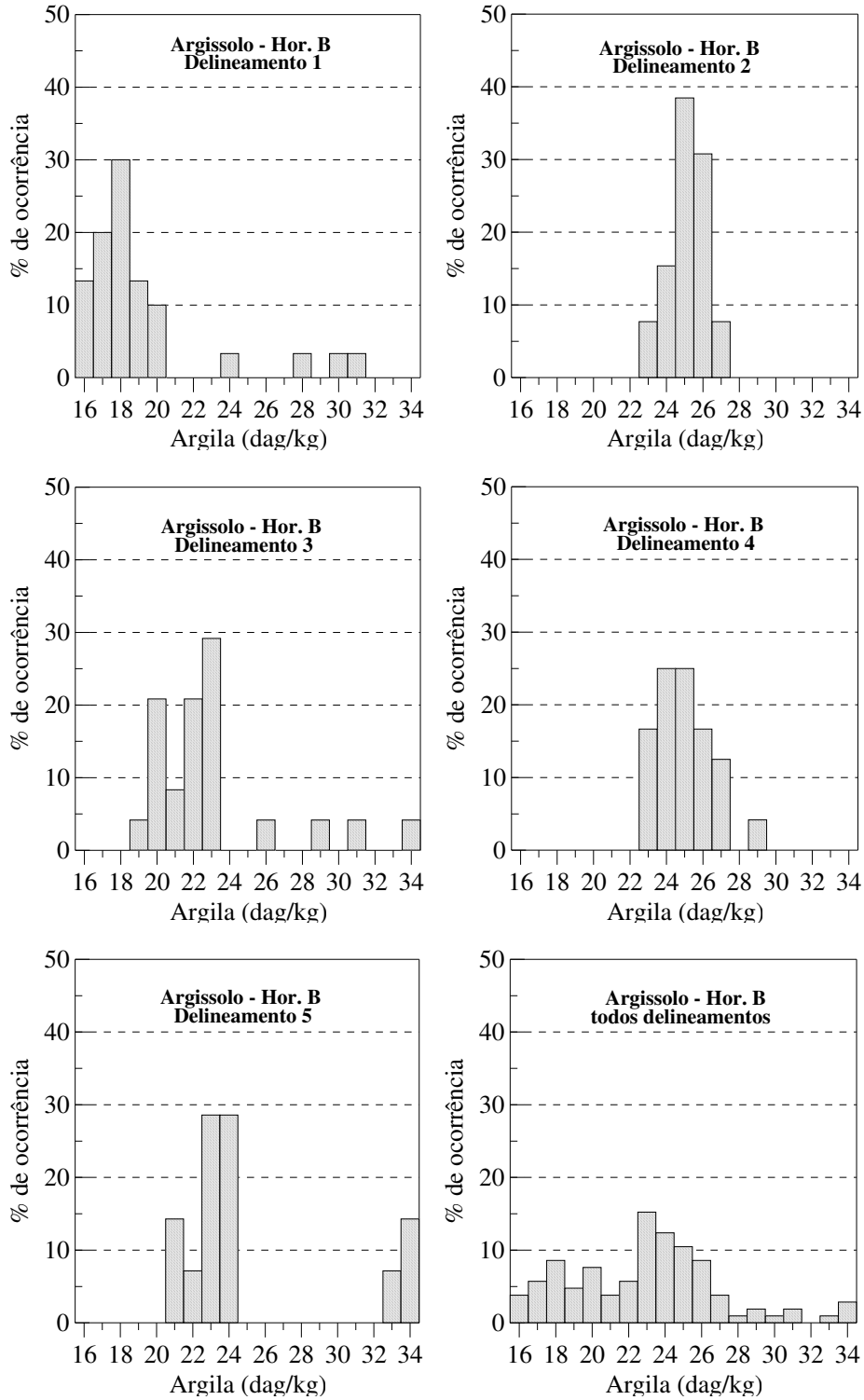

Figura 12. Distribuição de freqüência amostral (histogramas) de argila do horizonte B para a unidade de mapeamento Argissolo Vermelho.

4.4. Transformação de atributos do solo para análise estatística

Os solos das unidades de mapeamento são caracterizados por um conjunto de atributos, os quais apresentam diferentes graus de variações dependendo da classe de solo e do nível de mapeamento. O uso de medidas estatísticas de tendência central e de dispersão é, portanto, indispensável para a caracterização da variabilidade do solo e a interpretação adequada de cada unidade de mapeamento. Alguns levantamentos pedológicos utilizam a média, a variância e outros parâmetros estatísticos, porém não tem sido dada a devida atenção para seus fundamentos e limitações do pressuposto de distribuição normal. Se a distribuição amostral não apresenta distribuição normal, as estimativas estatísticas dos dados observados, baseados nas propriedades da distribuição normal não são confiáveis (MAKLIN, 1973; WEBSTER, 1977; MENK & NAGAI, 1983; CHOU et al., 1998). Esse problema pode ser contornado pela transformação da escala da medida original, de forma que a distribuição na nova escala, se aproxime significativamente da normal (MENK & NAGAI, 1983; BREDJA et al., 2000).

Nesse trabalho, a escala utilizada para a transformação dos dados foi a normal reduzida. Para isso, foram inseridos em planilha de dados do software Excel os conjuntos de dados dos atributos de solo obtidos nas unidades de mapeamentos e em seus respectivos delineamentos. Esses dados foram processados no algoritmo proposto por MENK & NAGAI (1983), sendo possível fazer a transformação e a posterior normalização dos mesmos (Anexo 3 - etapas de transformação e normalização de atributos do solo).

A avaliação da normalidade foi realizada pela visualização de histogramas e pelo uso do teste de assimetria e curtose da distribuição dos dados observados para cada atributo do solo (Quadro 11).

Determinada a não normalidade fez-se a seleção do tipo de transformação, utilizando-se os valores de T_1 e T_2 (MENK & NAGAI, 1983), sendo também apresentados no Quadro 11. Ressalta-se que a metodologia proposta pelos autores acima foi modificada como descrito no item Material e Métodos.

Nos quadros 12 e 13 tem-se a estimativa dos parâmetros γ, δ, ε, λ, utilizando-se o método dos quadrados mínimos em regressão linear (NAGAI & MENK, 1976 e MENK & NAGAI, 1983) para soma de bases (S) e saturação por bases (V), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.

Quadro 11. Coeficientes de assimetria (g_1) e curtose (g_2), teste de normalidade, e parâmetros (β_1, β_2, T_1 e T_2) usados na seleção do tipo de transformação e normalização dos dados.

Atributo	Assimetria		Curtose				Teste	Parâmetros da seleção				
	g_1	S_{g1}	g_2	S_{g2}	G_1/S_{g1}	g_2/S_{g2}	normal	β_1	β_2	T_1	T_2	tipo
Latossolo												
S	1,160	0,184	2,198	0,365	6,304	6,022	Não	1,35	5,20	2,85	-0,35	S_B
CTC	-0,711	0,184	-0,599	0,365	3,864	1,641	Não	0,51	2,40	0,90	-1,55	S_B
V%	1,439	0,184	2,715	0,365	7,821	7,438	Não	2,07	5,72	2,64	-1,20	S_B
m%	-0,835	0,184	1,255	0,365	4,538	3,438	Não	0,70	4,26	2,56	-0,06	S_B
Argissolo												
S	1,063	0,236	1,047	0,467	4,504	2,242	Não	1,13	4,05	1,92	-1,09	S_B
CTC	0,629	0,236	1,952	0,467	2,665	4,180	Não	0,40	4,95	3,56	1,20	S_u
V%	1,357	0,236	1,815	0,467	5,750	3,887	Não	1,84	4,82	1,97	-1,67	S_B
m%	-0,511	0,236	-0,119	0,467	2,165	0,255	Não	0,26	2,88	1,62	-0,61	S_B

Quadro 12. Freqüências absoluta (f), relativa (fr) e relativa acumulada (fra), respectivos escores da normal reduzida (Zt) e função logarítmica (L) do tipo S_B para a soma de bases (S), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.

Classe		Freqüências					
inferior	superior	f	Fr	fra	Zt	y[1]	L[2]
0,11	0,16	5	0,0286	0,0286	-1,9022	0,1190	-0,8692
0,16	0,21	42	0,2400	0,2686	-0,6171	0,2381	-0,5051
0,21	0,26	64	0,3657	0,6343	0,3432	0,3571	-0,2553
0,26	0,31	39	0,2229	0,8571	1,0676	0,4762	-0,0414
0,31	0,36	11	0,0629	0,9200	1,4051	0,5952	0,1675
0,36	0,41	9	0,0514	0,9714	1,9022	0,7143	0,3979
0,41	0,46	3	0,0171	0,9886	2,2758	0,8333	0,6990
0,46	0,51	1	0,0057	0,9943	2,5293	0,9524	1,3010
0,51	0,53	1	0,0057	1,0000			

[1] y = (lcs - 0,11)/0,42), onde lcs é o limite de classe superior (coluna 2); [2] L = log[(y/(1-y)]

Com o ajuste dos dados que apresentaram distribuição não-normal, utilizando o sistema de Johnson, elaborou-se os histogramas com os dados normalizados. Notou-se que esse sistema de transformação foi eficiente para a normalização das distribuições assimétricas, assim como verificado pelos atributos apresentados nas Figuras 13, 14, 15 e 16. Ressalta-se que a transformação dos dados realizada por delineamento, em algumas situações, não apresentou resultados satisfatórios. Isso ocorreu nos casos em que o delineamento apresentou dados discrepantes ("outliers") ou poucos dados para análise (delineamentos pequenos), ou ainda, distribuição com pequena amplitude.

Quadro 13. Freqüências absoluta (f), relativa (fr) e relativa acumulada (fra), respectivos escores da normal reduzida (Zt) e função logarítmica (L) do tipo S_B para a saturação por bases (V), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.

Classe		freqüências					
inferior	**superior**	**f**	**fr**	**fra**	**Zt**	**y**	**L**
4,4	6,5	5	0,0286	0,0286	-1,9022	0,0995	-0,9565
6,5	9,0	52	0,2971	0,3257	-0,4518	0,2180	-0,5547
9,0	11,5	66	0,3771	0,7029	0,5326	0,3365	-0,2949
11,5	14,0	24	0,1371	0,8400	0,9945	0,4550	-0,0784
14,0	16,5	14	0,0800	0,9200	1,4051	0,5735	0,1285
16,5	19,0	8	0,0457	0,9657	1,8212	0,6919	0,3514
19,0	21,5	4	0,0229	0,9886	2,2758	0,8104	0,6309
21,5	24,0	0	0,0000	0,9886	2,2758	0,9289	1,1162
24,0	25,5	2	0,0114	1,0000			

y = (lcs - 4,4)/21,1) onde lcs é o limite de classe superior na coluna dois, e L = log[(y/(1-y)]

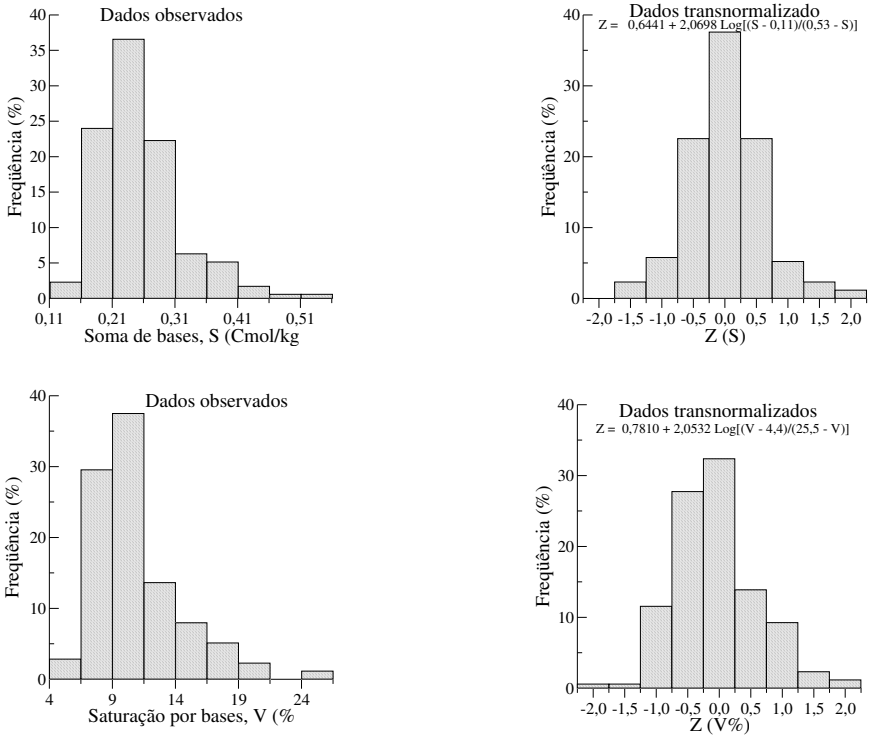

Figura 13. Distribuição da soma de bases (S) e da saturação por bases (V), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo-Vermelho, para dados observados e transnormalizados.

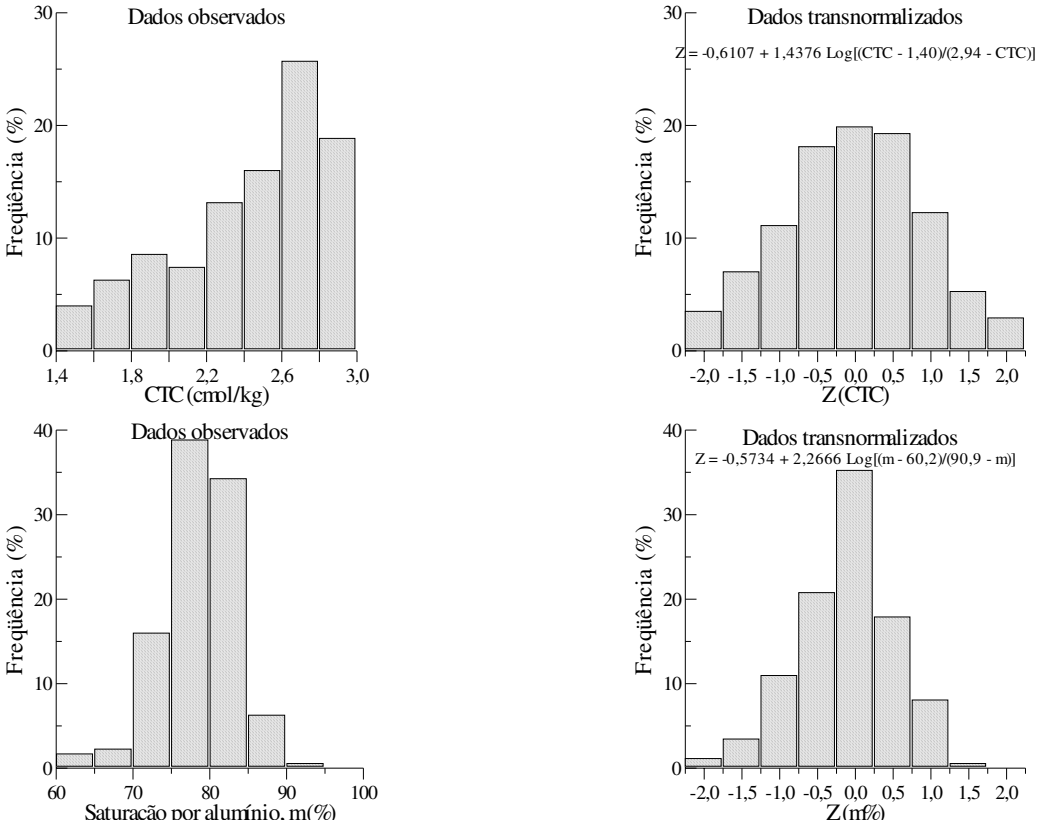

Figura 14. Distribuição da CTC e de m%, referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Latossolo-Vermelho, para dados observados e transnormalizados

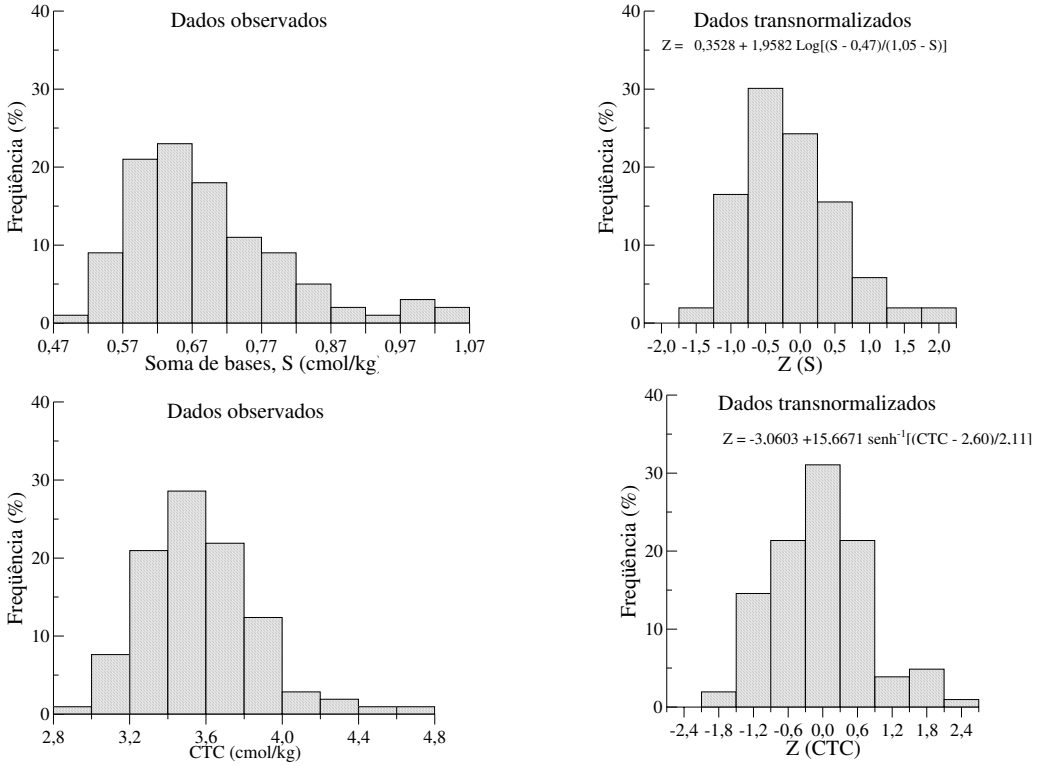

Figura 15. Distribuição da soma de bases (S) e da CTC, referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Argissolo-Vermelho, para dados observados e transnormalizados

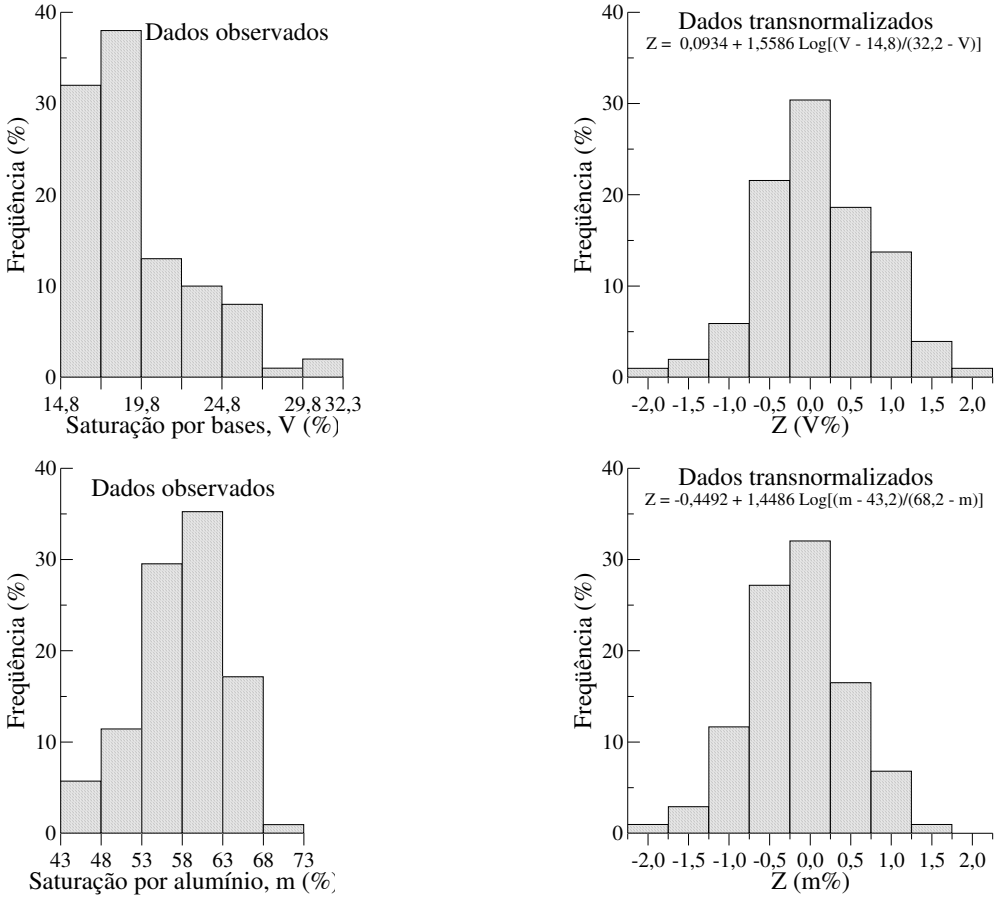

Figura 16. Distribuição da saturação por bases (V) e da saturação por alumínio (m), referente ao horizonte B da unidade de mapeamento Argissolo-Vermelho, para dados observados e transnormalizados

Nos casos em que a distribuição é assimétrica e os parâmetros estatísticos são calculados sem nenhum tratamento prévio, podem ocorrer valores negativos para o limite inferior de classe, bem como valores abaixo ou acima dos mínimos e dos máximos (Quadros 14 e 15), evidenciando que parâmetros estatísticos obtidos a partir de conjuntos de dados que não possuem distribuição normal podem não estar representando corretamente a população (MENK & NAGAI, 1983).

Verificou-se também que para a grande maioria dos conjuntos de atributos, no processo de transformação e normalização dos dados, foi utilizado o sistema S_B da curva de Johnson (MAKLIN, 1973). Tal resultado corrobora com os encontrados por MENK & NAGAI (1983) e CHOU et al. (1998), os quais também verificaram que para atributos do solo o sistema S_B é o que melhor se ajusta.

Quadro 14. Parâmetros estatísticos de dados observados e transformados na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho.

Atributo (delineamento)	Parâmetros estatísticos							
			Dados transformados			Dados observados		
	Min.	Max.	Lc-inf	Lc-sup	Média	Lc-inf	Lc-sup	Média
Horizonte A								
m, % (A2)	7	55	7	55	17	-10	56	23
Argila, dag/kg (A2)	5	9	5	9	7	5	10	8
V, % (A4)	16	45	16	45	16	7	43	25
Argila, dag/kg (A5)	8	14	8	14	8	6	14	10
Horizonte B								
Areia, dag/kg (A1)	62	80	62	80	79	67	83	75
CTC, cmol/kg (A2)	3,24	4,25	3,24	4,30	3,39	3,00	4,30	3,65
m% (A3)	43	68	43	68	63	44	73	58

Quadro 15. Parâmetros estatísticos de dados observados e transformados na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho.

Atributo (delineamento)	Parâmetros estatísticos							
			Dados transformados			Dados observados		
	Min.	Max.	Lc-inf	Lc-sup	Média	Lc-inf	Lc-sup	Média
Horizonte A								
S, cmol/kg (L1)	0,19	1.11	0,19	1,15	0,21	-0.05	0,96	0,45
V, % (L2)	4	46	4	46	9	-6	41	17
V,% (L3)	11	43	11	43	12	7	37	20
m, % (L5)	56	76	55	77	63	52	79	65
Horizonte B								
m, % (L1)	60	87	60	87	82	68	90	79
V, % (L1)	6	26	6	26	9	4	22	13
pHágua (L3)	4,9	5,5	4,9	5,5	5,3	4,8	5,6	5,2
Silte, dag/kg (L5)	4	8	4	8	5	3	9	6

Com a transformação dos dados constatou-se também que as médias observadas e transformadas foram semelhantes para os casos em que os atributos do solo apresentaram pequena amplitude de variação. Isso indica que conjuntos de dados que apresentam amplitude de variação pequena podem não necessitar de um processo de transformação, quando o objetivo for a caracterização estatística do conjunto de dados de solos em levantamentos pedológicos.

4.5. Análise da variabilidade de atributos do solo realizada por delineamentos

Como foi visto anteriormente**,** as unidades de mapeamento são determinadas por solos que apresentam um conjunto de atributos, o qual permite a caracterização dessas unidades. No entanto, mesmo retirando dos cálculos os solos considerados inclusões, através de uma seleção inicial, tais atributos apresentam variabilidade diferenciada para cada delineamento que compõe as unidades de mapeamento, como mostram os Quadros 1 e 2, bem como as Figuras 10 e 11.

Vários estudos apresentam através de análise de acurácia de um mapa, representada pelo índice de pureza, a porcentagem de inclusões existentes em cada unidade de mapeamento, isto é, o grau de correspondência entre o que está indicado no mapa e o que realmente ocorre no campo (BECKETT & WEBSTER, 1971; MARSMAN & GRUIJTER, 1984; BERG & OLIVEIRA, 2000). O cálculo de tal índice leva em consideração todos os atributos do solo necessários para a sua classificação segundo um determinado referencial, analisando-os conjuntamente. Nessa forma de análise tem-se a informação de uma medida de pureza para toda a unidade de mapeamento, porém ela não permite identificar como tais atributos estão influenciando um ou outro delineamento. A análise da variabilidade dos atributos, individualizada por delineamento, possibilita a obtenção dessa informação adicional que pode ser inserida posteriormente nos mapas de solos, bem como nos respectivos boletins, melhorando a qualidade dos mesmos. Tais informações permitem aos usuários um conhecimento sobre a variabilidade dos vários atributos em cada delineamento que compõe uma determinada unidade de mapeamento.

4.5.1. Potencial hidrogeniônico

Os valores médios de pH encontrados em ambas as unidades de mapeamento (Quadros 16 e 17), bem como em ambos os horizontes evidenciam a predominância de solos fortemente ácidos (pH em água 4,3 - 5,4). Nos pontos de amostragem próximos aos delineamentos constituídos por solos com influência de material basáltico, foram encontrados valores de pH em água acima de 5,4 sendo, portanto, considerados como moderadamente ácidos, de acordo com critério utilizado pela EMBRAPA (1999). Nota-se, portanto, que apesar de haver uma predominância de solos fortemente ácidos, encontra-se também, em alguns delineamentos da mesma unidade de mapeamento, amostras que apresentam valores de pH acima de 5,4

(moderadamente ácidos), evidenciando a variabilidade desse atributo, em ambas as unidades de mapeamento.

Observaram-se também variações da distribuição dos valores de pH em água e em KCl em cada um dos delineamentos estudados (Figuras 17, 18, 19 e 20). Tais variações, como esperado, foram maiores no horizonte A, dada a influência do manejo (correção do solo, fertilização química e aplicação de vinhaça), pois em ambas as unidades de mapeamento há cultivo intensivo de cana-de-açúcar, bem como rotação cana-de-açúcar/pastagem.

No horizonte B, principalmente na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, verificou-se um menor número de intervalos de classes para o pH em KCl, nos delineamentos que não apresentaram inclusões e que, conseqüentemente, não encontravam-se delimitados por unidades de mapeamento constituídas por solos formados a partir do material basáltico (Figuras 19 e 20). Nesse caso, havia somente solos provenientes do arenito Bauru, confirmando que a ocorrência de apenas um material de origem tende a reduzir a variação dos atributos do solo nas unidades de mapeamento.

Ressalta-se que os valores de pH em água sempre foram superiores aos valores de pH em KCl, apresentando uma diferença que variou entre 0,6 e 1,2. Isso denota a ocorrência exclusiva de solos com delta pH negativo.

Quadro 16. Parâmetros estatísticos de pH em água dos horizontes A e B, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo e Argissolo.

Delinea-mento	**Argissolo Vermelho**			**Latossolo Vermelho**		
	Média	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**
			Horizonte A			
1	5,3	4,9	5,9	5,3	4,8	6,5
2	5,4	5,0	5,9	5,2	4,8	6,0
3	5,7	5,2	7,0	5,4	4,7	6,1
4	5,5	5,0	6,1	5,4	5,0	6,0
5	5,3	5,0	5,9	5,2	5,0	5,5
Total	5,5	4,9	7,0	5,3	4,7	6,5
			Horizonte B			
1	5,2	4,7	5,5	5,2	4,8	5,8
2	5,4	5,1	5,8	5,1	4,8	5,5
3	5,3	4,7	6,1	5,2	4,9	5,5
4	5,2	4,9	5,5	5,1	4,9	5,4
5	5,3	5,1	5,8	5,1	4,8	5,4
Total	5,3	4,7	6,1	5,1	4,8	5,8

Quadro 17. Parâmetros estatísticos de pH em KCl dos horizontes A e B, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo e Argissolo.

Delinea-mento	Argissolo Vermelho			Latossolo Vermelho		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
			Horizonte A			
1	4,5	4,1	4,9	4,3	3,8	5,5
2	4,5	4,2	4,9	4,2	3,9	4,9
3	4,8	4,3	6,1	4,5	3,9	5,1
4	4,6	4,2	5,4	4,5	4,2	5,0
5	4,3	4,1	4,7	4,2	3,9	4,6
Total	4,5	4,1	6,1	4,3	3,8	5,5
			Horizonte B			
1	4,2	3,9	4,6	4,2	4,1	4,4
2	4,4	4,3	4,5	4,1	3,9	4,3
3	4,4	4,0	5,1	4,3	4,2	4,4
4	4,3	4,1	4,4	4,1	4,0	4,2
5	4,3	4,1	4,7	4,1	4,0	4,2
Total	4,3	3,9	5,1	4,1	3,9	4,4

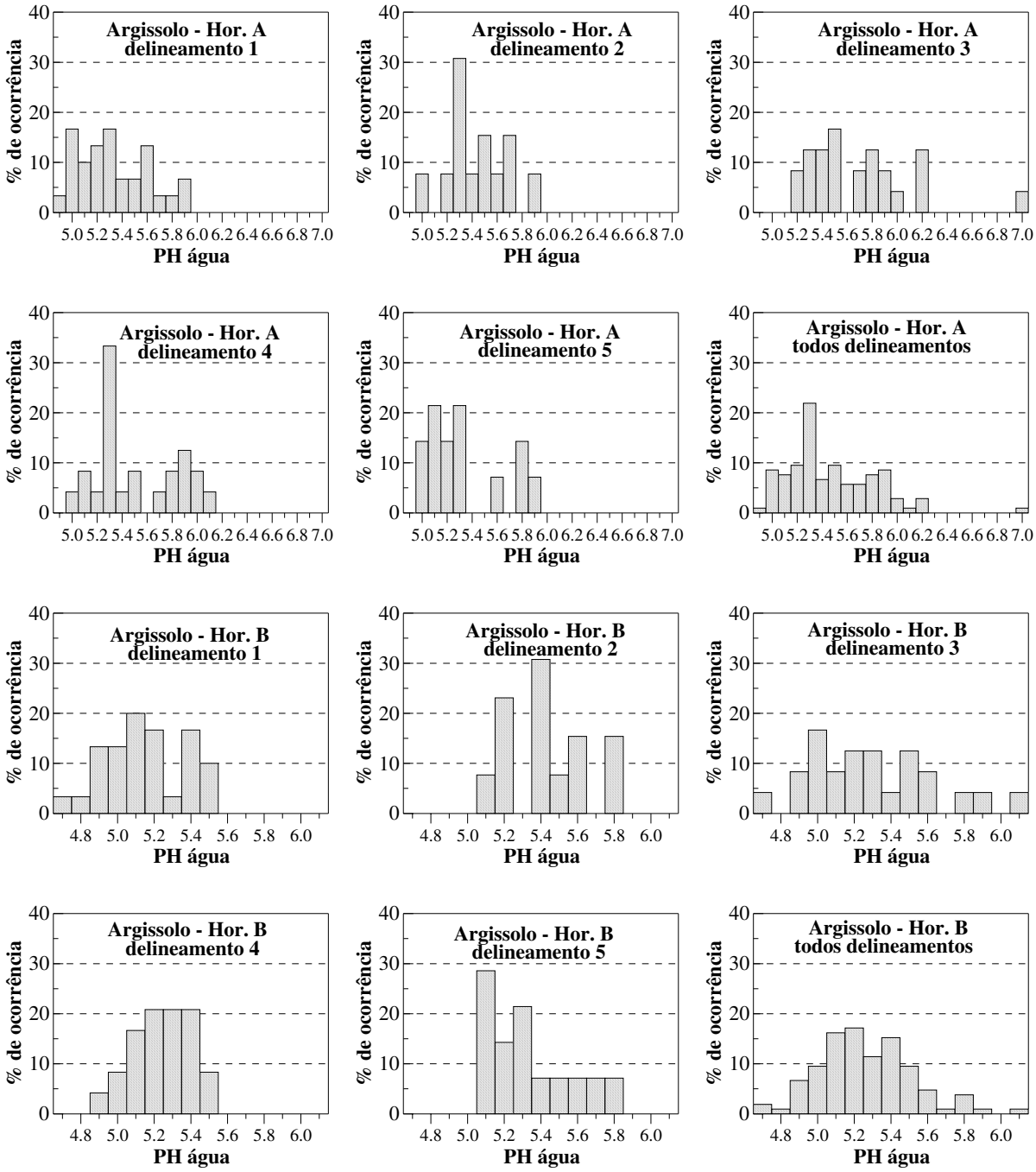

Figura 17. Distribuições de freqüência (histogramas) de pH em água, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B

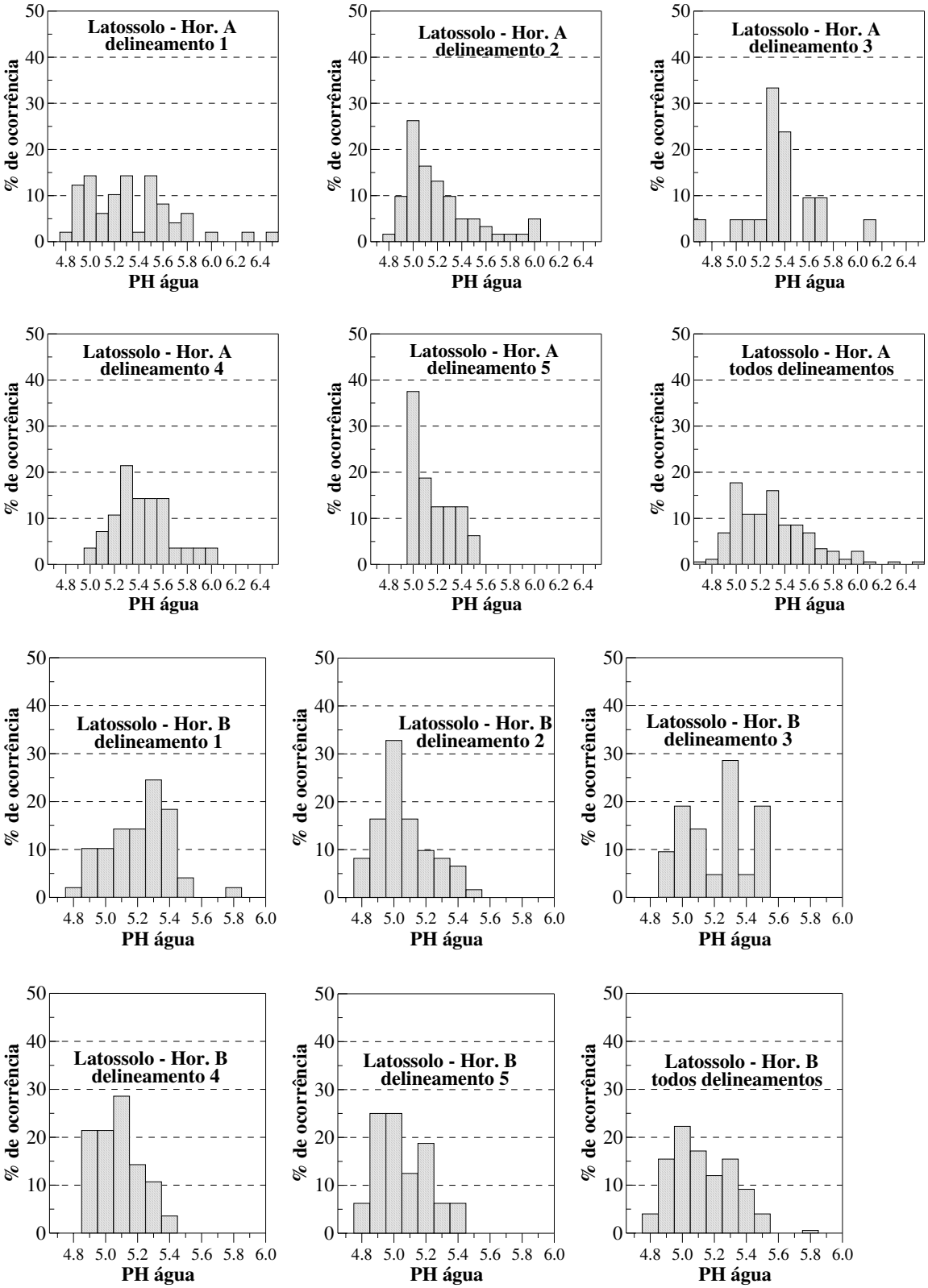

Figura 18. Distribuições de freqüência (histogramas) de pH água, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

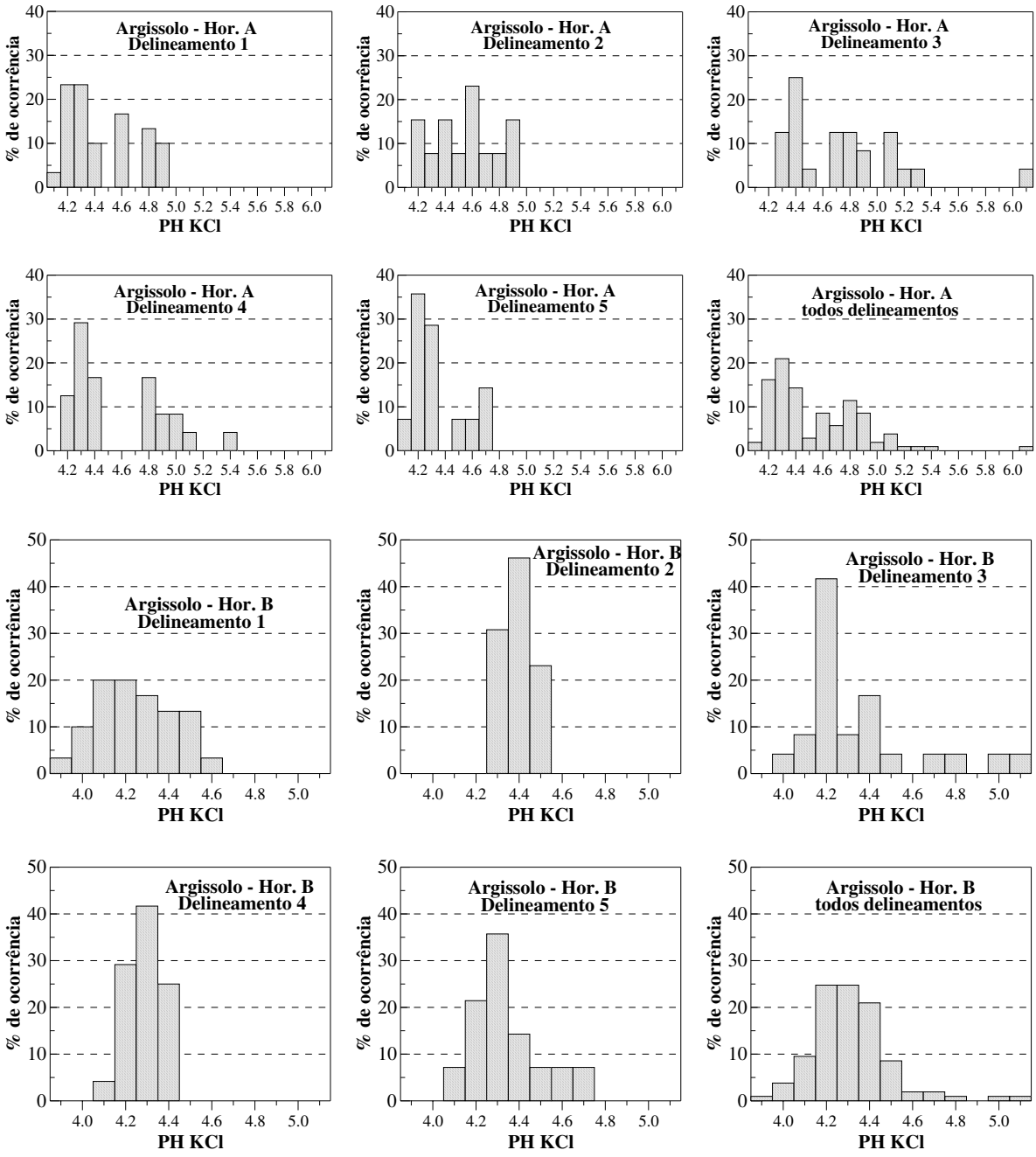

Figura 19. Distribuições de freqüência (histogramas) de pH em KCl, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

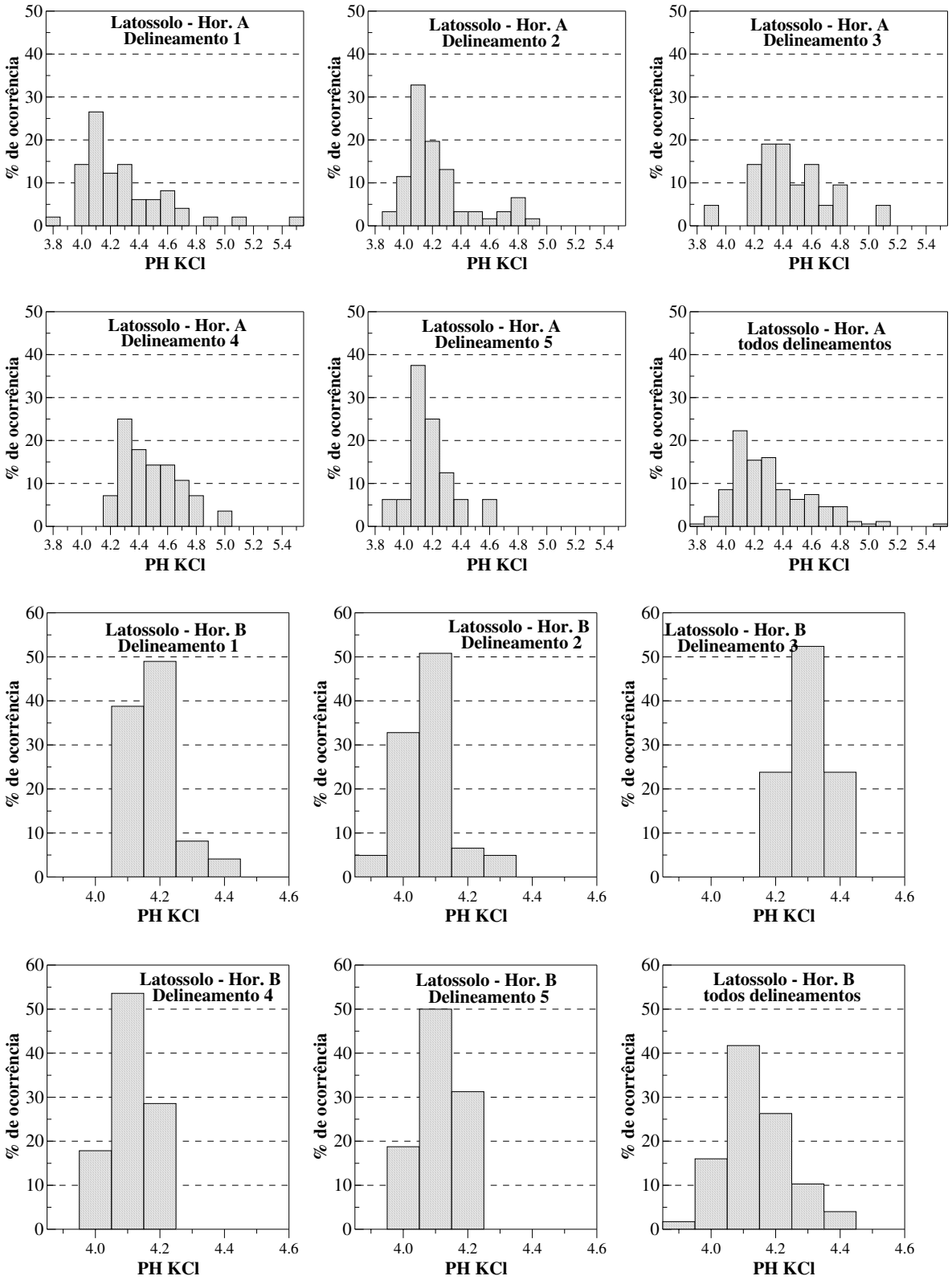

Figura 20. Distribuições de freqüência de pH em KCl, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

4.5.2. Frações granulométricas

Os valores médios de silte dos solos das duas unidades de mapeamento e em ambos os horizontes foram semelhantes (Quadro 18), apresentando uma amplitude pequena e, conseqüentemente uma variação pequena desse atributo. Verificaram-se também, valores muito baixos de silte, variando de 4 a 9 dag/kg, devido, principalmente, ao tipo de rocha que deu origem a esses solos (arenito do Grupo Bauru). Esse tipo de material de origem é formado, predominantemente por partículas grosseiras, com elevado teor de areia.

Com relação ao teor de argila, verificou-se nos solos da unidade de mapeamento Latossolo pouca variação em profundidade (Quadro 19), adequando-se ao conceito dessa classe de solo (baixo gradiente textural). Os valores médios variaram em torno de 14 dag/kg, no horizonte A e, 17 dag/kg no B. De forma contrária, na unidade de Argissolo notou-se incremento de argila em profundidade, com relação textural B/A acima de 1,7, conseqüentemente, possibilitando enquadra-lo como B textural (EMBRAPA, 1999). Como o teor de areia total é complementar aos teores de silte e argila, esta fração granulométrica apresentou valores mais elevados no horizonte A e menores no B (Quadro 20).

A variabilidade dos teores de areia e de argila, ao contrário da variabilidade do teor de silte, foi mais acentuada nos diferentes delineamentos como verificado nas Figuras 21 a 26. Nota-se que a distribuição dos teores de argila e areia nos delineamentos 1, 3 e 5 referente à unidade de Argissolo apresentou-se de forma bastante irregular (Quadros 19 e 20), devido a influência do basalto que confere textura mais fina aos solos dele derivados.

Quadro 18. Parâmetros estatísticos de silte (dag/kg), obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B

Delinea-mento	Argissolo Vermelho			Latossolo Vermelho		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Horizonte A						
1	5	4	7	5	4	6
2	6	4	7	5	4	8
3	7	5	8	5	4	7
4	5	4	7	6	4	8
5	6	5	8	6	4	7
Total	6	4	8	5	4	8
Horizonte B						
1	6	4	7	5	4	8
2	6	4	8	6	4	8
3	7	5	8	6	4	8
4	8	5	9	6	4	8
5	8	6	9	6	4	8
Total	7	4	9	6	4	8

Quadro 19. Parâmetros estatísticos de argila (dag/kg), obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B

Delinea-	Argissolo Vermelho			Latossolo Vermelho		
mento	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
			Horizonte A			
1	9	7	17	14	12	16
2	7	5	9	13	12	16
3	11	8	17	13	12	16
4	7	6	9	14	13	16
5	10	8	14	14	12	15
Total	9	5	17	13	12	16
			Horizonte B			
1	19	16	31	17	16	19
2	25	23	27	17	16	19
3	23	19	34	17	16	20
4	25	23	29	18	16	19
5	25	21	34	17	16	19
Total	23	16	34	17	16	20

Quadro 20. Parâmetros estatísticos de Areia total (dag/kg), obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B

Delinea-	Argissolo Vermelho			Latossolo Vermelho		
mento	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
			Horizonte A			
1	86	76	89	82	80	83
2	87	84	90	81	79	84
3	83	76	86	81	78	84
4	88	84	90	80	78	82
5	84	80	87	81	78	83
Total	85	76	90	81	78	84
			Horizonte B			
1	75	62	80	78	75	80
2	69	66	71	77	73	80
3	70	58	74	77	73	79
4	67	62	70	76	73	80
5	68	58	78	77	73	80
Total	70	58	80	77	73	80

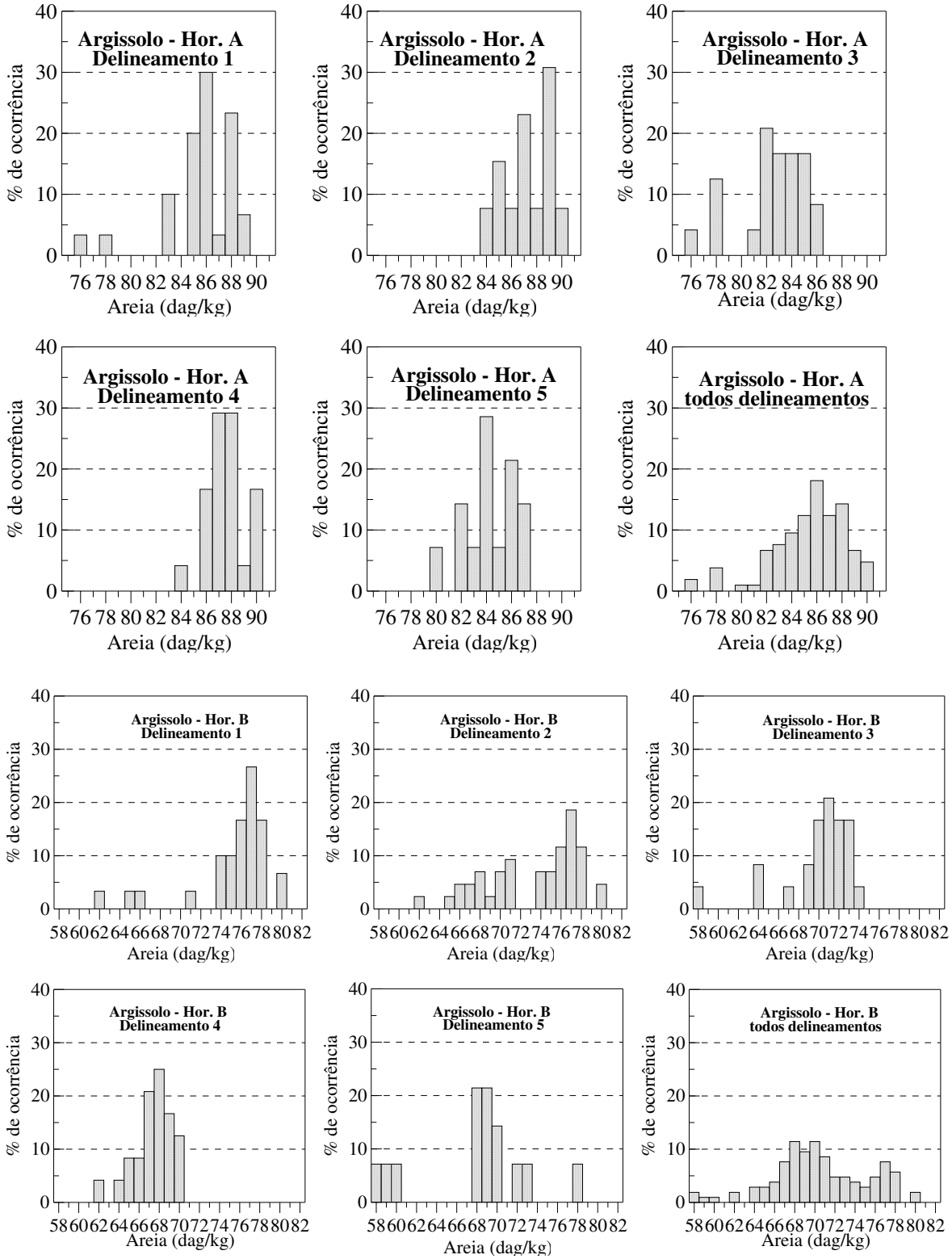

Figura 21. Distribuições de freqüência (histogramas) de areia total, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

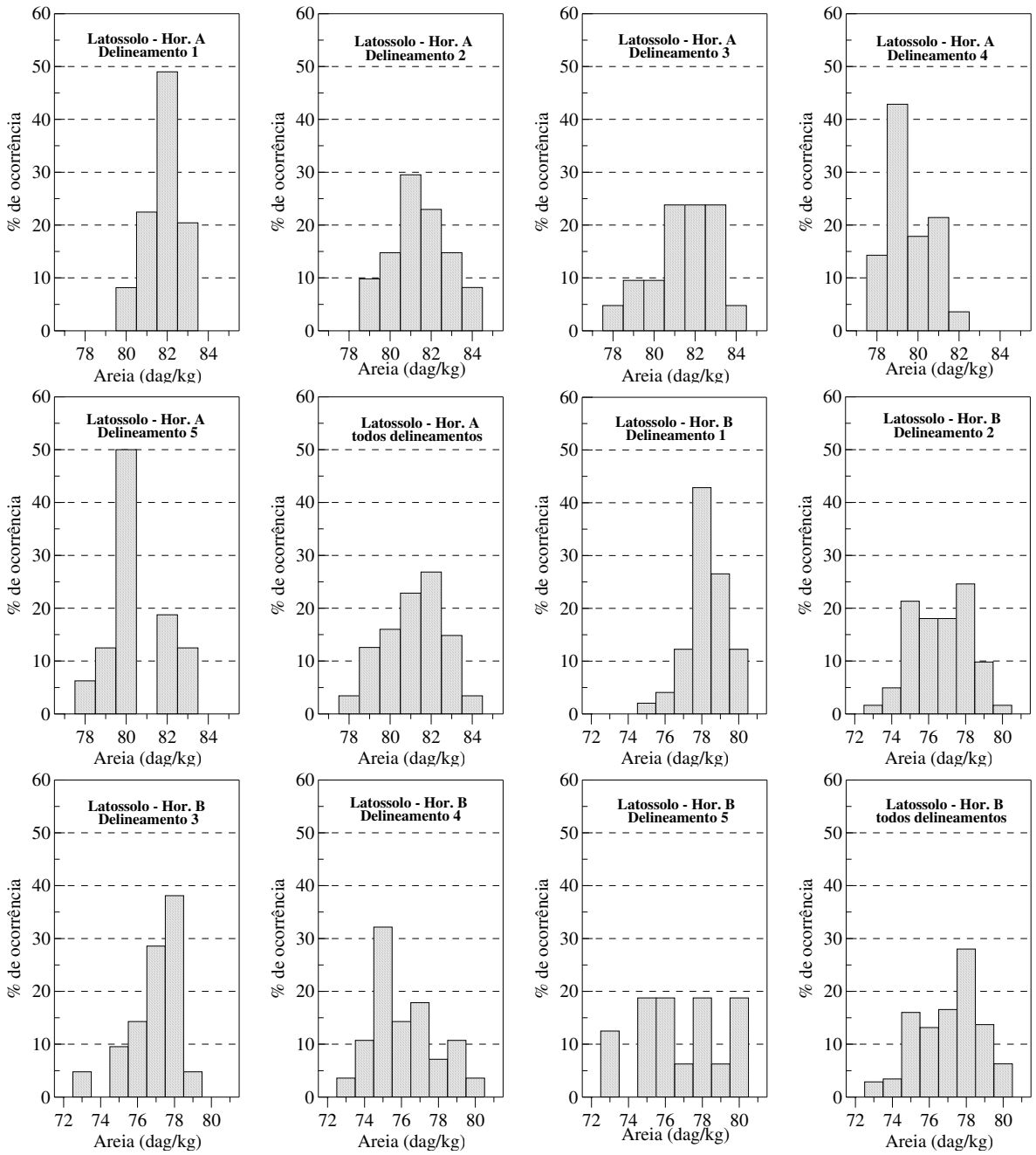

Figura 22. Distribuições de freqüência (histogramas) de areia total, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

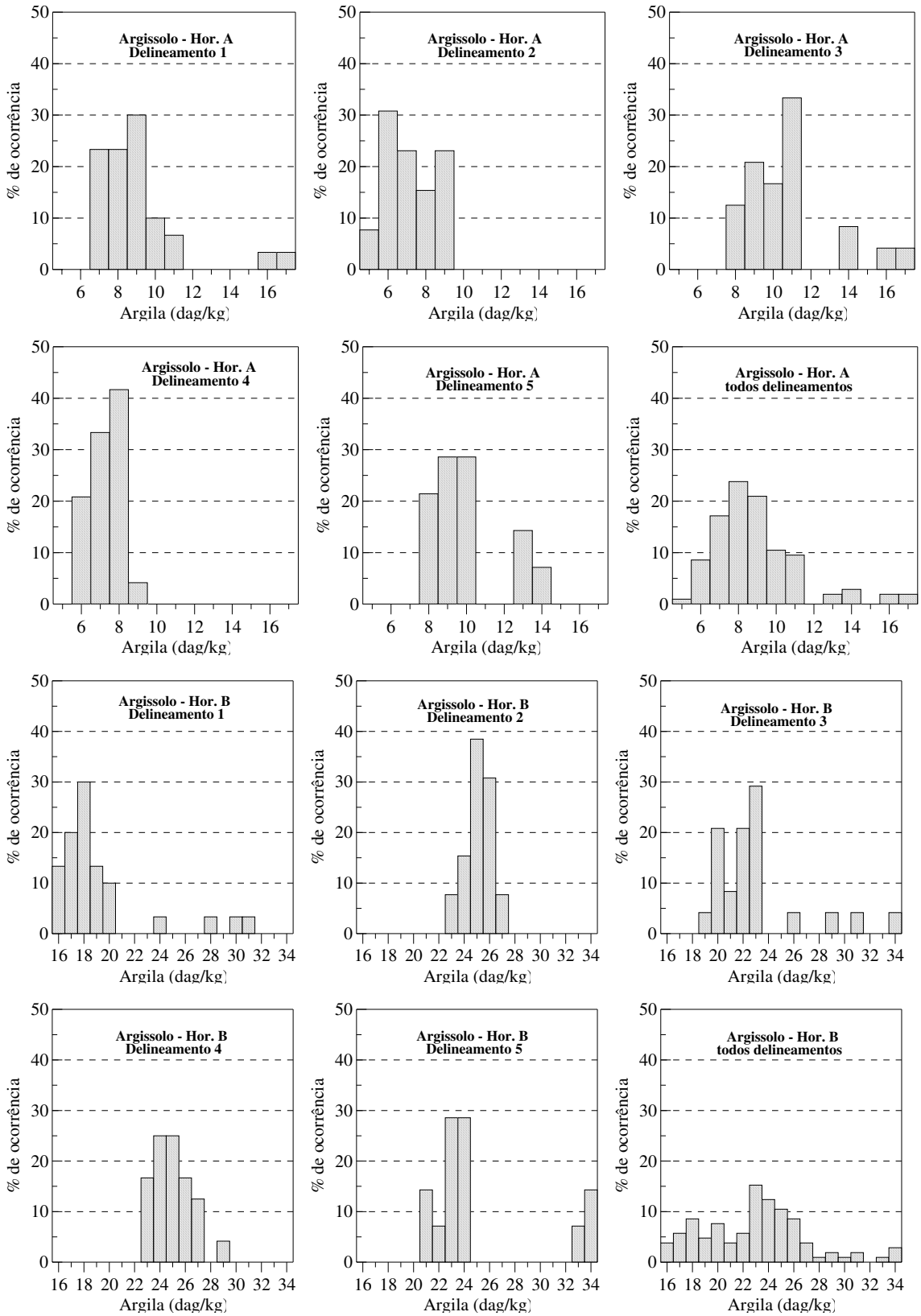

Figura 23. Distribuições de freqüência (histogramas) de argila, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

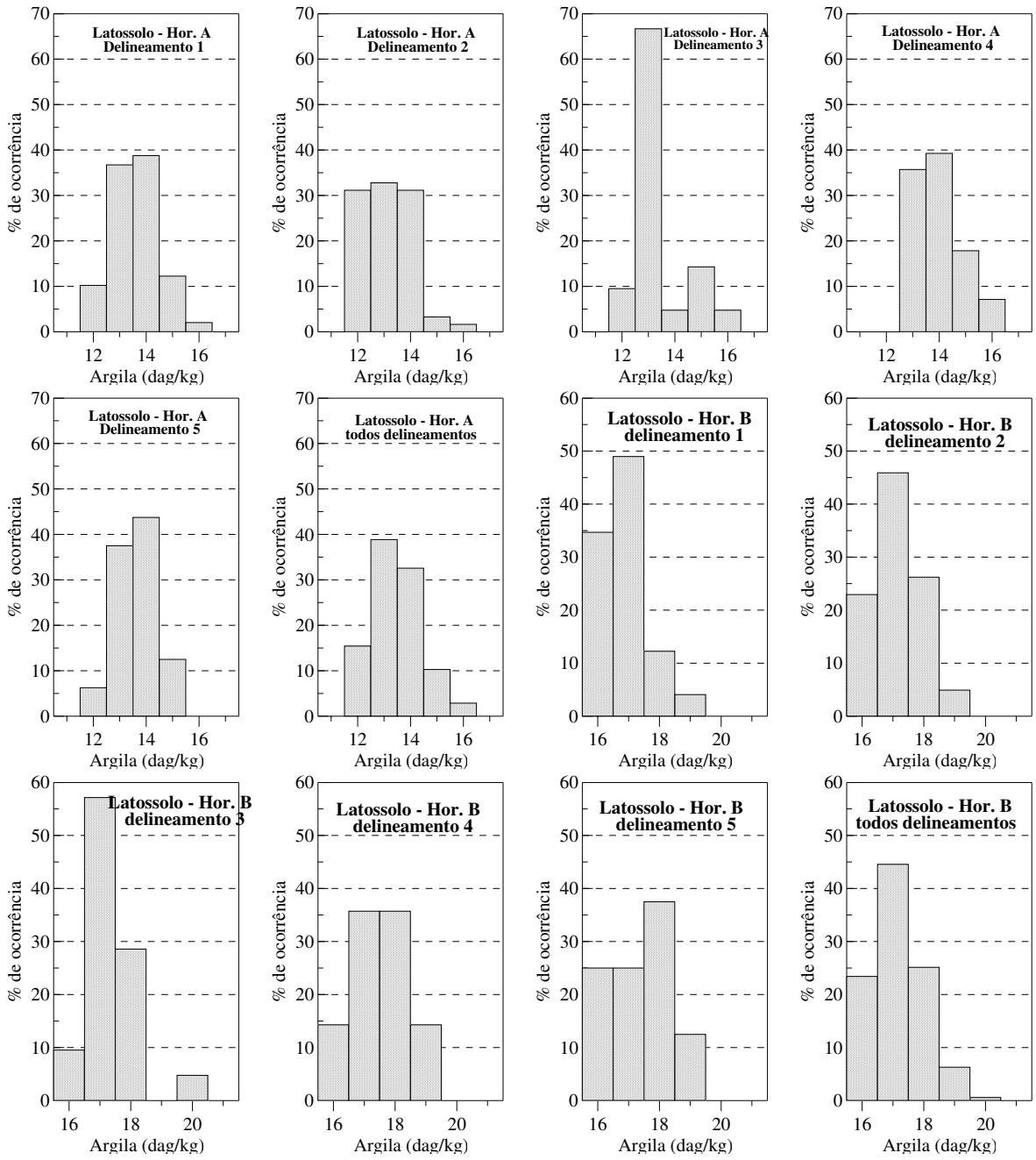

Figura 24. Distribuições de freqüência (histogramas) de argila, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

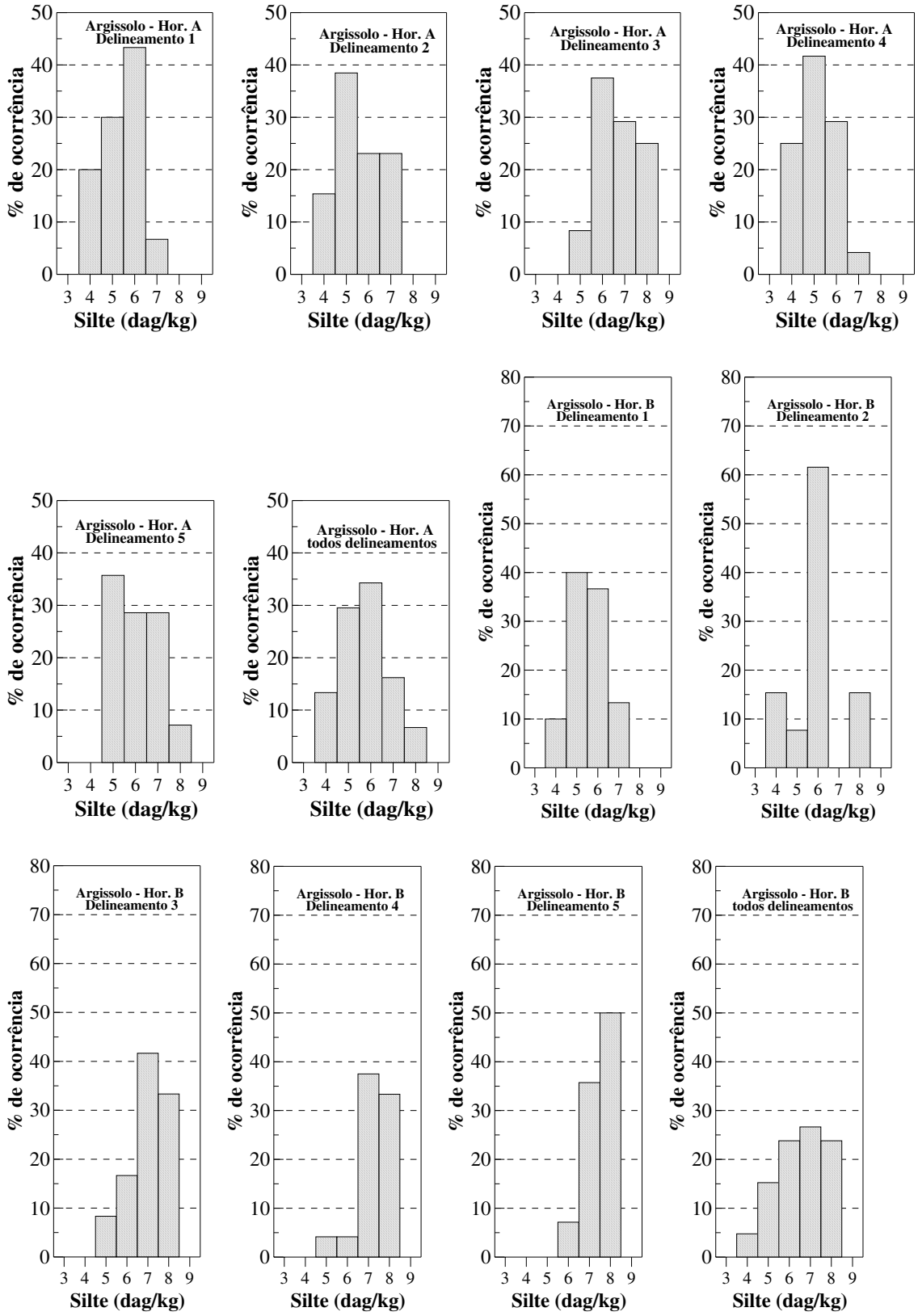

Figura 25. Distribuições de freqüência (histogramas) de silte, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

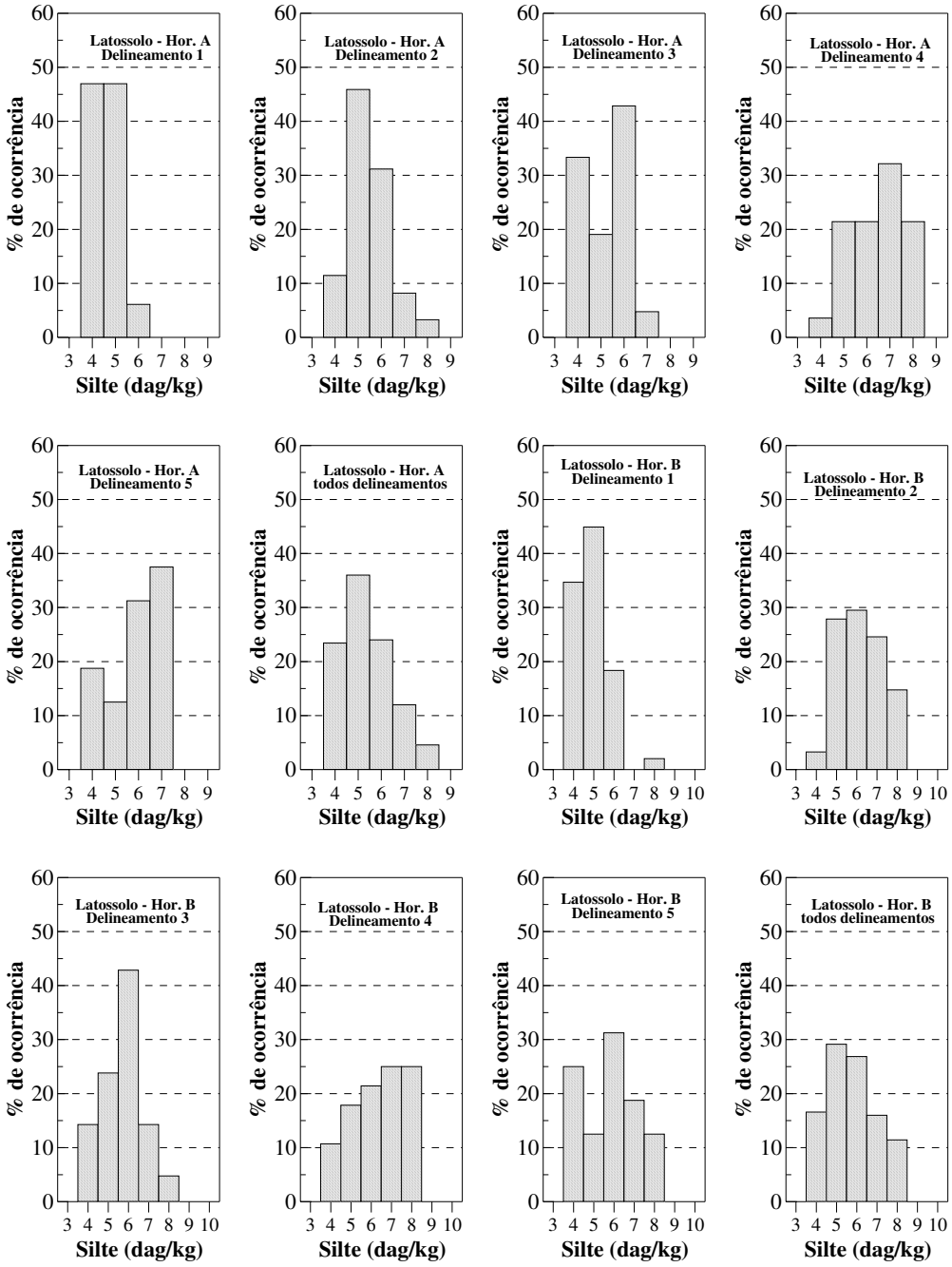

Figura 26. Distribuições de freqüência (histogramas) de silte, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

4.5.3. Saturação por bases e por alumínio

Nota-se nos Quadros 21 e 22 que os valores médios de saturação por bases e por alumínio, no horizonte B, permitem classificar todos os solos amostrados na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho como sendo álicos, isto é, apresentam saturação por alumínio acima de 50%. Nos solos amostrados na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho também foi verificada uma predominância de solos álicos, porém, neste caso, aparecem alguns solos classificados como distróficos, que por definição devem apresentar saturação por bases e por alumínio menor que 50%.

No horizonte A, verificou-se comportamentos semelhantes desses atributos, ressaltando-se que na unidade de mapeamento Latossolo que é utilizada mais intensamente para a produção de cana-de-açúcar, a variação dos dados foi ainda mais elevada, em relação à unidade de mapeamento Argissolo Vermelho (Quadros 21 e 22).

De todos os atributos analisados a saturação por bases e a por alumínio foram os que apresentaram maior faixa de variação, inclusive com elevado número de intervalos de classes (Figuras 27, 28, 29 e 30). A maior variabilidade dos dados desses atributos, no horizonte A, confirmou, assim como o ocorrido com o pH em água e em KCl, a influência do manejo na alteração dos valores dos atributos químicos do solo da camada superficial do solo. De forma contrária, no horizonte B, notou-se uma menor variação, porém, esse fato não condicionou uma distribuição normal dos dados, principalmente nos delineamentos em que há variabilidade mais elevada.

Quadro 21. Parâmetros estatísticos de saturação por bases, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B

Delineamento	Argissolo Vermelho			Latossolo Vermelho		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Horizonte A						
1	28	18	47	22	7	47
2	29	17	42	17	4	46
3	30	16	58	20	11	43
4	25	16	45	23	14	46
5	21	16	25	17	12	27
Total	27	16	58	20	4	47
Horizonte B						
1	20	16	27	13	6	26
2	22	18	26	9	4	18
3	20	15	32	11	7	16
4	18	15	24	11	7	16
5	20	16	26	9	8	11
Total	20	15	32	11	4	26

Quadro 22. Parâmetros estatísticos de saturação por alumínio, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, horizontes A e B

Delineamento	Argissolo Vermelho			Latossolo Vermelho		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Horizonte A						
1	36	22	55	59	20	86
2	23	7	55	63	29	88
3	44	25	65	54	25	73
4	49	28	62	61	45	72
5	53	44	59	65	56	76
Total	41	7	65	61	20	88
Horizonte B						
1	57	50	65	79	60	87
2	55	52	60	81	68	91
3	58	43	68	75	70	84
4	61	52	66	77	65	86
5	57	46	62	76	71	81
Total	58	43	68	79	60	91

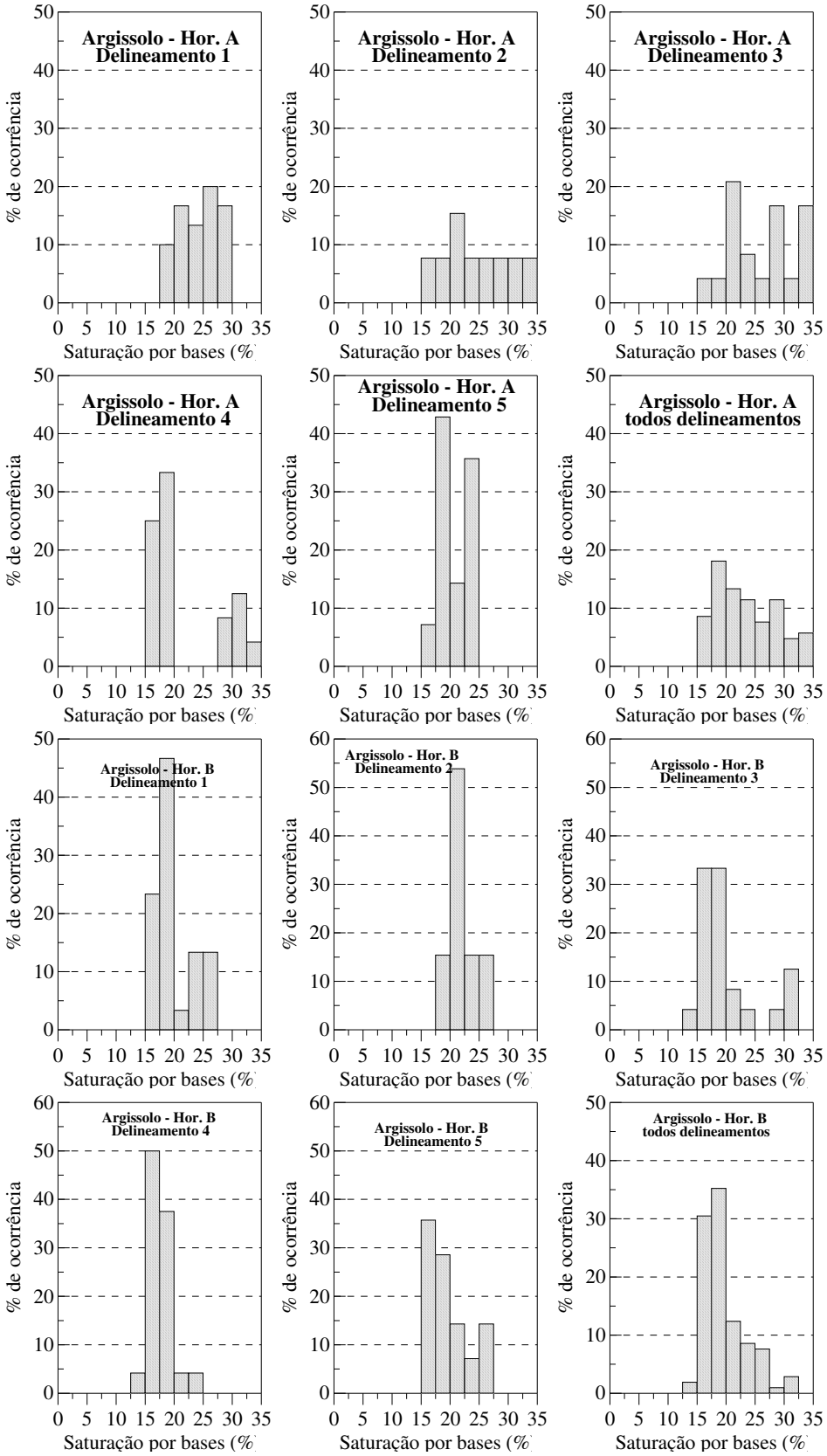

Figura 27. Distribuições de freqüência de saturação por bases, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

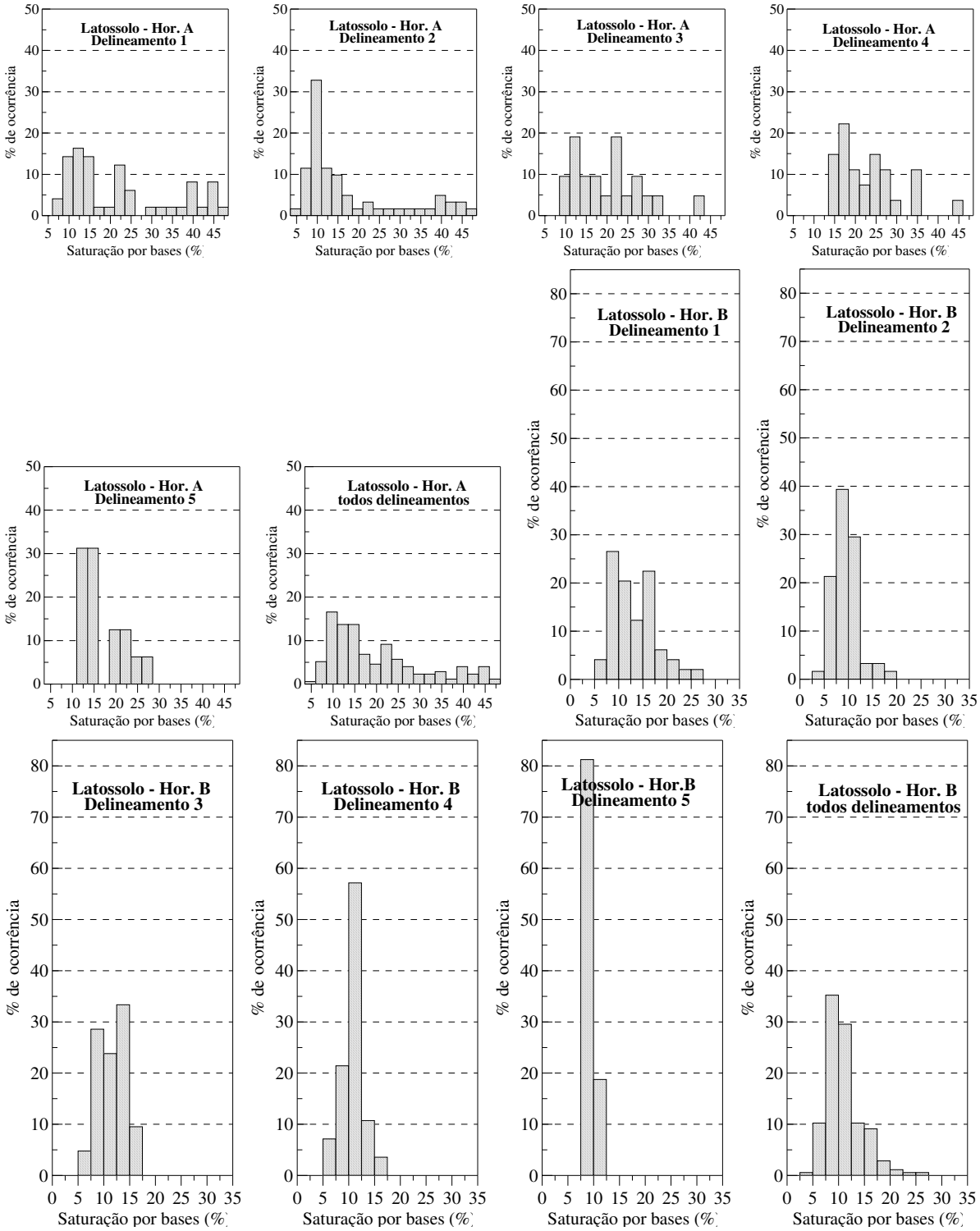

Figura 28. Distribuições de freqüência de saturação por bases, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

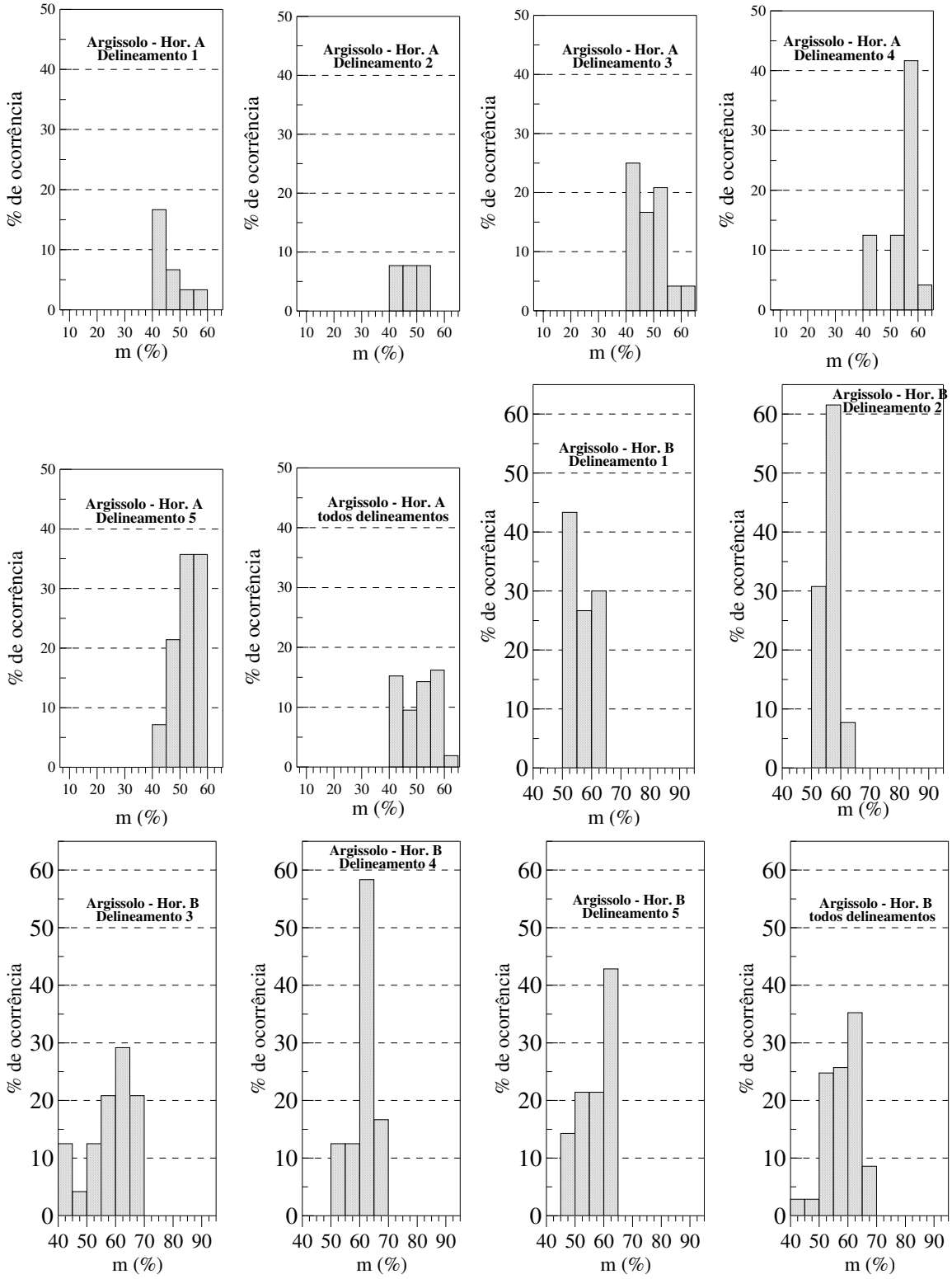

Figura 29. Distribuições de freqüência de saturação por alumínio, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

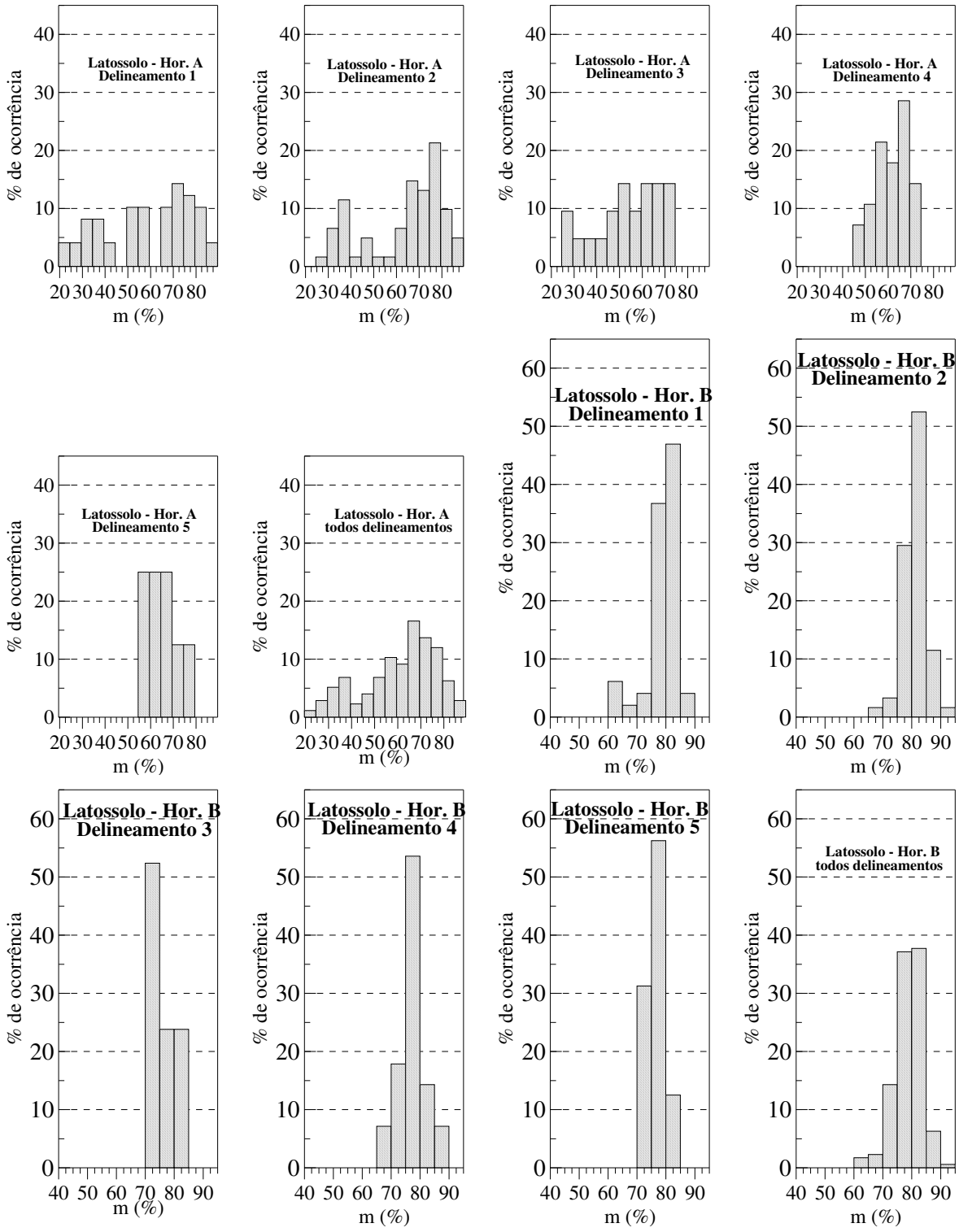

Figura 30. Distribuições de freqüência de saturação por alumínio, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

4.5.4. Espessura do horizonte A

Os horizontes do solo são seções de constituição mineral ou orgânica, aproximadamente paralelas á superfície do terreno; parcialmente expostas no perfil do solo e; dotadas de propriedades geradas por processos formadores do solo, que lhe conferem características de inter-relacionamento com outros horizontes componentes do perfil, dos quais se diferenciam em virtude de diversidade de atributos resultantes da ação pedogenética (CURI et al., 1993).

O horizonte A, por sua vez, é considerado um horizonte mineral superficial, no qual as feições enfatizadas são a acumulação de matéria orgânica associada à fração mineral e a atividade biológica. A espessura desse horizonte é muito variável em função dos fatores e processos de formação que lhe deram origem, bem como devido à influência antrópica, através da exploração agrícola. O manejo incorreto do solo pode propiciar a ocorrência de processos erosivos e, conseqüentemente, a perda parcial ou total desse horizonte na forma de enxurradas, resultando em erosão laminar ou em sulco. Isso indica que a espessura do horizonte Á de um solo é fortemente influenciada pelo seu manejo.

O conhecimento da espessura do horizonte A é importante em vários aspectos, principalmente nos relacionados às atividades agrícolas, tais como: volume de solo com teor de matéria orgânica relativamente elevado, melhorando a absorção de nutrientes; capacidade de armazenamento e disponibilidade de água; escolha da profundidade adequada para a utilização de implementos agrícolas; etc.

Verificou-se nos delineamentos estudados que a espessura do horizonte A, na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho apresentou valores em torno de 25 cm (Quadro 23), indicando ocorrência de processos erosivos e de degradação desse solo, pois em condições menos alteradas pelo manejo este horizonte é mais espesso. Tal afirmação é comprovada pelo fato de que pontos amostrados em áreas com vegetação secundária apresentaram espessura próxima a 30 cm. Na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho os valores médios foram menores, nos delineamentos 1, 3 e 4 e mais elevados nos delineamentos 2 e 5, indicando a maior susceptibilidade à erosão de seus solos em relação aos do Latossolo Vermelho.

Notou-se também que os delineamentos que apresentaram maior número de intervalos de classes foram aqueles em que havia ocorrência mais acentuada de processos erosivos, bem como pontos com os menores valores de espessura do horizonte A (Figura 31).

Em ambas as unidades de mapeamento verificou-se variabilidade da espessura do horizonte A, nos diferentes delineamentos (Quadro 23). Contudo, a espessura média nos delineamentos pertencentes à unidade de mapeamento de Latossolo ficou em torno de 25 cm. O mesmo não foi verificado na unidade de mapeamento de Argissolo, na qual a espessura média nos delineamentos analisados foi mais discrepante, variando de 22 a 27 cm. O histograma do delineamento 2 exemplifica bem tal variação, a qual apresentou uma distribuição do tipo bi-modal. Nesse caso nota-se uma segregação de dois grupos de dados. Um deles apresenta-se com espessura em torno de 24 cm e outro em torno de 28 cm. Isso pode ser devido, como discutido anteriormente, à ocorrência de processos erosivos (erosão laminar ou sulcos rasos), pois nas fichas de descrição de campo dos pontos pertencentes ao grupo que apresentam espessura em torno de 24 cm, foram descritas ocorrências de processos erosivos. Nas fichas dos pontos pertencentes ao grupo com espessuras em torno de 28 cm não foi observada nenhuma anotação quanto à ocorrência desses processos.

Quadro 23. Parâmetros estatísticos da espessura do horizonte A, obtidos por delineamento, nas unidades de mapeamento Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho.

Delinea-	**Argissolo Vermelho**			**Latossolo Vermelho**		
mento	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**
1	23	14	26	26	22	30
2	27	23	29	24	20	26
3	22	16	25	24	22	25
4	22	14	26	26	22	28
5	26	24	29	25	23	27
Total	23	14	29	25	20	30

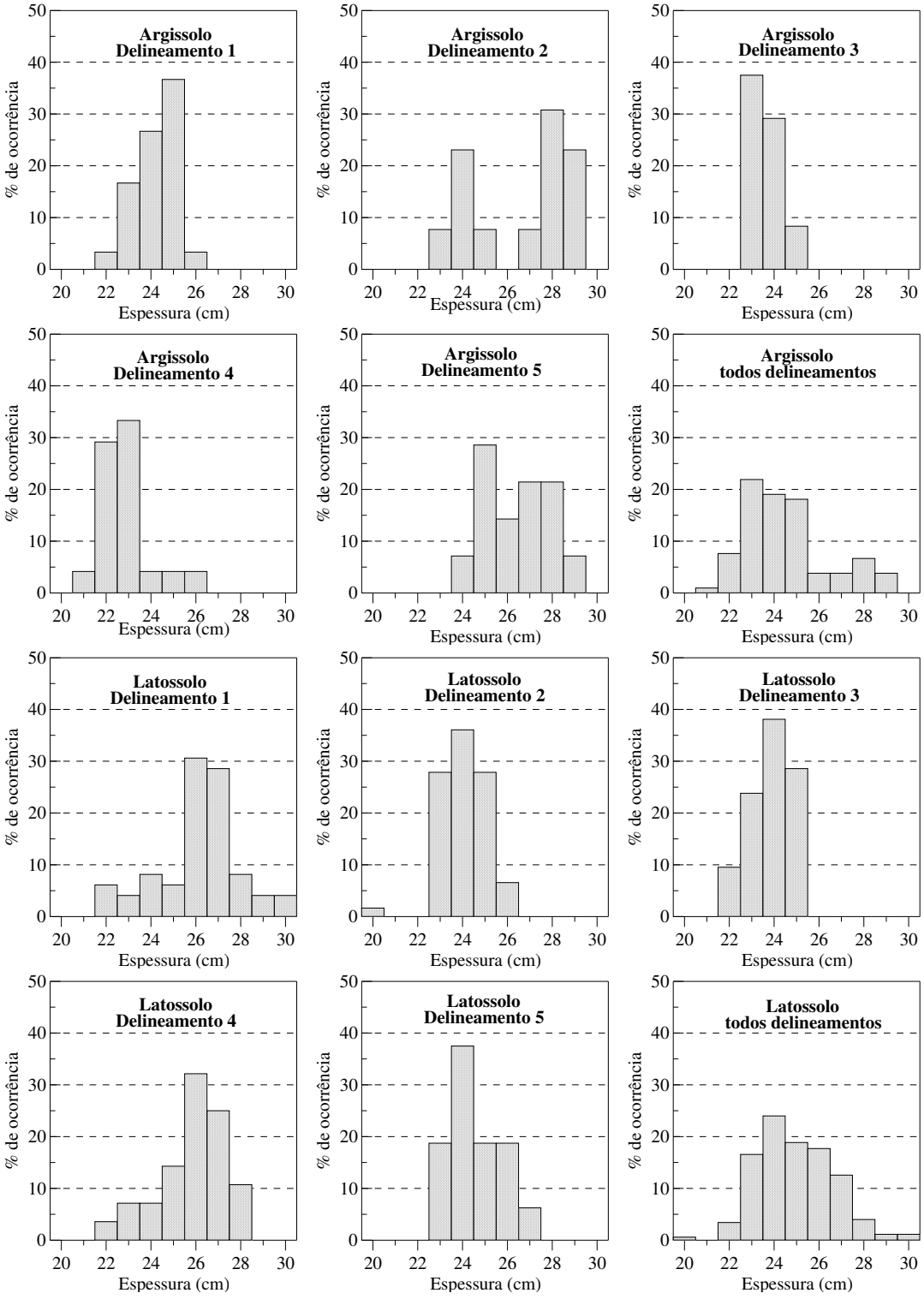

Figura 31. Distribuições de freqüência de espessura do horizonte A, referente aos delineamentos das unidades de mapeamento Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho.

4.6. Dependência espacial de atributos do solo em levantamentos pedológicos semidetalhados

O estudo da variabilidade de atributos do solo em levantamentos pedológicos deve vir acompanhado da análise geoestatística, que segundo alguns autores (CAMBARDELLA et al., 1994; McBRATNEY et al., 2000) é uma metodologia complementar aos estudos estatísticos convencionais.

Quando em um determinado semivariograma é detectada a dependência espacial de um atributo do solo, nota-se que os valores de semivariância vão aumentando à medida que cresce a distância de comparação entre pontos amostrados. Ao atingir o **patamar** os valores de semivariância param de aumentar, mantendo um mesmo nível em relação ao eixo y, passando, assim, a oscilar em torno de um valor (patamar) que corresponde ao valor aproximado da variância dos dados.

No ponto de inflexão, isto é, no momento em que os valores de semivariância atingem o patamar, tem-se, no eixo x, uma distância "a" que é denominada **alcance**. O alcance da autocorrelação espacial, ou seja, a distância máxima até a qual os atributos estão espacialmente correlacionados, representa uma distância média dentro do qual os valores apresentam-se com maior grau de homogeneidade e são correlacionados uns com os outros. Com isto pode-se dizer que as amostras separadas por distâncias menores que o valor do alcance são correlacionadas espacialmente (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; JOURNEL & HUIJBREGTS, 1991; VIEIRA, 2000).

Com relação ao **efeito pepita**, este é o parâmetro do semivariograma que representa a intersecção da curva ajustada com o eixo y. O valor desse parâmetro varia em função da variabilidade espacial, apresentando elevada dependência quanto mais próximo ao eixo x, e de forma contrária, baixa dependência espacial quanto mais próximo do patamar (TRANGMAR et al., 1987). Pode ocorrer também o efeito pepita puro que é a ausência de dependência espacial, correspondendo a total aleatoriedade da distribuição dos dados. Isso pode se referir a um erro analítico (variabilidade não explicada), ou pode ser devido às variações não detectadas em função da distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA et. al., 1994). A degradação física e química do solo pode causar variações com tal nível de alterações espaciais, determinando, muitas vezes, a ocorrência do efeito pepita puro, isto é, variação

aleatória dos dados (SALVIANO, 1996; BERG & KLANT, 1997; BERTOLANI & VIEIRA, 2001).

Em áreas de transição entre duas unidades de mapeamento limítrofes é comprovado que os atributos do solo apresentam elevada dependência espacial (CAMPBELL, 1978; OVALLES & COLLINS, 1988; BERG & OLIVEIRA, 2000), a qual está condicionada, tanto às variações dos fatores de formação do solo, principalmente do material de origem e do relevo (BECKETT & WEBSTER, 1971), como também ao formato da superfície geomórfica (SOUZA, 2001). Este último autor ressalta que, a convexidade ou concavidade de uma superfície condicionará fluxos hídricos diferenciados e, conseqüentemente processos de formação do solo distintos. Da mesma forma, nos delineamentos que compõem uma mesma unidade de mapeamento, a dependência espacial, bem como a distribuição dos atributos do solo é variável. Os diferentes valores dos parâmetros dos semivariogramas obtidos nos delineamentos estudados (Quadros 24 e 25) confirmaram que, em delineamentos que compõem uma mesma unidade de mapeamento, a dependência espacial e a distribuição dos atributos do solo são variáveis, semelhantemente ao discutido por CAMPBELL (1978). Isso se deve ao fato de que apesar dos diferentes delineamentos pertencerem a uma mesma unidade de mapeamento, estes também estão sujeitos a atuações diferenciadas dos fatores e processos de formação do solo.

Quadro 24. Parâmetros dos atributos estudados em diferentes delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho textura média – horizontes A e B

Delineamentos	**Parâmetros do semivariograma**			
	Modelo	**Efeito pepita (Co)**	**C1**	**Alcance**
pH em água – horizonte A				
L1	Exponencial	0,57	0,51	690
L2	Esférico	0,11	0,97	558
L4	------ efeito pepita puro ------			
Argila (dag/kg) – horizonte A				
L1	------ efeito pepita puro ------			
L2	Exponencial	0,4	0,74	1210
L4	------ efeito pepita puro ------			
S ($cmol_c$/kg) – horizonte A				
L1	Esférico	0,5	0,6	600
L2	Gaussiano	0,24	0,94	792
L4	------ efeito pepita puro ------			
m (%)– horizonte A				
L1	Esférico	0,53	0,6	700
L2	Gaussiano	0,22	0,96	960
L4	Esférico	0,36	0,7	360
pH em água – horizonte B				
L1	------ efeito pepita puro ------			
L2	Esférico	0,27	0,8	360
L4	------ efeito pepita puro ------			
pH em KCl – horizonte B				
L1	------ efeito pepita puro ------			
L2	Exponencial	0,43	0,73	720
L4	------ efeito pepita puro ------			
Argila (dag/kg) – horizonte B				
L1	------ efeito pepita puro ------			
L2	Esférico	0,19	0,86	684
L4	------ efeito pepita puro ------			
V (%)– horizonte B				
L1	Esférico	0,51	0,64	882
L2	------ efeito pepita puro ------			
L4	Gaussiano	0,52	0,58	360

Quadro 25. Parâmetros dos atributos estudados em diferentes delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho textura arenosa/média – horizontes A e B

Delineamentos	**Parâmetros do semivariograma**			
	Modelo	**Efeito pepita (Co)**	**C1**	**Alcance**
pH em KCl – horizonte A				
A1	Esférico	0,21	1	731
A3	Gaussiano	0,36	0,83	486
A5	------ efeito pepita puro ------			
Areia total (dag/kg) – horizonte A				
A1	------ efeito pepita puro ------			
A3	Gaussiano	0,6	0,5	380
A5	Esférico	0,56	0,62	1140
Argila (dag/kg) – horizonte A				
A1	Esférico	0,52	0,58	656
A3	------ efeito pepita puro ------			
A5	Exponencial	0,41	0,8	1440
S ($cmol_c/kg$) – horizonte A				
A1	Esférico	0,15	1	528
A3	Gaussiano	0,28	0,8	460
A5	Esférico	0,13	0,94	342
CTC ($cmol_c/kg$) – horizonte A				
A1	Esférico	0,49	0,65	735
A3	------ efeito pepita puro ------			
A5	------ efeito pepita puro ------			
pH em KCl – horizonte B				
A1	Esférico	0,07	1	594
A3	Esférico	0,1	0,92	1207
A5	------ efeito pepita puro ------			
Silte (dag/kg) – horizonte B				
A1	------ efeito pepita puro ------			
A3	Esférico	0,82	0,25	900
A5	Exponencial	0,52	0,61	1260
CTC ($cmol_c/kg$) – horizonte B				
A1	Exponencial	0,1	0,97	540
A3	Esférico	0,47	0,57	1157
A5	------ efeito pepita puro ------			
V (%)– horizonte B				
A1	Esférico	0,31	0,88	882
A3	Gaussiano	0,24	0,72	648
A5	------ efeito pepita puro ------			

4.6.1. Unidade de mapeamento Latossolo Vermelho

Com os parâmetros estatísticos foi possível detectar a elevada variabilidade dos atributos do solo nos diferentes delineamentos de ambas as unidades de mapeamento (Quadros 1 e 2). Da mesma forma, os semivariogramas apresentaram ajustes diferentes para cada delineamento, evidenciando diferentes graus de dependência espacial (Figuras 32 a 40). As diferenças da distribuição espacial dos atributos nessa unidade de mapeamento podem ser notadas em ambos os horizontes, pois os parâmetros do semivariograma (efeito pepita, patamar e alcance) apresentaram-se com valores distintos em cada delineamento.

Com relação aos modelos ajustados aos semivariogramas notou-se uma predominância do modelo esférico, seguido pelo exponencial. No entanto, para a maioria dos atributos, obteve-se um modelo diferente para cada delineamento estudado. Isso pode indicar que, apesar dos delineamentos de uma determinada unidade de mapeamento estarem inseridos em superfícies geomórficas semelhantes, os seus atributos não apresentaram dependência espacial semelhantes dada a influência: do histórico de uso do solo; do tipo de transição entre as superfícies geomórficas (gradual, abrupta, etc); das unidades de mapeamento que fazem limite com a unidade estudada e; do espaçamento entre amostragens. Essas fontes de variação imprimem aos atributos do solo diferentes comportamentos quanto à sua dependência espacial, denotando a necessidade de caracteriza-la separadamente por delineamento.

Nota-se ainda que na unidade de mapeamento de Latossolo Vermelho os valores de alcance para os atributos estudados nos diferentes delineamentos apresentaram uma elevada variação, com valores que vão desde 324 metros até 1368 metros (Figuras de 28 a 36), não sendo possível, portanto, adotar um valor de distância entre amostragens que poderia ser utilizado em outras malhas a serem realizadas nessa unidade de mapeamento e que representasse tais atributos. SOUZA et al. (1997) e BERTOLANI & VIEIRA (2001), utilizando malhas de amostragem com maior detalhamento, encontraram valores de alcance semelhantes, evidenciando que em determinadas condições (intensidade de amostragem, variação de material de origem, etc) é possível adotar valores de distância para futuras amostragens realizadas. Ressalta-se que tais indicações devem ser realizadas somente para o mesmo solo e condições estudadas.

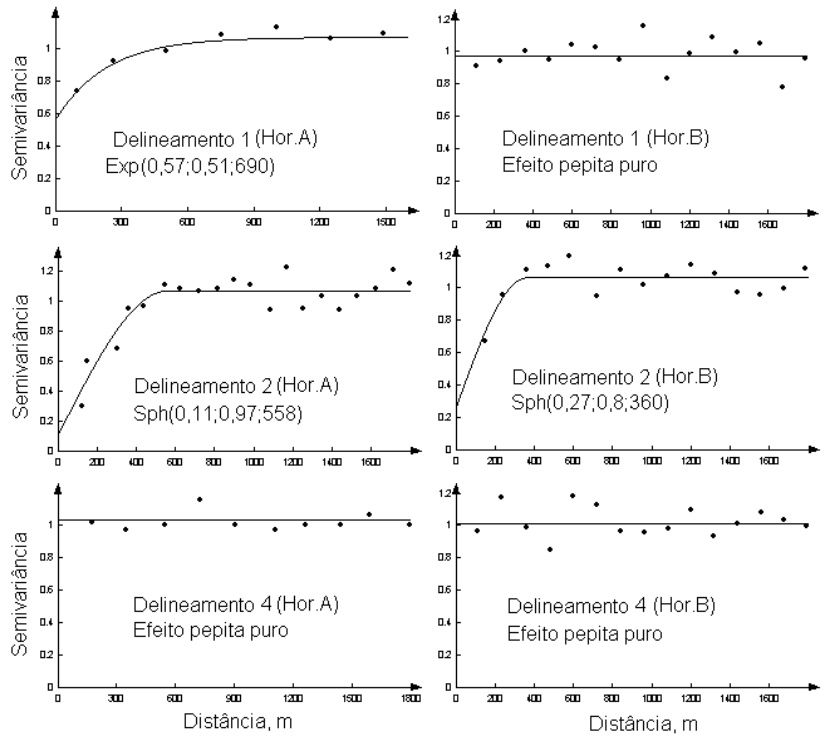

Figura 32. Semivariogramas de pH em água, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

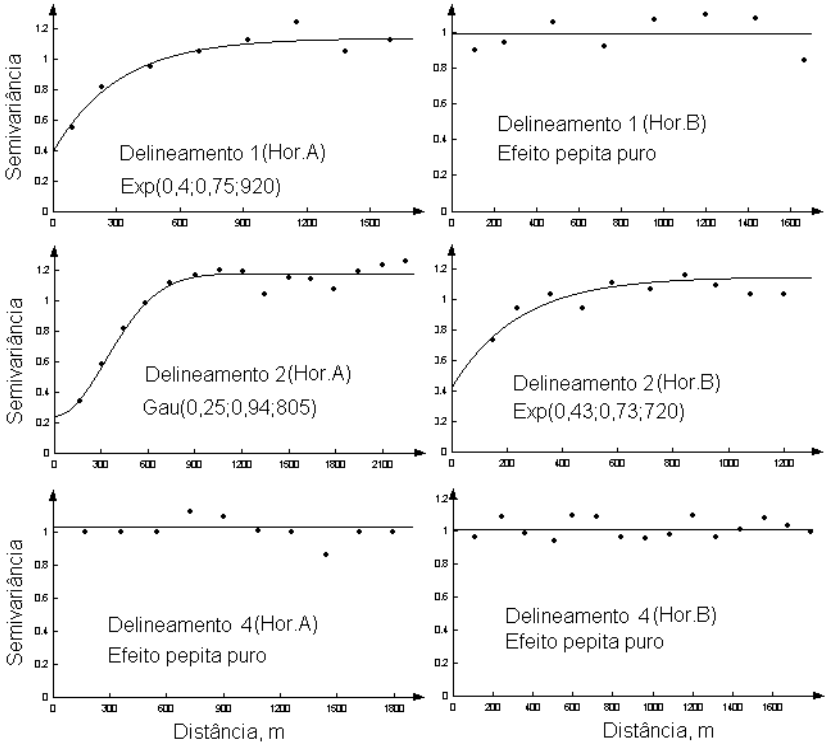

Figura 33. Semivariogramas de pH em KCl, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

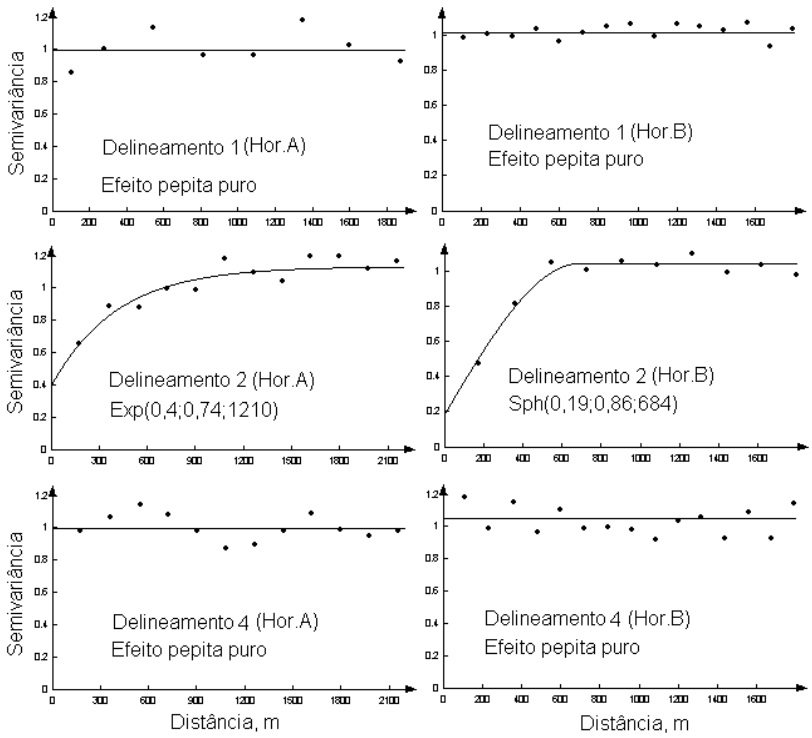

Figura 34. Semivariogramas de argila, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

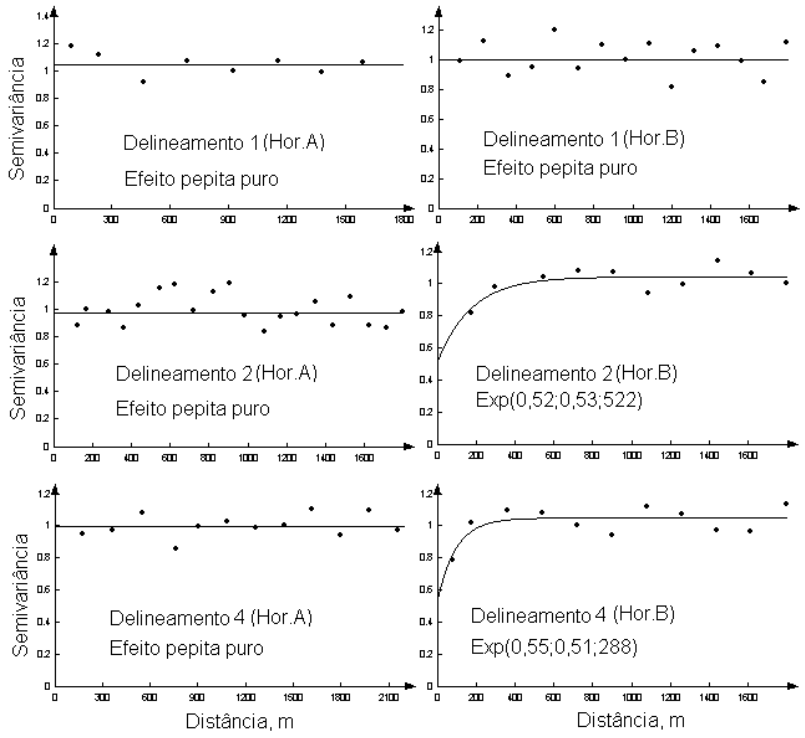

Figura 35. Semivariogramas de silte, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

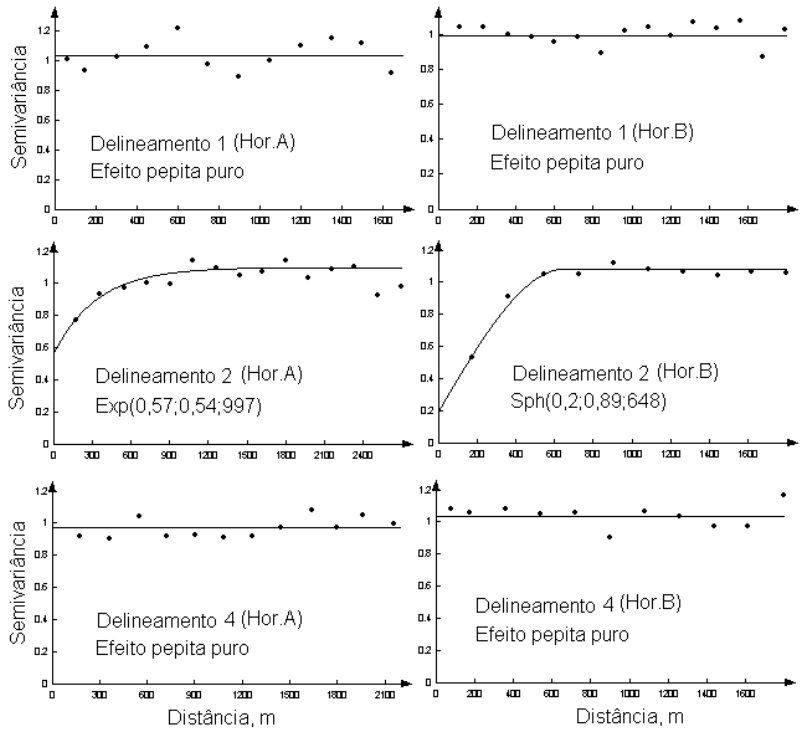

Figura 36. Semivariogramas de areia total, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

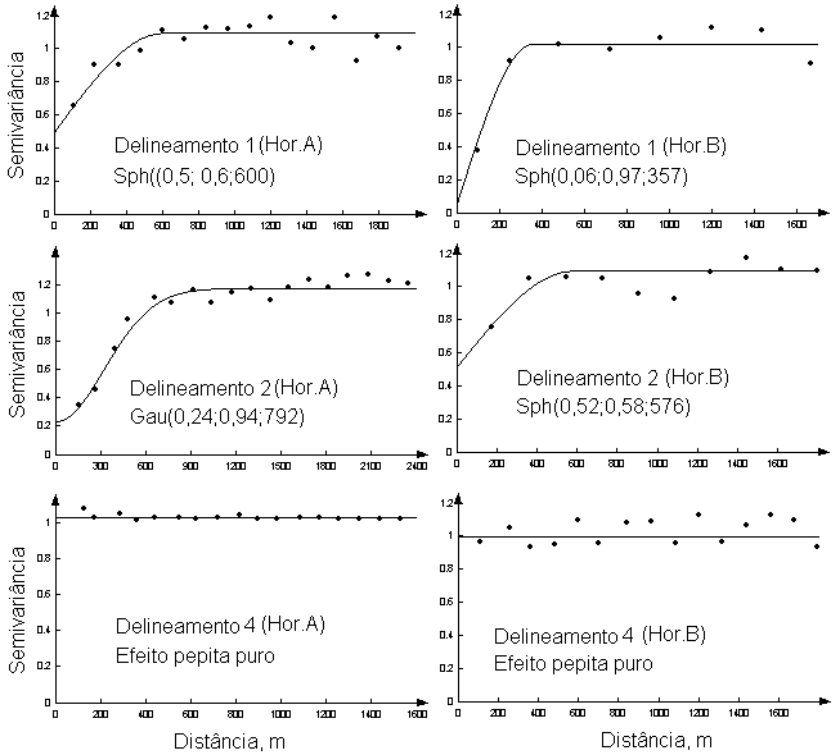

Figura 37. Semivariogramas de soma de bases, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

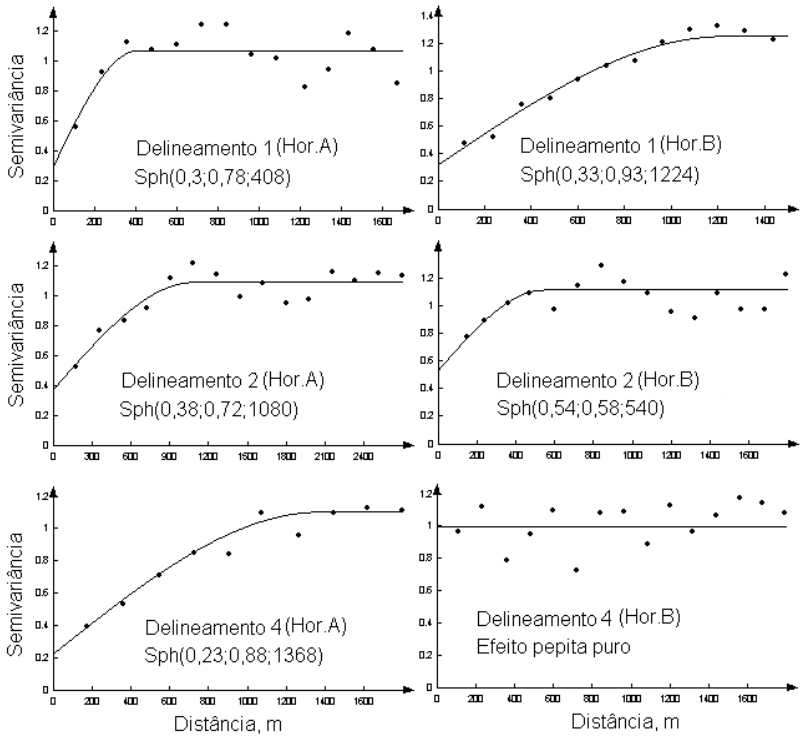

Figura 38. Semivariogramas de CTC, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

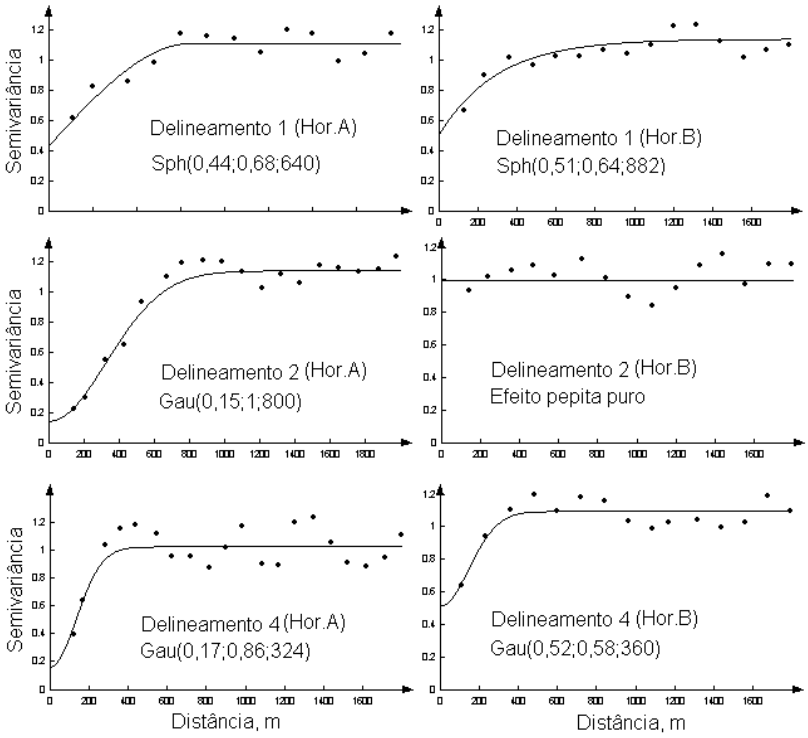

Figura 39. Semivariogramas de saturação por bases, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

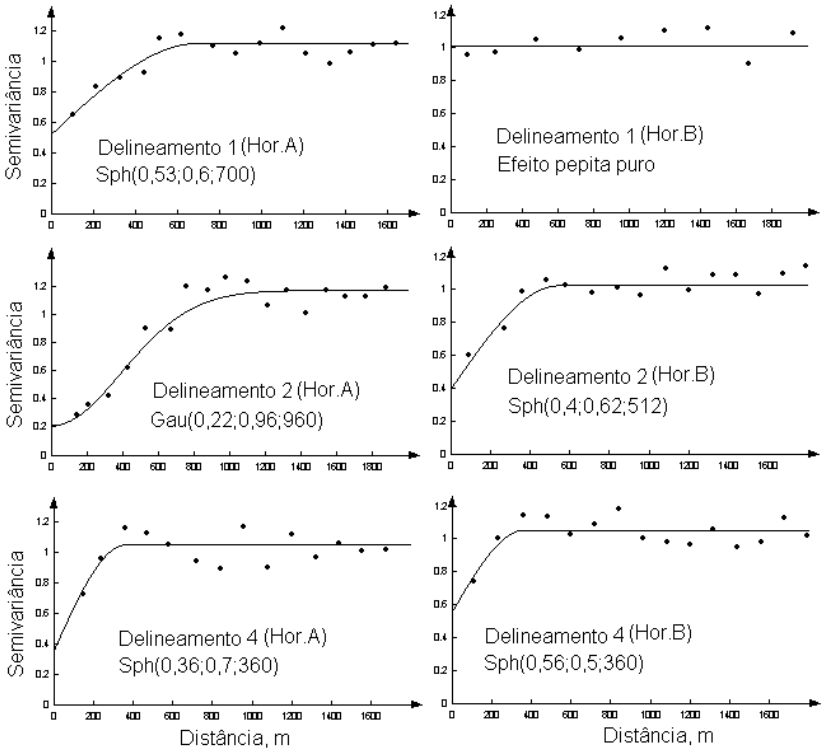

Figura 40. Semivariogramas de saturação por alumínio, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, nos horizontes A e B.

Observou-se, também, nos semivariogramas, uma elevada porcentagem de ocorrência de efeito pepita puro (ausência de dependência espacial), independentemente do horizonte analisado. Isso indica que para os atributos do solo, não apenas as alterações provocadas pelo uso e manejo (horizonte A), mas também a atuação diferenciada dos fatores e processos de formação do solo (horizonte B) pode condicionar a ausência de dependência espacial.

Empregando-se a relação efeito pepita/semivariância total utilizada por CAMBARDELLA at al. (1994), verificou-se nesta unidade de mapeamento que, para a maioria dos semivariogramas analisados nos diferentes delineamentos e em ambos os horizontes, os atributos do solo apresentaram moderada dependência espacial, pois os valores do efeito pepita ficaram entre 25 e 75% em relação ao patamar (Quadro 26). Esses valores são apresentados como porcentagem do patamar para facilitar a comparação da dependência espacial (TRANGMAR et al., 1987). Tal análise indica que além de haver uma variação da estrutura da dependência espacial nos delineamentos que compõem a unidade de mapeamento, essa dependência ocorre de forma moderada, ocorrendo com certa freqüência aleatoriedade na distribuição dos dados (efeito pepita puro).

Quadro 26. Dependência espacial de atributos do solo*, nos delineamentos da unidade mapeamento de Latossolo Vermelho - horizontes A e B

Delineamentos	Atributos do solo								
	pHa	pHKCl	Argila (dag/kg)	Silte (dag/kg)	Areia (dag/kg)	S ($cmol_c$/kg)	CTC ($cmol_c$/kg)	V (%)	m (%)
Horizonte A									
L1	Mod.	Mod.	---	---	---	Mod.	Mod.	Mod.	Mod.
L2	Forte	Forte	Mod.	---	Mod.	Forte	Mod.	Forte	Forte
L4	---	---	---	---	---	---	Mod.	Forte	Mod.
Horizonte B									
L1	---	---	---	---	---	Forte	Mod.	Mod.	---
L2	Mod.	Mod.	Forte	Mod.	Forte	Mod.	Mod.	---	Mod.
L4	---	---	---	Mod.	---	---	---	Mod.	Mod.

* % do efeito pepita em relação à semivariância total (CAMBARDELLA et al., 1994)

4.6.2. Unidade de mapeamento Argissolo Vermelho

Os Argissolos provenientes do arenito Bauru constituem solos com elevada susceptibilidade à erosão, pois além do horizonte A arenoso, esses solos encontram-se em relevo suave ondulado a ondulado, geralmente associado aos Argissolos abrúpticos (BERTOLANI et al., 2000), estando, portanto, sujeitos à formação de enxurradas freqüentes, e conseqüentemente aos processos erosivos. Isso imprime aos atributos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, alterações irregulares e, conseqüentemente, diferentes comportamentos a pequenas distâncias (BERTOLANI, 1998). Tal fato implica na ocorrência de diferentes formas de distribuição espacial dos atributos, bem como na ausência de dependência espacial (efeito pepita puro), como observado em alguns semivariogramas obtidos nos delineamentos dessa unidade de mapeamento (Figuras de 41 a 49).

Assim como foi observado para a unidade de mapeamento Latossolo Vermelho, a variação dos parâmetros do semivariograma também foi elevada nos delineamentos, principalmente o valor do alcance, o qual variou de 304 a 1729 metros, dificultando a adoção de valores de distância para futuras amostragens realizadas nessa unidade de mapeamento.

Com relação aos modelos ajustados verificou-se também variação bastante acentuada nos diferentes delineamentos, bem como elevada porcentagem de ocorrência de efeito pepita puro, em ambos os horizontes analisados (A e B). O modelo esférico ainda foi o predominante, notando-se também a ocorrência do modelo gaussiano.

Quanto à dependência espacial (CAMBARDELLA at al., 1994), verificou-se nesta unidade de mapeamento que, somente no horizonte A, a maioria dos semivariogramas analisados nos diferentes delineamentos, os atributos do solo apresentaram moderada dependência espacial (Quadro 27). No horizonte B houve predominância de elevada dependência espacial, tanto dos atributos químicos quanto dos físicos. Esse comportamento pode estar relacionado à elevada susceptibilidade à erosão desse solo que como citado anteriormente provoca uma variação irregular dos atributos do solo no horizonte superficial.

Para ambas as unidades de mapeamento, a distribuição espacial dos atributos do solo, bem como a dependência espacial foi diferente para cada delineamento. Isso evidencia a dificuldade para determinar a dependência espacial em cada unidade de mapeamento como um todo, pois além de não haver uma continuidade geográfica dos delineamentos que a compõe, são poucos os delineamentos (apenas os maiores) que possuem uma quantidade razoável de pontos e com eqüidistância entre esses, que possibilitam a análise geoestatística.

Notou-se, portanto, que os semivariogramas obtidos a partir dos atributos analisados não apresentaram nenhuma tendência da dependência espacial nos diferentes delineamentos de uma mesma unidade de mapeamento. Isso denota que a aplicação de análises geoestatísticas na escala estudada (levantamento pedológico semidetalhado) pode não detectar a dependência espacial dos atributos do solo dada a densidade de amostragem utilizada nesses trabalhos. Tal fato pode explicar a elevada ocorrência de efeito pepita puro, tanto no horizonte A, quanto no horizonte B.

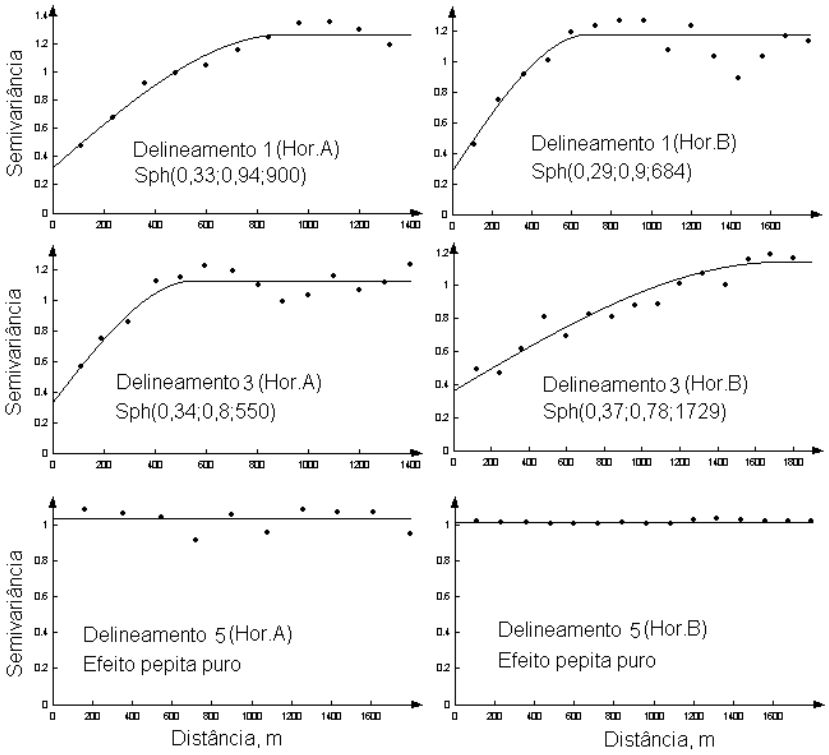

Figura 41. Semivariogramas de pH em água, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

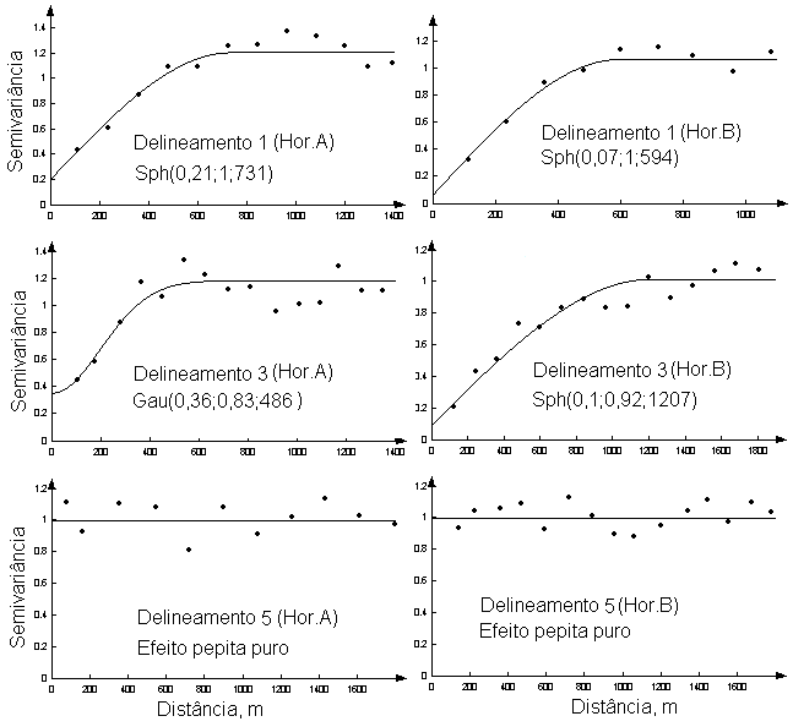

Figura 42. Semivariogramas de pH em KCl, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

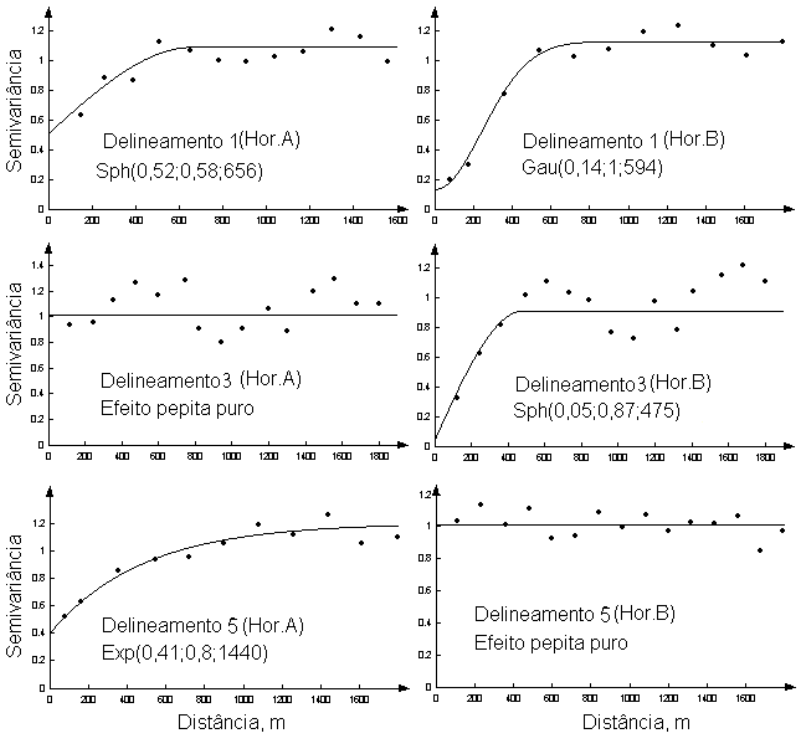

Figura 43. Semivariogramas de argila, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

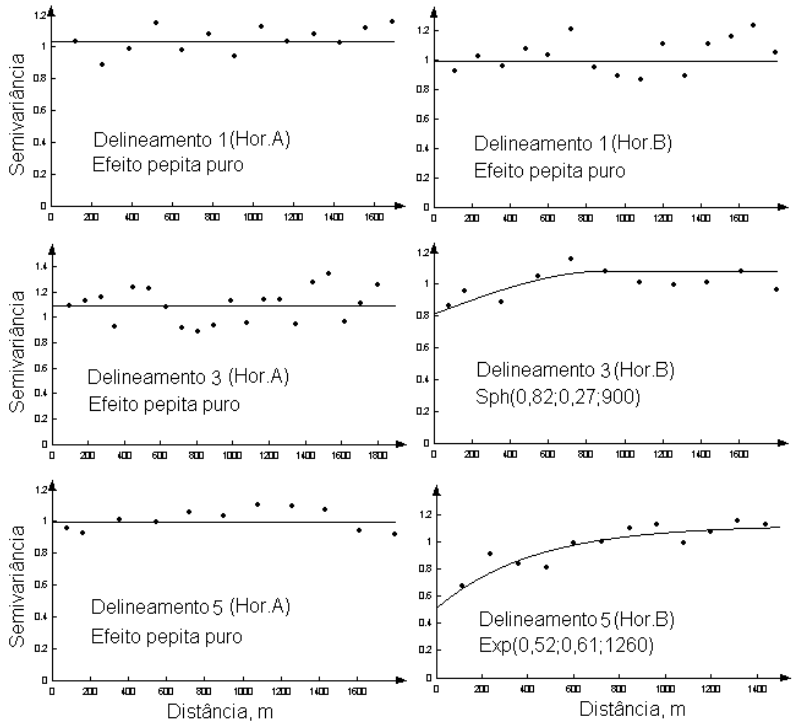

Figura 44. Semivariogramas de silte, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

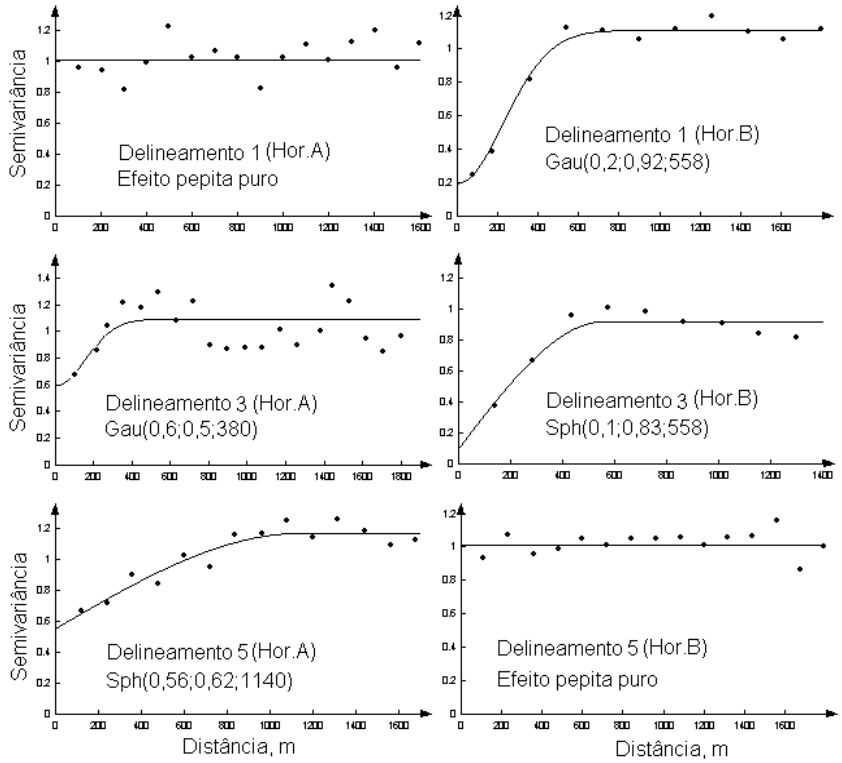

Figura 45. Semivariogramas de areia total, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

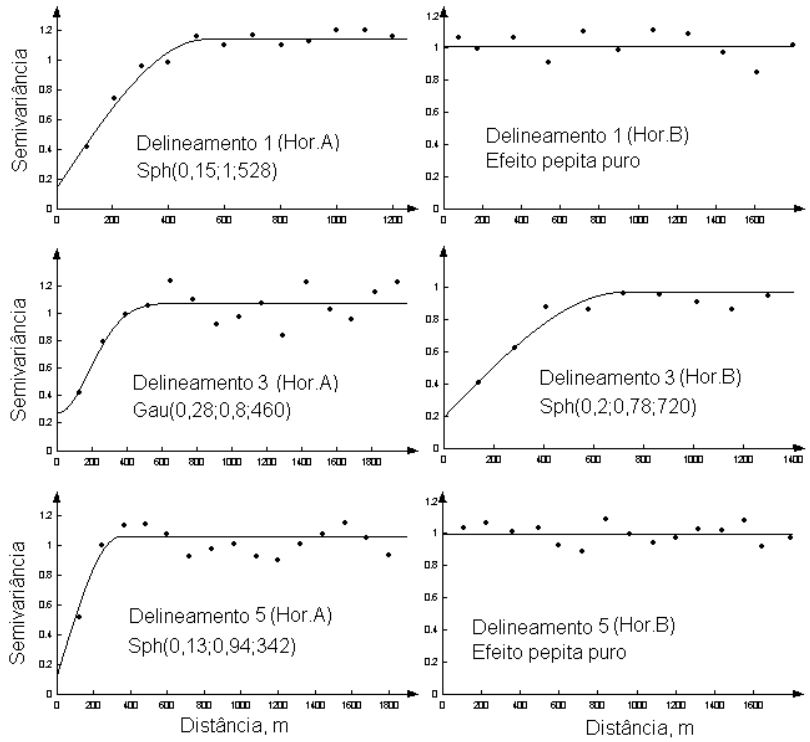

Figura 46. Semivariogramas de soma de bases, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

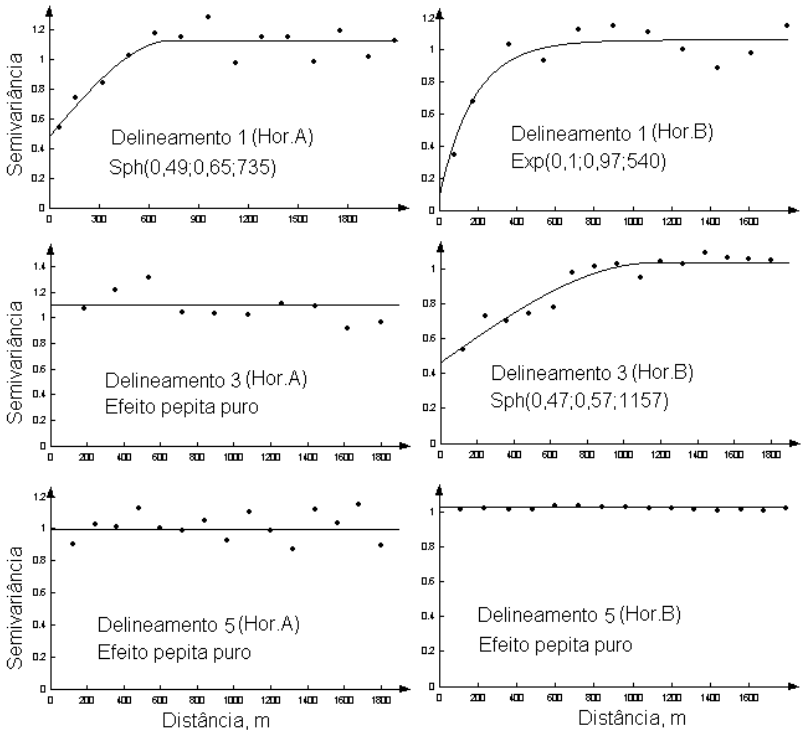

Figura 47. Semivariogramas de CTC, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

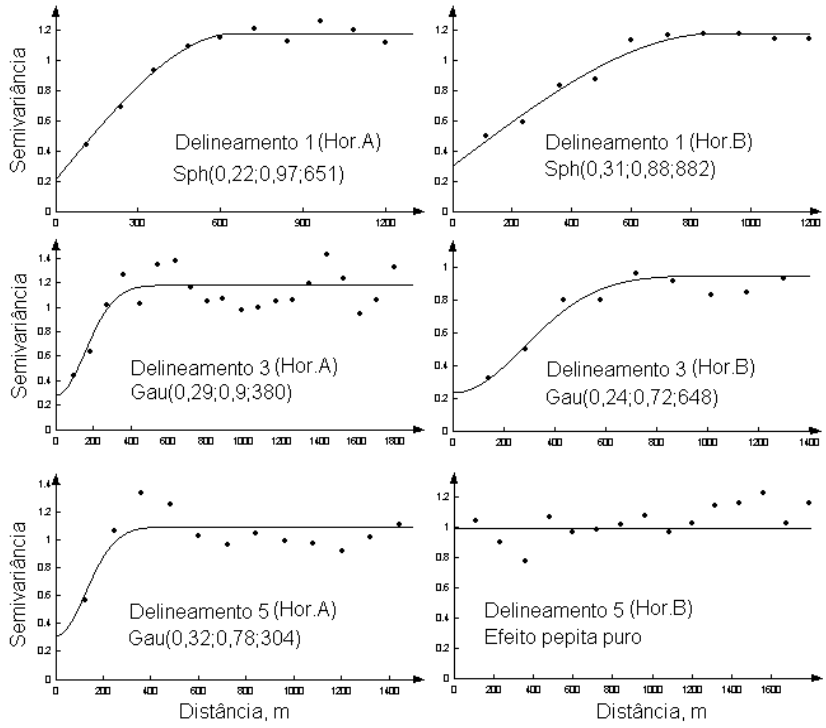

Figura 48. Semivariogramas de saturação por bases, referentes aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

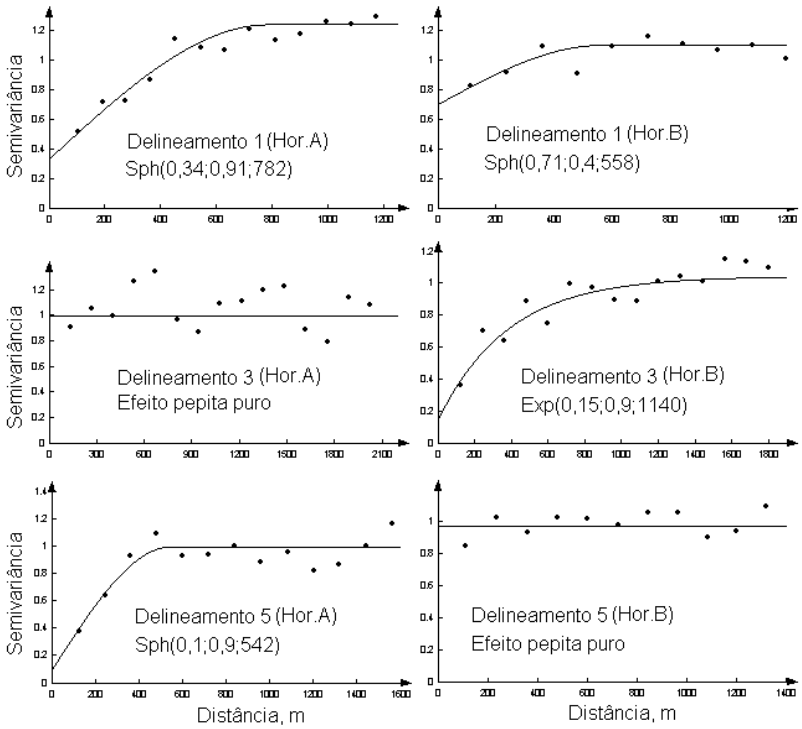

Figura 49. Semivariogramas de saturação por alumínio, referente aos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho, nos horizontes A e B.

Quadro 27. Dependência espacial de atributos do solo*, nos delineamentos da unidade de mapeamento Argissolo Vermelho - horizontes A e B.

Delineamentos	Atributos do solo								
	pHa	pHKCl	Argila (dag/kg)	Silte (dag/kg)	Areia (dag/kg)	S ($cmol_c$/kg)	CTC ($cmol_c$/kg)	V (%)	m (%)
Horizonte A									
A1	Mod.	Forte	Mod.	---	---	Forte	Mod.	Forte	Mod.
A3	Mod.	Mod.	---	---	Mod.	Mod.	---	Forte	---
A5	---	---	Mod.	---	Mod.	Forte	---	Mod.	Forte
Horizonte B									
A1	Forte	Forte	Forte	Fraca	Forte	---	Forte	Mod.	Mod.
A3	Mod.	Forte	Forte	Mod.	Forte	Forte	Mod.	Mod.	Forte
A5	---	---	---	---	---	---	---	---	---

* % do efeito pepita em relação a semivariância total (CAMBARDELLA et al., 1994)

4.7. Formas de apresentação da variabilidade de atributos dos solos em levantamentos pedológicos semidetalhados

A maioria dos boletins referentes aos levantamentos pedológicos, principalmente os semidetalhados, não apresenta informações relacionadas às variações dos atributos dos solos

existentes nas unidades de mapeamento ou, raramente, informa apenas a ocorrência de inclusões, bem como alguns parâmetros estatísticos que indicam variações de seus atributos, porém sempre representando a unidade de mapeamento como um todo (OLIVEIRA et al., 1982; OLIVEIRA & PRADO, 1984; OLIVEIRA & MENK, 1999). É notória, portanto, a necessidade de inserir informações sobre a variabilidade dos atributos dos solos existentes nas unidades de mapeamento, não apenas nos boletins, mas também nos mapas pedológicos, permitindo aos usuários de tais inventários, avaliações mais precisas e melhor embasadas, pois são mais aproximadas às condições reais de campo.

Os mapas pedológicos apresentam a distribuição dos diferentes tipos de solos que ocorrem em uma determinada área, isto é, segregam delineamentos ou polígonos com solos semelhantes. Cada classe de solo é representada no mapa por uma cor padronizada, segundo os critérios definidos no Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 1999). Por sua vez, as unidades de mapeamento, são delimitadas por linhas que marcam o término de uma unidade e, imediatamente, o início de outra. Com base nessas considerações, fica evidente a necessidade de proposições para representações cartográficas que indiquem as variações dos atributos do solo nos mapas pedológicos.

GIRARD (1984) desenvolveu uma metodologia que permite representar no mapa os graus de contrastes existentes entre os solos de delineamentos contíguos, dando assim, idéia de desigualdade entre tais solos. No entanto, ela não permite apresentar a variabilidade dos atributos que ocorrem dentro das unidades de mapeamento, bem como a de cada delineamento.

Em levantamentos pedológicos detalhados a ultradetalhados, utilizando esquema de amostragem em grade, tal variabilidade pode ser bem retratada por análise geoestatística – krigagem e co-krigagem (BURGESS & WEBSTER, 1980; ROGOWSKI & WOLF, 1994; GOOVAERTS & JOURNEL, 1995), ou mesmo, pela lógica Fuzzy (BURROUGH, P.A., 1989; ODEH et al., 1992; TRIANTAFILIS et al., 2001). Essas técnicas possibilitam uma classificação contínua dos dados e permitem gerar mapas que retratem a variabilidade espacial individualmente por atributo. No entanto, a representação cartográfica da variabilidade das unidades de mapeamento é bem mais complexa, pois tais unidades são definidas e caracterizadas, não por um, mas por um conjunto de atributos. Aliado a isso, os atributos do solo apresentam variabilidade espacial diferentes, não apenas nas unidades de mapeamento,

como também nos delineamentos que compõem tais unidades, como verificado nos resultados desse trabalho.

Uma forma de reportar a variabilidade dos atributos existente nos delineamentos de cada uma das unidades de mapeamento seria numerando individualmente cada delineamento e detalhando, no boletim, o comportamento estatístico dos atributos elegidos. Tal procedimento permitiria analisar de forma individualizada os delineamentos e, conseqüentemente obter informações mais precisas e confiáveis, pois consideraria a variabilidade dos atributos por delineamento, ao invés dos da unidade de mapeamento como um todo. Para isso, não haveria a necessidade de uma intensificação de amostragem na execução dos levantamentos pedológicos semidetalhados, mas apenas, um tratamento dos dados que permitisse a análise dos mesmos por delineamento.

Complementarmente, para não tornar os mapas muito carregados de detalhes, o que poderia prejudicar a sua legibilidade, a legenda poderia comportar apenas as informações referentes aos delineamentos que apresentassem algum atributo, ou conjunto de atributos que refletissem importantes alterações quanto às recomendações de manejo indicadas para a unidade de mapeamento como um todo.

No boletim, o detalhamento da variabilidade dos atributos do solo poderia ser apresentado como um item específico por unidade de mapeamento denominado, por exemplo "variabilidade de atributos do solo". Nesse item, a variabilidade dos atributos poderia ser apresentada tanto na forma descritiva, como em gráficos que mostrassem a dispersão dos dados. O "box-plot" é uma análise exploratória de dados (LIBARDI et al., 1996) bastante indicado para esse caso, pois permite apresentar a distribuição dos dados por delineamentos, ter uma visão geral da variabilidade de cada atributo, bem como da ocorrência de dados discrepantes ("outliers"), e ainda, permite comparar os atributos entre os diferentes delineamentos.

A distribuição espacial não contínua dos delineamentos pertencentes a uma mesma unidade de mapeamento, em uma determinada área, resulta em variação diferenciada dos atributos do solo nos delineamentos que a compõem, como verificado neste trabalho, tanto pela análise de distribuição dos dados (histogramas e "box-plots"), como também pela geoestatística (semivariogramas). Isso se deve, principalmente à influência dos solos pertencentes aos delineamentos de outras unidades de mapeamento que fazem limite com o

delineamento que está sendo analisado. Dependendo dos tipos de solos presentes nos delineamentos vizinhos, a ocorrência de inclusões, bem como de dados discrepantes será maior ou menor. Dentro desse contexto, é fundamental, que em levantamentos pedológicos semidetalhados, a caracterização das unidades de mapeamentos seja representada não apenas pelo perfil de solo, mas também complementada por parâmetros estatísticos que representem o conjunto de dados obtidos em todos os solos amostrados e para cada um dos delineamentos.

5 - CONCLUSÕES

1. Na caracterização de uma unidade de mapeamento, o conjunto de atributos referentes a solos considerados como inclusões deve ser eliminado no cálculo das medidas de dispersão estatística, pois alteram significativamente esses parâmetros e, conseqüentemente, a interpretação dos mesmos. Tais inclusões quando consideradas podem deslocar os valores dos parâmetros estatísticos, conferindo menor precisão às informações que representam os atributos de uma unidade de mapeamento.

2. As análises estatísticas, descritiva e exploratória de dados, evidenciaram que a maioria dos atributos do solo do horizonte subsuperficial apresenta menor variabilidade na unidade de mapeamento constituída por Latossolos Vermelhos em relação à unidade constituída por Argissolos Vermelhos. No entanto, o mesmo não ocorre quando tais análises são realizadas com informações provenientes do horizonte superficial, devido às alterações provocadas pelo manejo.

3. Em levantamentos pedológicos semidetalhados, apesar dos delineamentos, que compõem uma unidade de mapeamento, estarem inseridos em unidades fisiográficas semelhantes, estes podem apresentar elevada variabilidade para a maioria dos atributos do solo, podendo, inclusive, implicar em recomendações de manejo diferenciadas.

4. A maioria dos atributos analisados apresentou distribuição não-normal, evidenciando a necessidade de normalizar os dados para o cálculo de parâmetros estatísticos, pois esses parâmetros quando calculados a partir dos dados não transformados podem representar incorretamente as unidades de mapeamento.

5. O sistema de Johnson com a estimativa dos parâmetros das equações pela regressão linear utilizado para transformação e normalização dos atributos do solo mostrou-se eficiente para a maioria dos conjuntos de dados estudados.

6. A análise geoestatística para a caracterização da dependência espacial de unidades de mapeamento pode não ser aplicável à levantamentos pedológicos semidetalhados, dada a densidade de amostragem definida para tais levantamentos, bem como a pequena quantidade de pontos presentes nos delineamentos menores.

7. Em levantamentos pedológicos semidetalhados a inclusão de informações, tanto nos mapas quanto nos boletins, sobre a variabilidade dos atributos do solo nos vários

delineamentos de uma mesma unidade de mapeamento amplia o conhecimento sobre os solos, fornecendo aos seus usuários, importantes dados adicionais que auxiliarão em suas tomadas de decisão. Nos mapas, essas informações, podem ser apresentadas identificando-se de forma individualizada cada um dos delineamentos componentes de uma unidade de mapeamento e, nos boletins, em forma de quadros, figuras e/ou textos descritivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A. & REINERT, D.J. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.539-549, jan./mar., 2001.

ALBUQUERQUE, J.A., REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.151-157, jan./abr., 1996.

ALVES, W.L.; MELO, W.J. & FERREIRA, M.E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.729-736, jul./set., 1999.

AMEYAN, O. Surface soil variability of a map unit on Niver River Alluvium. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.50, n.5, p.1289-1293, sept./oct., 1986.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.1, p.139-145, jan./abr., 1994.

ARNOLD, R.W. & WILDING, L.P. The need to quantify spatial variability. In: M.J. Mausbach and L.P. Wilding (eds.) **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.1-8. (Spec. Publ. 28).

ARNOLD, R.W. Soil survey reliability: minimizing the consumer's risk. In: W.D. Nettleton, A.G. Hornsby; R.B. Brown and T.L. Coleman (eds.) **Data reliability and risk assessment in soil interpretations**. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.13-20. (Spec. Publ. 47).

BECKETT, P.H.T. & WEBSTER, R. Soil variability: a review. **Soils end Fertilizers**, Farnham Royal, v.34, n.1, p.1-15, jan., 1971.

BERG, M.V.D. & KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solos na região do planalto médio, RS: I. análise de variância por amostragem aninhada. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.393-399, jul./set., 1997.

BERG, van den M. & OLIVEIRA, J.B. Variability of apparently homogeneous soilscapes in São Paulo state, Brazil: II. Quality of soil maps. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.393-407, abr./jun., 2000.

BERTOLANI, F.C. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.987-995, out./dez., 2001.

BERTOLANI, F.C.; COELHO, M.R.; ROSSI, M.; MENK, J.R.F. & PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Folha de Marília. Memorial Descritivo**. Campinas, Instituto Agronômico, 2000. 142p. (Serie Pesquisa APTA, Boletim Científico 01).

BERTOLANI, Fernando Cesar. **Caracterização física dos solos de uma microbacia degradada em Vera Cruz, SP**. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1998.

BERTONCINI, E.I. & MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de matais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.737-744, jul./set., 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**: contribuição a Carta de Solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1960. 605 p. (SNPA. Boletim, 12).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro**: contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1958. 351p. (SNPA. Boletim, 11).

BREGT, A.K.; STOORVOGEL, J.J.; BOUMA, J. & STEIN, A. Mapping ordinal data in soil survey: A costa rican example. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.56, n.2, p.525-531, march/april, 1992.

BREJDA, J.J.; MOORMAN, T.B.; SMITH J.L.; KARLEN, D.L.; ALLAN, D.L. & DAO, T.H. Distribution and variability of surface soil properties at a regional scale. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.64, n4, p.974-982, jul./aug., 2000.

BROWN, R.W. & HUDDLESTON, J.H. Presentation of statistical data on map units to the user. In: M.J. Mausbach and L.P. Wilding (eds.) **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.127-147. (Spec. Publ. 28).

BRUBAKER, S.C. & HALLMARK, C.T. A comparison of statistical methods for evaluating map unit composition. In: M.J. Mausbach and L.P. Wilding (eds.). **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison, Soil Science Society of America. 1991. p.73-88. (Spec. Publ. 28).

BURGESS, T.M. & WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I. The semivariogram and punctual kriging. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.31, n3, p.315-331, jul./sept., 1980.

BURROUGH, P.A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.43, n.1, p.193-210, jan./mar., 1989.

BURROUGH, P.A. Sampling designs for quantifying map unit composition. In: M.J. Mausbach and L.P. Wilding (eds.) **Spatial Variabilities of Soils and Landforms,** Madison, Soil Science Society of America. 1991. p.89-126. (Spec. Publ. 28).

BURROUGH, P.A. Soil variability: a late 20th century view. **Soils and Fertilizers**, Farnham Royal, v.56, n.5, p.529-562, may, 1993.

BURROUGH, P.A., VAN GAANS, P.F.M. & HOOTSMANS, R. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. **Geoderma**, Amsterdam, v.77, n.2/4, p.115-135, june, 1997.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106).

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1508, sept./oct, 1994.

CAMPBELL. J.B. Spatial variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil mapping units. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, n.3, p.460-464, may/jun., 1978.

CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. & FERNANDES, F.M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.267-270, set./dez., 1985.

CHOU,Y.M; POLANSKY, A.M.; MASON, R.L. Transformation non-normal data to normality in statistical process control. **Journal of Quality Technology**, Milwaukee, v.30, n.2, p.133-141, jan./mar., 1998.

CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J & SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.7, n.3, p.323-327, set./dez., 1983

CONAGIN, A.; NAGAI, V. & AMBRÓSIO, L. A. **Princípios de Técnica Experimental e Análise Estatística de Experimentos**. Campinas, Instituto Agronômico, Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Sub-tropical, 2000. 377p.

CURI, N. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1993, 90p.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23:, n.3, p.703-709, jul./set., 1999.

DE ROO, A.P.J., WESSELING, C.G., OFFERMANS, R.J.E. and RITSEMA & C.J. **LISEM**: a user guide. Netherland, Utrecht University, 1995. 49p.

DIAS JUNIOR, M.S. & ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do. Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.45-51, jan./mar., 1999.

EASTMAN, J.R. **Idrisi for Windows**: user's Guide. Worcester, Clark University, 1995. 390p.

EDMONDS, W.J.; BAKER, J.C. & SIMPSON, T.W. Variance and scale influences on classifying and interpreting soil map units. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.49, n.4, p.957-961, jul./aug., 1985.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, R.J.). H.G. Santos et al. (eds.), **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: Embrapa – SPI, 1995, 116p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**: 4º aproximação. Rio de Janeiro, 1997. 169p.

EMBRAPA. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidade de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1988. 67p. (Documento n.11).

EMBRAPA. **Normas e critérios para levantamento pedológicos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1989, 94p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.412p.

EMBRAPA. **X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Súmula. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS. 1979. 83 p. (Série Miscelânea, 1).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for mapping and interpreting of soil surveys. Washington, U.S. Gov. Printing Office, 1951, 503p. (U.S. Dept. Agric. Handbook, 18)

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for mapping and interpreting of soil surveys. Washington, U.S. Gov. Printing Office, 1975, 754p. (U.S. Dept. Agric. Handbook, 436)

FASOLO, P.J. A importância e uso dos levantamentos de solos e suas relações com o planejamento do uso da terra. In: C. de Castro Filho & O. Muzilli (eds.). **Manejo integrado de solos em Microbacias hidrográficas**. Londrina: IAPAR, 1996. p.61-76.

FERNANDEZ MEDINA, B. Influência de dois métodos de preparo de área na compactação de um latossolo amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.1, p.67-71, jan./abr., 1985

FIETZ, Carlos Ricardo. **Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo visando o manejo da irrigação por aspersão**. 97p. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**. Edinburgh, F.A.E. Crew, 1950. 365p.

FLANAGAN, D.C. (ed.). **WEPP version 91.5**: water erosion prediction project - hillslope profile model: documentation, corrections and additions. West Laffayette, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. 1991. 40 p. (NSERL Report, 6)

FORMAGGIO, A.R.; ALVES, D.S. & EPIPHANIO, J.C.N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e da taxa de adequação de uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.2, p.249-256, mai./ago., 1992.

GIRARD, M.C. **Analyse spatiale de la couverture pedologique. Cartographie-Cartogenèse**.In: Livre jubilaire du cinquentenaire. Association Française pour l´Étude du Sol. 1984. p.153-166.

GODOY, M.J.S. & LOPES-ASSAD, M.L. Aptidão agrícola de terras com estimativa de risco climático para a cultura do milho utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n3, p.685-694, jul./set., 2002.

GONÇALVES, Antonio Carlos Andrade. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação**. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1997.

GOOVAERTS, P. & JOURNEL, A.G. Integrating soil map information in modeling the spatial variation of continuous soil properties. **European Journal of Soil Science**, London, v.46, n.1, p.397-414, march, 1995.

GOOVAERTS, P. Geoestatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, Amsterdam, v.89, n., p.1-45, april, 1999.

IMHOFF, S.; PIRES DA SILVA, A.; DIAS JUNIOR, M.DE S. & TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.11-18, jan./mar., 2001.

IPT. 1981a. **Mapa geológico do estado de São Paulo**, escala 1:500.00. Vol. 1: Nota explicativa. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: São Paulo, SP. 126 p. (Série Monografias, 6)

IPT. 1981b. **Mapa geológico do estado de São Paulo**, escala 1:500.00. Vol. 2: Mapa. Instituto de Pesquisas Tecnológicas: São Paulo, SP. (Série Monografias, 6)

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geoestatistics**. New York, Oxford Univertsity Press. 1989. 560p.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York. Mc Gran-Hill, 1941, 281p.

JOHNSON, N.L. Systems of frequency curves generated by methods of translation. **Biometrika**. Cambridge, v.36, n.2, p.149-176, june, 1949.

JOHNSON, W.M. **Transect methods for determination of composition of soil mapping units**. Soil Survey Technical Notes, SCS/USDA, 1961.

JONES, J.R. **TOSCA**: Reference guide. Version 2.0, Worcester, USA. Graduate School of Geography, Clark University, 1993. 86p.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geoestatistics**. Academic Press, London, 1991. 600p.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979, 262p.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the witwaterland. **Journal Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, South Africa, v.52, n.6., p.119-139, 1951.

LEITÃO FILHO, H.F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo, **Silvicultura em São Paulo.** São Paulo, v.16A, pt.1, p.197-206, 1982.

LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas, SBCS/CNPS, 1996. 83p.

LEPSCH, I.F. & VALADARES, J.M.A.S. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Pindorama, SP. **Bragantia**, Campinas, v.35, n.2, p.13-40, jan., 1976.

LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W. & DANIELS, R.B. Soil landscape relationships in the occidental plateau of São Paulo, Brazil: II - Soil morfology, genesis and classification. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, n.1, p.109-115, jan./feb., 1977.

LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. & TUON, R.L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.1-12, jan./mar., 1996.

LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E.A. & MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.85-90, maio/ago., 1986.

MACHADO, J.A.; PAULA SOUZA, D.M. de; BRUM, A.C.R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.3, p.187-189, set./dez., 1981.

MAKLIN, T.B. Approximation by Johnson's curves of the distribution functions of soil constituents. **Soviet Soil Science**, Washington, v.5, p.368-375, 1973.

MAPPING SYSTEMS WORKING GROUP. **A soil mapping system for Canada**: revised. Land Resource Research Institute, Contribution nº 142. Agriculture Canada, Ottawa, 1981, 94p.

MARSMAN, B.A. & GRUIJTER, J.J. Dutch soil survey goes into quality control. In: P.A. Burrough & S.W. Bie (eds.) **Soil information systems technology**. Wageningen, Pudoc, 1984. p.127-134.

MATA, José de Deus Viana. **Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão (*phaseolus vulgaris L.*) irrigado**. 73p. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1997.

MATHERON, G. Principles of geoestatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v.58, n.8, p.1246-1266, dec., 1963.

MAYS, M.D. Data reliability and risk assessment in soil interpretations. In W.D. Nettleton, A.G. Hornsby; R.B. Brown and T.L. Coleman (eds.) In: **Data reliability and risk assessment in soil interpretations**. Madison, Soil Science Society of America. 1996. p.1-12. (Spec. Publ. 47).

McBRATNEY, A.B. & PRINGLE, M.J. Spatial variability in soil - implications for precision agriculture. In: J.V. Stanford (ed). **Precision Agriculture´97 - Spatial Variability in Soil and Crop**, BIOS Scientific Publishers Limited, v.1, 1997. p.3-31.

McBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.37, n.4, p.617-639, oct./dec., 1986.

McBRATNEY, A.B.; HART, G.A. & McGARRY, D. The use of region partionning to improve the representation of geoestatistically mapped soils atributes. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.42, n.4, p.513-532, oct./dec., 1991.

McBRATNEY, A.B.; ODEH, I.O.A.; BISHOP, T.F.A.; DUNBAR, M.S. & SHATAR, T.M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, Amsterdam, v.97, n.2/4, p.293-327, june, 2000.

MENK, J.R.F. & NAGAI, V. Estratégia para caracterizar a variabilidade de dados de solos com distribuição não-normal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n3, p.311-316, set./dez., 1983.

MENK, J.R.F.; ROSSI, M.; BERTOLANI, F.C. & COELHO, M.R. **Levantamento pedológico semidetalhado do Município de Espírito Santo do Turvo (SP)**. Campinas, Instituto Agronômico, 2000. 42p. (Série Pesquisa APTA, Boletim Científico 02).

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for east African soils. **Soil Research**, Berlin, v.4, n.3, p.183-198, 1935.

MINITAB INC. ***Meet MINITAB*, Release 13 for Windows**. Pennsylvania. 2000. não paginado.

MONIZ, A.C. & BUOL, S.W. Formation of an oxisol-ultisol transition in São Paulo, Brazil: I-Double-water flow model of soil development. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.46, n.6, p.1234-1237, nov./dec., 1982.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.95-102, maio/ago., 1983.

NAGAI, V. & MENK, J.R.F. Métodos de estimativa dos parâmetros para a função de normalização da distribuição SB de característica do solo. **Bragantia**, Campinas, v.35, n.3, p.433-441, 1976.

NASH, M.H. & DAUGHERTY, L.A. Statistical comparison of soil map-unit boundaries. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.54, n.6, p.1677-1681, nov./dec., 1990.

NORDT, L.C.; JACOB, J.S.; WILDING, L.P. Quantifying map unit composition for quality control in soil survey. In M.J. Mausbach and L.P. Wilding (eds.) **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison, Soil Science Society of America. 1991. p.183-198. (Spec. Publ. 28).

ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B. & CHITTLEBOROUGH, D.J. Fuzzy-c-means and Kriging for mapping soil continuous system. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.56, n.6, p.1848-1854, nov./dec., 1992.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R. & MORAES, S.O. Percolação de nitrato em Latossolo Amarelo distrófico afetada pela aplicação de composto de lixo

urbano e adubação mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.731-741, jul./set., 2001.

OLIVEIRA, J.B. & BERG, M. **Aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras**. Campinas, Instituto Agronômico, 1985. 60p. (Boletim técnico, 102)

OLIVEIRA, J.B. & BURGOS SOSA, S.M. **Sistema de classificacion de la aptitud agro-ecologica de la tierra (S.C.A.A.T.) para la region oriental del Paraguay**. Asunción, Universidad Nacional de Asunción, 1995. 76p.

OLIVEIRA, J.B. & MENK, J.R.F. **Solos da Folha de Mogi-Mirim**. Campinas, Instituto Agronômico, 1999. 119p. (Boletim Científico 46).

OLIVEIRA, J.B. & MONIZ, A.C. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Ribeirão Preto, SP. **Bragantia**, Campinas, v.34, n.2, p.59-113, jan., 1975.

OLIVEIRA, J.B. Evolução dos trabalhos de levantamento de solos e dos estudos de variabilidade espacial no estado de São Paulo. **O Agronômico**, Campinas, v.40, p.138-148, 1988.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K. & CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para seu reconhecimento. 2 ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; BARBIERI, J.L.; ROTTA, C.L.; TREMOCOLDI, W. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras**. Campinas, Instituto Agronômico, 1982. 180p. (Boletim Científico 71).

OLIVEIRA, J.B.; MONIZ, A.C.; ZANARDO, A. **Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Tietê, SP**. Campinas, Instituto Agronômico, 1989. 57p. (Boletim Científico, 16).

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos. Memorial Descritivo**. Campinas, Instituto Agronômico, 1984. 188p. (Boletim Científico 98).

OVALLES, F.A. & COLLINS, M.E. Evaluation of soil variability in northwest Florida using geoestatistics. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.52, n.6, p.1702-1708, nov./dec., 1988.

PAIVA NETO, J.E.; CATANI, R.A.; KÜPPER, A.; MEDINA, H.P.; VERDADE, F.C.;GUTMANS, M. & NASCIMENTO, A.C. Observações gerais sobre os grandes tipos de solos do Estado de São Paulo, **Bragantia**, v.11, n.7/9, p.227-253, jul./set., 1951.

PAIVA NETO, J.E.; KÜPPER, A.; CATANI, R.A. & MEDINA, H.P. Estudo pedológico da Estação Experimental de Ribeirão Preto. In: reunião Brasileira de Ciência do Solo, 2, 1953, Rio de Janeiro,. **Anais**… Rio de Janeiro, p.341-373. 1953.

PANNATIER, Y. **VarioWin**: software for spatial data analysis in 2D. New York, 1996. 316p.

PEÑA, Y.A.; GOMES, A. da S. & SOUZA, R.O. Influência de diferentes sistemas de cultivos nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.3, p.517-523, set./dez., 1996.

PLOTIT. **User's Guide & Reference Manual**: Plotit for Windows version 3.14. Scientific Programming Enterprise. Haslett, 1995. não paginado.

POLANSKY, A.M.; CHOU,Y.M; MASON, R.L. An algorithm for fitting Johnson transformation to non-normal data. **Journal of Quality Technology**, Milwaukee, v.31, n.3, p.342-350, jul./sept., 1999.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade especial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.1, p.1-6, jan./abr., 1986.

ROGOWSKI, A.S. & WOLF, J.K. Incorporating variability into soil map unit delineations. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, n.1, p.163-174, jan./feb., 1994.

ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Laboratório de Geomorfologia – Depto. Geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP, 1997. (Mapas e relatórios).

ROSSI, M.; MENK, J.R.F.; BERTOLANI, F.C. & COELHO, M.R. **Levantamento pedológico semidetalhado do Município de Vera Cruz (SP)**. Campinas, Instituto Agronômico, 2000. 56p. (Serie Pesquisa APTA, Boletim Científico 03)

SALDAÑA, A.; STEIN, A.; ZINK, J.A. Spatial variability of soil properties at different scales within three teraces of the Henares River (Spain). **Catena**, Amsterdam, v.33, n.3/4, p.139-153, nov., 1998.

SALVIANO, Adeodato A.C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 91p. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1996.

SETZER, J. **Os solos do Estado de São Paulo**, Rio de Janeiro, IBGE, 1949. 397p (Publicação Geográfica Brasileira, Série A – livro 6)

SILVA, A.P., LIBARDI, P.L. & CAMARGO, D.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.91-95, maio/ago., 1986.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um latossolo vermelho-escuro ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.1, p.1-5, jan./abr., 1989.

SILVA, Enio Fraga da. **Mapas de solos produzidos em escalas e épocas distintas.** 177p. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SILVA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G. & NASCIMENTO, R.A.M. Estudo de toposseqüência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.25, n.4, p.965-976, out./dez., 2001.

SLIFKER, J.F. & SHAPIRO, S.S. The Johnson system-selection and parameters estimation. **Technometrics**, Washington, v.22, n.2, p.239-246, may, 1980.

SNEDECOR, G. W. **Statistical methods**. Ames, Iowa State University Press, 1967. 583p.

SOUZA, C. K. de. **Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal (SP)**. 186p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.367-372, jul./set., 1997.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. 3 ed. São Paulo: Makron Books, 1993, 643p.

STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, abr./jun., 2001.

THOMAS, P.J.; BAKER, J.C.; SIMPSON, T.W. Variability of the Cecil Map Unit in Appomattox County, Virginia. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.53 n.5, p.1470-1474, sept./oct., 1989.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A..M & MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de Latossolos Roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.271-278, abr./jun., 1997.

TRANGMAR, B.B; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. & SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently clared land. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.51, n.3, p.668-674, may/jun., 1987.

TRIANTAFILIS, J.; WARD, W.T.; ODEH, I.O.A. & McBRATNEY, A.B. Creation and interpolation of continuous soil layer classes in the lower Namoi Valley. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.65, n.2, p.403-413, mar./apr., 2001.

TUENTER, H.J.H. An algorithm to determine the parameters of S-U-curves in the Johnsos system of probability distributions by moment catching. **Journal Statistical Computation and Simulation**, United Kingdon, v.70, n.4, p.325-347, nov./dec., 2001.

VIDAL-TORRADO, P; LEPSCH, I.F.; CASTRO, S.S. & COOPER, M. Pedogênese de uma seqüência latossolo-podzólico na borda de um platô na depressão periférica paulista. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.909-921, out./dez., 1999.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: R.F. Novais; V.H. Alvarez & C.E.G.R Schaefer. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L. NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.45, n.6, p.1040-1048, nov./dec., 1981.

VIEIRA, S.R.; TILLOTSON, P.M.; BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.4. p.525-533, jan./mar., 1997.

WANG, C. **Aplication of transect method to soil survey problems**. LRRI, Contrib. Num. 82-02. Research Branch, Agricultural Canada, Ottawa, Ontario. Land Resource Research Institute, 1982b. p.1-43

WANG, C. Variability of soil properties in relation to size of map unit delineation. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.62, n.5, p.657-662, nov., 1982a.

WEBSTER, R. & OLIVER, M.A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316p.

WEBSTER, R. Automatic soil boundary location for transect data. **Mathematical Geology**, v.5, n.1, p.27-37, 1973.

WEBSTER, R. **Quantitative and numerical methods in soil classification and survey**. England, Claredon Press, 1977. 269p.

WILDING, L.P. & DREES, LR. Spatial variability and pedology. In: L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall (eds.). **Pedogenesis and soil taxonomy**: I. Concepts and interations. Developments in soil science. 11A, Elsevier, Publishing Co. Wagningen. 1983. p.83-116.

YOUNG, F.J. & HAMMER, R.D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.64, n.3, p.989-998, may/jun., 2000.

YOUNG, FJ; HAMMER, RD & LARSEN, D. Frequency distributions of soil properties on a loess-mantled Missouri watershed. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.63, n.3, p.178-185, may/june, 1999.

YOUNG, FJ; HAMMER, RD & WILLIAMS, F. Evaluating central tendency and variance of soil properties within map units. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.62, n.6, p.1640-1646, nov./dec., 1998.

ZHOU B. & McTAGUE, J.P. Comparison and evaluation of five methods of estimation of the Johnson system parameters. **Canadian Journal of Forest Research,** Ottawa, v.26, n.6, p.928-935, june, 1996.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Descrição dos perfis de solo nos diferentes delineamentos analisados na unidade de mapeamento Latossolo Vermelho textura média.

Delineamento 1 - Unidade de Mapeamento: LVa1;
Classificação: LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 665754 norte 7490423;
Altitude: 560 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: Suave ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar ligeira e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: fortemente drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: pastagem; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

A1 0-10 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 4/5 úmido); areia franca; fraca pequena e média blocos subangulares; macia muito friável não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

A2 10-26 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 4/4 úmido); franco arenosa; fraca pequena granulares e média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

BA 26-50 cm; vermelho-escuro (3,5YR 3/6 úmido); franco arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw1 50-72 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw2 72-128 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw3 128-160 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/5 úmido); franco arenosa; maciça porosa; ligeiramente dura muito friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Raízes: muitas finas no A1 e A2; comuns finas no BA e Bw1; poucas finas no Bw2 e Bw3.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)					
Atributos	0-10	10-26	26-50	50-72	72-128	128-160
Símbolo do horizonte	A1	A2	BA	Bw1	Bw2	Bw3
Argila [1]	10	14	15	17	19	18
Silte [1]	5	6	5	5	6	6
Areia fina [1]	51	50	51	49	48	48
Areia grossa [1]	34	30	29	29	27	28
pH água	5,1	5,3	5,3	5,0	5,1	5,2
pH KCl	4,2	4,2	4,3	4,2	4,2	4,2
Ca [2]	0,11	0,10	0,17	0,12	0,11	0,12
Mg [2]	0,09	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08
K [2]	0,03	0,03	0,05	0,06	0,07	0,05
Soma de bases [2]	0,23	0,20	0,29	0,24	0,26	0,25
Al [2]	0,7	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8
H [2]	1,1	1,2	1,3	1,3	1,1	1,2
CTC [2]	2,03	2,10	2,39	2,24	2,26	2,25
Sat. por bases (%)	11	10	12	11	12	11
Sat. por alumínio (%)	75	63	73	75	78	76
C [1]	0,5	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2

[1] dag/kg TFSA; [2] $cmol_c$/kg TFSA.

Delineamento 2 - Unidade de Mapeamento: LVa1;
Classificação: LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 663205 norte 7492511;
Altitude: 575 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: Suave ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar ligeira e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: fortemente drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: pastagem; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

Ap 0-24 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 4/4 úmido); franco arenosa; fraca pequena granulares e média blocos subangulares; ligeiramente dura muito friável não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.

AB 24-45 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6 úmido); franco arenosa; moderada pequena e média blocos subangulares; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

BA 45-58 cm; vermelho-escuro (3,5YR 3/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw1 58-80 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw2 80-130 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/5 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw3 130-180 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco arenosa; maciça porosa; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

Raízes: muitas finas no A e AB; comuns finas no BA e Bw1; poucas finas no Bw2; raras e finas no Bw3.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)					
Atributos	0-24	24-45	45-58	58-80	80-130	130-180
Símbolo do horizonte	Ap	AB	BA	Bw1	Bw2	Bw3
Argila (1)	13	15	16	19	19	18
Silte (1)	6	4	5	4	5	5
Areia fina (1)	52	51	48	48	49	50
Areia grossa (1)	29	30	31	29	27	27
pH água	5,0	5,1	5,3	5,2	5,0	5,1
pH KCl	4,1	4,1	4,2	4,1	4,1	4,2
Ca (2)	0,10	0,11	0,15	0,13	0,14	0,11
Mg (2)	0,08	0,09	0,10	0,07	0,08	0,09
K (2)	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06
Soma de bases (2)	0,23	0,24	0,29	0,25	0,26	0,26
Al (2)	0,8	0,8	0,9	0,8	1,0	0,9
H (2)	1,2	1,3	1,4	1,4	1,2	1,3
CTC (2)	2,23	2,34	2,59	2,45	2,46	2,46
Sat. por bases (%)	10	10	11	10	11	11
Sat. por alumínio (%)	78	77	76	76	79	78
C (12)	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,1

(1) dag/kg TFSA; (2) $cmol_c$/kg TFSA.

Delineamento 3 - Unidade de Mapeamento: LVa1;
Classificação: LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 659113 norte 7494257;
Altitude: 610 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: Suave ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar ligeira e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: fortemente drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: cana de açúcar; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

A1 0-12 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/3 úmido); areia franca; fraca pequena granular; macia muito friável não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

A2 12-26 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4 úmido); franco arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.

AB 26-45 cm; vermelho-escuro (3,5YR 3/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw1 45-75 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/5 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw2 75-125 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw3 125-192 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6 úmido); franco arenosa; maciça porosa; ligeiramente dura muito friável ligeiramente plástica e pegajosa.

Raízes: muitas finas no A1 e A2; comuns finas no AB; poucas finas no Bw1; raras e finas no Bw2 e Bw3.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)					
Atributos	0-12	12-26	26-45	45-75	75-125	125-192
Símbolo do horizonte	A1	A2	AB	Bw1	Bw2	Bw3
Argila [(1)]	12	14	15	18	19	19
Silte [(1)]	4	6	6	4	5	5
Areia fina [(1)]	54	52	50	48	47	47
Areia grossa [(1)]	30	28	29	30	29	29
pH água	5,5	5,5	5,3	5,1	5,3	5,3
pH KCl	4,6	4,5	4,3	4,3	4,3	4,2
Ca [(2)]	0,21	0,19	0,14	0,11	0,12	0,12
Mg [(2)]	0,15	0,13	0,10	0,07	0,09	0,08
K [(2)]	0,12	0,11	0,08	0,05	0,06	0,06
Soma de bases [(2)]	0,46	0,43	0,32	0,23	0,27	0,26
Al [(2)]	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9
H [(2)]	1,0	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3
CTC [(2)]	2,06	2,23	2,22	2,33	2,37	2,36
Sat. por bases (%)	22	19	14	10	11	11
Sat. por alumínio (%)	57	62	69	78	76	78
C [(1)]	0,6	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2

[(1)] dag/kg TFSA; [(2)] $cmol_c$/kg TFSA.

Delineamento 4 - Unidade de Mapeamento: LVa1;
Classificação: LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 668277 norte 7492598;
Altitude: 550 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: Suave ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar ligeira e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: fortemente drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: pastagem; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

Ap 0-32 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 4/4 úmido); franco arenosa; fraca pequena granulares e média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

AB 32-48 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6 úmido); franco arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

Bw1 48-68 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3,5/5 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw2 68-115 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw3 115-171 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco arenosa; maciça porosa; ligeiramente dura muito friável não plástica e não pegajosa.

Raízes: muitas finas no A1 e A2, raízes comuns finas no BA e Bw1, poucas finas no Bw2 e Bw3.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)				
Atributos	0-32	32-48	48-68	68-115	115-171
Símbolo do horizonte	Ap	AB	Bw1	Bw2	Bw3
Argila (1)	15	15	16	18	18
Silte (12)	5	6	5	4	5
Areia fina (1)	50	51	48	47	49
Areia grossa (1)	30	28	31	31	28
pH água	5,6	5,1	5,3	5,3	5,0
pH KCl	4,7	4,2	4,3	4,2	4,1
Ca (2)	0,31	0,12	0,14	0,13	0,10
Mg (2)	0,22	0,08	0,05	0,06	0,07
K (2)	0,14	0,07	0,05	0,07	0,06
Soma de bases (2)	0,67	0,27	0,24	0,26	0,23
Al (2)	0,4	0,8	0,9	0,9	1,0
H (2)	1,0	1,3	1,2	1,1	1,3
CTC (2)	2,07	2,37	2,34	2,26	2,53
Sat. por bases (%)	32	11	10	12	9
Sat. por alumínio (%)	37	75	79	78	81
C (1)	0,6	0,4	0,3	0,3	0,1

(1) dag/kg TFSA; (2) $cmol_c$/kg TFSA.

Delineamento 5 - Unidade de Mapeamento: LVa1;
Classificação: LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 656568 norte 7491715;
Altitude: 570 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: Suave ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar ligeira e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: fortemente drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: mandioca; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

A1 0-8 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6 úmido); areia franca; sem estrutura; macia muito friável não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

A2 8-22 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/5 úmido); franco arenosa; fraca pequena granulares e média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

BA 22-48 cm; bruno-avermelhado-escuro (3,5YR 3/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw1 48-70 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw2 70-130 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6 úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw3 130-200 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco arenosa; maciça porosa; macia muito friável não plástica e não pegajosa.

Raízes: muitas finas no A1; poucas finas e raras médias no A2; comuns finas e raras médias no BA; poucas finas no Bw1, Bw2 e Bw3.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)					
Atributos	0-8	8-22	22-48	48-70	70-130	130-200
Símbolo do horizonte	A1	A2	BA	Bw1	Bw2	Bw3
Argila (1)	11	14	17	17	19	19
Silte (1)	5	6	4	5	4	4
Areia fina (1)	53	50	50	48	47	46
Areia grossa (1)	31	30	29	30	30	31
pH água	5,5	5,3	5,4	5,2	5,1	5,0
pH KCl	4,6	4,5	4,3	4,1	4,2	4,1
Ca (2)	0,23	0,21	0,19	0,11	0,12	0,13
Mg (2)	0,21	0,19	0,17	0,09	0,08	0,07
K (2)	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07
Soma de bases (2)	0,57	0,51	0,46	0,28	0,27	0,27
Al (2)	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9
H (2)	1,1	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3
CTC (2)	2,07	2,11	2,06	2,18	2,27	2,37
Sat. por bases (%)	28	24	22	13	12	11
Sat. por alumínio (%)	47	54	57	71	75	77
C (1)	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2

(1) dag/kg TFSA; (2) $cmol_c$/kg TFSA.

APÊNDICE 2. Descrição dos perfis de solo nos diferentes delineamentos analisados na unidade de mapeamento Argissolo Vermelho textura arenosa/média.

Delineamento 1 - Unidade de Mapeamento: PVa;
Classificação: ARGISSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura arenosa/média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 660173 norte 7492678;
Altitude: 565 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar moderada e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: bem drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: cana de açúcar; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

Ap 0-25 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/3 úmido); areia; fraca pequena granulares e média blocos subangulares; ligeiramente dura muito friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AB 25-43 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4 úmido); areia franca; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

Bt1 43-65 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bt2 65-115 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/5 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Bw 115-180 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); franco argilo arenosa; maciça porosa; macia muito friável não plástica e não pegajosa.

Raízes: muitas finas e comuns médias no Ap e AB; poucas finas e raras médias no Bt1; poucas finas no Bt2; raras finas Bw.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)				
Atributos	0-25	25-43	43-65	65-115	115-180
Símbolo do horizonte	Ap	AB	Bt1	Bt2	Bw
Argila (1)	7	12	21	25	23
Silte (1)	6	5	5	7	6
Areia fina (1)	50	48	45	43	44
Areia grossa (1)	37	35	29	25	25
pH água	5,6	5,3	5,2	5,2	5,3
pH KCl	4,5	4,4	4,4	4,3	4,3
Ca (2)	0,48	0,43	0,37	0,42	0,35
Mg (2)	0,21	0,22	0,14	0,12	0,16
K (2)	0,12	0,14	0,15	0,13	0,15
Soma de bases (2)	0,81	0,79	0,66	0,67	0,66
Al (2)	0,8	1,0	1,1	1,3	1,2
H (2)	1,5	1,4	1,9	2,0	1,9
CTC (2)	3,11	3,19	3,66	3,97	3,71
Sat. por bases (%)	26	25	18	17	16
Sat. por alumínio (%)	50	56	63	66	65
C (1)	0,8	0,7	0,6	0,3	0,2

(1) dag/kg TFSA; (2) $cmol_c$/kg TFSA.

Delineamento 2 - Unidade de Mapeamento: PVa;
Classificação: ARGISSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura arenosa/média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 656997 norte 7494192;
Altitude: 570 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar moderada e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: bem drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: pastagem; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

Ap 0-23 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4 úmido); areia; fraca pequena granular; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AB 23-45 cm; bruno-avermelhado-escuro (4YR 3/5 úmido); areia franca; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

Bt1 45-67 cm; vermelho (2,5YR 3,5/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bt2 67-109 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Bw 109-160 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; maciça porosa; macia muito friável não plástica e não pegajosa.

Raízes: muitas finas no Ap; comuns finas no BA; poucas finas no Bt1; raras finas no Bt2 e Bw.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)				
Atributos	0-23	23-45	45-67	67-109	109-160
Símbolo do horizonte	Ap	AB	Bt1	Bt2	Bw
Argila (1)	8	13	22	24	22
Silte (1)	4	5	6	7	7
Areia fina (1)	51	47	44	42	43
Areia grossa (1)	37	35	28	27	28
pH água	5,8	5,5	5,4	5,4	5,5
pH KCl	4,7	4,5	4,5	4,4	4,4
Ca (2)	0,56	0,49	0,42	0,39	0,41
Mg (2)	0,29	0,26	0,19	0,18	0,16
K (2)	0,18	0,16	0,14	0,13	0,15
Soma de bases (2)	1,03	0,91	0,76	0,70	0,72
Al (2)	0,7	0,9	1,0	1,1	1,1
H (2)	1,4	1,5	1,8	1,9	1,8
CTC (2)	3,13	3,31	3,56	3,70	3,62
Sat. Por bases (%)	33	27	21	19	20
Sat. Por alumínio (%)	40	50	57	61	60
C (1)	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2

(1) dag/kg TFSA; (2) $cmol_c$/kg TFSA.

Delineamento 3 - Unidade de Mapeamento: PVa;
Classificação: ARGISSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura arenosa/média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 654741 norte 7492524;
Altitude: 575 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar moderada e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: bem drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: pastagem; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

Ap	0-17 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4 úmido); areia; fraca pequena granular; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
AB	17-30 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6 úmido); areia franca; fraca pequena granulares e média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
BA	30-42 cm; bruno-avermelhado-escuro (3,5YR 3/5 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
Bt1	42-70 cm; vermelho (2,5YR 3,5/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
Bt2	70-113 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
Bw	113-200 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; maciça porosa; macia muito friável não plástica e não pegajosa.

Raízes: muitas finas no Ap; comuns finas no AB e BA; poucas finas no Bt1 e Bt2; raras finas Bw.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)					
Atributos	0-17	17-30	30-42	42-70	70-113	113-200
Símbolo do horizonte	Ap	AB	BA	Bt1	Bt2	Bw
Argila [1]	6	11	19	23	25	24
Silte [1]	5	5	6	7	7	6
Areia fina [1]	52	49	47	44	43	45
Areia grossa [1]	37	35	28	26	25	25
Ph água	5,2	5,1	5,0	5,4	5,1	5,1
Ph KCl	4,3	4,2	4,2	4,3	4,2	4,1
Ca [2]	0,42	0,39	0,35	0,36	0,33	0,34
Mg [2]	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,13
K [2]	0,11	0,12	0,11	0,12	0,09	0,10
Soma de bases [2]	0,69	0,66	0,60	0,61	0,54	0,57
Al [2]	0,9	1,1	1,2	1,4	1,2	1,2
H [2]	1,6	1,5	1,8	1,9	1,8	2,0
CTC [2]	3,19	3,26	3,60	3,91	3,54	3,77
Sat. Por bases (%)	22	20	17	16	15	15
Sat. Por alumínio (%)	57	63	67	70	69	68
C [1]	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1

[1] dag/kg TFSA; [2] $cmol_c$/kg TFSA.

Delineamento 4 - Unidade de Mapeamento: PVa;
Classificação: ARGISSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura arenosa/média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 654772 norte 7497387;
Altitude: 620 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar moderada e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: bem drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: pastagem; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

Ap	0-18 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4 úmido); areia; fraca pequena granulares e média blocos subangulares; ligeiramente dura friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
AB	18-33 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6 úmido); areia franca; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
BA	33-48 cm; bruno-avermelhado-escuro (3,5YR 3/5 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
Bt1	48-71 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
Bt2	71-111 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
Bt3	111-166 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Raízes: muitas finas e raras médias no Ap e AB; comuns finas no BA; poucas finas no Bt1, Bt2 e Bt3.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)					
Atributos	0-18	18-33	33-48	48-71	71-111	111-166
Símbolo do horizonte	Ap	AB	BA	Bt1	Bt2	Bt3
Argila [(1)]	8	11	19	25	24	25
Silte [(1)]	4	5	6	7	7	8
Areia fina [(1)]	53	50	46	45	44	42
Areia grossa [(1)]	35	34	29	23	25	25
Ph água	5,6	5,5	5,3	5,5	5,1	5,2
PH KCl	4,5	4,5	4,4	4,4	4,2	4,2
Ca [(2)]	0,42	0,39	0,35	0,34	0,33	0,31
Mg [(2)]	0,20	0,18	0,15	0,16	0,16	0,18
K [(2)]	0,12	0,11	0,10	0,12	0,10	0,09
Soma de bases [(2)]	0,74	0,68	0,60	0,62	0,59	0,58
Al [(2)]	0,9	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0
H [(2)]	1,4	1,6	1,9	1,9	2,0	2,1
CTC [(2)]	3,04	3,28	3,50	3,72	3,69	3,68
Sat. Por bases (%)	24	21	17	17	16	16
Sat. Por alumínio (%)	55	60	63	66	65	63
C [(1)]	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1

[(1)] dag/kg TFSA; [(2)] $cmol_c$/kg TFSA.

Delineamento 5 - Unidade de Mapeamento: PVa;
Classificação: ARGISSOLO VERMELHO distrófico típico álico A moderado textura arenosa/média;
Localização: Espírito Santo do Turvo – SP; Coordenadas (UTM): leste 666508 norte 7486196;
Altitude: 540 metros; Litologia: Arenito; Formação geológica: Adamantina, Grupo Bauru;
Cronologia: Cretáceo superior; Material de origem: produto da alteração da rocha supracitada;
Pedregosidade: não pedregosa; Rochosidade: não rochosa;
Relevo local: ondulado; Relevo regional: ondulado;
Erosão: laminar moderada e em sulcos ocasionais rasos; Drenagem: bem drenado;
Vegetação primária: floresta latifoliada subcaducifólia; Uso atual: pastagem; Clima (Koppen): Cwa

Descrição morfológica:

A1 0-12 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/3 úmido); areia; fraca pequena granulares; ligeiramente dura muito friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

A2 12-27 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4 úmido); areia franca; fraca pequena granulares e média blocos subangulares; ligeiramente dura friável não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.

BA 27-44 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco argilo arenosa; fraca média bloco subangular; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bt1 44-70 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/5 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bt2 70-124 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura firme ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Bw 124-192 cm; vermelho (2,5YR 4/6 úmido); franco argilo arenosa; maciça porosa; macia muito friável não plástica e não pegajosa.

Raízes: muitas finas no A1 e A2; comuns finas no AB e Bt1; raras finas no Bt2 e Bw.

Caracterização analítica:

	Espessura (cm)					
Atributos	0-12	12-27	27-44	44-70	70-124	124-192
Símbolo do horizonte	A1	A2	AB	Bt1	Bt2	Bw
Argila (1)	6	11	18	22	25	21
Silte (1)	4	4	5	6	6	7
Areia fina (1)	54	48	47	47	44	40
Areia grossa (1)	36	37	30	25	25	32
pH água	5,1	5,4	5,2	5,2	5,4	5,3
pH KCl	4,3	4,3	4,3	4,2	4,3	4,2
Ca (2)	0,38	0,35	0,34	0,32	0,33	0,31
Mg (2)	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,16
K (2)	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08
Soma de bases (2)	0,66	0,62	0,60	0,57	0,57	0,55
Al (2)	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,2
H (2)	1,7	1,8	2,0	1,9	2,1	2,0
CTC (2)	3,46	3,52	3,60	3,57	3,77	3,75
Sat. Por bases (%)	19	18	17	16	15	15
Sat. Por alumínio (%)	63	64	63	66	66	69
C (1)	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2

(1) dag/kg TFSA; (2) $cmol_c$/kg TFSA.

APÊNDICE 3. Etapas do processo de normalização e transformação dos atributos do solo, utilizando a curva de Johnson (1949)

1. Colocar em uma planilha do excel, na primeira coluna (A), a listagem de todos os dados existentes (um conjunto de dados para cada delineamento, em um total de dez delineamentos – cinco de Latossolo e cinco de Argissolo).
2. Executar no excel o comando resumo estatístico, colocando-o nas colunas B e C, o qual contém: média, erro padrão, mediana, modo, desvio padrão, variância da amostra, curtose, assimetria, intervalo, mínimo, máximo, soma e contagem.
3. Inserir na coluna D os intervalos de classes;
4. Calcular a distribuição de freqüência, isto é, o número de dados que ocorrem em cada classe de freqüência, colocando-a na coluna E. Para isso, calcula-se a freqüência da primeira classe e, nas demais calcula-se a freqüência da respectiva classe, subtraindo a freqüência da classe anterior. Esse procedimento foi necessário porque no excel tem-se apenas a freqüência acumulada.
5. Na coluna F, colocar a freqüência relativa. Tal valor foi obtido dividindo-se a coluna anterior (freqüência) pelo número total de dados.
6. Na coluna G, inserir a freqüência relativa acumulada, calculando-se da seguinte forma: na primeira linha deve ser copiado o valor da coluna anterior (freqüência) e nas linhas abaixo deve-se somar o valor da coluna anterior com o valor da linha imediatamente acima. O último valor tem que ser igual a 1, pois é a soma das freqüências de todas as classes.
7. Na coluna H, inserir os valores de Zt (escores da normal reduzida tabelada), os quais são obtidos utilizando-se a Função: INV.NORMP. Nesse procedimento utiliza-se para cada célula o valor da coluna anterior que é a freqüência acumulada. Ressalta-se que na última linha deve-se colocar "infinito", pois tal valor tende ao infinito.
8. Em seguida, na coluna I calcular o valor "Y" que é o valor da coluna anterior (dado tabelado) subtraído do valor mínimo e, tudo isso dividido pela subtração dos valores máximo e mínimo. Repetir essa operação para cada classe. Ressalta-se que na última linha o valor será sempre 1.
9. Nas colunas J, K, L, serão calculados os valores de "L" para os sistemas de S_L, S_B e S_U, respectivamente, segundo Johnson (1949). Portanto, teremos os valores de L

calculados nos três sistemas. Ressalta-se que na última linha deve ser inserida também a palavra “infinito”.

Para saber qual o sistema que deve ser usado (S_L, S_B, S_U) no cálculo dos escores da normal reduzida pela função de transnormalização deve-se proceder da seguinte maneira:

10. Na primeira linha da coluna M inserir a função DISTORÇÃO (X1,Xn), a qual calculará o coeficiente de assimetria. A partir deste, na terceira linha desta mesma coluna determinar o valor “beta1” que é o valor do coeficiente de assimetria elevado ao quadrado.
11. Na primeira linha da coluna N inserir a função CURT (X1,Xn), a qual calculará o coeficiente de curtose. A partir deste, na terceira linha desta mesma coluna determinar o valor “beta2” que é o valor do coeficiente de curtose somado ao número 3. Obtendo-se o valor de beta1 e beta 2 é possível calcular o valor A e o valor B, sendo esses os valores utilizados no enquadramento dos sistemas S_L, S_B ou S_U. O valor A é calculado da seguinte maneira: A = beta2 – (1,89*beta1) – 3; e o valor B: B = beta2 – beta1 – 1.
12. Na próxima coluna (O) realizar então a escolha do sistema mais apropriado utilizando-se os parâmetros acima, da seguinte maneira: com a função de condição temos que: se o valor A for maior que zero então o sistema que melhor se ajusta é o S_U; se o valor A for aproximadamente zero o sistema é S_L e; se o valor A for menor que zero conjuntamente como o valor B maior que zero, tem-se então o sistema S_B. Este último sistema (S_B) segundo a bibliografia consultada tem sido o mais utilizado para propriedades do solo.
13. Ainda na coluna O, mais abaixo, calcular os valores dos parâmetros a e b (método dos mínimos quadrados) para o posterior cálculo de Ze, sendo realizado da seguinte maneira: calculou-se as médias dos valores de Zt e L, em seguida a variância também dos valores de Zt e L, sendo o parâmetro **a** a média dos valores de Zt e, o parâmetro **b** a divisão da variância dos valores de Zt pela variância dos valores de L, elevado a 0,5.
14. Na seqüência, inserir na coluna P os escores da normal reduzida estimados pela função de transnormalização (Ze), calculando-se da seguinte maneira: Ze = valor a somado ao valor b multiplicado pelo valor da coluna anterior (valor L escolhido).

15. Na coluna Q, utilizar a função DIST.NORMP (Ze correspondente) para calcular a freqüência relativa acumulada estimada.
16. Na coluna R, inserir a freqüência relativa estimada, fazendo-se o caminho contrário da passagem da freqüência relativa para a freqüência relativa acumulada, sendo realizada da seguinte forma: na primeira linha coloca-se o valor da coluna anterior (primeiro valor da freqüência relativa acumulada estimada) e, nas linhas subseqüentes faz-se a subtração do valor da coluna anterior (freqüência relativa acumulada estimada) com o valor da linha superior da mesma coluna (freqüência relativa estimada).
17. Inserir a freqüência estimada na coluna S, a qual é calculada da seguinte forma: multiplica-se o número total de dados (contagem) pelo valor da coluna anterior e, assim, sucessivamente.