

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**Superfícies geomórficas e variabilidade de latossolos em
uma vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal (SP)**

PEDRO CUNHA
Eng^o Agrônomo

JABOTICABAL - SP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**Superfícies geomórficas e variabilidade de latossolos em
uma vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal (SP).**

Pedro Cunha

Orientadores: Prof. Dr. Nilton Curi

Prof. Dr. José Marques Júnior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal - UNESP, para obtenção do Título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Ciência do Solo.

JABOTICABAL - SP

Março - 2000

Cunha, Pedro
C972s Superfície geomórfica e variabilidade de latossolos em uma
vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal (SP) / Pedro Cunha. --
Jaboticabal, 2000
xviii, 149p. : il. ; 28cm

Tese (Doutor) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2000
Orientador: Nilton Curi
Banca Examinadora: Igo Fernando Lepsch, Ricardo Marques
Coelho, José Frederico Centurion, Gener Tadeu Pereira
Bibliografia

1. Superfícies geomórficas - latossolos. 2. Mineralogia-latossolos.
3. Variabilidade – atributos de latossolos. I. Título. II. Jaboticabal -
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.48

Ficha catalográfica elaborada pelo STATI - SBD
E-Mail: cunha1962@yahoo.com.br

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

PEDRO CUNHA, nascido em 19 de maio de 1962, em Ribeirão Preto, SP, é Engenheiro Agrônomo, formado pela Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz - Campus de Piracicaba - USP, em janeiro de 1987. Obteve grau de Mestre em Solo e Água pela Wageningen Agricultural University na Holanda, em outubro de 1993. Trabalha atualmente para a Secretaria Estadual do Meio Ambiente no Departamento de Proteção aos Recursos Naturais em Ribeirão Preto.

OFEREÇO

Aos meus pais Ijair e Antonietta, a meus irmãos,

A minha companheira Estela e

A todos que se empenham em construir um mundo melhor.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nilton Curi e ao Prof. Dr. José Marques Júnior pela prestimosa orientação e amizade,

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP de Jaboticabal, pela oportunidade de aperfeiçoamento,

A Reitoria da UNESP pelo auxílio financeiro concedido, durante o ano de 1996,

Ao Departamento de Proteção aos Recursos Naturais (DEPRN) e a FUNDUNESP, pela compreensão e apoio,

Aos membros da banca examinadora, Dr. Ricardo M. Coelho, Prof. Dr. Igo F. Lepsch, Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira, Prof. Dr. José Frederico Centurion e Prof. Dr. Nilton Curi, pelas críticas e sugestões ao trabalho,

Ao Prof. Dr. Nestor Kämpf da UFRGS, pelo auxílio e sugestões,

Ao Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira da FCAV/UNESP, pelo auxílio na realização da análise estatística,

Ao Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho da FCAV/UNESP, pelo auxílio computacional,

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP, principalmente ao Edivaldo Guerino Santa Rosa, pelo auxílio nos trabalhos de laboratório e ao Marcelo e Adalto pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Ao Ronaldo do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, pelo ajuda no trabalho de campo,

Ao mestrando Vinícius Pocay, pelo auxilio com os equipamento de raios - X,

A desenhista Elisabeth Gireo Rodrigues pela confecção dos difratogramas,

A bibliotecária Tiêko Takamiya Sugaha pela ajuda na correção das referencias bibliográficas,

A empresa GTEC Geo - Serviços de Ribeirão Preto, pelo auxilio com a digitalização de mapas,

A todos outros, que de alguma maneira, contribuíram para realização desta tese.

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Semivariograma experimental, com os padrões C_0 , C_1 e a , de um atributo qualquer do solo.....	32
2. Localização do município de Jaboticabal no Estado de São Paulo.....	34
2. Mapa geológico da Serra de Jaboticabal, região de Monte Alto e áreas circunvizinhas.....	37
4. Seção estrutural esquemática entre Monte Alto e Jaboticabal.....	38
5. Corte transversal mostrando a litoestratigrafia arenito-basalto que ocorre em uma transeção do Planalto Ocidental, região de Jaboticabal (SP).....	39
6. Solos do Campus da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP de Jaboticabal e legenda.....	40
7. Perfil altimétrico da vertente estudada.....	57
8. Superfícies geomórficas e classes de declive da área estudada obtida a partir de modelo digital de terreno.....	58
9. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos físicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm. A - silte/argila; B - densidade de partículas; C - areia fina/areia grossa; D - argila.....	64
10. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos químicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm. A - saturação por bases; B - soma de bases; C - CTC do solo; D - CTC da argila.....	68
11. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos químicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm. A - delta pH; B - acidez trocável; C - matéria orgânica; D - pH em $CaCl_2$	69
12. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos mineralógicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80	

cm. A - LMA da Gt; B - LMA da Hm; C - LMA da Ct; D - LMA da Gb; E - Ct/(Ct+Gb); F - leves/pesados.....	71
Figura	Página
13. Difratoformas de raios-X representativos da fração argila tratada com DCB, do solo LE-2, sob a superfície geomórfica I, para as amostras coletadas nos pontos 2 (A) e 19(B).....	
14. Difratoformas de raios-X representativos da fração argila tratada com DCB, dos solos LE-1, sob a superfície geomórfica II, para as amostras coletadas nos pontos 45 (A) e 42 (B).....	74
15. Difratoformas de raios-X representativos da fração argila tratada com DCB, dos solos LE-3, sob a superfície geomórfica II, para as amostras coletadas nos pontos 55 (A) e 61 (B).....	75
16. Difratoformas de raios-X representativos da fração argila tratada com DCB, dos solos LR, sob a superfície geomórfica III, para as amostras coletadas nos pontos 89 (A) e 91 (B).....	76
17. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos mineralógicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm. A - DMC da Gt; B - DMC da Hm; C - DMC da Ct; D - DMC da Gb; E - DMC do An.....	79
18. Difratoformas de raios-X representativos da fração argila tratada para concentração de óxidos, do solo LE-2, sob a superfície geomórfica I, para as amostras coletadas nos pontos 2 (A) e 19 (B).....	81
19. Difratoformas de raios-X representativos da fração argila tratada para concentração de óxidos, do solo LE-1, sob a superfície geomórfica II, para as amostras coletadas nos pontos 45 (A) e 42(B).....	82
20. Difratoformas de raios-X representativos da fração argila tratada para concentração de óxidos, na superfície geomórfica II, do solo LE-3, para as amostras coletadas nos pontos 55 (A) e 61 (B).....	83
21. Difratoformas de raios-X representativos da fração argila tratada para concentração de óxidos, do solo LR, sob a superfície geomórfica III, para as amostras coletadas nos pontos 89 (A) e 91 (B).....	84
22. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos mineralógicos dos solos, na profundidade de 60 a 80 cm, nas superfícies geomórficas; A - substituição isomórfica na Hm; B - substituição isomórfica na Gt; C - teor de Hm; D - teor de Gt.....	85

Figura	Página
23. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos mineralógicos dos solos, na profundidade de 60 a 80 cm, nas superfícies geomórficas; A - área do pico da Gt; B - área do pico da Hm; C - área do pico da Ct; D - área do pico da Gb.....	
24. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos químicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm. A - Fes; B - Fed; C - Feo.....	92
25. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística do atributo topográfico inclinação do terreno (%) ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m.....	93
26. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística do atributos físicos ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m; A - silte/argila e densidade de partículas; B - teor de argila e areia fina/areia grossa.....	94
27. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística dos atributos químicos ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m; A - Fe _o ; B - Fe _s e Fe _d	95
28. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística de atributos mineralógicos ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m; A - Gt/(Gt+Hm) e Ct/(Ct+Gb); B - teor de Gt e Hm.....	96
29. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística de atributos mineralógicos ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m; A - Área do pico da Ct e da Gb; B - leves/pesados.....	97

LISTA DE TABELA

Tabela	Página
1. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados aos dados de variabilidades do solo.....	72

ANEXO	Página
1. Foto aérea da área estudada, tirada em dezembro de 1995, na escala 1:8000.....	115
2. Balanço hídrico mensal, considerando a capacidade de água disponível (CAD) para cada unidade.....	129
3. Descrição morfológica de perfil do Latossolo Vermelho-Escuro (LE-1), argiloso, relevo plano ou suave ondulado.....	130
4. Descrição morfológica de perfil do Latossolo Vermelho-Escuro (LE-2), argiloso, relevo plano – perfil 1.....	131
5. Descrição morfológica de perfil do Latossolo Vermelho-Escuro (LE-3), muito argiloso.....	132
6. Descrição morfológica de perfil do Latossolo Roxo (LR) muito argiloso.....	133
7. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho Escuro (LE-1), eutrófico, A moderado, argiloso, fase florestal tropical subperenifolia, relevo plano ou suave ondulado.....	134
8. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho Escuro (LE-2), distrófico, A moderado, argiloso, fase florestal tropical subperenifolia, relevo plano – perfil 2.....	135
9. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho Escuro (LE-3), eutrófico, A moderado, muito argiloso, fase florestal tropical subperenifolia, relevo suave ondulado.....	136
10. Características físicas e químicas do Latossolo Roxo (LR), eutrófico, A moderado, muito argiloso, fase florestal tropical subperenifolia, relevo ondulado.....	137
11. Perfil de Latossolo Vermelho-Escuro argiloso (LE-1), do Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso (LE-3) e do Latossolo Roxo eutrófico (LR), onde foram coletadas as amóstras estudadas, de 60 a 80 cm de profundidade.....	138
12. Atributos físicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.....	139
 ANEXO	 Página
13. Atributos químicos dos solos estudados na, profundidade de 60 a 80 cm....	141

14. Atributos mineralógicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.....	145
15. Estatística descritiva de atributos físicos do solo, sob as superfícies geomórficas I, II e III.....	151
16. Estatística descritiva de atributos químicos do solo, sob as superfícies geomórficas I, II e III.....	152
17. Estatística descritiva de atributos mineralógicos do solo, sob as superfícies geomórficas I, II e III.....	154
18. Gráfico da correção do alargamento instrumental.....	156
19. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo físico, argila (g.Kg^{-1}), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	157
20. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo químico, Fe_d (g.Kg^{-1}), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	158
21. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo químico, Fe_o (g.Kg^{-1}), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	159
22. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo químico, Fe_s (g.Kg^{-1}), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	160
23. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico, área do pico da Gt 110 (cm^2), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	161
24. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico, área do pico da Hm 012 (cm^2), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	162
25. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico, área do pico da Ct 001 (cm^2), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	163

ANEXO**Página**

26. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico,	
---	--

área do reflexo da Gb 002 (cm^2), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	164
27. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico teor de goethita (g.Kg^{-1}), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	165
28. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico teor de hematita (g.Kg^{-1}), nas três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.....	166

LISTA DE ABREVIATURAS

a	Alcance da variabilidade estrutural
AF/AG	Areia fina/areia grossa
Al	Alumínio
An	Anatásio
AP	Área do pico ou do reflexo
Arg	Argila
C ₁	Variabilidade estrutural
C ₀	Efeito pepita
Ct	Caulinita
CTC	Capacidade de troca de cátions
CV	Coeficiente de variação
DCB	Ditionito-citrato-bicarbonato de sódio
DMC	Diâmetro médio do cristal
DP	Densidade de partículas
DRX	Difratograma de raios - X
Fe	Ferro
Fe _d	Ferro ditionito
Fe _o	Ferro oxalato
Fe _s	Ferro do ataque sulfúrico
Gb	Gibbsita
Gt	Goethita
GVE	Grau de dependência espacial
Hm	Hematita
IBA	Índice da bondade do ajuste
L/P	Leves/ pesados
LMA	Largura meia altura
SB	Soma de bases
Sd	Sodalita

SI	Substituição isomórfica
SMW	"Split Moving Windows"
SUP	Superfície geomórfica
V	Saturação por bases

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo relacionar as superfícies geomórficas em uma vertente na região de Jaboticabal (SP) com a mineralogia, química e física de latossolos nelas distribuídos, bem como a variabilidade espacial destes atributos, com a finalidade do estabelecimento de áreas mais homogêneas, específicas para manejo, planejamento e transferência de informações, além de subsidiar informações para gênese de solos. Foram identificadas e caracterizadas três superfícies geomórficas, os solos sob estas foram amostrados em detalhe e seus atributos físicos, químicos e mineralógicos foram analisados, bem como sua variabilidade através da estatística descritiva e geoestatística. Os resultados deste estudo evidenciaram que: (1) a razão dos latossolos sob a superfície III, mais jovem de todas, serem mais oxídicos, enquanto que os latossolos da superfície I, mais velha, são mais caulíníticos, é consequência da litoestratigrafia regional arenito-basalto; (2) o ambiente sob a superfície I, mais estável, favoreceu a formação de caulinita e hematita com maior grau de cristalinidade, menor largura à meia altura (LMA) e maior diâmetro médio do cristal (DMC) quando comparados aos mesmos minerais dos solos sob a superfície III, a mais jovem e menos estável; (3) os atributos do solo mais coincidentes com aqueles limites pré-determinados das superfícies geomórficas no campo, foram em ordem decrescente: inclinação do terreno, ferro do ataque

sulfúrico (Fe_s), razões minerais leves/pesados e silte/argila, densidade de partículas e caulinita/(caulinita+gibbsita); (4) os solos sob a superfície III apresentam uma maior variabilidade espacial de seus atributos quando comparados aos solos sob a superfície I, evidenciando que solos muito intemperizados (Latosolos) quando sob superfícies geomórficas mais recentes e erosionais são mineralogicamente menos homogêneos do que solos da mesma ordem situados em superfícies mais velhas e mais antigas (normalmente mais planas); e (5) a dependência espacial diferenciada, representada pelos valores do alcance (a) nos solos sob as três superfícies geomórficas, para a maioria dos atributos de solo estudados, indica esquemas amostrais e planejamento de parcelas experimentais diferentes nas superfícies geomórficas I, II e III.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos das relações solo-geomorfologia são de importância principalmente para subsidiar os trabalhos de levantamentos de solos, mormente em áreas onde há carência de levantamentos de solos em escalas maiores para uso agrícola e não agrícola. A importância das relações entre superfícies geomórficas e a distribuição dos solos e seus atributos visa facilitar a previsão de sua ocorrência, elementos básicos para a transferência de conhecimentos para condições similares. Já se encontram bastante consolidados na área de Ciência do Solo, estudos que têm por base o modelo de superfícies geomórficas de DANIELS et al. (1971), onde estas são identificadas e delineadas segundo critérios descritos em detalhes, seguindo conceitos originais de RUHE (1969).

A área situada entre o Planalto Ocidental Paulista e as Cuestas Basálticas, incluída na Bacia do Paraná, apresenta superfícies geomórficas particulares, que influenciam uma distribuição lógica de solos com seus atributos característicos.

Na região de Jaboticabal, enquadrada na província geomorfológica Planalto Ocidental Paulista, com altitudes entre 480-630 m, ocorrem principalmente os Latossolos. Suas diferentes classes distribuem-se ao longo das vertentes normalmente em posições pré-definidas. Nas porções mais elevadas da paisagem ocorre Latossolo Vermelho-Escuro, textura média, cujas rochas de origem são arenitos do grupo Bauru, estes transicionam encosta abaixo para Latossolo Roxo, textura argilosa, originado principalmente do produtos de alteração dos basaltos (Formação Serra Geral).

MARQUES JÚNIOR (1995) baseou-se na teoria de episódios relacionados com fases de morfogênese em climas semi-áridos pretéritos e eventos neo-tectônicos ocorridos na região de Monte Alto (SP) para explicar a variação de propriedades do terreno, conforme modelo proposto da evolução da paisagem, através da conjugação do modelo tempo-dependente das unidades geomórficas de RUHE (1969) e DANIELS et al. (1971), aliada ao detalhamento das mesmas em segmentos de vertente segundo DARLYMPLE et al. (1968).

Neste sentido interessa investigar a aplicabilidade do modelo em ambientes diferentes daqueles de rochas puramente areníticas estudado em Monte Alto por MARQUES JÚNIOR (1995). Ao mesmo tempo é oportuno detalhar, em regiões limítrofes entre arenito e basalto, a mineralogia dos solos, estudando a variabilidade dentro e entre superfícies geomórficas conhecidas. Estas informações contribuirão para estudos básicos de solos relacionados com atributos mais específicos para as classes de Latossolos, entre os quais se incluem os atributos mineralógicos dos principais componentes da fração argila,

goethita (Gt), hematita (Hm), gibbsita (Gb) e caulinita (Ct), químicos como, ferro oxalato (Fe_o), ferro ditionito (Fe_d), ferro do ataque sulfúrico (Fe_s) e físicos como, densidade de partículas (DP), areia fina/areia grossa (AF/AG), silte/argila e teor de argila.

A hipótese geral que norteou o presente trabalho foi: "o modelo de evolução de paisagem proposto por MARQUES JÚNIOR (1995) para rochas areníticas pode ter sua aplicação estendida para vertentes desenvolvidas em litoestratigrafia arenito-basalto." A hipótese específica foi: "a variabilidade espacial de atributos mineralógicos tais como teor de Gt e Hm, área do pico da Gt, Hm, Ct e Gb, atributos químicos como, Fe_s , Fe_o , Fe_d e granulométricos como, teor de argila é maior em superfícies mais recentes e, portanto, o uso do conceito de superfícies geomórficas pelo método tempo-dependente auxilia na previsão desta variabilidade".

O objetivo deste trabalho foi relacionar as superfícies geomórficas em uma vertente na região de Jaboticabal (SP) com a mineralogia, química e física de latossolos nelas distribuídos, bem como a variabilidade espacial destes atributos, com a finalidade do estabelecimento de áreas mais homogêneas, específicas para manejo, planejamento e transferência de informações, além de subsidiar informações para gênese de solos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Relações Solo-Geomorfologia

MILNE (1935) trabalhou com mapeamento de solos na África sugerindo o termo "catena" para designar unidades de mapeamento compostas quando de repetições regulares de solos do topo ao vale de encostas de paisagens específicas. A limitação do modelo de catena está no fato de não considerar os processos erosionais e sedimentológicos contemporâneos que, via de regra, ocorrem na maioria das paisagens (CONACHER & DALRYMPLE, 1977).

Vários trabalhos se destacaram nos estudos das relações solo - geomorfologia (RUHE et al. 1967; DARLYMPLE et al., 1968; RUHE, 1969; DANIELS et al., 1971; LEPSCH, 1975). Estes estudos tiveram um grande avanço com a aplicação da conceituação mais detalhada de superfície geomórfica de RUHE et al. (1967): "uma porção do terreno que é definida no espaço e no tempo", a qual foi complementada por DANIELS et al. (1971): "uma superfície geomórfica

tem limites geográficos definidos e é formada por um ou mais agentes num determinado período de tempo”.

Outros estudos contribuíram para o avanço das idéias sobre as relações solo-paisagem, a exemplo do modelo de DALRYMPLE et al. (1968), onde são levados em consideração os eventos contemporâneos que definem segmentos de superfícies atuais do terreno. Neste modelo, os autores propõem nove unidades hipotéticas de paisagem com unidades tridimensionais que se estendem do alto do interflúvio ao fundo do vale, onde o declive é o fator principal, conforme características físicas e morfológicas registradas como respostas a processos pedogeomórficos. Normalmente um maior número destas unidades ocorrem em superfícies mais recentes.

Posteriormente, CONACHER & DALRYMPLE (1977), modificando os modelos existentes, propuseram a integração de processos contemporâneos de cada membro da catena à morfologia e mudanças ambientais da paisagem, formando um modelo catena-paisagem. As unidades de vertente e condições hidrológicas são refletidas pelas variações de mecanismos individuais envolvidos na mobilização, transporte e deposição de materiais no solo (colóides, íons ou partículas de areia e silte), condicionando processos tais como podzolização, gleização, lessivagem ou salinização. Isto, segundo GERRARD (1992), imprime às unidades de vertente, um caráter pedogeomórfico importante, essencial para auxiliar mapeamentos detalhados ou em áreas de pequena extensão.

No Brasil, vários autores, entre eles CURI & FRANZMEIER (1984) e SANTANA (1984) no Planalto Central, DEMATTÊ et al. (1991) e SCATOLINI &

MONIZ (1992) em São Paulo, relacionam o condicionamento de vários atributos do solo aos processos de movimentação (fluxo de água vertical ou lateral, superficial ou subsuperficial) de compostos de ferro, sílica e bases, condicionando variações de cor e estrutura. LEPSCH (1975) encontrou relações entre superfícies geomórficas, solos e a mineralogia destes no planalto de Echaporã (SP), concluindo que esta é uma importante relação para o entendimento da pedogênese e auxílio ao levantamento de solos.

ESPÍNDOLA & CARVALHO (1986) em estudo na bacia do Rio Capivara, nas províncias geomorfológicas denominadas Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental Paulista, encontraram relações entre estes comportamentos da paisagem e a mineralogia dos diversos solos.

MEIRELLES (1998) utilizou o conceito de superfícies geomórficas e vários atributos do solo em áreas de Latossolo Roxo (levantamento detalhado) e identificou ambientes diferenciados para solos desta classe em relevos plano e suave ondulado.

Nesse sentido, o estudo da variação e do comportamento da mineralogia do solo, integrado ao modelo de DANIELS et al. (1971), pode oferecer importantes contribuições aos modelos regionais e ser muito útil para auxiliar a transferência de conhecimentos dentro e entre diversos ambientes tropicais.

O uso de superfícies geomórficas (DANIELS et al., 1971) é importante no mapeamento de solos, assim como na padronização de metodologias para elaborar banco de dados digitais (VAN ENGELEN & PULLES, 1991).

Técnicas de geoprocessamento auxiliam no uso de informações de solos e superfícies geomórficas, integradas através da estrutura hierárquica do banco de dados digital (SOTER), para planejamento agrícola, aptidão agrícola, modelagem de produção e elaboração de mapas de risco de erosão, conforme estudado por CUNHA (1993).

2.2. Mineralogia da fração argila dos Latossolos brasileiros

Caulinita, gibbsita, hematita e goethita constituem, em diferentes proporções, os principais minerais da fração argila dos Latossolos brasileiros (RESNDE et al., 1999).

Estes solos possuem horizonte mineral subsuperficial, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperismo, explícito pela alteração quase completa dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo e, ou, dos argilominerais 2:1, seguida de intensa dessilicatização, lixiviação de bases e concentração residual de sesquióxidos, argilas do tipo 1:1 e minerais primários resistentes ao intemperismo.

Na composição do horizonte B latossólico não deve restar mais do que 4% de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) ou 6% no caso de muscovita, determinados na fração areia (EMBRAPA, 1999).

2.2.1. Sistema gibbsita - caulinita

Os principais fatores que influenciam o sistema mineralógico gibbsita-caulinita são o teor de silte e silicatos, o conteúdo de TiO_2 e Fe_2O_3 na rocha de origem, a atividade da matéria orgânica, a intensidade do intemperismo e os óxidos de Fe e de Al (CURI, 1983).

A caulinita é favorecida por maior quantidade de carbono orgânico na solução do solo, percolação lenta de água e baixo teor de ferro e titânio na rocha de origem, enquanto a gibbsita é favorecida em ambientes de intemperismo mais intensos e boa drenagem (RESENDE, 1976; HSU, 1977). Os maiores valores de óxidos de ferro em ambientes ácidos condicionam um balanço de cargas positivas, favorecendo uma maior adsorção de ácido silícico e menor concentração do mesmo na solução do solo (CURI, 1983). Em consequência há uma tendência a formação de maiores quantidades da gibbsita (MCKEAGUE & CLINE, 1963).

Vários autores observaram um decréscimo na relação $Ct/(Ct+Gb)$ em latossolos, conforme aumenta a taxa de intemperismo destes solos, mantendo os outros parâmetros constantes. A correlação positiva entre teores de ferro do ataque sulfúrico e teores de gibbsita em solos foi relatada por MONIZ (1967), RESENDE (1980) e MONIZ et al. (1982), contudo não foi encontrada correlação entre estes atributos por RESENDE (1976).

2.2.1.1. Grau de cristalinidade e tamanho de cristal da caulinita e gibbsita

Quanto à cristalinidade da caulinita, MURRAY & LYONS (1960) observaram que com o aumento do teor de ferro e titânio da argila ocorre uma desordem estrutural da caulinita, o que possibilita o aumento da superfície específica desta, podendo adsorver mais ferro e óxidos de titânio. Já BUNDY et al. (1966) descrevem uma desordem estrutural na caulinita provocada pela adsorção de anatásio coloidal. Em resumo, tudo indica que em solos desenvolvidos de basalto, as caulinitas tendem a apresentar maior desordem estrutural e conseqüentemente a ter menor tamanho de cristal do que as caulinitas de solos originados de rochas mais ácidas tal como já notado entre outros por MONIZ, (1967) e RESENDE (1976).

SCHOEN & ROBERSON (1970) citaram o tamanho dos cristais da gibbsita, com um alargamento dos reflexos (002), que pode ser observado se o tamanho dos cristais for menor que 100 nm. A intensidade dos reflexos de difração de raios-X da gibbsita é governada por vários fatores tais como, cristalinidade (tamanho e morfologia do cristal), impurezas, composição química e componentes não cristalinos na amostra.

RESENDE (1976) e DICK (1986) encontraram correlações positivas entre teor de Gb e cristalinidade de Gb em solos com maior teor de ferro do ataque sulfúrico.

2.2.2. Sistema de óxidos de ferro

O ambiente de formação dos óxidos de ferro no solo depende de vários atributos (temperatura, umidade, pH, Eh, matéria orgânica etc.) que são condicionados pelos fatores e processos de formação do solo. A pedogênese, em sistema normalmente aberto, dá-se em meio que favorece a formação e as transformações minerais, onde as condições estão sempre variando no espaço e no tempo numa grande amplitude de escalas, dificultando que o estado de equilíbrio verdadeiro ("steady state") seja alcançado, tal como reafirmado em relação ao ferro (KÄMPF & CURI, 2000).

2.2.2.1. Quantidade e tipos de óxidos de ferro

A concentração dos óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxidróxidos e hidróxidos) de ferro nos solos pode variar conforme o material de origem e as condições pedogenéticas. A faixa de variação no Brasil para o teor de óxidos de ferro livres totais está entre valores mínimos de 0,7% (nos latossolos originados de depósitos caulíníficos do Terciário) e 44% presente nos latossolos originados de itabirito (KÄMPF et al., 1988).

SCHWERTMANN & TAYLOR (1989) descrevem os diferentes óxidos de ferro que podem ocorrer no solo, bem como, seus atributos. Goethita e hematita são os de maior ocorrência em solos muito intemperizados das regiões

tropicais e subtropicais úmidas, geralmente ocorrem associados e exercem influência marcante nas reações de superfície dos colóides desses solos.

No solo o ambiente de formação dos óxidos de ferro está muito relacionado com as condições pedobioclimáticas (RESENDE, 1976; ALMEIDA, 1979; CURI, 1983). O ferro dos minerais primários (Fe^{2+}), liberado no processo do intemperismo, oxida para (Fe^{3+}), precipita e origina óxidos de (Fe^{3+}). A formação destes minerais ocorre em dois sistemas iônicos: Fe(III) e Fe(II) (KÄMPF et al., 1988).

Segundo SCHWERTMANN (1985), no sistema Fe (III) a precipitação do ferro origina ferrihidrita ou goethita, dependendo da taxa de liberação do ferro durante o intemperismo. A ferrihidrita é um óxido mal cristalizado que, por mudança interna e desidratação, pode dar origem à hematita. Portanto, a ferrihidrita é o precursor necessário para a hematita, enquanto que a goethita se forma diretamente dos íons (Fe^{3+}) da solução ou redissolvidos da ferrihidrita. Uma alta taxa de liberação de ferro e rápida decomposição de matéria orgânica fazem parte de um ambiente pedogenético preferencial para formação de ferrihidrita. Assim, as maiores relações goethita/(goethita+hematita) no horizonte A de muitos solos estão associadas aos maiores teores de matéria orgânica. Vários trabalhos concordam com esta informação (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1983; CURI & FRANZMEIER, 1984; MARQUES JÚNIOR, 1988).

A hematita, por outro lado, possui grande poder de pigmentação, podendo mascarar as cores amareladas-ocre da goethita com apenas 1% de concentração daquela, desde que em partículas de tamanho relativamente

pequeno. Em diversas regiões tropicais úmidas existe boa correlação entre a quantidade de hematita e as cores avermelhadas, conforme relatam TORRENT et al. (1983) e KÄMPF & SCHWERTMANN (1983).

No sistema Fe(II), por processos de oxidação, podem ser originadas lepidocrocita ou goethita, ou ainda ferrihidrita. Os fatores que favorecem a formação de um ou outro desses óxidos são a concentração de (Fe^{2+}) , a velocidade de oxidação, a presença de carbonatos ou CO_2 , e a concentração de Al, tais como citados por SCHWERTMANN & TAYLOR (1989).

A estabilidade dos óxidos de ferro em solos tem sido motivo de polêmica. Alguns autores relatam maior estabilidade para hematita (MURRAY, 1979; SCHWERTMANN & KÄMPF, 1985), enquanto outros afirmam que a goethita é a mais estável nos diversos ambientes de solo (YAPP, 1983; TROLARD & TARDY, 1987). Isto evidencia que as várias formas de óxidos de ferro atualmente existentes no solo podem ser função de pequenas mudanças ambientais ou de processos pedogenéticos, ocorridos durante o tempo em que o solo se formou.

A goethita é o óxido de ferro melhor distribuído nos solos de diferentes ambientes relacionados a diferentes graus de intemperismo. A Gt é comum nos solos das zonas temperadas, nos solos tropicais e em solos de regiões subtropicais úmidas e semiáridas. Solos predominantemente hematíticos são raros, indicando a influência climática na relação $\text{Gt}/(\text{Gt}+\text{Hm})$ (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1982; SCHWERTMANN et al., 1982). Esta variação pode ainda estar associada a fatores como altitude, condicionando temperatura e umidade do

solo, posições topográficas (indicadas principalmente pelos seguimentos de vertente) e superfícies geomórficas, indicando grau de desenvolvimento do solo (CURI & FRANZMEIER, 1984; MARQUES JÚNIOR, 1995).

2.2.2.2. Substituição isomórfica na estrutura dos óxidos de ferro

Existe grande variação na magnitude da substituição isomórfica (SI) de Fe por Al em goethitas e hematitas, as quais estão associadas aos diversos ambientes de solo onde estas se formaram. Porém, os fatores que determinam suas causas não estão inteiramente conhecidos. Menciona-se como exemplo, que a atividade do Al solúvel, em meio ao desenvolvimento dos cristais de goethita, é um importante fator que pode ser influenciado pelo pH e concentração do ácido silícico na solução do solo (DIDIER et al., 1983). A substituição isomórfica de ferro por Al, assim como tamanho e grau de desordem do cristal, alteram as taxas de dissolução dos óxidos de ferro no solo de formas diferenciadas. Portanto, com a diminuição do tamanho do cristal e com uma maior desordem estrutural, ocorre um aumento na taxa de dissolução dos óxidos de ferro; porém, com a maior substituição em Al diminui a taxa de dissolução. A maior resistência da goethita à dissolução é explicada por uma maior substituição de Fe por Al, com base em trabalho experimental (TORRENT et al., 1987; MACEDO & BRYANT, 1989).

NORRISH & TAYLOR (1961) encontraram substituição isomórfica do Fe por Al na goethita da ordem de 33 moles% e sugeriram que este valor possa

estar próximo do limite superior, enquanto que KÄMPF et al. (1988) registraram valores na faixa de 15 a 36 moles% Al para goethita e 4 a 17 moles% Al para hematita.

No Brasil, os valores mais comuns de substituição isomórfica de Fe por Al em goethitas de latossolos são de 28 a 30 moles% Al (RESENDE, 1976; RESENDE, 1980).

SCHWERTMANN & KÄMPF (1985) descrevem que valores entre 13 e 25 moles% de substituição em Al na goethita foram verificados em solos do Rio Grande do Sul e 15 a 33 moles% Al em solos de Goiás. Observaram também uma associação de goethitas com alto índice de substituição em Al e altos teores de gibbsita no solo, ambas competindo por Al, caracterizando um ambiente pedogenético de intenso intemperismo e dessilicatização.

SCHWERTMANN (1985) reuniu dados de vários trabalhos sobre óxidos de ferro e definiu intervalos de substituição isomórfica em Al na estrutura da goethita, de acordo com os ambientes de formação: baixa substituição isomórfica de Fe por Al, menor que 3 moles%, em solos pouco ácidos e ambientes hidromórficos; e valores acima de 10 ou 15 moles% em solos altamente intemperizados dos trópicos úmidos, sendo que geralmente nos Oxissolos ocorrem os valores máximos de SI de Fe por Al.

A porcentagem da substituição de Fe por Al na goethita tem sido calculada com o objetivo de caracterizar diferentes ambientes pedogenéticos. Ela reflete o ambiente e indica o processo de formação do solo. FITZPATRICK & SCHWERTMANN (1982) citam que em ambientes de forte intemperismo,

condições de alta acidez e boa drenagem, a atividade do Al cresce e conseqüentemente ele se torna mais disponível para ser incorporado na estrutura da goethita.

2.2.2.3. Grau de cristalinidade e tamanho do cristal de óxidos de ferro

O conceito de cristalinidade empregado aqui compreende o grau de ordenação estrutural e morfologia do cristal, relações angulares, tamanho e forma das faces do cristal, estrutura cristalina e o tamanho do cristal, variáveis que afetam a superfície específica dos óxidos de ferro.

Para OGUNSOLA et al. (1989), a relação Fe_o/Fe_d expressa o ferro extraído pelo oxalato de amônio ácido (ferro menos cristalino) sobre o ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (ferro cristalino + amorfo) sendo, assim, um indicador do grau de cristalinidade dos óxidos de ferro e do grau de desenvolvimento do solo. Vários autores consideram que uma baixa taxa Fe_o/Fe_d indica predominância de formas cristalinas e que a ferrihidrita é pouco significativa no sistema (KÄMPF & DICK, 1984; QUEIROZ & KLAMT, 1985; SHADFAN et al., 1985; KÄMPF et al., 1995; KER et al., 1996; GOMES et al., 1996; SANTOS & BATISTA, 1996), estando, portanto, relacionada com solos mais evoluídos. Índices Fe_o/Fe_d inferiores a 0,36 indicam solos altamente intemperizados e formas de óxidos de ferro bem cristalizadas, e índices $Fe_o/Fe_d > 1$ estão associados a solos mais jovens e óxidos de mais baixa cristalinidade.

O tamanho do cristal da goethita e a largura à meia altura refletem a cristalinidade dos minerais e podem variar conforme o ambiente de formação, a região fisiográfica e de solo para solo. Trabalhos mostram que a largura à meia altura variou com base nos intervalos $0,17$ a $0,27^{\circ}2\theta$ nos latossolos da Amazônia, e $0,17$ a $0,47^{\circ}2\theta$ nos latossolos do Brasil Central, e de $0,17$ a $0,67^{\circ}2\theta$ nos latossolos do Sul do Brasil (DICK, 1986).

SCHWERTMANN & CARLSON (1994) citam que a variação dos tamanhos dos cristais dos óxidos de ferro é função de diferenças nos ambientes de formação, da taxa de formação dos óxidos de ferro, de inibidores de cristalização como matéria orgânica, e da idade da goethita. A maioria das goethitas e hematitas do solo forma pequenos cristais subarredondados, com tamanho aproximado entre 10 e 30 nm, geralmente ocorrendo fortemente associadas nos microagregados (KÄMPF, 1981; SCHWERTMANN & KÄMPF, 1985).

2.3. Mineralogia da fração areia dos Latossolos

No tocante à fração areia, a taxa de minerais leves/pesados tem sido utilizada para estimar a presença de minerais de ferro, herdados da rocha de origem. MARQUES JÚNIOR et al. (1992), pesquisando a evolução de Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE) derivados da alteração do gnaiss granítico leucocrático e mesocrático, respectivamente, encontraram

valores maiores da taxa leves/pesados para os LV, em consonância com a mineralogia da fração argila desse solo.

2.4. Avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo

Os atributos do solo, tais como atualmente medidos, possuem tanto uma variabilidade casual (não prevista a partir dos conhecimentos atuais) e uma variabilidade sistemática, a qual freqüentemente pode ser previsível. A variabilidade casual pode estar relacionada, entre outros, aos erros de análises de laboratório. A variabilidade sistemática é normalmente gradual, possui causa que pode ser conhecida, entendida e prevista normalmente a partir de mudanças nos atributos do solo em função da paisagem. Estes últimos referem-se principalmente a elementos geomórficos (geologia), sedimentologia e geomorfologia, outros fatores de formação tais como clima e organismos, incluindo a ação antrópica de manejo do solo (WILDING & DREES, 1983; DANIELS & NELSON, 1987); UPCHURCH & EDMONDS, 1993).

RUSSO & BRESLER (1981) salientam que atributos do solo geralmente não são aleatoriamente distribuídos no espaço, mas em um arranjo estrutural com uma dimensão característica, que é o seu domínio espacial. Esse domínio, quando considerado em duas dimensões, corresponde à distância dentro da qual há interdependência dos valores medidos. A interação dos processos de formação do solo dentro de uma determinada paisagem, no sentido de superfícies geomórficas, condiciona a variação dos atributos do solo. MARQUES JÚNIOR

(1995) atribui ao gradiente hidráulico de superfície e subsuperfície, condicionado pelas superfícies geomórficas e segmentos de encosta, papel importante nos processos pretéritos e contemporâneos da paisagem, favorecendo uma maior ou menor variabilidade espacial dos atributos do solo.

Superfícies geomórficas erosionais, sob várias camadas de sedimentos, podem ter alta variabilidade dos atributos granulométricos do solo, causada pela formação do solo com vários sedimentos de diferentes texturas.

DANIELS E NELSON (1987) sugerem o estudo das variabilidade espacial e temporal do processo erosivo e suas relações com a produtividade vegetal considerando as superfícies geomórficas e a hidrologia através de técnicas de geoestatística, para fins de quantificar os efeitos (positivos e negativos) da variação dos atributos do solo sobre a produção vegetal.

As análises estatísticas tradicionais, baseadas na independência das observações, têm sido complementadas por análises espaciais, denominadas geoestatísticas, as quais consideram a posição do solo na paisagem para efeito de cálculo das correlações entre observações vizinhas.

O semivariograma define o tipo e a forma da associação espacial e, segundo VIEIRA et al. (1983), constitui-se no primeiro passo na análise geoestatística. O semivariograma é constituído pelo gráfico da semivariância $\gamma(h)$ versus os valores correspondentes dos pares amostrados na faixa de distância (h), conforme semivariograma (Figura 1).

O semivariograma é, por definição,

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2\} \quad (1)$$

e pode ser estimado através da equação:

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

onde $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978).

O semivariograma é uma função do vetor h e, portanto, depende da magnitude e direção da distância entre pontos h (VIEIRA, 1995).

É esperado que medições de pontos próximos sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas a grande distância, portanto a variância aumenta conforme aumenta a distância (h); e à medida que (h) tende para zero, a variância $\gamma(h)$ se aproxima do valor C_0 positivo, efeito pepita (VIEIRA, 1995). À medida que h aumenta, $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza no patamar ($C_0 + C_1$); a distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (a), e é a distância limite da dependência espacial. Pontos localizados a distâncias maiores que (a) têm distribuição espacial aleatória e são independentes entre si, sendo adequado aplicar, neste caso, a estatística clássica; quando pontos são separados por distância menores que (a) estes estão correlacionados espacialmente uns aos outros, caso em que a estatística clássica não deve ser aplicável, evitando esconder a variabilidade espacial (VIEIRA, 1995).

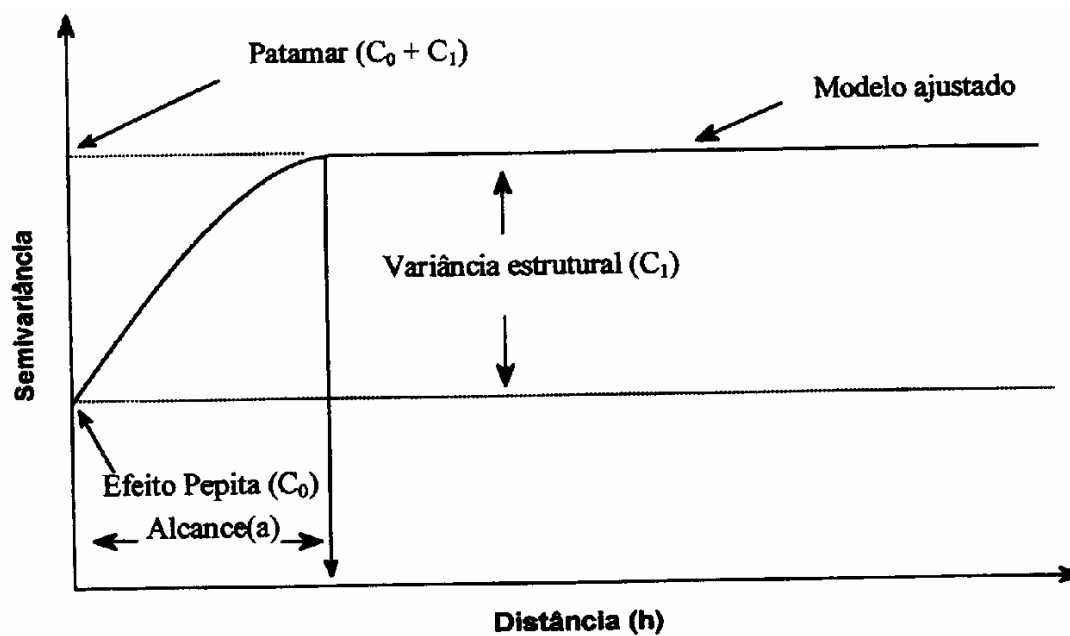


Figura 1. Semivariograma experimental, com os padrões C_0 , C_1 e a , de um atributo qualquer do solo (SANCHEZ, 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Situação Geográfica, Clima e Vegetação

A região de Jaboticabal está localizada na parte Centro-Norte do Estado de São Paulo e tem situação geográfica definida pelas coordenadas: Latitude 21°15'22" S e Longitude 48°18'58" W (Figura 2).

O clima da região foi classificado, pelo método de Köppen, como subtropical com inverno seco (Cwa), com precipitação média de 1400 mm, temperatura média anual de 21°C, com temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C, e umidade relativa do ar de 70% (Anexo 2).

A vegetação primária da região de Jaboticabal foi classificada como floresta pluvial estacional e cerrado (JOLLY, 1970), sendo o uso atual principalmente cana-de-açúcar, citricultura e pastagem plantada.

A vertente estudada encontrava-se com diversos cultivos em áreas experimentais, com o predomínio de cereais e a parte superior com plantio de eucaliptos.

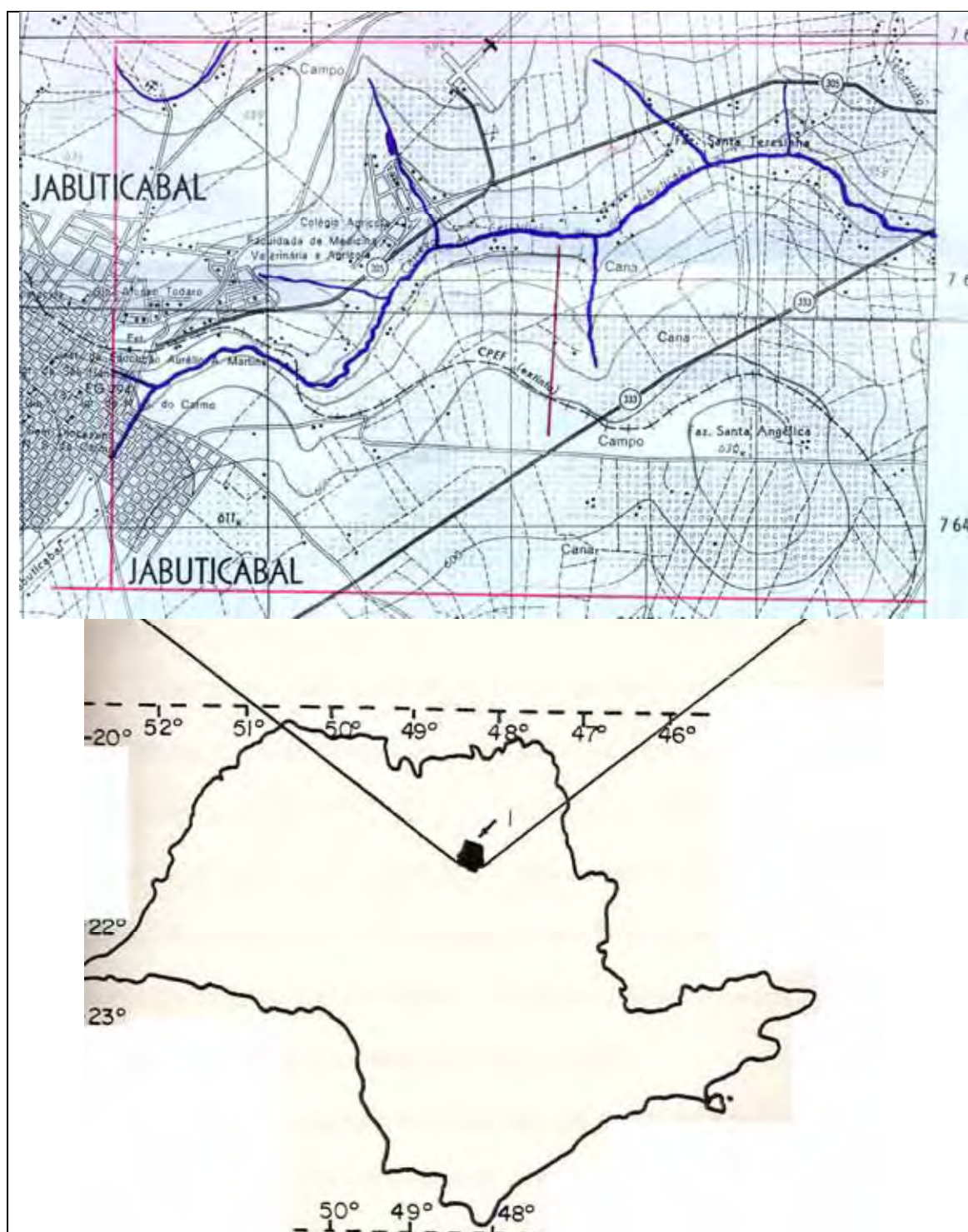


Figura 2- Localização do município de Jaboticabal no Estado de São Paulo com o detalhe da área de estudo e transeção.

3.2. Geomorfologia e Geologia

A área estudada se localiza na província geomorfológica Planalto Ocidental Paulista, próxima ao limite das Cuestas Basálticas.

A vertente estudada está localizada ao Sul da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal (Anexo 1), com as seguintes características fisiográficas: altitudes variando de 6 m, próximo do topo da vertente, com relevo suavizado, encostas convexas, e uma transição lenta e gradual para o sopé de transporte e deposição até o fundo do vale a 520 m de altitude próximo ao córrego Jaboticabal.

Datações radiométricas atribuem ao vulcanismo que deu origem aos basaltos da formação Serra Geral, a idade entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior (FÚLFARO & BJORNEBERG, 1993). Em estudos da mineralogia dos basaltos na região de Jaboticabal, ALHO (1993) registrou plagioclásio cálcico (70%), clinopiroxênio (16%), anfibólio (10%) e minerais acessórios. Os arenitos da formação Adamantina são formados basicamente por quartzo e feldspatos ortoclásios (BRASIL, 1983).

O material geológico na área estudada está relacionado aos arenitos do Grupo Bauru, Formação Adamantina, conforme citam ALOISI et al. (1975), MANZINI (1990), IPT (1981a), IPT (1981b) BARCHA et al. (1984) e BRANDT NETO (1984), basaltos do Grupo São Bento, Formação Serra Geral, e material retrabalhado basalto-arenito. Há ainda nas proximidades da área registro de

rochas alcalinas, analcima-tinguaíto, do Cretáceo (COUTINHO et al., 1982) (Figuras 3 e 4).

ALOISI et al. (1975) realizaram estudos no município de Jaboticabal, onde representam a disposição da litoestratigrafia regional arenito-basalto (Figura 5).

3.3. Solos

Os latossolos da região foram caracterizados por ALOISI et al. (1975), MARQUES JÚNIOR (1997) e por CENTURION (1998) (Figura 6 e Anexos 3 a 11).

Na área de estudo, nas partes mais altas e planas da paisagem ocorre Latossolo Vermelho-Escuro que transiciona encosta abaixo para Latossolo Roxo próximo às cotas mais baixas.

3.4. Metodologia de Campo e Escolha da Vertente

3.4.1. Caracterização das superfícies geomórficas

A escolha da área foi norteadada pela presença de uma vertente representativa, situada na bacia hidrográfica do córrego Jaboticabal (MARQUES JÚNIOR, 1997). A área foi caracterizada utilizando fotos aéreas da região, na escala 1:35.000, e a campo foram caracterizadas três superfícies geomórficas,

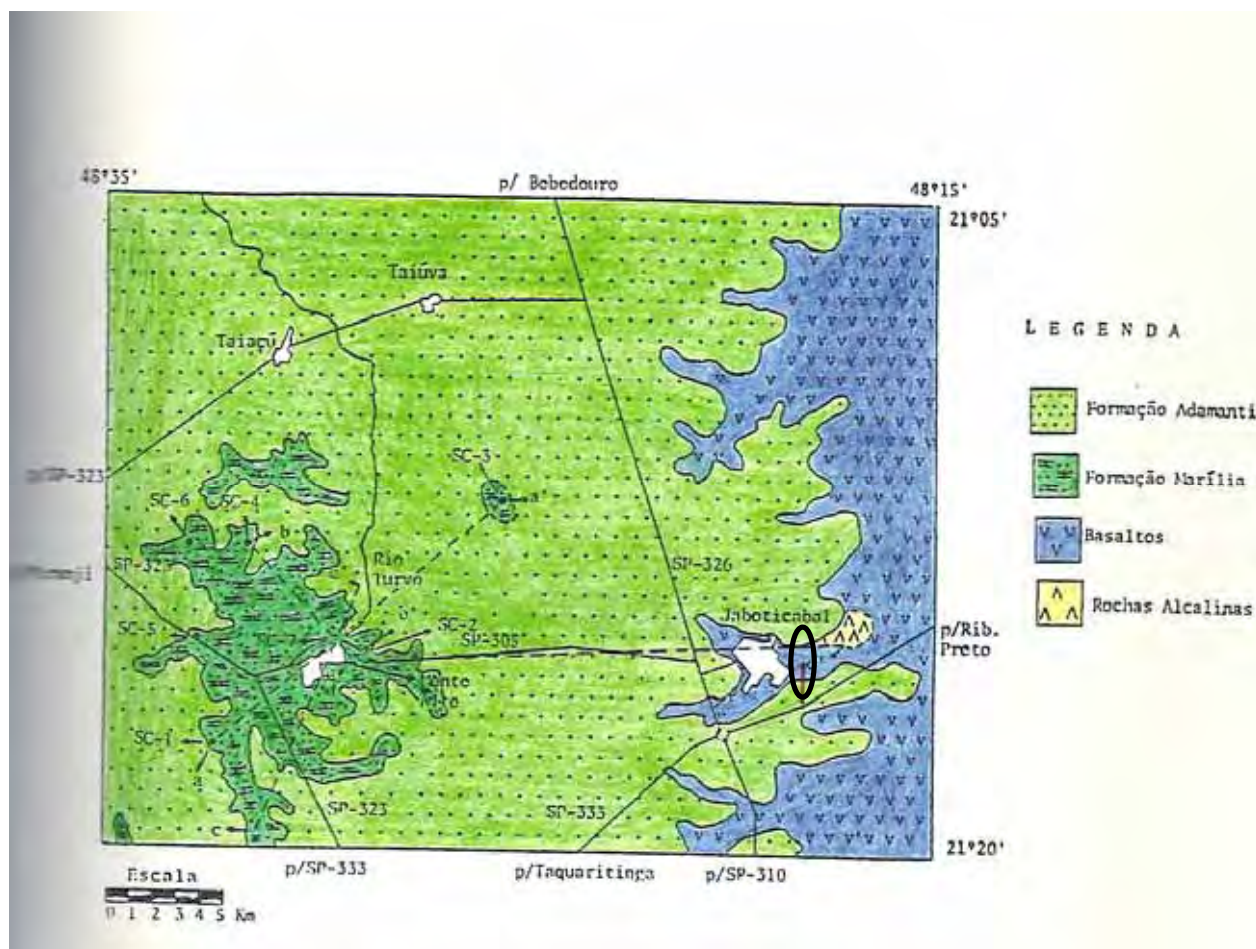


Figura 3. Mapa geológico da Serra de Jaboticabal, região de Monte Alto e áreas circunvizinhas; com um destaque para a área de estudo (BRANDT NETO, 1984, com modificações).

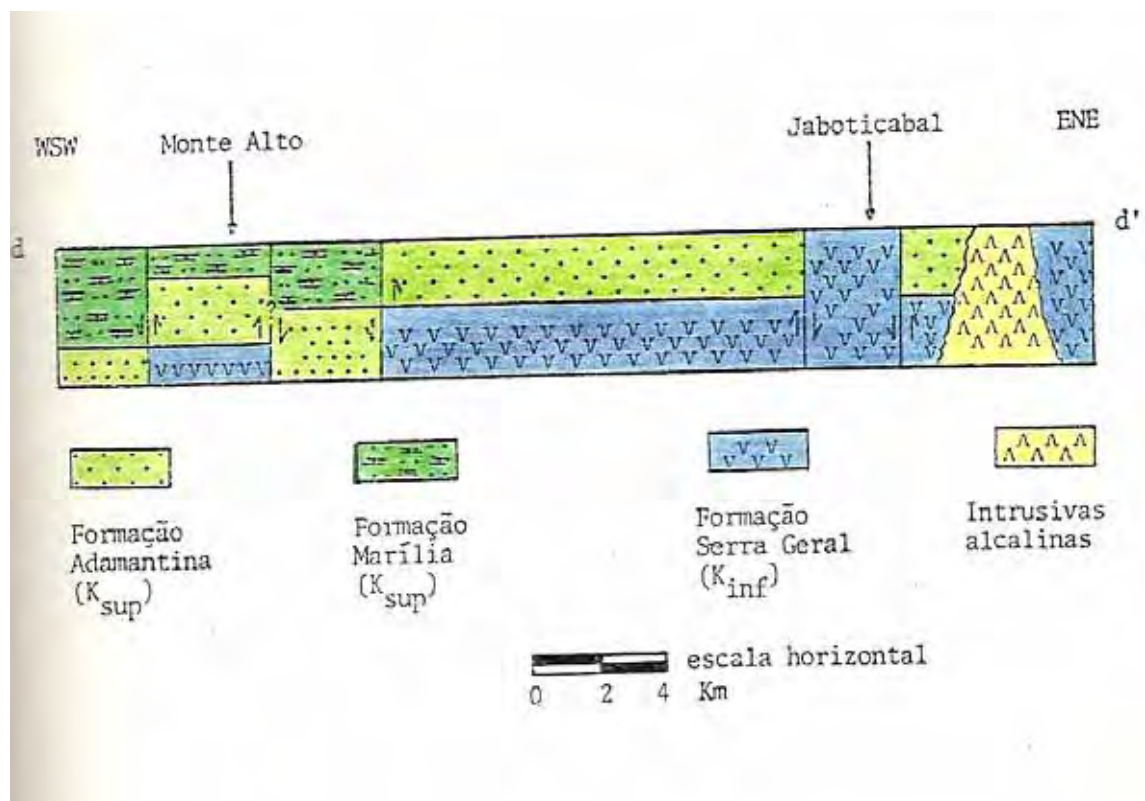


Figura 4. Seção estrutural esquemática entre Monte Alto e Jaboticabal (MANZINI,1990)

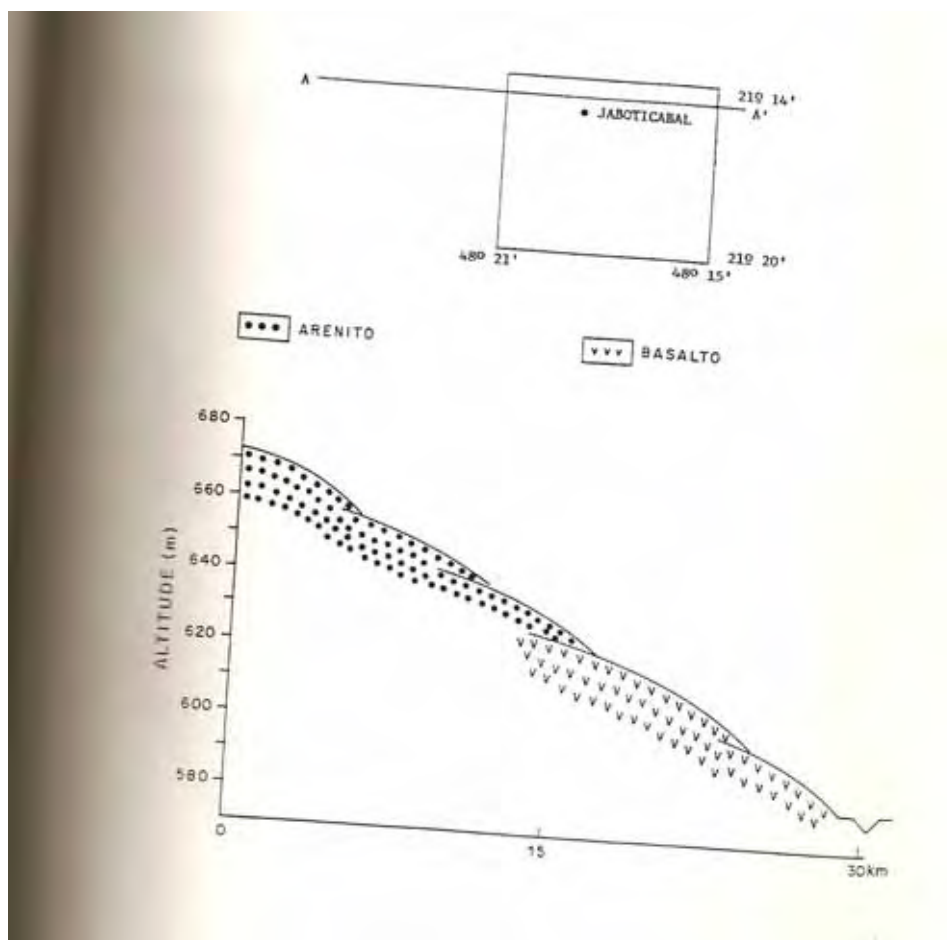


Figura 5. Corte transversal mostrando a litoestratigrafia arenito-basalto em uma transeção do Planalto Ocidental, região de Jaboticabal (SP) (ALOISI ET AL., 1975).

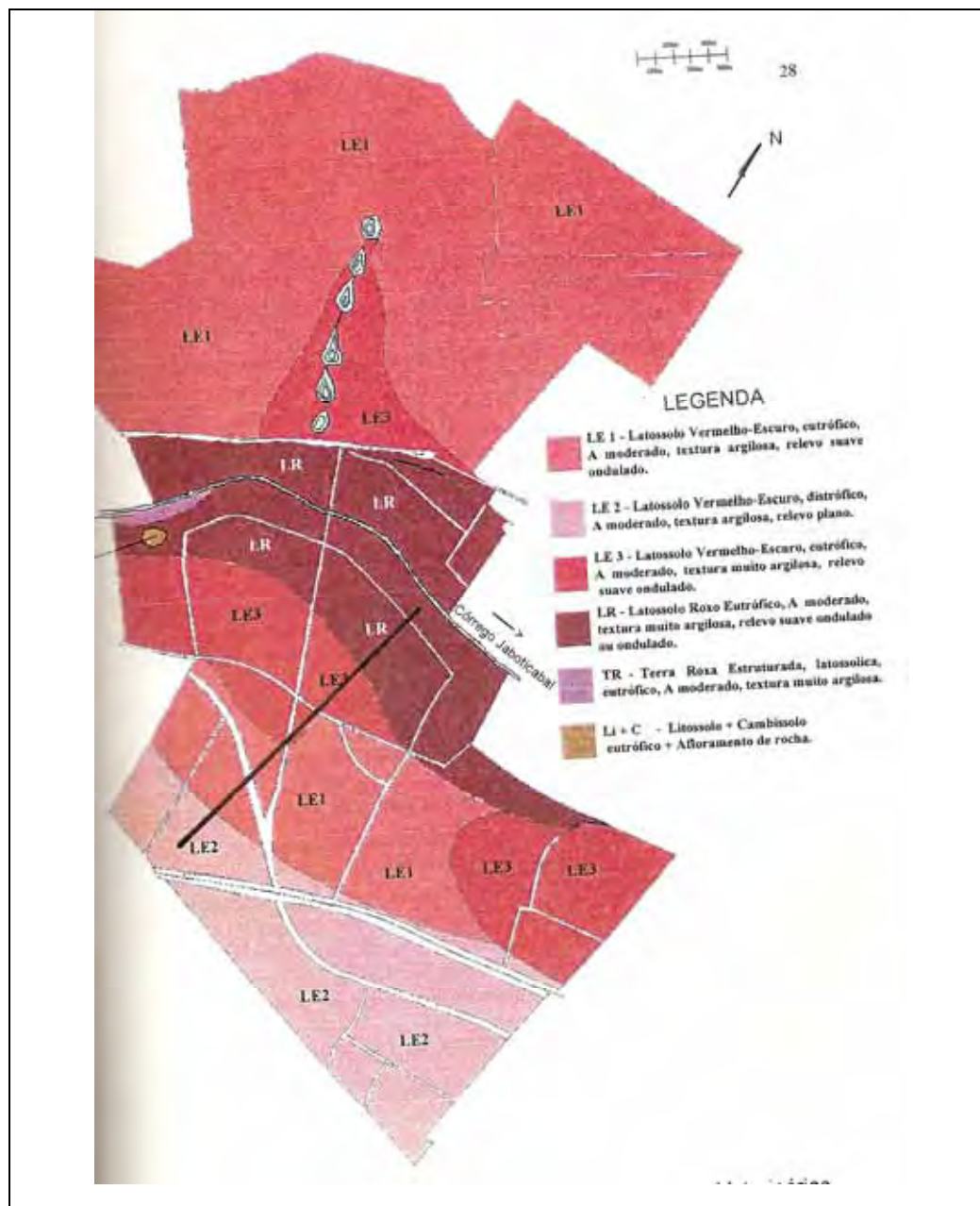


Figura 6. Solos do Campus da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP de Jaboticabal (SP) e legenda, segundo CENTURION (1998); transeção estudada: . _____

com avaliações de campo e análise do perfil altimétrico. A separação das superfícies geomórficas foi baseada na estratigrafia e forma do terreno, considerando os arredores e toda a vertente estudada.

O reconhecimento destas superfícies (DANIELS et al.,1971) foi norteado pelos seguintes princípios:

- a superfície é mais jovem do que qualquer outra ou material que ela corta;
- é mais velha ou contemporânea aos depósitos de vale em posição topográfica inferior;
- é mais jovem do que superfícies adjacentes situadas em posição superior e portanto mais velha do que superfícies adjacentes situadas em posição inferior;
- é mais velha ou contemporânea aos depósitos sobre ela; - é mais jovem do que qualquer estrutura que ela corta em bisel.

3.5. Sistema de amostragem

Os solos foram amostrados ao longo da transeção de 1700 m de comprimento, iniciando-se na cota 615 m próximo a meia encosta até 530 m de altitude, próximo ao córrego Jaboticabal, em intervalos regulares de 25 m, a profundidade de 60 a 80 cm, equivalente ao horizonte diagnóstico subsuperficial B latossólico, somando 67 pontos de coleta, estaqueados e numerados para elaboração do perfil altimétrico, utilizando-se teodolito.

Foram inclusos 8 pontos extras de coleta, nos solos sob cada superfície, com distâncias de 8,3 e 12,5 m, perfazendo 24 pontos extras, que somados aos 67 pontos regulares perfazem um total de 91 pontos amostrados. Este sistema de amostragem foi elaborado para fins de geoestatística.

Foi utilizado como material cartográfico básico o mapa planialtimétrico da Fazenda de Ensino e Pesquisa da FCAV/UNESP, com niveladas básicas de 5 em 5 metros, em escala 1:4.000, para a confecção das classes de declive da área através de técnicas de geoprocessamento.

Para este estudo foi utilizado o mapa de solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, confeccionado por CENTURION (1998) (Figura 6), assim como as descrições morfológicas dos perfis e dados físicos e químicos (CENTURION, 1998), Anexos 3 a 11.

3.6. Metodologia de laboratório

As análises dos solos foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos e Plantas do Departamento de Solos e Adubos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP de Jaboticabal, SP.

3.6.1. Caracterização física

A análise granulométrica da terra fina foi realizada utilizando-se solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação com aparato de alta

rotação, 12.000 rpm (DAY, 1965). A argila foi determinada pelo método da pipeta, a areia grossa e fina foram separadas por tamisação e o silte foi calculado por diferença.

A densidade de partículas foi determinada pelo método do picnômetro (BLAKE, 1965).

3.6.2. Caracterização Química

O pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se relação 1:2,5 de solo:água, solo:KCl 1 mol.L⁻¹ e solo: CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹.

Cálcio, magnésio e potássio trocáveis, e o fósforo disponível foram extraídos utilizando-se o método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1987). A acidez trocável (Al³⁺) foi determinada seguindo a metodologia de RAIJ & ZULLO (1977), e o carbono orgânico segundo EMBRAPA (1979).

Os compostos obtidos pelo ataque sulfúrico foram determinados após digestão com H₂SO₄ 1:1, para Al₂O₃ e Fe₂O₃, seguido de dissolução alcalina para SiO₂ segundo o método descrito originalmente por VETTORI (1969), modificado por EMBRAPA (1979).

Os óxidos de ferro livres totais (Fe_d) foram extraídos com ditionito-citrato- bicarbonato de sódio (DCB), segundo metodologia de MEHRA & JACKSON (1960), sendo a dosagem do ferro realizada através da espectrofotometria de absorção atômica.

No tocante aos óxidos de ferro extraídos pelo oxalato de amônio (Fe_o), foi seguida a metodologia citada por CAMARGO et al. (1986). A dosagem do ferro foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica.

No cálculo da capacidade de troca de cátions (CTC) da argila foi feita conforme BENNEMA & CAMARGO (1964), utilizando a seguinte equação:

$$CTC / 100g \text{ argila} = \left[\frac{CTC / 100g \text{ solo} - (4,5.\%C)}{\% \text{ argila}} \right] . 100 \quad (4)$$

3.6.3. Caracterização mineralógica

3.6.3.1. Fração areia

A separação dos minerais leves (peso específico $\leq 2,97$) e dos pesados (peso específico $> 2,97$) na fração areia foi feita utilizando tetrabromoetano conforme JACKSON (1979).

3.6.3.2. Fração argila

3.6.3.2.1. Sistema caulinita - gibbsita

A análise da fração argila desferrificada, saturada com magnésio a 25°C, foi feita por difração de raios - X (DRX), pelo método do pó. O difratômetro utilizado foi o HZG - 4/B, empregando-se cátodo de cobre com filtro de níquel e radiação $K\alpha$ (20mA,30kV). A velocidade de varredura empregada foi de 1°2 θ /minuto. A razão Ct/(Ct+Gb) foi calculada empregando-se as áreas dos reflexos Ct (001) e Gb (002).

3.6.3.2.2. Sistema óxidos de ferro

Na concentração dos óxidos de ferro foram utilizadas amostras pulverizadas após tratamento da fração argila com NaOH 5 mol.L⁻¹ (1g argila/100ml solução), para concentração dos mesmos, segundo método de NORRISH & TAYLOR (1961), modificado por KÄMPF & SCHWERTMANN (1982). Foram adicionados 10% em peso de sílica gel moída para a manutenção de concentração mínima de ácido silícico na solução de NaOH 5 mol.L⁻¹, evitando mudanças na substituição em alumínio e cristalinidade da Gt (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1982).

A presença do artefato sodalita foi confirmada na maioria das amostras, o que dificultou a leitura de alguns reflexos. Este problema foi solucionado com a lavagem da amostra com solução de HCl 0,5 mol.L⁻¹ (1g de argila/100ml de solução) em agitação por 4 horas.

Foram acrescentados às amostras 10% em peso de cloreto de sódio (NaCl) moído e peneirado em malha de 0,10 mm como padrão interno para corrigir desvios no posicionamento (d) dos reflexos estudados.

Todas as amostras foram preparadas pelo método do pó e peneiradas em malha de 0,10 mm. Posteriormente, 0,8 a 1 g das amostras foram levemente prensadas no amostrador circular de 2,5 cm de diâmetro do difratômetro de raios – X, usando-se papel para evitar a orientação face a face dos minerais (MOORE & REYNOLDS JR., 1997). Foi empregado cátodo de cobalto com filtro de ferro e radiação $K\alpha$ (20mA, 30kV) e a velocidade de varredura empregada foi de $1^\circ 2\theta/\text{minuto}$.

A razão $Gt/(Gt+Hm)$ foi calculada empregando-se as áreas dos reflexos Hm (012) e Gt (110), e neste caso foi multiplicada por 0,35 a área do reflexo Gt (110), devido a intensidade de 35% da Hm(012) (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1998).

O teor de ferro determinado quimicamente, ferro ditonito (Fe_d), foi transformado em teor de goethita, multiplicando-o pela razão $Gt/(Gt+Hm)$ e por 1,59. O mesmo ocorreu para a hematita: o teor de Fe_d foi transformado em teor de hematita, multiplicando-se o dado químico por 1,43 após ser subtraído deste valor, a quantidade de ferro correspondente à goethita (DICK, 1986), conforme as equações abaixo:

$$[Gt/(Gt + Hm)] \cdot Fe_d\% = FeGt\% \quad (5) \quad \rightarrow \quad FeGt\% \cdot 1,59 = FeOOH = Gt\% \quad (6)$$

$$FeGt\% - Fe_d\% = FeHm\% \quad (7) \quad \rightarrow \quad FeHm\% \cdot 1,43 = Fe_2O_3 = Hm\% \quad (8)$$

3.6.3.2.2.1. Substituição isomórfica na estrutura dos óxidos de ferro

O teor de substituição isomórfica do ferro por alumínio na goethita foi calculado de acordo com SCHULZE (1984), pela seguinte equação:

$$molAl\% = 1730 - 572.c \quad (9); \quad \text{onde, } c = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{d_{111}^2} - \frac{1}{d_{110}^2}}}$$

O teor de substituição isomórfica do ferro por alumínio na hematita foi calculado conforme SCHWERTMANN et al. (1979), de acordo com a seguinte equação:

$$molAl\% = 3098,8 - 615,12.a_o \quad (10); \quad \text{onde, } a_o = d_{110}.2$$

3.6.3.2.2.2. Grau de cristalinidade dos óxidos de ferro

A dimensão média dos cristais (DMC) foi calculada a partir da largura à meia altura (LMA) e da posição dos reflexos dos minerais Hm (110), Gt (110), Ct (001), Gb (002) e An (101), usando a equação de Scherrer, depois da correção da LMA com o uso de amostras de itabirito, hematita e quartzo, moídas e peneiradas (0,1 mm) como referência para corrigir o alargamento instrumental dos reflexos (SCHULZE, 1984), pela equação de Scherrer:

$$D_{(hkl)} (\text{Å}) = \frac{(k.\lambda.57,3)}{(\beta.\cos(\theta))} \quad (11)$$

onde ,

$D_{(hkl)} (\text{Å})$ = distância perpendicular ao plano basal do reflexo (hkl)

k = constante de forma, valor aproximado de 0,91

λ = comprimento de onda conforme o cátodo usado

$57,3 = 180/\pi$, conversão de graus para radiano

$\beta = B-b$, onde β é a LMA corrigida, B a LMA da amostra e b o LMA padrão em graus 2θ . Como as LMA das amostras-padrão não foram constantes, foi elaborado um gráfico conforme (KÄMPF^a) entre LMA (graus 2θ) e o ângulo de incidência (graus 2θ), para se obter o valor b , correção do alargamento instrumental do aparelho de DRX (Anexo 18),

θ = angulo de incidência.

3.7. Análise dos Resultados

3.7.1. Análise estatística de atributos físicos, químicos e mineralógicos por superfície geomórfica

A população amostrada inclui camada de 60-80 cm de profundidade dos solos distribuídos ao longo da transeção e separada por superfícies geomórficas.

Os resultados das análises físicas, químicas e mineralógicas das amostras de solos coletadas na vertente, ao longo das diferentes superfícies geomórficas, foram submetidos à análise estatística descritiva obtendo-se média,

desvio padrão, erro padrão, assimetria, curtose, coeficiente de variação e tipo de distribuição dos dados, com o uso dos pacotes estatísticos SAS Institute (1995) e STATISTICA para Windows (1995). Para testar a hipótese de normalidade ou lognormalidade dos dados, utilizou-se o teste W (SHAPIRO & WILK, 1965) a 5%.

3.7.2. Análise da Locação Estatística pelo "Split Moving Windows"

Foram analisados os atributos físicos, químicos e mineralógicos das amostras do solo, na profundidade de 60 a 80 cm, dos pontos eqüidistantes de 25m na transeção. Este sistema de amostragem por transeção constitui uma maneira prática e econômica de localizar quantitativamente, através de um critério, a freqüência das modificações dos atributos dos solos ao longo da transeção. Para o caso univariado o critério utilizado pode ser a correlação intraclasses r_i (GOODALL, 1966; WEBSTER & BECHETT, 1968) ou a estatística t-Student (WEBSTER & WONG, 1969). Foi usado para esta análise o programa JEM 1.0, desenvolvido para microcomputadores IBM e compatíveis, na linguagem QuickBASIC 4.5 (PEREIRA et al., 1996). Este programa permite a locação estatística dos atributos dos solos nas diferentes superfícies geomórficas, verificando os limites na paisagem, através das variações desses atributos.

O algoritmo adotado pelo JEM 1.0 foi sugerido por WEBSTER (1973), para o caso univariado de locações estatísticas, o qual define o termo

janela para um grupo de amostras com largura pré-fixada, e um ponto central da janela onde é calculado um critério, neste estudo a estatística t-Student, entre os dois grupos de janelas. O resultado é o gráfico com valores da estatística t-Student "versus" distância do ponto inicial, para cada atributo avaliado.

O calculo da estatística t-Student é dado pela equação:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (12)$$

onde, x_1 e x_2 são as médias amostrais das duas partes da janela; S_p é o desvio padrão combinado, dado pela equação:

$$S_p = \frac{((n_1 - 1) \cdot s_1^2) + ((n_2 - 1) \cdot s_2^2)}{(n_1 + n_2) - 2} \quad (13)$$

onde, S_1 , S_2 , n_1 e n_2 são, respectivamente, os desvios padrões e os tamanhos amostrais das duas partes da janela dividida.

O estabelecimento do comprimento da janela pode ser determinado através da análise de autocorrelação, a qual pode ser obtida, diretamente dos atributos originais (WEBSTER, 1973). Para este trabalho foi escolhido o melhor tamanho de janela como sendo 14, conforme MARQUES JÚNIOR (1997). A outra variável do programa JEM é o "Mullion" (BERG, 1988), que é a distância pré-fixada entre as duas partes da janela, obtendo-se com isto um certo grau de independência entre as amostras da transeção.

Valores altos na série resultantes das estatísticas de t-Student indicam os limites das superfícies geomórficas.

3.7.3. Análise geoestatística

Os procedimentos e hipóteses básicas da estatística geral, tais como amostras casuais e erros independentes, não são adequados para a análise de dados amostrados ao longo de uma transeção (MARQUES JÚNIOR, 1997). Os métodos geoestatísticos são mais indicados para analisar dados desta natureza, pois consideram a dependência espacial entre pontos amostrados e a posição destes no campo.

A análise geoestatística foi realizada com o objetivo de diferenciar as superfícies, através da modelagem espacial dos atributos dos solos na vertente em estudo.

A análise da variabilidade espacial, usando geoestatística, foi feita em duas etapas: a) análise espacial para estimar a semivariância; e b) escolha do modelo para ajustar o semivariograma com o uso do programa VARIOWIN (PANNATIER, 1996).

Neste programa os modelos foram validados pela estatística " Indicador da Bondade do Ajuste - IBA", número sem unidade, onde os valores próximos de zero indicam um bom ajuste.

Foi feita uma classificação da dependência espacial dos atributos do solo, conforme TRANGMAR et al. (1985), como segue: a) se a razão entre efeito pepita e patamar, $(C_0)/(C_0+C_1):100$ for menor que 25% o atributo tem forte dependência espacial; b) entre 25 e 75%, moderada; e c) maior que 75%, fraca dependência espacial. Neste trabalho utilizou-se os seguintes modelos para ajustar os semivariogramas obtidos: o modelo esférico, gaussiano, exponencial e potência, conforme definido em VIEIRA (1995). Estes modelos usuais em geoestatística são descritos a seguir:

a) Modelos com patamar :

Nos modelos seguintes, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C_1$ é o patamar, e a é o alcance do semivariograma.

Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 < h < a$$

(14)

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right) \right] \quad 0 < h < d$$

(15)

Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3 (\frac{h}{a})^2)] \quad 0 < h < d \quad (16)$$

Nestes modelos o vetor de parâmetros é $v'=(C_0, C_1, a)$, correspondendo ao efeito pepita, variância estrutural e alcance, respectivamente, sendo todos os parâmetros positivos.

b) Modelo sem patamar:
Modelo potência:

$$\gamma(h) = C_0 + Ah^B \quad 0 < B < 2 \quad (17)$$

O vetor de parâmetros é $v' = (C_0, A, B)$, sendo $C_0 \geq 0$, $A \geq 0$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. *Superfícies geomórficas*

Foram identificadas e mapeadas três superfícies geomórficas, segundo metodologia de DANIELS et al. (1971) (Figuras 7 e 8). Na conceituação dessas superfícies está implícito o caráter tempo dependente, isto é, as superfícies situadas no topo da paisagem são interceptadas por aquelas situadas em posições de menor altitude e, normalmente, com inclinação relativamente maior do terreno.

Em toda a transeção estudada a variação da inclinação do terreno está entre 3 e 12%. A superfície I está localizada na parte mais elevada e plana da área, com inclinação de 0 a 3,9%, entre as cotas de altitude 615 m (ponto 1) e 600 m (ponto 27) e representa, por sua posição a montante, a superfície mais antiga da transeção. O limite entre a superfície I e II está localizado a 450 m do ponto inicial da transeção. Por apresentar uma inclinação menor, uma granulometria mais grosseira, estima-se que a superfície geomórfica I seja formada por

processos deposicionais e sedimentares, e corresponde ao nível P2 (superfície de Jaboticabal) com cotas de 560 a 630 m de altitude, relacionada ao Pleistoceno Médio, conforme citado por PENTEADO & RANZANI (1971).

A superfície geomórfica II localiza-se entre as cotas de 600 m (ponto 28) e 560 m de altitude (ponto 74), com inclinação variando de 4,0 a 6,9%. Esta superfície, devido a sua maior inclinação, deve ter origem erosional e coluvionar em condições de clima semi-árido, relacionado aos últimos eventos de glaciações do Pleistoceno Superior (PENTEADO & RANZANI, 1971; SUMMERFIELD, 1991). O limite entre as superfícies II e III está a 1330 m do ponto inicial da transeção.

A superfície geomórfica III é a mais recente da transeção, por sua maior inclinação (7 a 12%), posicionamento inferior na vertente, constituindo a parte mais rejuvenescida na encosta, situada entre 560 m (ponto 75) e 530 m de altitude (ponto 91), mais próxima ao segmento de vale semi-encaixado do Córrego Jaboticabal (cota 520 m), com caráter predominantemente erosional. Tais características concordam com o nível P1, conforme citam PENTEADO & RANZANI (1971): "apresentam-se como lóbulos dos interflúvios principais, que descem em rampas suaves, geralmente esculpidos em basaltos e correspondem ao mais baixo nível de sedimentação regional, disposto entre 510 e 560 m, e a porção terminal destes patamares apresenta inclinação de 8 a 10 graus devido às duas últimas fases de reentalhe dos vales com escavação e aprofundamento dos talwegues, correlacionando –se com o Pleistoceno- Superior".

As transições de declive graduais, principalmente entre as superfícies I e II, aliadas a vegetação arbórea ao seu redor, dificultam a

determinação dos limites das superfícies geomórficas em campo; sua delimitação, portanto, requer apoio, além das avaliações de campo, da análise do perfil altimétrico, do uso de fotografias aéreas e mapeamento ao redor da área do campus. Salieta-se que, no escopo do presente estudo, as superfícies geomórficas foram identificadas e mapeadas anteriormente à análise e identificação dos solos, uma vez que, segundo DANIELS et al. (1971), para quem vai estudar a relação solo-geomorfologia, critérios pedológicos não devem ser usados para o trabalho geomorfológico e superfícies devem ser separadas unicamente segundo critérios da geomorfologia e estratigrafia.

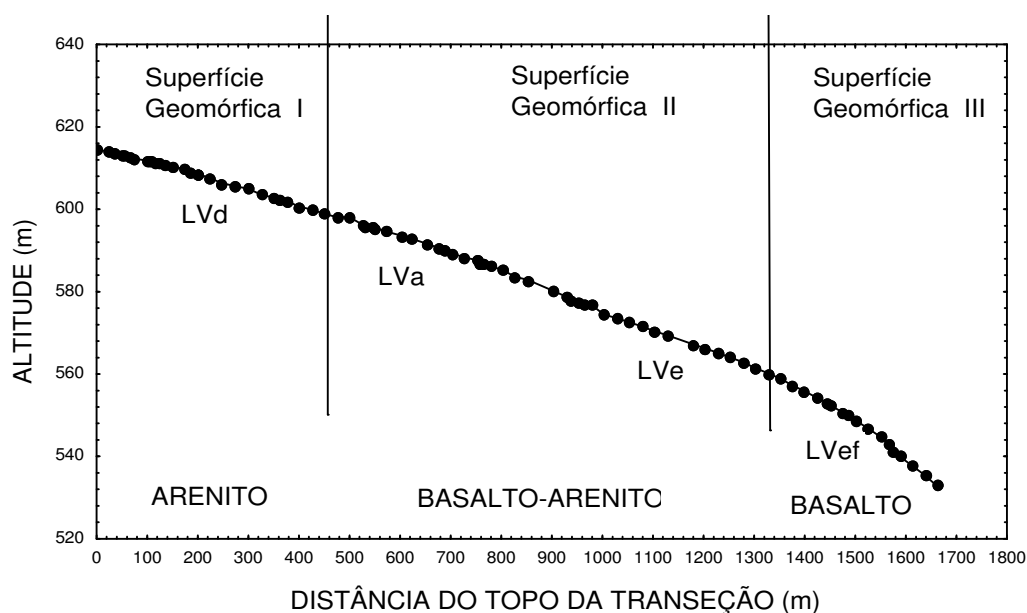


Figura 7. Perfil altimétrico da vertente estudada.

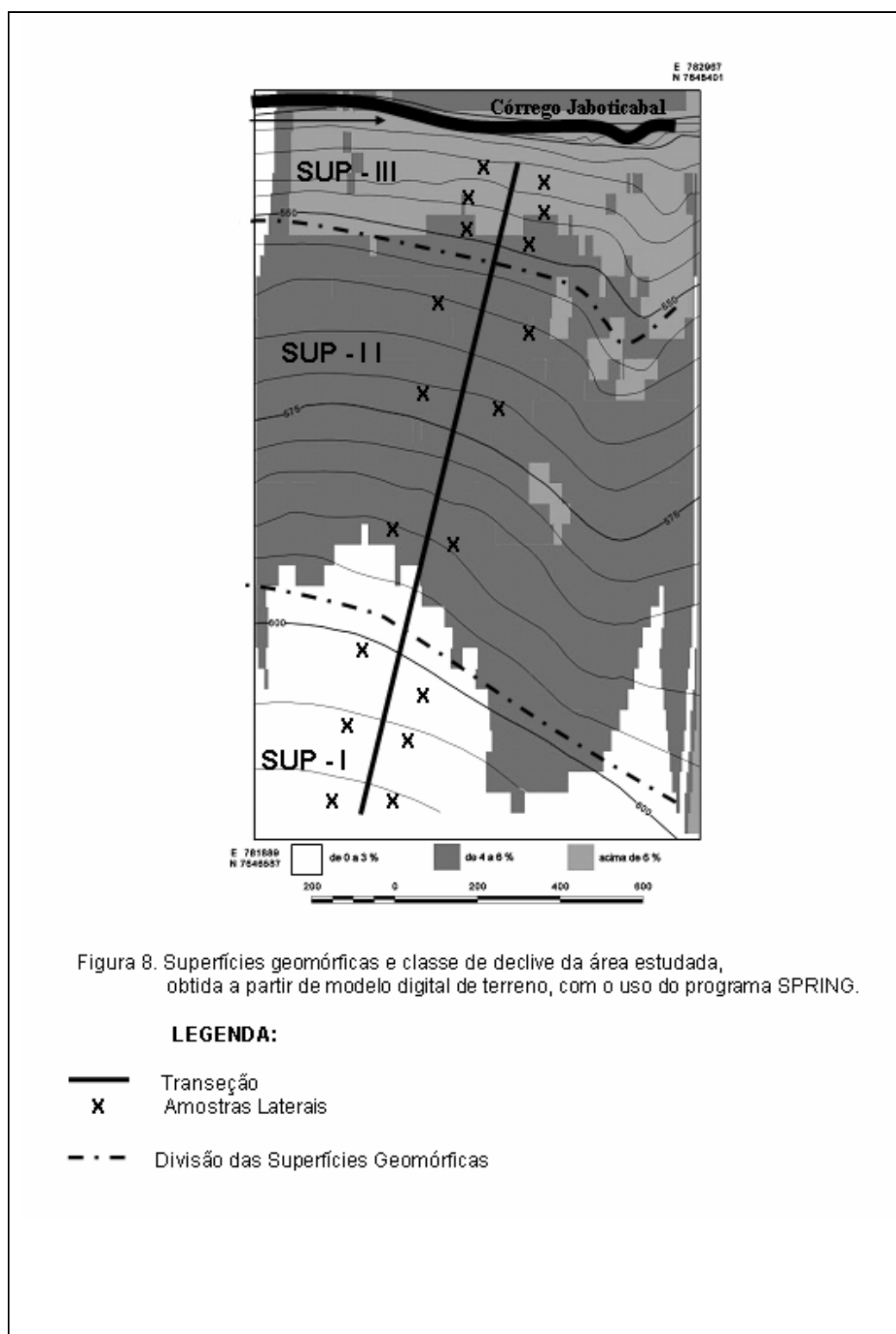


Figura 8. Superfícies geomórficas e classe de declive da área estudada, obtida a partir de modelo digital de terreno, com o uso do programa SPRING.

A superfície I é um segmento da mais velha, pois é interceptada pela superfície II e esta é cortada pela superfície III, que são consideradas mais novas, conforme DANIELS et al. (1971). Uma vez que a idade do solo deve ser a mesma da respectiva superfície geomórfica, os solos sob a superfície geomórfica I, são os mais velhos, seguindo-se em idade os solos sob as superfícies geomórficas II e III.

O conceito de superfície geomórfica de DANIELS et al. (1971) tem sido utilizado no Brasil por vários autores a partir de LEPSCH et al. (1977), com objetivos claros de auxiliar a identificação de áreas mais homogêneas no que diz respeito a eventos geomórficos presentes ou passados. LEPSCH et al. (1977) usaram este conceito também como indicador da idade dos solos. Vários atributos dos solos se relacionaram com as superfícies geomórficas da transeção, concordando com o trabalho de COELHO et al. (1994), que estudando transeção em arenito-basalto, identificaram três superfícies geomórficas distintas, de idade e processos formadores diferenciados: a primeira e mais antiga é de origem deposicional, eólica ou pedimentar; a segunda, mais recente que a primeira, é de origem coluvionar; e a terceira, mais jovem que as anteriores, é de origem erosional e seus solos mostram maior influência do basalto.

Os limites das superfícies geomórficas da transeção estudada estavam próximos dos limites das unidades de mapeamento, concordando com o trabalho de MARQUES JÚNIOR (1995) em áreas de arenito do Grupo Bauru. Este autor utilizou geoestatística e concluiu que a identificação mais precisa dos limites entre as superfícies geomórficas é uma importante ferramenta para a delimitação

de áreas mais homogêneas, contribuindo para a confecção de mapas de solos, com limites de maior precisão entre as unidades.

4.2. Solos e material de origem da área de estudo

Os solos da área de estudo foram anteriormente classificados como Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Roxo (LR) (ALOISI & DEMATTÊ, 1974; MARQUES JÚNIOR, 1992). No mapa de solos detalhado (CENTURION, 1998; Figura 6 e Anexos 3 a 11), o LE foi subdividido em três unidades de mapeamento, LE-2, LE-1 e LE-3, sendo o LE-1 e LE-3 diferenciados pela textura, argilosa e muito argilosa, respectivamente, e o LE-2 foi diferenciado do LE-1 pelo caráter distrófico daquele. O LE-2 ocupa as posições mais altas e planas, aproximadamente correspondentes à superfície I, o LE-1 e LE-3 ocorrem sob a superfícies II e o LR sob a superfície III, mais rejuvenescida. Ao LR atribui-se a origem basáltica, Grupo São Bento, Formação Serra Geral, que responde pelos atuais níveis de base regionais. A descrição morfológica desses solos pode ser observada nos Anexos 3 a 6.

Atualmente, segundo EMBRAPA (1999), estes solos são enquadrados como: LE-2, LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico; LE-1, LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico; LE-3, LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico; e LR, LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico.

O LE situado ao redor do topo da colina (superfície I) , onde se insere a área de estudo, é originado do produto de alteração dos arenitos, Grupo Bauru,

Formação Adamantina. O material de origem dos Latossolos argilosos a muito argilosos, que ocorrem sob a superfície II devem ter se originado de misturas de saprolitos de arenito e de rochas básicas (BRASIL, 1960).

OLIVEIRA & PRADO (1987) salientam que o LE argiloso a muito argiloso com teor de Fe_2O_3 do ataque sulfúrico próximo a 120 g.Kg^{-1} mapeado na quadrícula de Ribeirão Preto é proveniente do intemperismo de rochas básicas, com alguma contribuição de material grosseiro, e que estas frações grosseiras essencialmente quartzosas contribuem, quando atingem determinados teores, na "diluição" dos óxidos de ferro, fazendo com que o solo, apesar da textura argilosa, apresente teores de ferro inferiores a 180 g.Kg^{-1} e pequena atração pelo magneto, o que o exclui da classe dos LR.

4.3. Resultados da estatística descritiva

Os valores de número de amostras, média, desvio padrão, erro padrão, assimetria, curtose, coeficiente de variação e tipo de distribuição de cada atributo por superfície geomórfica, podem ser vistos nos Anexos 15 a 17. No geral, os dados da análise estatística descritiva com o uso do programa SAS (1995) apresentaram uma distribuição normal e log normal (Anexos 15 a 17). Os tipos de distribuição dos dados são informações importantes tanto para a estatística clássica como para a geoestatística. No caso dos dados com distribuição lognormal, deve se trabalhar com a média geométrica. Na geoestatística, o tipo de

distribuição dos dados é importante para a construção dos semivariogramas, onde deve-se retirar a tendência e trabalhar com os resíduos (DAVIS, 1973).

Os valores do coeficiente de variação (CV) dos atributos granulométricos dentro das superfícies identificadas revelam três classes: alta para o parâmetro areia fina/areia grossa (25-78%), média para a relação silte/argila (20-26%) e baixa para argila (8-20%).

Valores de CV maiores para areia concordam com os maiores CV para a relação leves/pesados. Dentre os atributos físicos, o que mostrou o menor CV foi a densidade de partículas (2-3%) e o maior a relação leves/pesados (47-77%).

Os valores de CV para os atributos químicos estão próximos aos valores dos atributos granulométricos, pois o menor valor de CV foi para o pH (5-8%) e o maior valor para soma de bases (25-42%). Os altos valores de CV para a soma de bases podem estar relacionados ao manejo diferenciado das áreas experimentais.

Os resultados da análise mineralógica revelaram em geral CV semelhantes para os atributos diâmetro médio do cristal - DMC (9-32%) em relação à área do pico (7-39%). Dentre os atributos mineralógicos, a substituição isomórfica apresentou o maior CV (22-29%) para a hematita e (21-64%) para a goethita.

A comparação dos CV dos atributos analisados entre solos sob as superfícies geomórficas revelou uma tendência de maiores valores para a superfície II, o que pode ser explicado pela maior diversidade de seus solos, LE-1

e LE-3, e muito provavelmente pelo manejo diferenciado a pequenas distâncias, característico de áreas experimentais agrícolas tal como é o campus da UNESP.

4.3.1. Valores médios dos atributos físicos dos solos da transeção

Os resultados dos atributos físicos analisados, separados por solos sob superfícies geomórficas, foram confrontados através de testes de comparação de médias e estão no Anexo 12 e ilustrados na Figura 9.

A textura do solo é função, como muitos outros atributos, do material de origem e do grau de intemperismo do solo. Os resultados da argila são crescentes ao longo da vertente, que quando agrupados por superfícies geomórficas, podem ser separados em dois grupos texturais: a) os argilosos limítrofes para textura média desenvolvidos do arenito nos solos sob a superfície I; e b) o segundo grupo com textura argilosa e muito argilosa, desenvolvidos de material retrabalhado basalto-arenito e de basalto, nos solos sob as superfícies II e III, respectivamente.

A mesma tendência pode ser observada para o atributo densidade de partículas, que aumenta ao longo da vertente (Figura 9B), podendo ser explicada pela ausência de quartzo no basalto (ALHO, 1993) e pelo aumento dos óxidos de ferro no mesmo sentido. Essas tendências caracterizam a vertente de arenito-basalto típica da região. CURI & FRANZMEIER (1987) recomendam o uso da densidade de partículas para separação de algumas classes de Latossolos, o

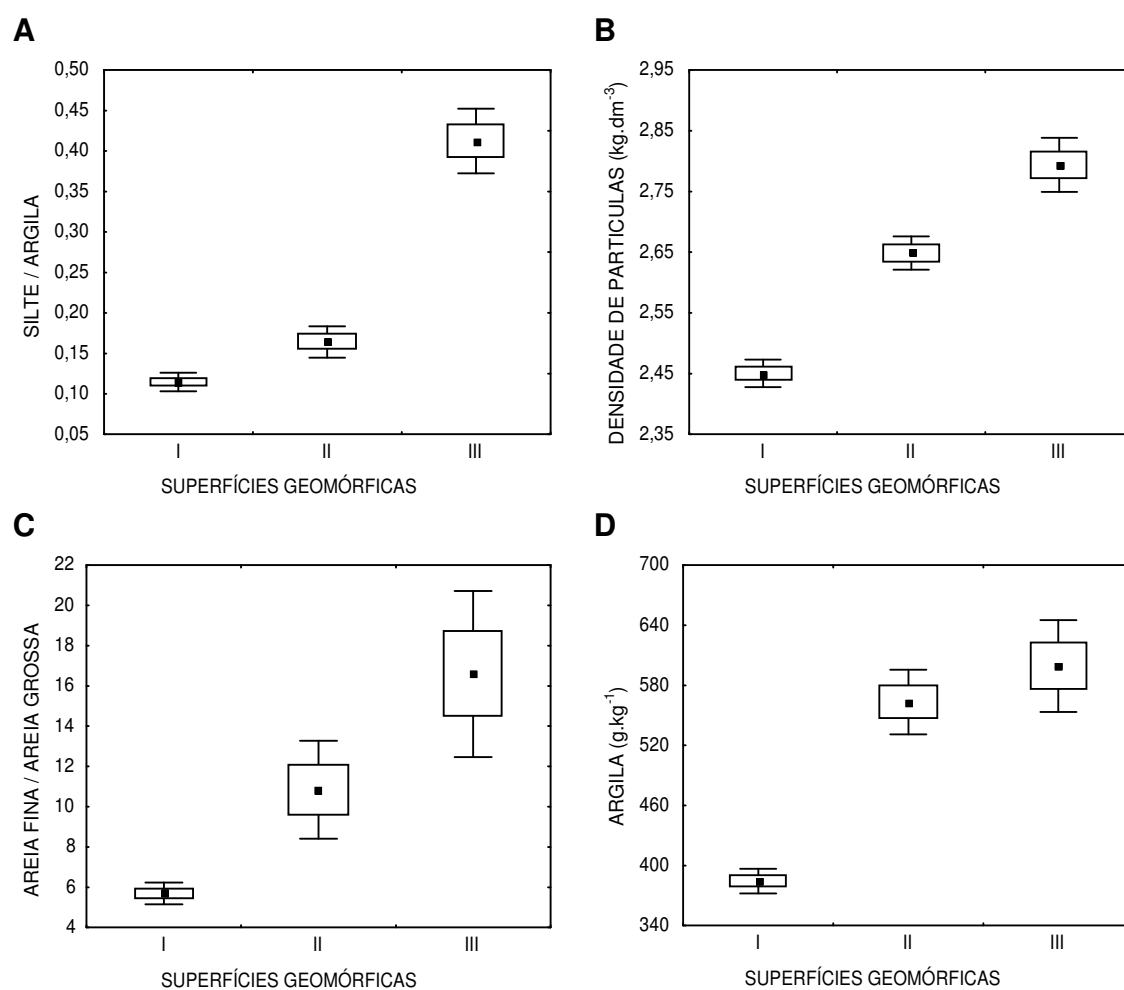


Figura 9. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos físicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm. A - silte/argila; B - densidade de partícula; C - areia fina/areia grossa; D - argila e E - Fator de vermelho.

que reforça os resultados apresentados na diferenciação dos solos nas superfícies geomórficas aqui estudadas.

Foi verificado na comparação de médias que os atributos densidade de partículas e relação sílte/argila possuem valores com diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os solos sob as três superfícies. Para a argila, não houve diferença significativa entre os teores dos solos sob as superfícies II e III (Figura 9D).

4.3.2. Valores médios dos atributos químicos dos solos da transeção

Os resultados dos atributos químicos das amostras coletadas ao longo da transeção podem ser vistos nas Figuras 10, 11 e 24. Os mais baixos valores da soma de bases nos solos da superfície I (Figura 10B) indicam a menor riqueza do material de origem em bases.

Os maiores valores de saturação por bases (V) e soma de bases (SB) nos solos sob as superfícies II e III (Figuras 10A e 10B), favorecidos pela litologia basáltica, contribuem para o aumento do pH (Figura 11D) e conseqüentemente para uma queda na solubilização do Al_2O_3 , concordando com os menores valores de Al^{+3} ou acidez trocável nestas superfícies em comparação aos solos da superfície I.

As mesmas tendências encontradas para a soma de bases podem ser observadas para os valores de saturação por bases, CTC do solo e pH em

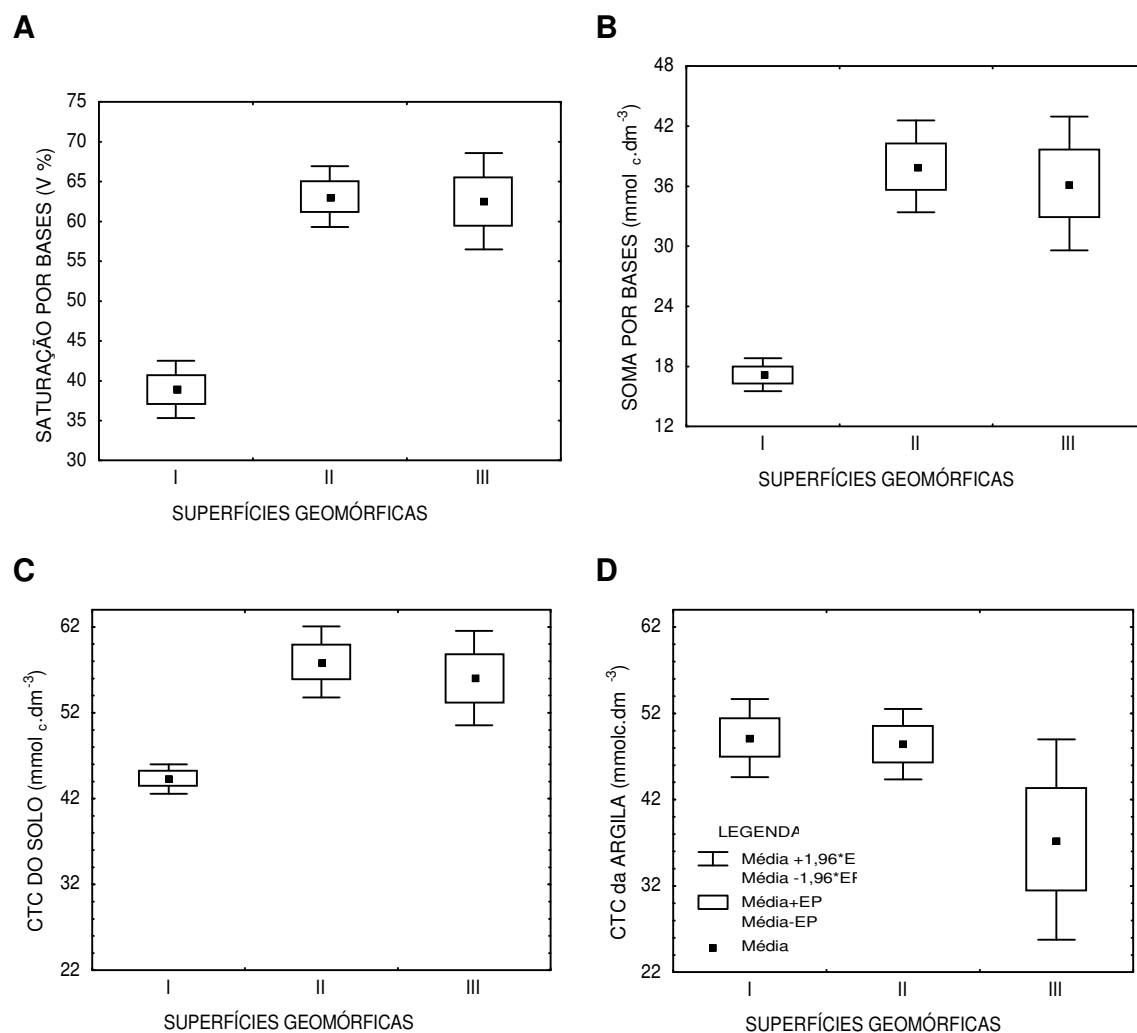


Figura 10. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos químicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm.

A - saturação por bases; B - soma de bases; C - CTC do solo; D - CTC da argila.

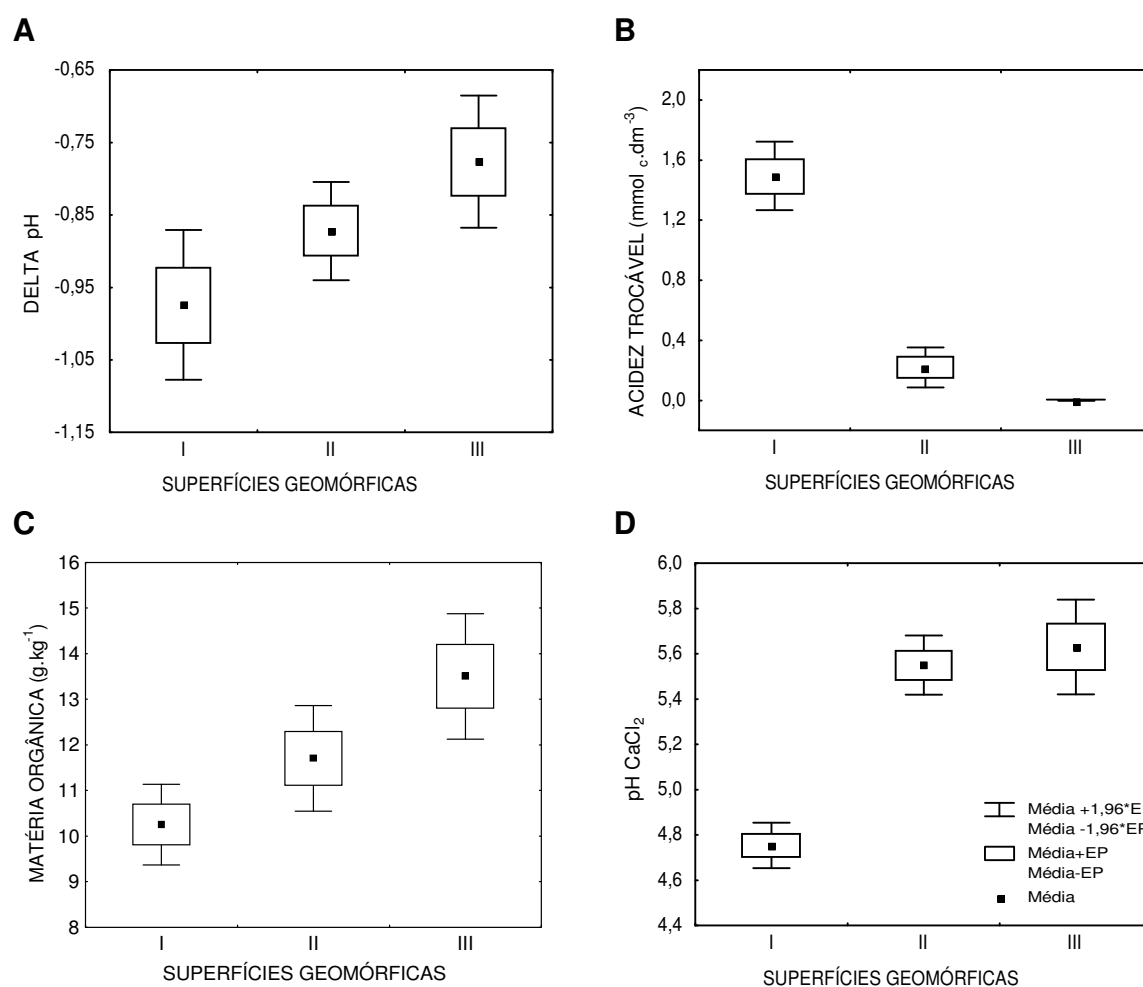


Figura 11. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos químicos dos solos sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm.
 A - delta pH; B - acidez trocável; C - matéria orgânica; D - pH do CaCl₂.

CaCl_2 $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ (Figuras 10A, 10B, 10C, 11D), cujos valores não diferem significativamente para os solos sob as superfícies II e III, indicando uma maior similaridade do comportamento do complexo de troca nos mesmos. Os solos eutróficos coincidentes com as superfícies II e III confirmam uma maior influência da rocha máfica rica em feldspato calco-sódico e piroxênio e menor tempo de formação do solo.

A carga líquida superficial negativa, indicada pelo delta pH, diminui nos solos sob a superfície I (Figura 11A) para a superfície III, refletindo o aumento relativo da mineralogia oxidíca, neste sentido (Figura 12E), devido a mudança na litologia, reunindo condições que favorecem a formação de gibbsita, hematita e goethita.

A CTC dos solos (Figura 10C), é maior nos solos sob as superfícies II e III, não havendo diferença significativa entre os valores das médias e respectivos intervalos de confiança. Porém, a CTC da argila (Figura 10D), quando descontada a contribuição da matéria orgânica, revela maiores valores nos solos sob as superfícies I e II. Isto reflete o domínio mineralógico mais caulinitico dos solos sob estas superfícies (Figura 12E).

O aumento do teor de matéria orgânica no sentido do declive (figura 11C), pode ser justificado devido a associação desta com a fração argila do solo (figura 9D), aumentando a resistência daquela a oxidação, tendências também observadas por COELHO et al. (1994), em transeção sobre arenito-basalto.

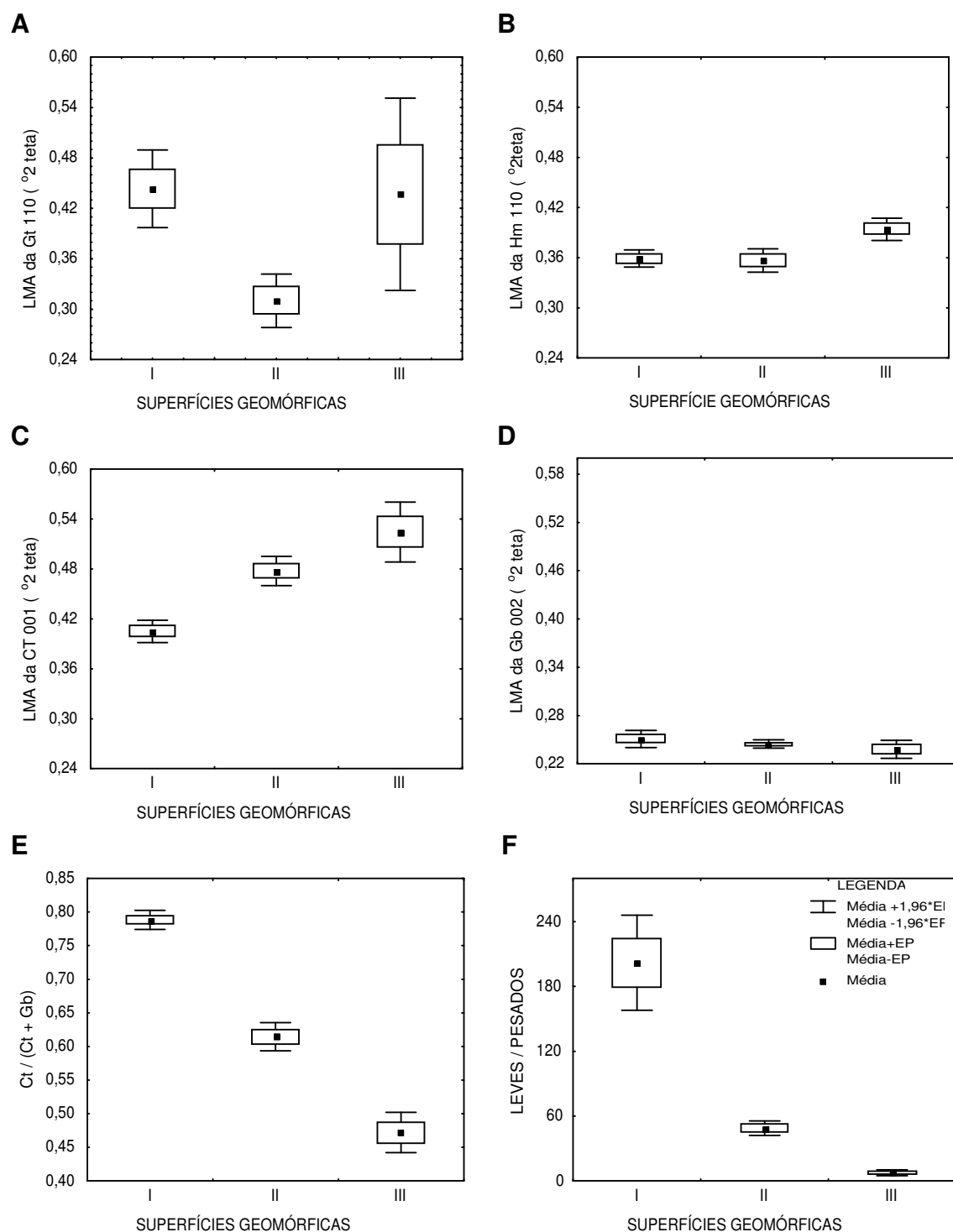


Figura 12. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos mineralógicos dos solos sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm.

A - LMA da Gt; B - LMA da Hm; C - LMA da Ct; D - LMA da Gb, E - Ct/(Ct+Gb); F - leves/pesados.

4.3.3. Valores médios dos atributos mineralógicos dos solos estudados

4.3.3.1. Fração areia

Minerais leves/pesados

A relação leves/pesados diminui ao longo da vertente, com diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras coletadas sob as três superfícies identificadas. A proporção de minerais pesados aumenta de cima para baixo (Figura 12F), indicando que, neste mesmo sentido, boa parte dos pesados foi herdada do material basáltico mais rico do que o arenito nestes elementos.

4.3.3.2. Fração argila

Pelos difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada, a caulinita e a gibbsita através de seus reflexos Ct (001), d 0,717 nm, e Gb (002), d 0,484 nm, são os minerais predominantes nos solos da vertente estudada (Figuras 13 a 16).

Sistema Caulinita - Gibbsita

A razão caulinita/(caulinita + gibbsita) (Figura 12E) revela serem os solos sob as superfícies I e II mais caulíníficos e os solos sob a superfície III mais

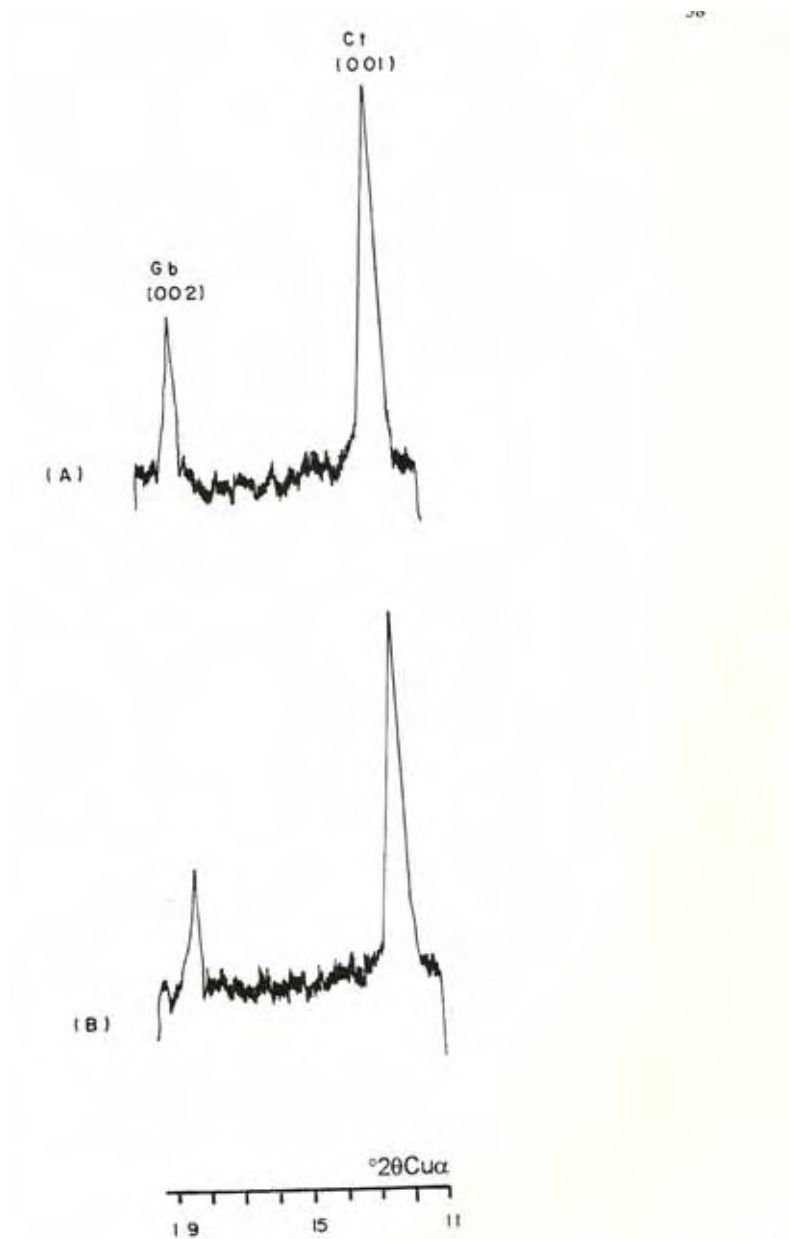


Figura 13. Difratogramas de raios-X representativos da fração argila tratada com DCB, do solo LE-2, sob a superfície geomórfica I, para as amostras coletadas nos pontos 2 (A) e 19(B).

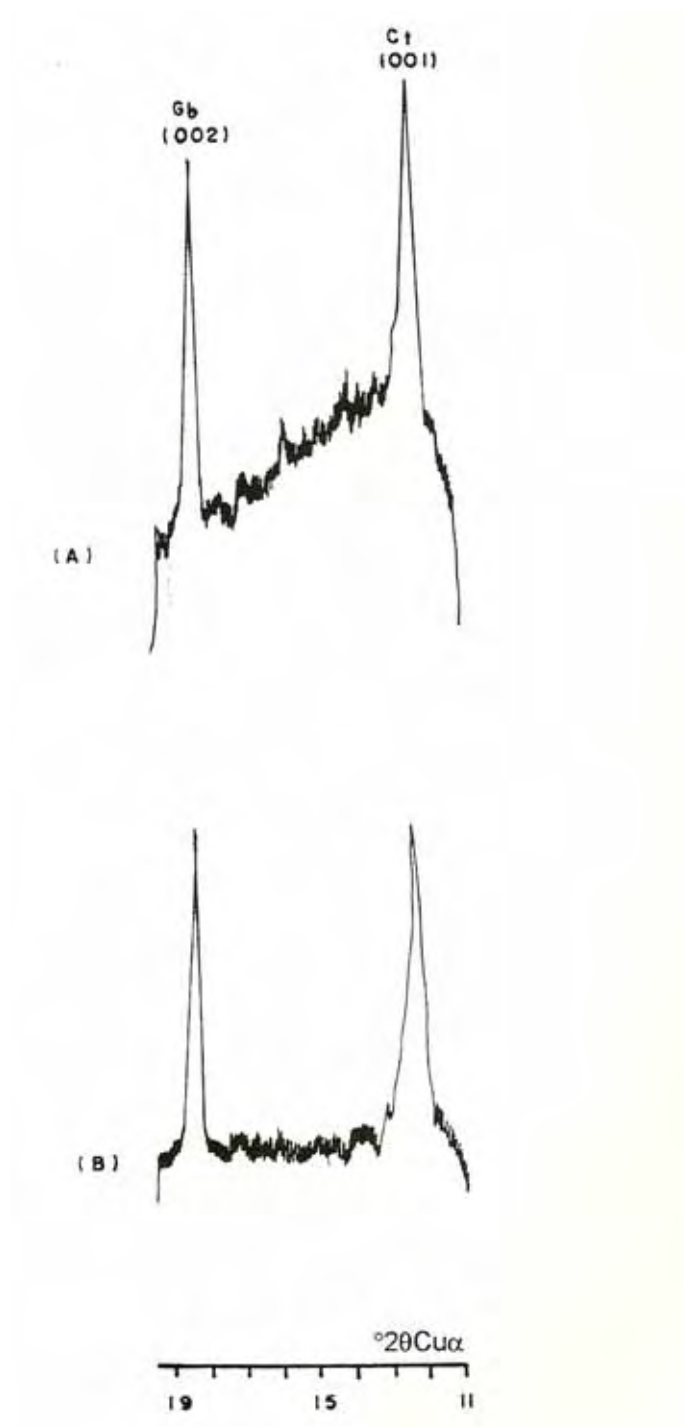


Figura 14. Difratomogramas de raios-X representativos da fração argila tratada com DCB, do solo LE-1, sob a superfície geomórfica II, para as amostras coletadas nos pontos 45(A) e 42(B).

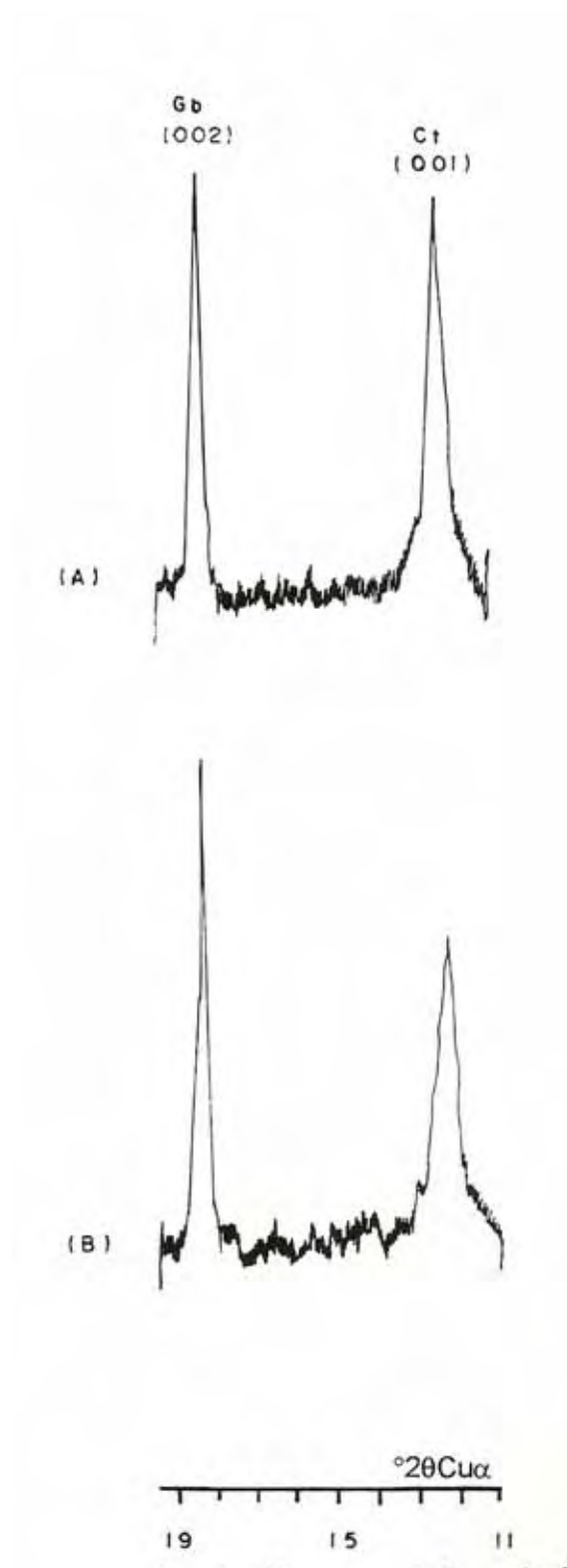


Figura 15. Difratomogramas de raios-X representativos da fração argila tratada com DCB, do solo LE-3, sob a superfície geomórfica II, para as amostras coletadas nos pontos 55 (A) e 61(B).

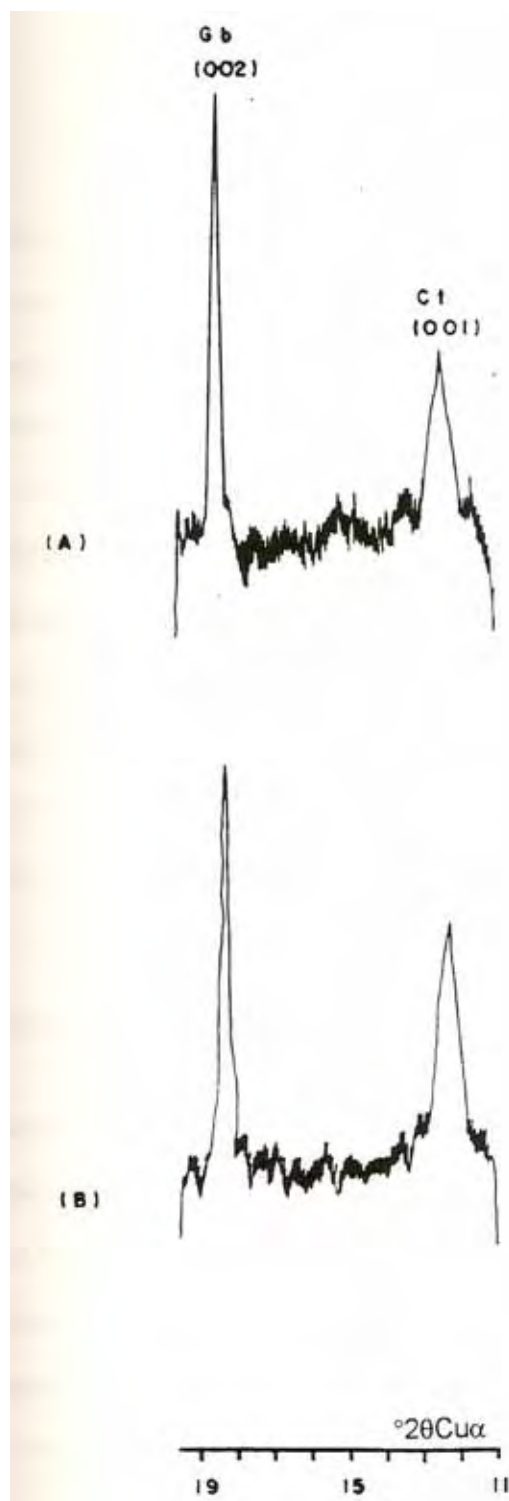


Figura 16. Difratomogramas de raios-X representativos da fração argila tratada com DCB, do solo LR, sob a superfície geomórfica III, para as amostras coletadas nos pontos 89 (A) e 91(B).

gibbsíticos. A liberação de sílica, proveniente do material quartzoso mais fino, em solução, ainda que numa taxa muito lenta, poderia inibir a formação de gibbsita nos solos sob a superfície I, favorecendo assim a formação da caulinita (RESENDE et al., 1988).

A maior velocidade do fluxo subsuperficial de água na parte baixa da vertente (superfície III) em comparação as superfícies I e II vai contribuir para que a solução do solo sob aquela (III) fique com concentração menor de sílica, levando o intemperismo para o campo de estabilidade da gibbsita. Ainda, os menores valores de cargas líquidas negativas dos solos sob a superfície III (Figura 11A), favorecem uma maior adsorção de ácido silícico nesses solos, sucedendo-se uma menor inibição da formação da Gb.

Grau de cristalinidade e tamanho do cristal

Na avaliação do grau de cristalinidade, verificou-se que a largura à meia altura (LMA) da Ct (001) apresenta valores crescentes ao longo da vertente (Figuras 12C e 13 a 16), de 0,4 ($^{\circ}2\theta$) sob a superfície I a 0,51 ($^{\circ}2\theta$) nos solos sob a superfície III. Neste mesmo sentido também aumentaram os teores de ferro ditionito - Fe_d (Figura 24B) e ferro do ataque sulfúrico- Fe_s (Figura 24A), concordando com os dados de MURRAY & LYON, (1960); DICK (1986) e MESTDAGH et al. (1980).

Os valores de diâmetro médio do cristal da Ct (001) (Figura 17C) apresentam tendência inversa aos valores de largura à meia altura (Figura 12C), como previsto, revelando aumento daquele atributo para os solos sob a superfície I. Os menores teores de Fe nesses solos são os responsáveis por esta tendência, corroborando dados de MONIZ (1967), KUKOVSKY (1969) e RESENDE (1976), como já discutido anteriormente.

Quanto aos valores de largura à meia altura ($0,23$ a $0,25$ $^{\circ}2\theta$) (Figura 12D) e diâmetro médio do cristal (570 a 620 Å) da Gb (Figura 17D), estes mostram uma tendência inversa à da Ct, indicando seu ambiente preferencial de formação nos solos da superfície III. As associações entre teor e grau de cristalinidade de Gb em solos com maior teor de ferro também foram encontradas por RESENDE (1976) e DICK (1986).

Estas tendências referentes ao grau de cristalinidade da caulinita demonstram uma separação clara dos diversos ambientes pedogenéticos, os quais, coincidem em sua maior extensão com o modelo de superfícies geomórficas de DANIELS et al. (1971). Isto confirma que as superfícies geomórficas podem servir de base para indicações dos limites desses ambientes, podendo indicar locais específicos para manejo e transferência de informações. Tal fato está relacionado à própria definição de superfície geomórfica: "uma porção do terreno mapeada e formada por um ou mais agentes (ou eventos geomórficos específicos) num determinado tempo (RUHE et al., 1967 ; DANIELS et al., 1971).

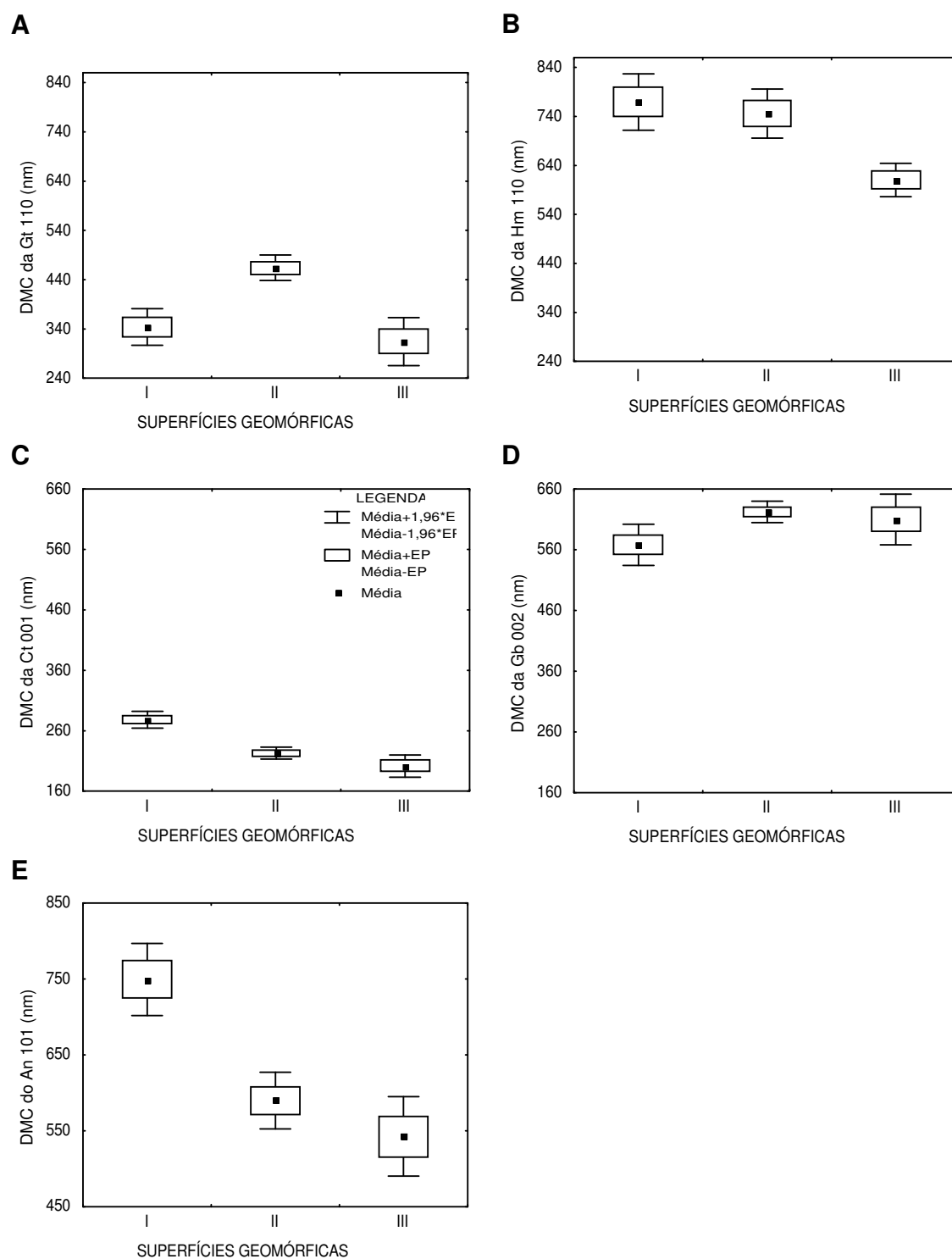


Figura 17. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos mineralógicos dos solos sob as superfícies geomórficas na profundidade de 60 a 80 cm.

A - DMC da Gt; B - DMC do Hm; C - DMC da Ct; D - DMC da Gb; E - DMC da An.

Sistema óxidos de ferro

A mineralogia na fração óxidos de ferro concentrados indicou hematita e goethita como os minerais dominantes.

Pelos difratogramas observa-se que a hematita é o óxido de ferro mais comum a todos os solos, evidenciada pelos reflexos a 0,366; 0,269 e 0,250 nm, conforme Figuras 18 a 21.

No caso da goethita não foram obtidos picos muito expressivos, provavelmente pelo seu pequeno teor (Figura 22D), não sendo possível, em algumas amostras, os cálculos de substituição isomórfica e tamanho do cristal. Neste estudo utilizou-se somente os difratogramas cujos reflexos permitiram os cálculos destes atributos (Anexo 14).

Teores dos óxidos de ferro e suas relações

As variações de Gt e Hm estão geralmente associadas ao ambiente onde o solo está se formando (SCHWERTMANN, 1985). Assim, a posição na paisagem, além do material de origem, pode influenciar o teor dos óxidos de ferro no solo (CURI, 1983; SANTANA, 1984). No presente estudo, os teores de Hm (Figura 22C) aumentam no sentido do declive, concordando com o aumento do teor de Fe_s e do Fe_d (Figuras 24A, 24B), refletindo a litoestratigrafia regional (arenito-basalto). Os mais altos teores de Hm (42 a 95 g.Kg⁻¹) confirmam a boa drenagem dos solos em toda a vertente.

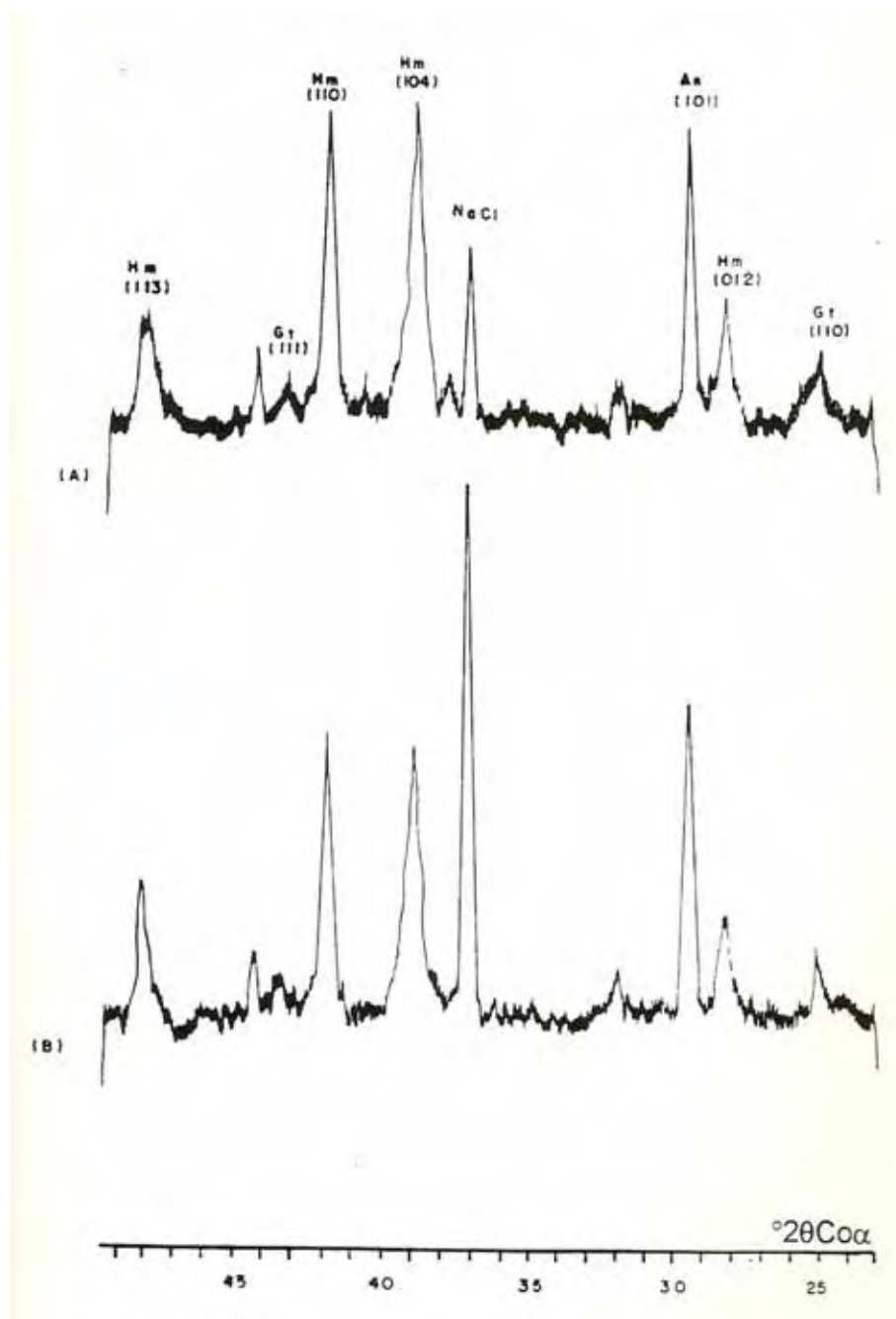


Figura 18 Difratomogramas de raios-X representativos da fração argila tratada para concentração de óxidos, do solo LE-2 sob a superfície geomórfica I, para as amostras coletadas nos pontos 2 (A) e 19(B).

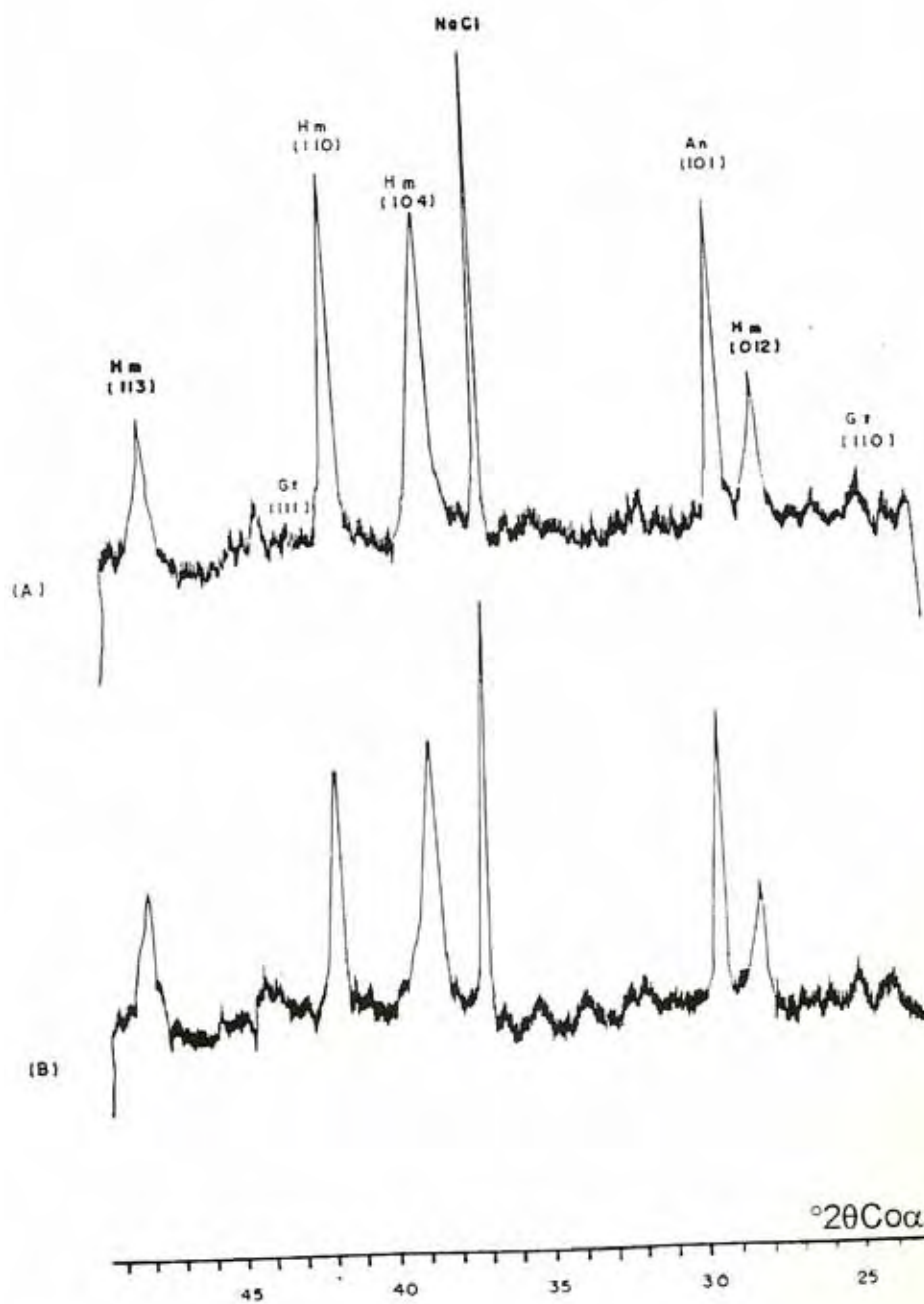


Figura 19. Difratomogramas de raios-X representativos da fração argila tratada para concentração de óxidos, do solo LE-1, sob a superfície geomórfica II, para as amostras coletadas nos pontos 45 (A) e 42(B).

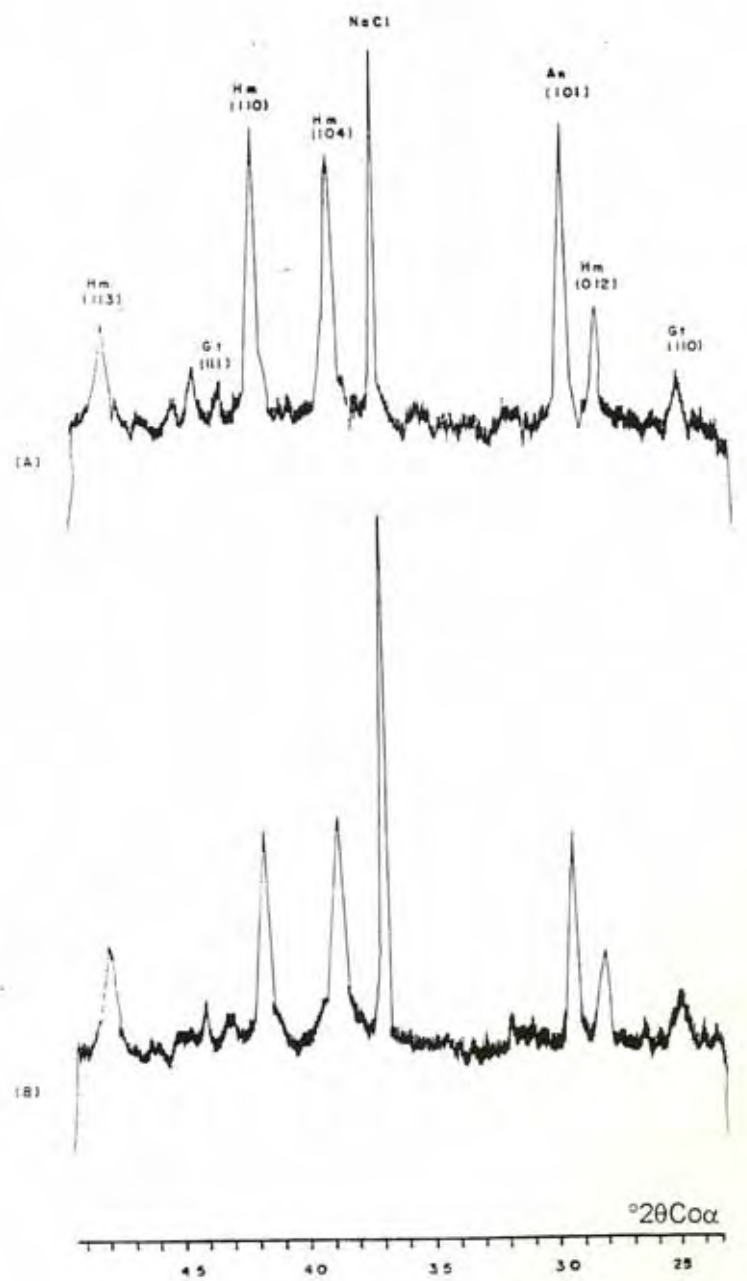


Figura 20. Difratogramas de raios-X representativos da fração argila tratada para concentração de óxidos, do solo LE-3, sob a superfície geomórfica II, para as amostras coletadas nos pontos 55 (A) e 61(B).

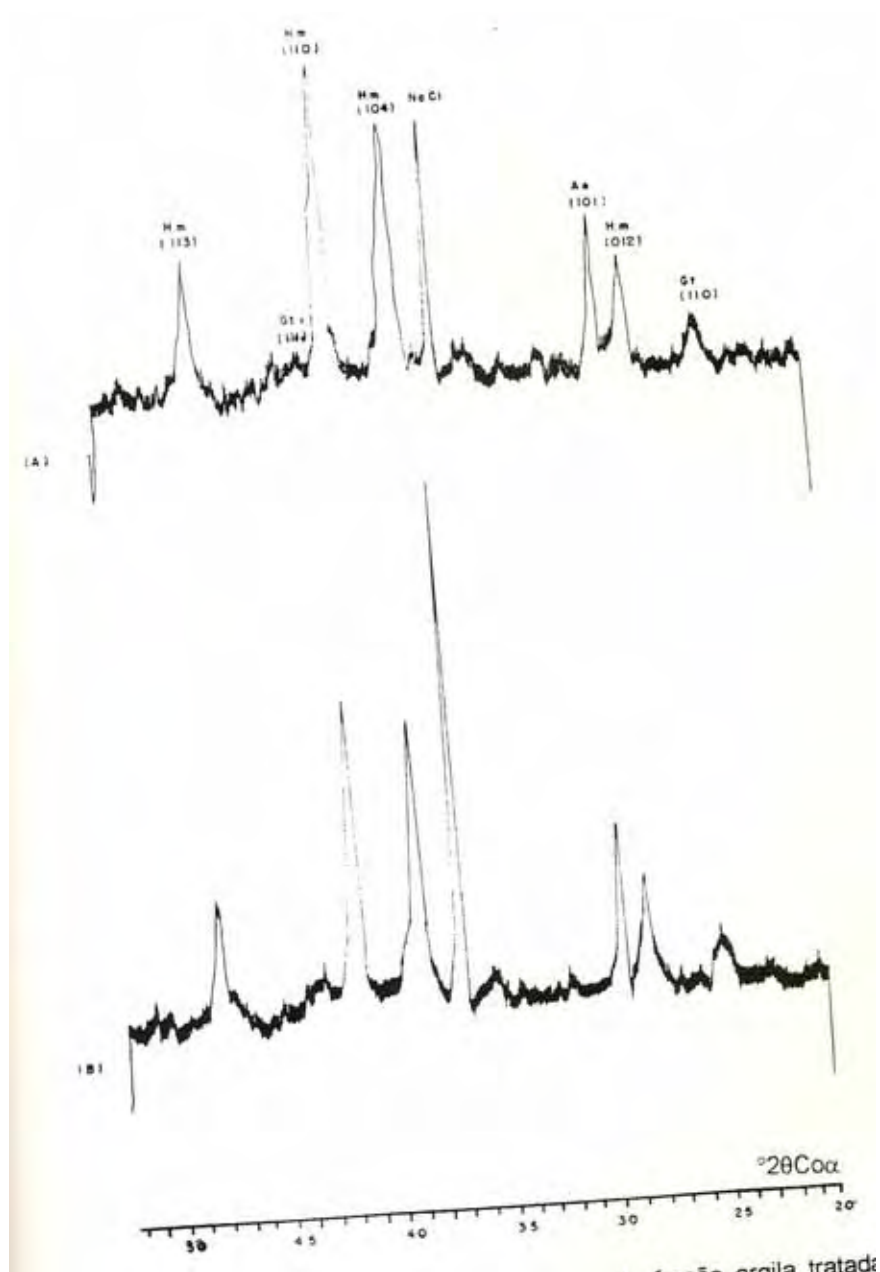


Figura 21. Difratoformas de raios-X representativas da fração argila tratada para concentração de óxidos, do solo LR, sob a superfície geomórfica III, para as amostras coletadas nos pontos 89 (A) e 91(B).

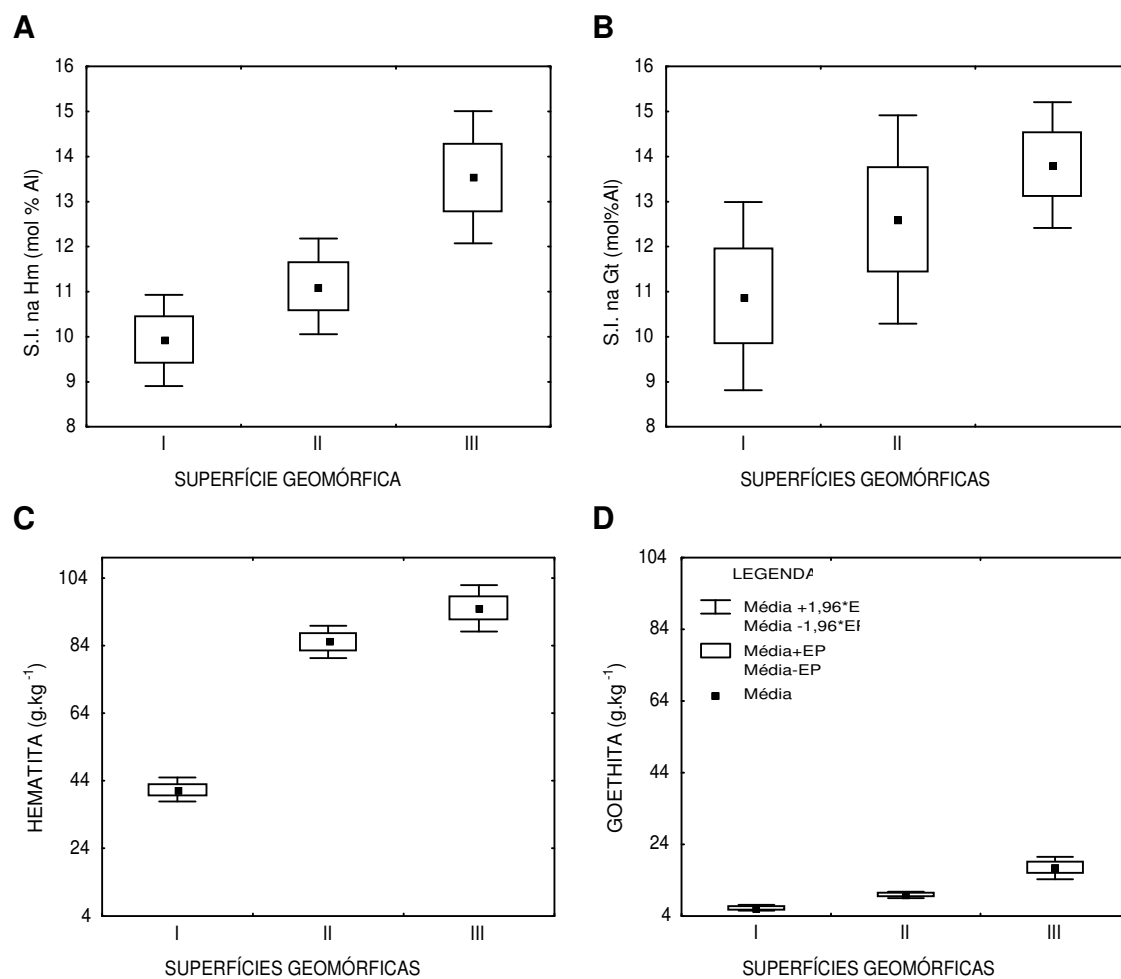


Figura 22. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos mineralógicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm.

A - substituição isomórfica da Hm; B - substituição isomórfica da Gt; C - teor de Hm; D - teor de Gt.

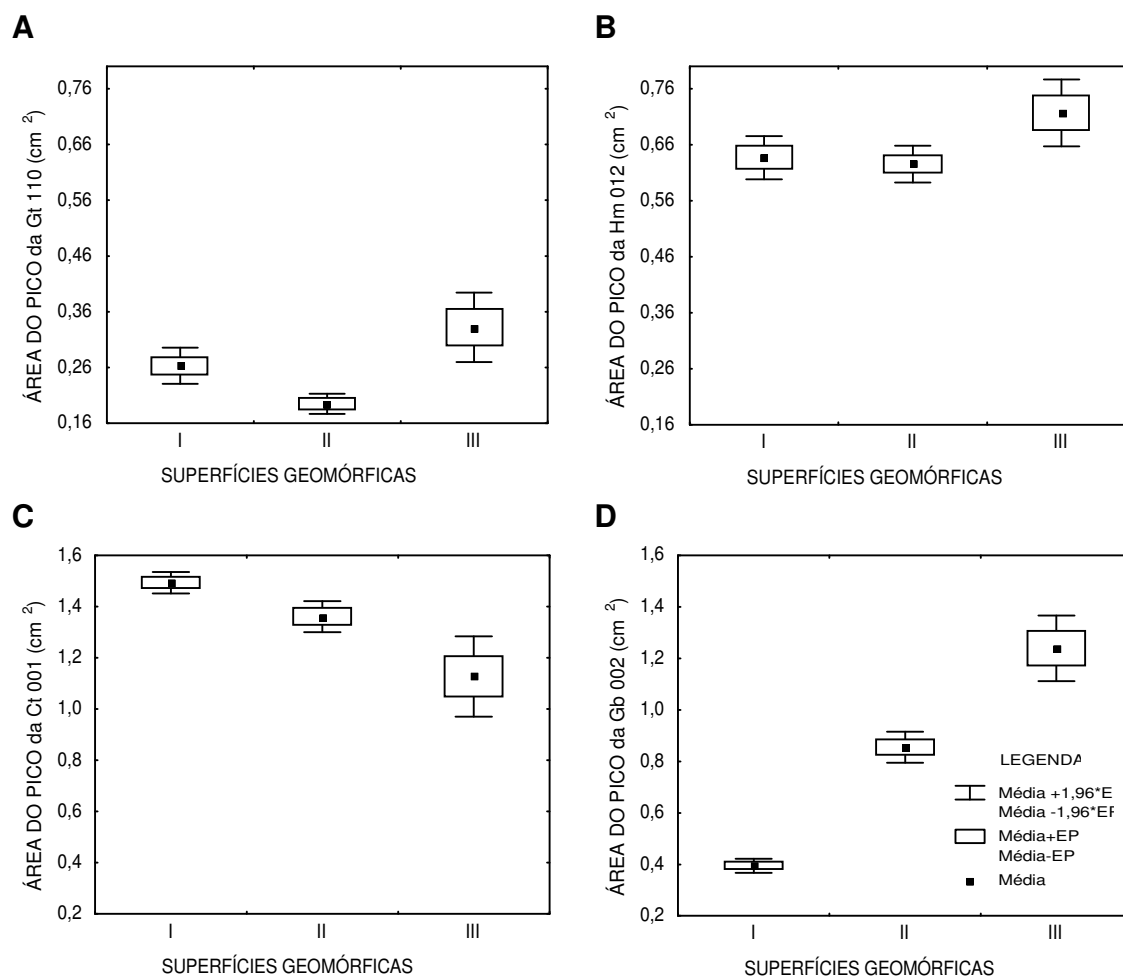


Figura 23. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos mineralógicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm.
 A - área do pico da Gt; B - área do pico da Hm; C - área do pico da Ct;
 D - área do pico da Gb.

O aumento do teor de matéria orgânica ao longo do declive (Figura 11C) ajuda a explicar o incremento do teor de Gt no mesmo sentido (Figura 22D), devido sua atuação na complexação do Fe, inibindo em parte a precipitação de ferrihidrita e favorecendo a formação da goethita (KÄMPF & CURI, 2000). Também o provável maior fluxo subsuperficial de água na parte baixa da vertente corrobora esta tendência (MONIZ & BUOL, 1982; MARQUES JÚNIOR, 1995; COELHO, 1998).

Substituição isomórfica na estrutura dos óxidos de ferro

A substituição isomórfica (SI) de ferro por alumínio na Hm (Figura 22A) variou de 10 a 13 mol % de Al, e na Gt (Figura 22B) de 11 a 14 mol % de Al. Muitos trabalhos registram uma taxa de SI em alumínio para Hm:Gt ao redor de 0,5:1 (RESENDE, 1976; KÄMPF, 1981; CURI, 1983; DICK, 1986). Porém, no atual trabalho foram encontradas relações de 1:1, assim como por outros autores (ANAND & GILKES, 1987; ZEESE et al., 1994). Segundo CORNELL & SCHWERTMANN (1996), esta relação depende se ambos os óxidos foram formados simultaneamente no mesmo ambiente.

Os valores de SI em Al na Gt e Hm (Figuras 22B e 22A) aumentam da superfície I para a III, na mesma tendência do aumento do teor de matéria orgânica, em concordância com MUGGLER (1998), no tocante à Gt. FONTES & WEED (1991) encontraram em solos originados de rochas máficas, maior SI em Al

nas hematitas, quando comparados com aqueles de arenitos, em consonância com os resultados deste trabalho.

Os valores da SI em Al na Gt (Figura 22B) aumentam nos solos sob a superfície I para a superfície III, na mesma tendência do aumento da Gb (Figura 23D), concordando com os dados de FITZPATRICK & SCHWERTMANN (1982); SCHWERTMANN & KÄMPF (1985) e ANAND & GILKES (1987).

Vale a pena mencionar que esses valores relativamente baixos de substituição em Al nas goethitas, quando comparados com dados na literatura para ambientes dessilicizados e oxidantes, poderiam estar relacionados aos reflexos das mesmas não terem sido muito expressivos, particularmente aqueles relativos à Gt (111), prejudicando os cálculos de SI.

As Hm com menor SI apresentaram menor alargamento diferencial dos reflexos (LMA) (Figura 12B, 22A), concordando com observações em hematitas sintéticas feitas por KÄMPF & SCHWERTMANN (1998) e maior DMC, em consonância com SCHWERTMANN et al. (1979).

SCHWERTMANN & CARLSON (1994) e CORNELL & SCHWERTMANN (1996) mencionam haver necessidade de descrever as relações entre o tamanho da célula do cristal da Gt e SI para uma maior amplitude de Gt dos solos, em diferentes ambientes de formação. Neste trabalho os valores de DMC da goethita são menores do que da hematita (Figuras 17A, 17B) e os valores de LMA da goethita são maiores em relação aos da hematita (Figuras 12A, 12B), conforme previsto em literatura (CURI & FRANZMEIER, 1984; ANAND & GILKES, 1987; SCHWERTMANN, 1988; MUGGLER, 1998).

Grau de cristalinidade e tamanho do cristal dos óxidos de ferro

Na vertente estudada, a largura à meia altura e o diâmetro médio do cristal (Figuras 12B e 17B), indicaram que a Hm apresenta maior grau de cristalinidade sob as superfícies I e II, em consonância com menores teores de matéria orgânica (Figura 11C). Os valores médios de largura à meia altura da Hm (Figura 12B) variaram de $0,36(^{\circ}2\theta)$ sob as superfícies I e II a $0,39(^{\circ}2\theta)$ sob a superfície III. Inversamente os valores médios de diâmetro do cristal da Hm (Figura 17B) variaram de 78 nm sob a superfície I a 60 nm sob a superfície III, sendo que os valores sob a superfície II (74 nm) não diferem significativamente dos valores do DMC sob a superfície I.

Assim, o maior tempo de formação dos solos na superfície mais velha e mais estável (superfície I), favoreceu a formação de minerais com maior grau de cristalização, observados para a Hm e Ct, com maiores valores de DMC e menores de LMA (Figuras 17B, 17C, 12B, 12C). Este mesmo modelo de cristalinidade para óxidos de ferro foi obtido por FONTES & WEED (1991), estudando uma vertente sobre arenito-basalto na Bacia do Paraná, Triângulo Mineiro, MG.

4.4. Formas de ferro extraídas com ditionito-citrato-bicarbonato (Fed) e oxalato de amônio (Feo)

Os resultados das análises das formas de ferro extraídas pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fe_d) e pelo oxalato de amônio ácido (Fe_o) do solo ao longo da transeção são encontrados nas Figuras 24B, 24C e no Anexo 13.

As ilustrações dos valores médios dos teores de Fe_d e Fe_o (Figuras 24B, 24C), seguindo a tendência estratigráfica confirmada pelo Fe_s (Figura 24A), aumentam dos solos sob a superfície I para os solos sob a superfície III, sendo que a variação destes teores apresenta diferença significativa ($p < 0,05$), corroborando dados de FONTES & WEED (1991) e COELHO et al. (1994).

4.5. Relação entre atributos dos solos e limites das superfícies geomórficas

Com a finalidade de estabelecer com mais precisão a relação entre atributos dos solos e os limites das superfícies geomórficas, foi aplicada aos resultados das amostras coletadas na transeção a técnica das janelas estatísticas móveis ("Split Moving Windows"), conforme WEBSTER (1973) e PEREIRA et al. (1996), para alguns atributos dos solos.

A aplicação desta técnica permitiu uma melhor visualização dos limites das áreas mais homogêneas e a extensão dos locais de transição.

A ilustração dos resultados do "Split Moving Windows" dos atributos físicos, químicos e mineralógicos se encontra nas Figuras 25 a 29.

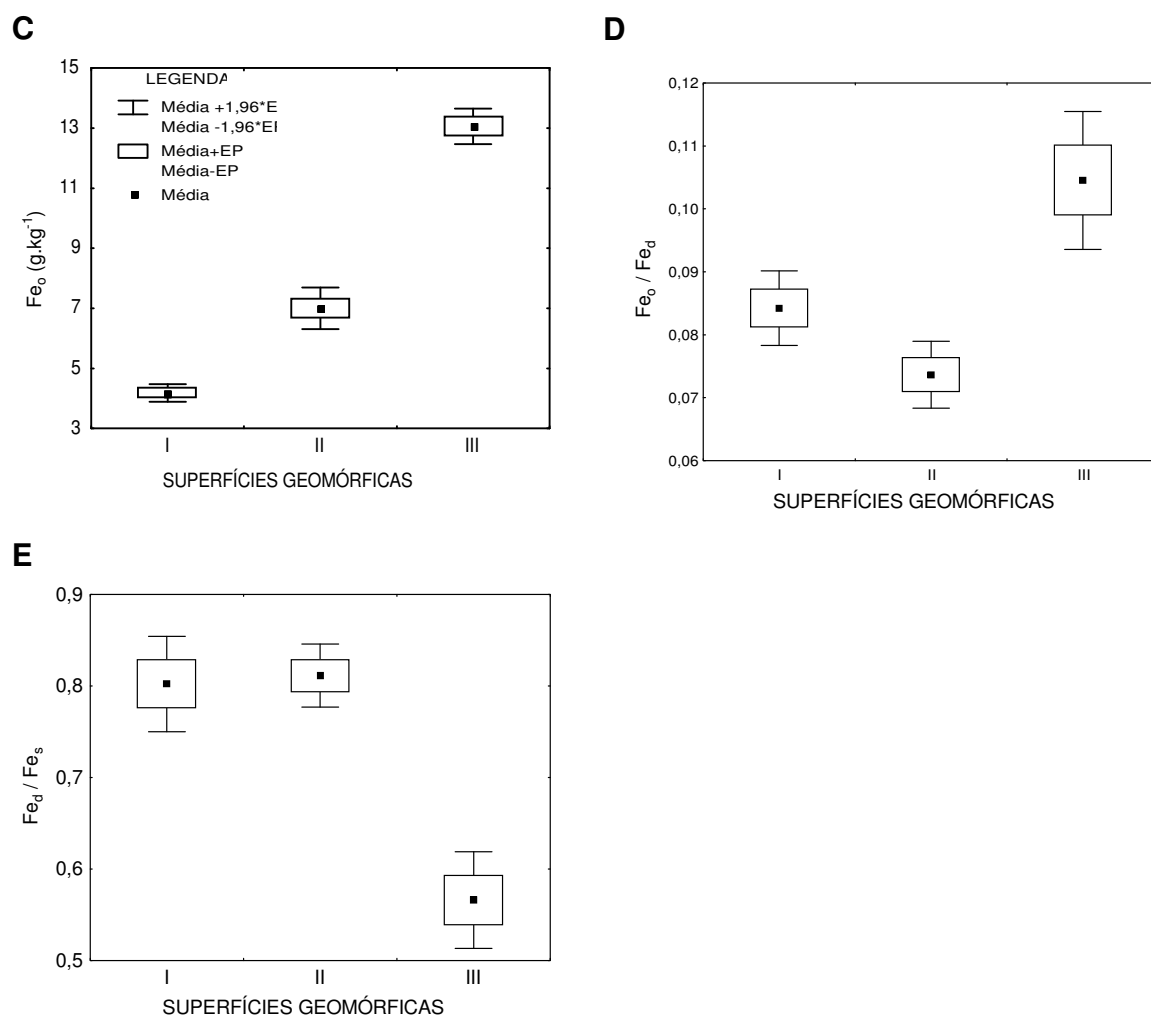


Figura 24. Médias com respectivos intervalos de confiança de atributos químicos dos solos, sob as superfícies geomórficas, na profundidade de 60 a 80 cm. A - Fe_s ; B - Fe_d ; C - Fe_0 .

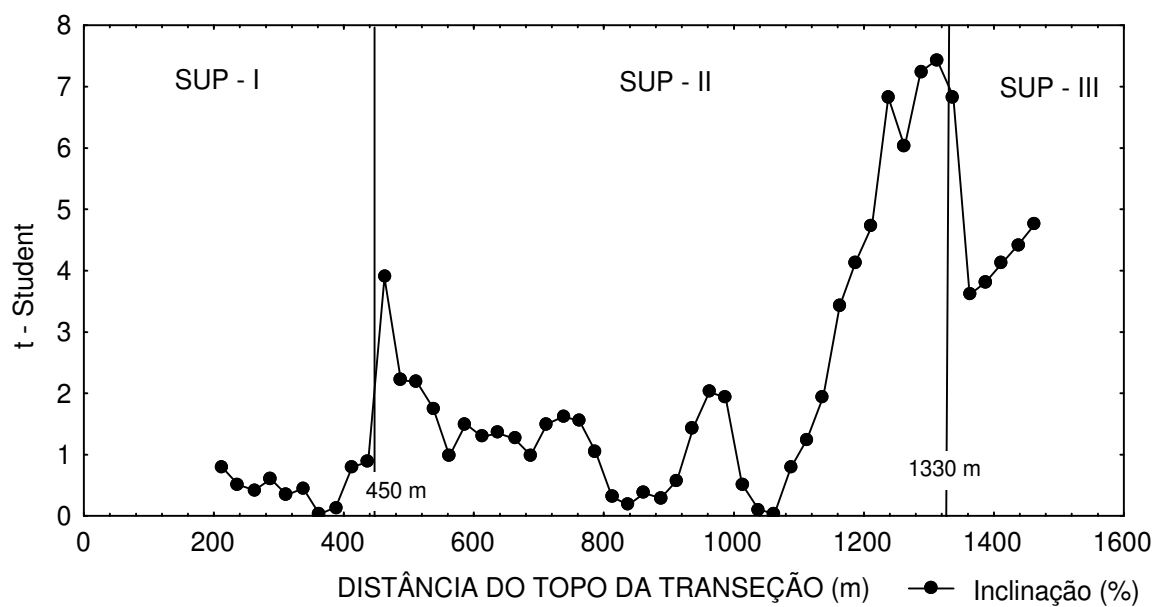


Figura 25. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística do atributo topográfico inclinação do terreno (%) ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m.

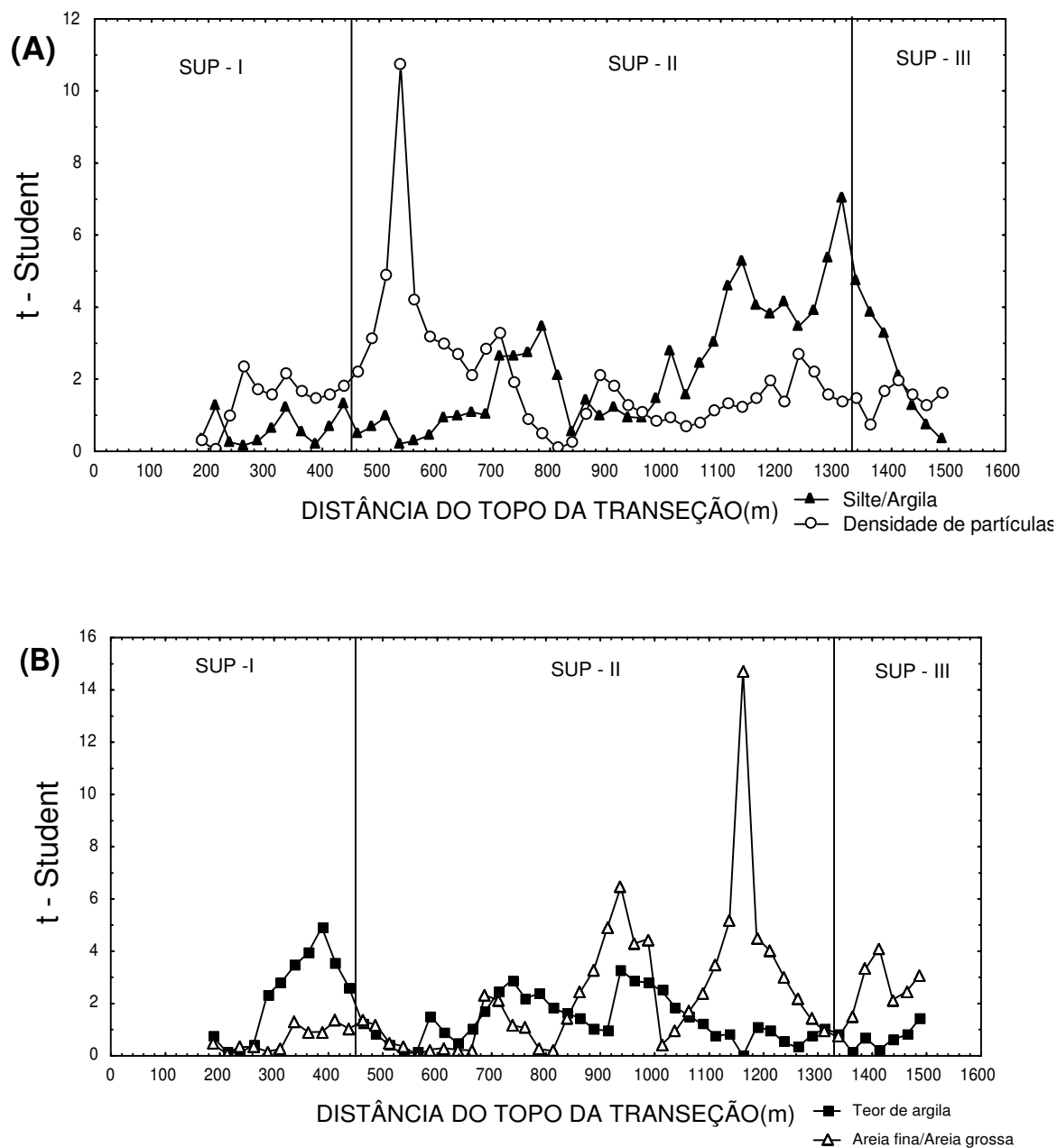


Figura 26. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística dos atributos físicos ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m. A – silte/argila e densidade de partículas; B – teor de argila e areia fina/areia grossa.

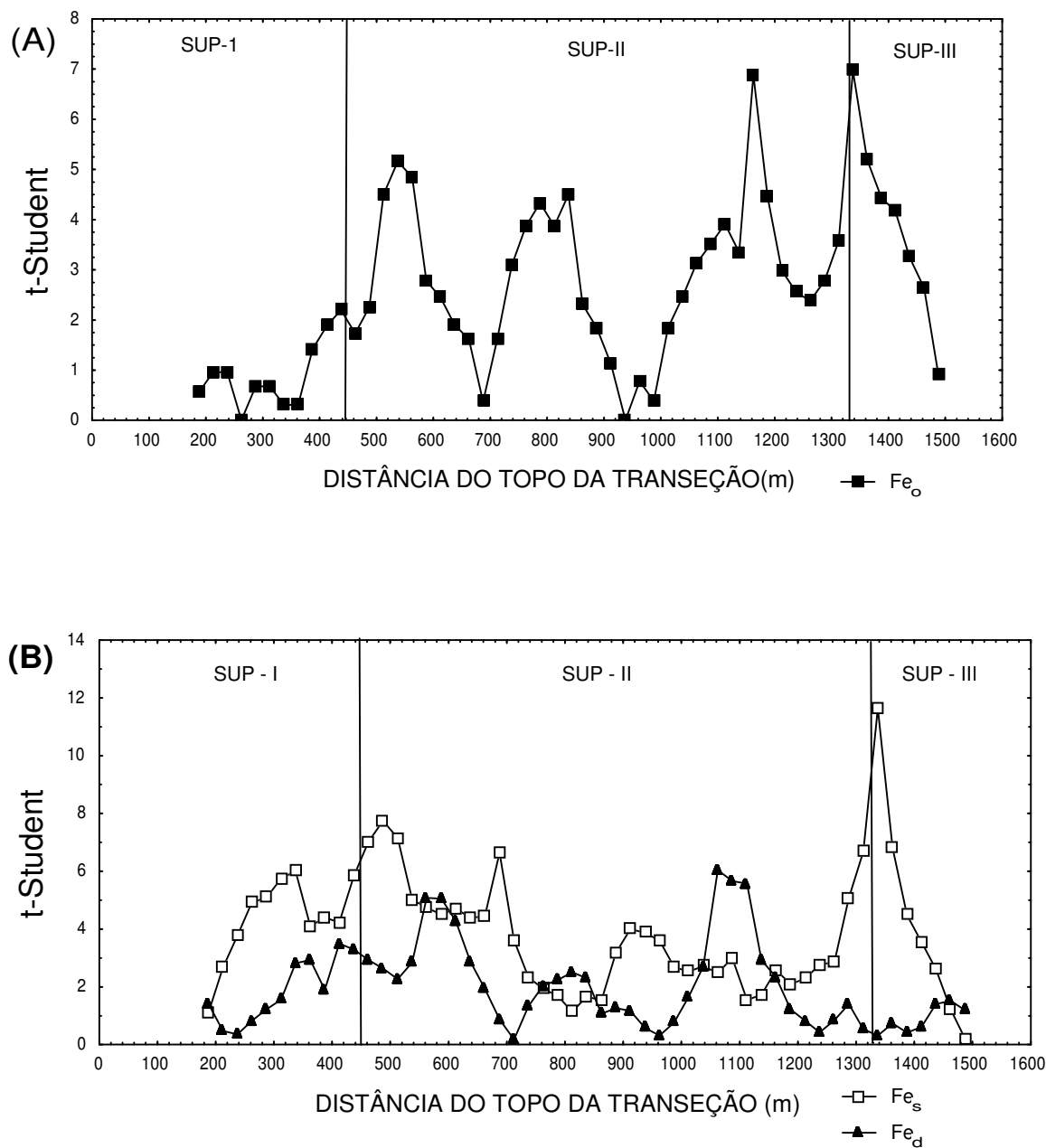


Figura 27. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística dos atributos químicos ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m. A – Fe_o ; B – Fe_s e Fe_d .

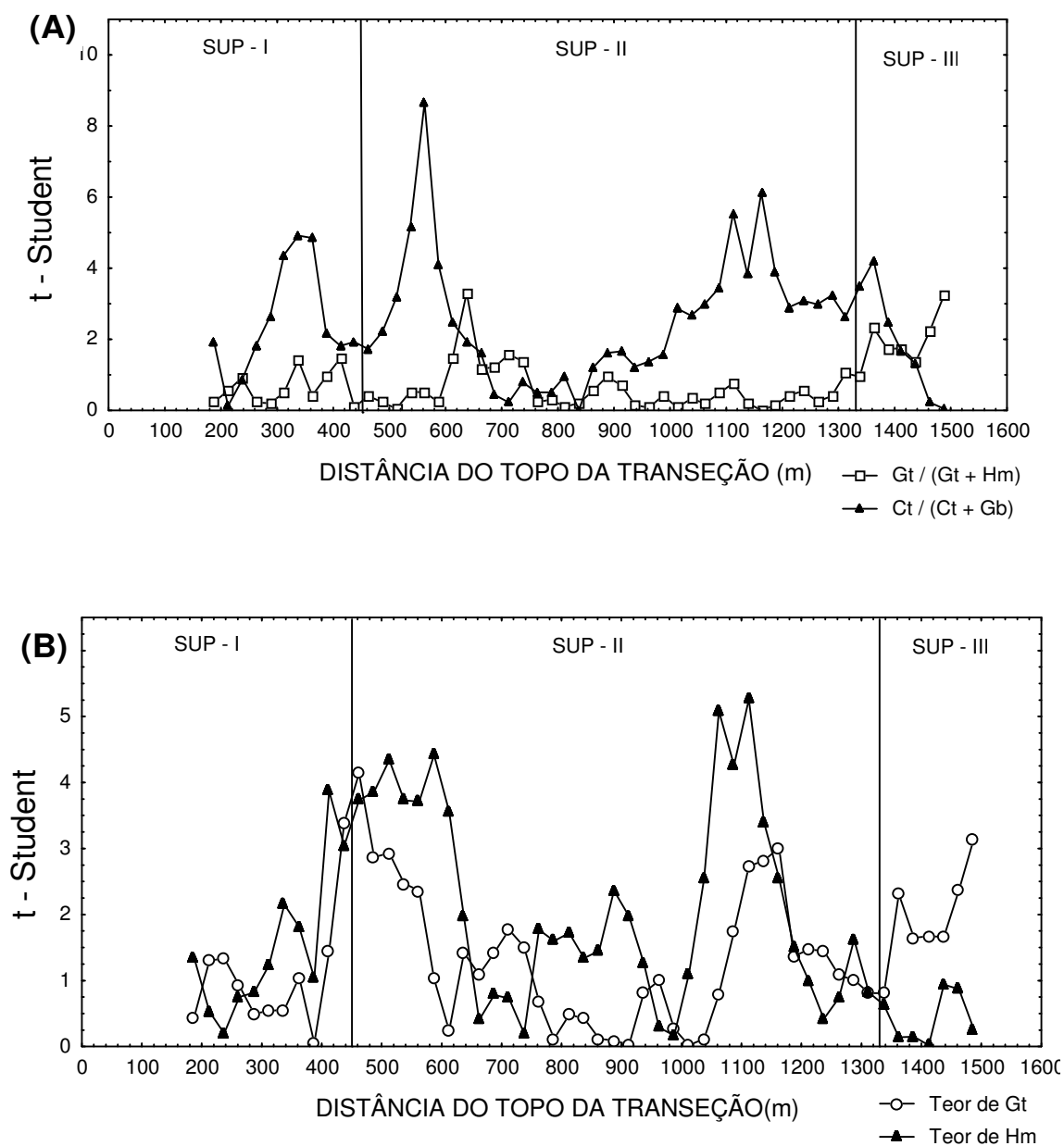


Figura 28. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística de atributos mineralógicos ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m. A – Gt/(Gt+Hm) e Ct/(Ct+Gb); B – teor de Gt e Hm.

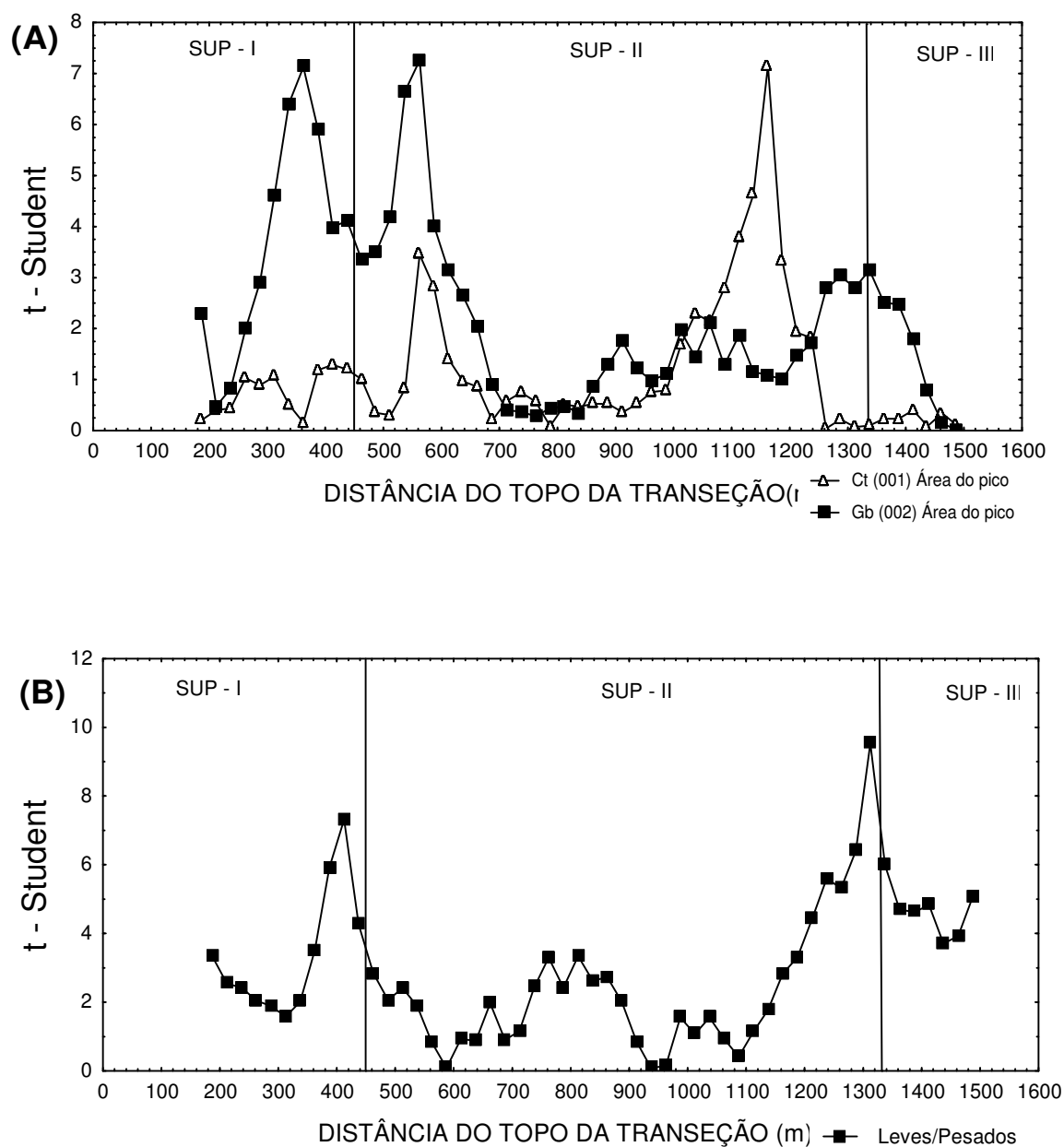


Figura 29. Resultado do "Split moving windows" para locação estatística de atributos mineralógicos ao longo da vertente, com pontos de coleta a cada 25 m. A – Área do pico da Ct e da Gb; B – leves/pesados.

Conforme DANIELS et al. (1971), os métodos para separação de superfícies geomórficas devem usar as formas do terreno considerando a inclinação deste ao longo da vertente, conforme observado nas Figuras 7, 8 e 25, e a estratigrafia considerando os arredores da vertente estudada.

As superfícies geomórficas são resultados de processos superficiais ou não, que se refletem nas mesmas. O uso de atributos de solo pouco influenciados por processos de superfícies para a confirmação de limites entre superfícies tem restrições, portanto é mais indicado o uso de atributos relacionados a processos de formação das superfícies geomórficas assim como a inclinação do terreno (Figura 25).

A técnica das janelas móveis foi importante para confirmar e diferenciar quantitativamente os limites das superfícies geomórficas, como pode ser observado para o atributo inclinação (Figura 25), onde o menor pico no critério t-Student coincide com a transição suave no relevo entre as superfícies I e II, e o maior pico no critério t-Student coincide com o limite da superfície II para a III, com uma clara quebra no relevo.

Os atributos físicos, relação sílte/argila e areia fina/areia grossa, a 1330 m do ponto 1 coincidem com a posição de transição entre as superfícies II e III, e ainda entre as unidades de mapeamento LE-3 e LR (CENTURION, 1998). No limite das superfícies geomórficas II e III até o Córrego Jaboticabal, há uma predominância da ocorrência de basalto, coincidindo, portanto com a superfície III. Esse limite coincide com o resultado do critério t-Student do ferro do ataque

sulfúrico (Figura 27B), o qual apresenta altos valores concordantes com o limite pré-mencionado entre as superfícies geomórficas II e III.

Os limites entre as superfícies I e II, identificados no campo, também foram coincidentes com os picos do critério t-Student do atributo densidade de partículas (Figura 26A) e teor de argila (Figura 26B).

A razão leves/pesados mostrou diferenciação entre as superfícies I e II e também entre as superfícies II e III (Figura 29B), com picos do critério t-Student a menos de 50m dos limites pré-definidos no campo, concordando com a litoestratigrafia regional.

Os atributos mineralógicos teor de Hm e Gt (Figura 28B) e área do pico da caulinita e gibbsita (Figura 29A) também apresentam os picos do critério t-Student muito próximos dos limites entre as superfícies delineadas no campo.

Os atributos que covariam com o material de origem dos solos (densidade de partículas, areia fina/areia grossa e ferro do ataque sulfúrico) também informam sobre os limites de dois materiais de origem: arenitos relacionados com a superfície I e basaltos mais associados com a superfície II e III. Os solos sob a superfície II estão transicionando, no sentido da vertente, para solos mais argilosos, com maiores teores de ferro do ataque sulfúrico e argila, até o limite de 1330 m do início da transeção, coincidentemente com aquele entre as superfícies II e III.

Os atributos do solo que mais coincidem com os limites, pré-definidos a campo, das superfícies geomórficas foram na ordem decrescente:

inclinação do terreno, Fe_s , razão leves/pesados, silte/argila, densidade de partículas e $Ct/(Ct + Gb)$.

MEIRELLES (1998), aplicando a mesma técnica em transeção sobre basalto, encontrou os atributos, areia total, silte/argila e areia fina/areia grossa, como os mais coincidentes com aqueles limites pré-definidos das superfícies geomórficas no campo.

A análise desses atributos físicos, químicos e mineralógicos confirma as vantagens da aplicação do conceito de superfícies geomórficas (DANIELS et al., 1971) para identificação de áreas mais homogêneas, bem como seus limites. Isto, principalmente porque, superfícies geomórficas definem um importante fator de formação do solo: o tempo.

4.6. Análise geoestatística

Para a avaliação da estrutura de distribuição espacial dos atributos granulométricos, químicos e mineralógicos selecionados, foram realizados ajustes através de semivariogramas experimentais, cujos modelos podem ser visualizados na Tabela 1 e Anexos 19 a 28.

Todos os atributos mineralógicos apresentaram dependência espacial sob as superfícies I e II, exceto para o teor de Gt sob a superfície I. Os atributos área do pico da Hm (012), Gb (002) e teor de Hm apresentaram distribuição aleatória, indicada pelo efeito pepita, sob a superfície III (Tabela 1). Salienta-se que alguns atributos apresentam efeito pepita puro, o qual indica

Tabela 1. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados aos dados de variabilidades do solo.

Atributo	Superfície Geomórfica	Modelo	C ₀	C ₁	a	(C ₀ +C ₁)	C ₀ /(C ₀ +C ₁) (%)	IBA	GVE
Área do pico Gt 110 (cm ²)	I	Esférico	0,0027	0,0034	69	0,0061	44,26	6,19E-04	média
	II	Esférico	0,0013	0,0025	55	0,0038	34,21	3,08E-03	média
	III	Gaussiano	0,0000	0,0120	26	0,012	0	1,59E-02	forte
Área do pico Hm 012 (cm ²)	I	Exponencial	0,005	0,003	26	0,008	62,50	2,32E-03	média
	II	Exponencial	0,007	0,005	14	0,012	58,33	3,67E-03	média
	III	Ef. pepita p.	0,016	-	-	0,016	-	4,37E-02	-
Área do pico Ct 001 (cm ²)	I	Esférico	0,006	0,006	188	0,012	50,00	2,26E-03	média
	II	Esférico	0,017	0,014	87	0,031	54,83	4,09E-04	média
	III	Esférico	0	0,118	28	0,118	0	4,12E-03	forte
Área do pico Gb 002 (cm ²)	I	Gaussiano	0,002	0,004	130	0,006	33,33	9,25E-03	média
	II	Gaussiano	0,015	0,020	277	0,035	42,85	4,00E-03	média
	III	Ef. pepita p.	0,068	-	-	0,068	-	9,06E-02	-
Gt (g.Kg ⁻¹)	I	Ef. pepita p.	4,27	-	-	4,27	-	3,80E-03	-
	II	Gaussiano	5,01	4,09	47	9,10	55,05	2,57E-03	média
	III	Gaussiano	0	44,00	27	44,00	0	1,38E-02	forte
Hm (g.Kg ⁻¹)	I	Gaussiano	52,53	41,19	113	93,72	43,95	9,04E-03	média
	II	Gaussiano	150,77	129,87	105	280,64	53,72	2,16E-03	média
	III	Ef. pepita p.	200,00	-	-	200,00	-	3,71E-01	-
Fe _s (g.Kg ⁻¹)	I	Gaussiano	10,60	87,00	157	97,60	10,86	1,59E-02	forte
	II	Potência	84,63	-	-	84,63	-	3,29E-03	-
	III	Gaussiano	449,13	540,20	71	989,33	45,40	3,82E-03	média
Fe _d (g.Kg ⁻¹)	I	Gaussiano	27,53	44,17	107	71,7	38,40	5,80E-03	média
	II	Gaussiano	57,49	87,00	86	144,5	39,79	1,39E-03	média
	III	Ef. pepita p.	150,00	-	-	150,00	-	7,52E-02	-
Fe _o (g.Kg ⁻¹)	I	Gaussiano	0,39	0,45	208	0,84	46,43	6,41E-03	média
	II	Esférico	0,52	4,76	445	5,28	9,85	7,16E-03	forte
	III	Ef. pepita p.	1,46	-	-	1,46	-	1,61E-01	-
Argila (g.Kg ⁻¹)	I	Esférico	231,00	762,37	150	993,37	23,25	3,51E-03	forte
	II	Potência	4160,00	-	-	4160,00	-	9,42E-04	-
	III	Gaussiano	3797,19	5536,96	83	9334,14	40,67	1,28E-02	média

variabilidade não explicada devido a erro de medidas ou microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada. Portanto para estes atributos sob estas superfícies deve-se adotar espaçamento menor de amostragem.

Os semivariogramas calculados para os atributos mineralógicos (Anexos 23 a 28) ajustaram-se ao modelo esférico para área do pico da Gt (110) sob as superfícies I, e II, área do pico da Ct (001) sob as superfícies I, II e III.

Ajustaram-se ao modelo gaussiano os parâmetros área do pico da Gt (110) sob a superfície III, área do pico da Gb (002) sob as superfícies I e II, teor de Gt sob as superfícies II e III e teor de Hm nas superfícies I e II, (Tabela 1 e Anexos 23, 26, 27 e 28).

O atributo área do pico da Hm (012) ajustou-se ao modelo exponencial sob as superfícies I e II. Os índices da bondade do ajuste (IBA) estão relacionados ao modelo esférico e os valores mais próximos de zero indicam melhores ajustes do semivariograma estudado ao modelo.

Para este estudo foi classificado o grau de dependência espacial (GVE) dos atributos através da porcentagem do efeito pepita no patamar, segundo os níveis de classificação: fraca (>75%), média (25 a 75%) e forte (< 25%) (Tabela 1). Os dados deste trabalho apresentaram GVE de média a forte, indicando a dependência espacial dos atributos analisados.

O alcance da dependência espacial sob as superfícies geomórficas apresentou alguns grupos diferenciados abrangendo os atributos analisados. Sob a superfície I, o parâmetro área do pico dos óxidos de ferro (69 a 26 m), para Gt e

Hm respectivamente e (188 m) para Ct e (113 m) para teor de Hm, apresentaram-se com maiores valores relativos à superfície II, e esta, com maiores valores do que sob a superfície III (Tabela 1). Esses resultados indicam o padrão de distribuição espacial diferenciado destes atributos entre as três superfícies estudadas. Portanto, os atributos mineralógicos possuem um aumento da variabilidade espacial da superfície I para a superfície III .

Estes valores estão de acordo com o conceito de superfícies geomórficas; a superfície I, mais antiga, plana e estável, condiciona uma menor variabilidade espacial para estes atributos, que a superfície III, mais inclinada e mais jovem, uma vez que o tempo tende a homogeneizar os atributos do solo.

O Fe_s apresenta valores do patamar ($C_0 + C_1$) aumentando da superfície I para a III, indicando ser esta a seqüência de aumento da dissimilaridade entre os valores nas superfícies. Isto é, o maior valor para a superfície III em comparação às superfícies I e II, indica maior heterogeneidade deste atributo.

O Fe_d apresenta os valores de alcance decrescendo da superfície I para a II e efeito pepita puro na superfície III. Neste mesmo sentido, Fe_o e o teor de argila indicam valores crescentes da variabilidade estrutural (C_1), mostrando o mesmo padrão de distribuição espacial dos atributos mineralógicos já analisados.

Os resultados de alcance, neste contexto, fornecem informações importantes para planejamento e avaliações experimentais, além de subsidiar informações sobre a gênese e a evolução dos solos na paisagem e limites entre classes taxonômicas de solos (TRANGMAR et al., 1985; SANCHEZ, 1999).

A dependência da distribuição espacial diferenciada, representada pelos resultados de alcance (a) dos atributos do solo sob as três superfícies geomórficas, indica esquemas amostrais e planejamento de parcelas experimentais diferentes. No caso dos Latossolos Roxos (LR) sob a superfície III, com maior variabilidade espacial há necessidade de maior número de amostras, mantendo a mesma precisão, do que os Latossolos Vermelho-Escuros (LE) sob as superfícies I e II. Para garantir a independência entre parcelas experimentais, ou independência entre os pontos amostrais, tal intervalo deve ser, no mínimo de duas vezes o alcance do atributo estudado conforme PREVEDELLO, (1987).

Os solos sob a superfície I (LE) tendem a ser mais profundos que aqueles sob a superfície III (LR) (PENTEADO & RANZANI, 1971).

Os resultados deste estudo confirmaram serem os solos sob a superfície III (LR) os mais heterogêneos (maior variabilidade espacial), com relação aos atributos granulométricos, químicos e mineralógicos selecionados. Isto está de acordo com o conceito de superfícies geomórficas (DANIELS et al., 1971), e conseqüentemente de pedogênese, que afirma que quanto menor o tempo de formação, maior deve ser a variabilidade dos respectivos corpos de solo. Isto pode direcionar o uso destas metodologias para o estabelecimento de áreas mais homogêneas, específicas para manejo, assim como a otimização do dimensionamento de talhões onde é mais indicado o uso de agricultura de precisão (MARQUES JÚNIOR & CORÁ, 1998).

O modelo tempo dependente de superfícies geomórficas (DANIELS et al., 1971) ajuda a explicar o modelo de evolução dos solos LE e LR na

paisagem, por estar expressando tanto os fatores contemporâneos de formação da vertente, como desenvolvimento do solo, o que pode ser verificado aqui pela maior variabilidade espacial dos atributos do solo nas superfícies mais rejuvenescidas da paisagem. Portanto, a superfície geomórfica mais antiga condiciona uma menor variabilidade de distribuição espacial dos atributos do solo.

O modelo de superfícies geomórficas revelou que pode adicionar informações úteis acerca da variabilidade dos atributos do solo ao modelo clássico pedogenético. Por estes resultados, pode verificar-se que o modelo de superfícies (DANIELS et al., 1971), aliado ao conhecimento litoestratigráfico e pedogenético, possui boa aplicação aos estudos de solo, a exemplo de outros trabalhos (VIDAL-TORRADO & LEPSCH, 1993; MARQUES JÚNIOR, 1995).

5. CONCLUSÕES

- A razão dos latossolos sob a superfície III, mais jovem de todas, serem mais oxídicos, enquanto que os latossolos da superfície I, mais velha, são mais caulíníticos, é consequência da litoestratigrafia regional arenito-basalto.
- O ambiente sob a superfície I, mais estável, favoreceu a formação de caulinita e hematita com maior grau de cristalinidade, menor largura à meia altura (LMA) e maior diâmetro médio do cristal (DMC) quando comparado aos mesmos minerais dos solos sob a superfície III, a mais jovem e menos estável.
- Os atributos do solo mais coincidentes com aqueles limites pré-determinados das superfícies geomórficas no campo, foram em ordem decrescente: inclinação do terreno, ferro do ataque sulfúrico (Fe_s), razões minerais leves/pesados e silte/argila, densidade de partículas e a razão caulinita/(caulinita+gibbsita).

- Os solos sob a superfície III apresentam maior variabilidade espacial de seus atributos quando comparados aos solos sob a superfície I, evidenciando que solos muito intemperizados (Latosolos) quando sob superfícies geomórficas mais recentes e erosionais são mineralogicamente menos homogêneos do que solos da mesma ordem situados em superfícies mais velhas e mais antigas (normalmente mais planas).
- A dependência espacial diferenciada, representada pelos valores do alcance (a) nos solos sob as três superfícies geomórficas, para a maioria dos atributos de solo estudados, indica esquemas amostrais e planejamento de parcelas experimentais diferentes nas superfícies geomórficas I, II e III.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHO, D.R. **Mineralogia e gênese de solos Litólicos da região de Jaboticabal, SP.** Jaboticabal, 1993. 71p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, para graduação em Agronomia).
- ALMEIDA, J.R. **Cromossequência de solos originários de rochas pelíticas do Grupo Bambuí.** Viçosa, 1979. 150p. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal de Viçosa.
- ALOISI, R.R. DEMATTÊ, J.L.I. Levantamento de solos da Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal. **Científica**, v.2, n.2, p.123-36, 1974.
- ALOISI, R.R., et al. Mineralogia de argila de alguns solos do município de Jaboticabal, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1975, Campinas. **Anais...** p.457-60.
- ANAND, R.R., GILKES, R.J. Mineralogical and chemical properties of weathered magnetite grains from lateritic saprolite. **J.Soil Sci.**, v.37, p.607-22, 1987.
- BARCHA, S.F et al. Instusão alcalina de Jaboticabal. **Geociência**, v.3, p.21-38, 1984.
- BENNEMA, J., CAMARGO, M. N. **Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros:** subsídio à VI Reunião Técnica de Levantamento de solos. Rio de Janeiro, DPEA/DPFS, 1964. 45p.

- BERG, M. Van den. Transect.For, listagem na língua Fortran. Piracicaba: ESALQ/USP, Departamento de Ciências do Solo, 1988. 3p.
- BLAKE, G.R. Particle density. In: BLACK, C.A. (Ed) **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.371-3.
- BRANDT NETO, M. **O Grupo Bauru na região centro-norte do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1984. Tese (Doutorado) - Instituto Catográfico Geográfico, Universidade de São Paulo.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**: folha SE. 22 Goiânia; geologia geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, 31).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, 1960. 634p.
- BUNDY, W.M., JOHNS, W.D, MURRAY, H.H. Interrelationships of physical and chemical properties of kaolinites. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 14, 1966, p.331-45.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S.. **Métodos de análise química, mineralogia e física de solos do IAC**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).
- CENTURION, J.F. **Caracterização e classificação dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal**. Jaboticabal, 1998. 85p.

- Tese (Livre-Docência em Pedologia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- COELHO, R.M. **Pedogenic process interactions within an oxisol-ultisol toposequence in Brazil.** Raleigh, 1998. 168p. Dissertation (PhD) - North Carolina State University.
- COELHO, R.M., LEPSCH, I.F., MENK, J.R.F. Relação solo-relevo em um encosta com transição arenito-basalto em Jau (SP). **Rev. Bras. Cien. Solo**, v.18, p.125-33, 1994.
- CONACHER, A. J., DALRYMPLE, J.B. The nine unit landsurface model, an approach to pedogeomorphic research. **Geoderma**, v.18, p.1-154, 1977.
- CORNELL, R.M., SCHWERTMANN, U. **The iron oxides.** Weinheim: VCH, 1996. 573p.
- COUTINHO, J.M.V. et al. Lavas alcalinas analcimiticas associadas ao Grupo Bauru (Kb) no Estado de São Paulo, Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 5, 1982, Buenos Aires. **Actas...** p.133-42.
- CUNHA, P. **Erosion hazard analysis using USLE and SLEMSA of a SOTER pilot area in South America.** Wageningen, 1993. 115p. Dissertation (M.Sc.) - Wageningen Agricultural University.
- CURI, N. **Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil.** Lafayette, 1983. 158 p. Thesis (PhD) Purdue University.
- CURI, N., FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** , v.48, p.341-6, 1984.

- CURI, N., FRANZIMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some oxisols in Brazil, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.51, p.153-8, 1987.
- DANIELS, R.B., GAMBLE, E.E. , CADY, J.G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Adv. Agron.**, v.23, p.51-87, 1971.
- DANIELS, R.B., NELSON, L.A. Soil variability and productivity: future development. In: BOERSMA, L.L. et al. (Ed.) **Future development in soil science research**. Madison: Soil Science Society of America Journal, 1987. p.279-91.
- DARLYMPLE, J.B., BLONG, R.J., CONACHER, A.J. A hypothetical nine unit land surface model. **Z. Geomorphol.** , v.12, n.1, p.60-76,1968.
- DAVIS, J.C. **Statistics and data analysis in geology**. New York, John Wiley & Sons, 1973. 550p.
- DAY, P.R. Particle fraction and particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., (Ed). **Methods of soil analysis**: Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-66.
- DEMATTÊ, J.L.I. et al. Estimativa da evolução do intemperismo mediante ganho e perdas de íons numa seqüência de solos desenvolvidos de diabásio e influenciados pela drenagem em Piracicaba, SP. **Rev. Bras. Cien. Solo** v.15, n.1, p.69-73, 1991.
- DICK, D.P. **Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B Latossólicos**. Porto Alegre, 1986. 196p. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- DIDIER, P. et al. Activity of water as geochemical controlling factor in ferricretes. A thermodynamic model in the system kaolinite fe-oxihydroxides Fe-Al. In: NAHON, D., NOACK. (Ed.) **Petrologie des alterations et des sols**: memoire n.71. Strasbourg: Institute de Geologie, Université Strasbourg, 1983. p.35-44.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. não pag.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.
- ESPÍNDOLA, C.R., CARVALHO, W.A. Relações entre a natureza dos solos e suas posições na paisagem na Bacia de Capivara, Botucatu (SP). **Científica**, v.14, n.1/2, p.29-37, 1986.
- FITZPATRICK, R.W., SCHWERTMANN, U. Al-Substituted goethite an indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma**, v.27, p.335-47, 1982.
- FONTES, M.P.F., WEED, S. B. Iron oxides in selected Brazilian oxisol: I. Mineralogy. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.55, p.1143-9, 1991.
- FÚLFARO, V.J., BJORNEBERG, A.J.S. Geologia do Estado de São Paulo In: **Solos do interior de São Paulo**. São Carlos: ABMS, 1993. p.1-42.
- GERRARD, J. **Soil geomorphology**: and integration of pedology and geomorphology. London, Chapman Hall, 1992. 269p.
- GOMES, M.A.F. et al. Influência de ferro e de alumínio amorfos do solo na reatividade de quatro corretivos de acidez. **Rev. Ceres**, v.43, n.248, 1996.

- GOODALL, D.W. Classification, probability and utility. **Nature**, v.211, n.5044, p. 53-4, 1966.
- HSU, P.H. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Ed.) **Mineral, in soil environmental**. Madison: Soil Science Society of America. , 1977. p.99-144.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapa geologia do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981a. Mapa, escala 1:500.000.
- IPT. Instituto de Pesquisas tecnológicas. **Mapa geologia do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981b. Mapa, escala 1:100.000.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**: advanced course. 2.ed. Madison, 1979. 498p.
- JOLLY, A.B. **Conheça a vegetação brasileira**. São Paulo: Poligono, 1970. 181p.
- JOURNEL, A.J., HUIJBREGTS, C.J. **Mining geoestatística**. London: Academic Press, 1978.
- KÄMPF, N. Die eisenoxidmineralogie einer klimasequenez von boden ans eruptiva in Rio Grande do Sul, Brasilien. München, 1981. Dissertation (Doctor in Agronomy) - University Munchen, Fed. Resp. of Germany.
- KÄMPF, N., CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de atributos de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. 53p.
- KÄMPF, N., DICK, D.P. Óxidos de ferro em Cambissolos Brunos no Rio Grande do Sul e Sul de Minas Gerais. **Rev. Bras. Cien. Solo**, v.8, p.183-8, 1984.

- KÄMPF, N., RESENDE, M., CURTI, N. Iron óxides in Brazilian óxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8, 1988, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1988. p.71-7.
- KÄMPF, N., SCHNEIDER, P., MELLO, P.F. Alterações mineralógicas em seqüência Vertissolo-Litossolo na região da Campanha no Rio Grande do Sul . **Rev. Bras. Cien. Solo**, v.19, p.349-57,1995.
- KÄMPF, N., SCHWERTMANN, U. Avaliação da estimativa de substituição de Fe por Al em hematitas de solos. **Rev. Bras. Cien. Solo**, v.22, n.2, p.209-13, 1998.
- KÄMPF, N., SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequência in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, v.29, p.27-39, 1982.
- KÄMPF, N., SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e cor em solos caulíníticos do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Cien. Solo**, v.7, n.1, p.27-31, 1983.
- KER , J.C. et al. Adsorsão de fósforo em alguns solos Latossólicos: relação entre mineralogia e efeito da calagem. **Rev. Ceres**, v.43, n.246, p.217-26,1996.
- KUKOVSKY, E.G. Alteration processes in clay minerals. **Clay Miner.**, v.8, p.234-7, 1969.
- LEPSCH, I.F. **Soil landscape relationships in area of the area of the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil**. Raleigh, 1975. 163p. Thesis (PhD) - University of Raleigh.

- LEPSCH, I.F., BUOL, S.W., DANIELS, R.B. Soil-landscape relationships in Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.41, p.104-9, 1977.
- MACEDO, J., BRYANT, R.B. Preferential microbial reduction of hematite over goethite in a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.53, p.1114-8, 1989.
- MANZINI, F.F. **O cretáceo da região de Monte Alto**. Rio Claro, 1990. 91p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto De Geociências, Universidade Estadual Paulista.
- MARQUES JÚNIOR, J. **Litocronocromossequência de solos da região de Lavras, MG**. Lavras, 1988. 78p. Dissertação (Mestrado em Solos) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- MARQUES JÚNIOR, J. **Atributos do solo e forma de uma vertente no campus da FCAV/UNESP: suas relações**. Jaboticabal, 1992. 37p. (Relatório de Pesquisa).
- MARQUES JÚNIOR, J. **Distribuição e atributos dos solos em relação á forma e evolução de uma vertente em Monte Alto-SP**. Piracicaba, 1995. 226p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luis De Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MARQUES JÚNIOR, J. **Atributos do solo e forma de uma vertente no campus da FCAV/UNESP: suas relações**. Jaboticabal, 1997. 37p. (Relatório de Pesquisa).

- MARQUES JÚNIOR, M., CORÁ, J.E. Atributos do solos para agricultura de precisão. In: SILVA, F.M., BORGES, P.H. (Ed.) **Mecanização e agricultura de precisão**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. 244p.
- MARQUES JÚNIOR, J., CURI, N., LIMA, J.M. Evolução diferenciada de Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolo- Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). **Rev. Bras. Cien. Solo**, v.16, p.235-40, 1992.
- MCKEAGUE, J.A., CLINE, M.G. Silica in soils. **Adv. Agron.**, v.15, p.339-96, 1963.
- MEHRA, O.P., JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAY MINERAL, 7,1958, Washington. **Proceedings...** p.317-42.
- MEIRELLES, H.T. **Relações entre superfícies geomórficas, segmentos de vertente e propriedades dos solos em Batatais, SP**. Jaboticabal, 1998. 118p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, para graduação em Agronomia).
- MESTDAGH, M.M., VIELVOYE, L., HERBILLON, A.J. Iron in kaolinite. II. The relationship between kaolinite crystallinity and iron content. **Clay Miner.**, v.15, p.1-13, 1980.
- MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particular for East African Soils. **Soil Res.**, v.4, n.3, p.183-8, 1935.
- MONIZ, A.C. Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soil derived from basic rocks and slate. Madison, 1967.Thesis. (M.S.) - Univiversity of Wisconsin.

- MONIZ, A.C., BUOL, S.W. Formation of an oxisol ultisol transition in São Paulo, Brasil: I. Double-water flow model of soil development. **Soil Sci. Am. J.**, v.46, p.1228-33, 1982.
- MONIZ, A.C., BUOL, S.W., WEED, S.B. Formation of oxisol-ultisol transition in São Paulo, Brazil: II. Lateral dynamics of chemical weathering. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 46, p.1234-9, 1982.
- MOORE, D.M., REYNOLDS JR., R.C. **X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals**. 2.ed. New York: Oxford University press, 1997. 378p.
- MUGGLER, C.C. **Polygenetic oxisols on Tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil**. Soil genesis and landscape development. Wageningen, 1998. 186p. Tese (Doutorado) - Landbouwniversiteit.
- MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell color soil charts**. New Windsor, 1994. 10p.
- MURRAY, H.H., LYONS, S.C. Further correlations of kaolinite crystallinity with chemical and physical properties. **Clays Clay Miner.**, p.11-17, 1960.
- MURRAY, J.W. Iron Oxides. In: BURNS, R.G. (Ed.) **Short course notes**. Mineralogical Society of America, 1979. v.6, p.47-98.
- NORRISH, K., TAYLOR, R.M. The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. **J. Soil Sci.**, v.12, p.294-306, 1961.
- OGUNSOLA, O.A. et al. Free oxide status and distribution in soils overlying Limestone areas in Nigeria. **J. Soil Sci.** , v.147, n.4, p.245-51, 1989.

- OLIVEIRA, J.B, PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: quadrícula de Ribeirão Preto. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 133p.(Boletim Científico, 7).
- PANNATIER, Y. **VARIOWIN**: software for spatial data analysis in 2D, Springer-Verlag, New York, 1996.
- PENTEADO, M.M., RANZANI, G. Aspectos geomorfológicos e os solos do município de Jaboticabal. **Geographica**, v.25, p.42-61,1971.
- PEREIRA, G.T. et al. JEM 1.0: programa computacional para localização de limites de superfícies geomórficas de solos através de dados de uma transeção; caso univariado. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia. (CD-ROOM).
- PREVEDELLO, B.M.S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. Piracicaba, 1987. 166p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- QUEIROZ, S.B. , KLAMT, E. Mineralogia e gênese de Brunizém Avermelhado e Terra Roxa estruturada similar na encosta inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Cien. Solo**, v.9, p.51-7, 1985.
- RAIJ, B.van, ZULLO, M.A.T. **Métodos de análises de solo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1977. 16p. (Circular, 63).
- RAIJ, B. van et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987.170p.

- RESENDE, M. **Minerology, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. Purdue, 1976. Thesis (PhD.) - Purdue University.
- RESENDE, M. **Pedologia**: material de origem. Viçosa : Universidade. Federal de Viçosa, 1980.23p.
- RESENDE, M., CURI, N., SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo**: interações e aplicações. Brasília: MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 81p.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 3.ed. Viçosa: NEPUT, 1999, 338p.
- RUHE, R.V. **Quaternary landscape in Iowa Ames**. Iowa: State University Press, 1969. 255p.
- RUHE, R.V., DANIELS, R.B., CADY, J.G. **Landscape evolution and soil formation in South Western**. Iowa, 1967. (Technical Bulletin, 1349).
- RUSSO, D., BRESLER, E. Soil hydraulic properties as sthochastic processes: I. An analysis of field spacial variability. **Soil Sci. Soc. Am.J.**, v.45, p.687, 1981.
- SANCHEZ, R.B. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de latossolos em diferentes superfícies geomórficas sob cultivo de café, em Patrocínio, MG**. Jaboticabal, 1999. 79p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP, Campus de Jaboticabal para graduação em Agronomia).
- SANTANA, D.P. **Soil formation in a toposequence of oxisols from Patos of Minas Region, Minas Gerais State Brazil**. West Lafayette, USA, 1984. 129p. Thesis (Ph.D) – Purdue University.

- SANTOS, M.C., BATISTA, M.A. Avaliações física, química e mineralógica em solos Plínticos da região Meio-Norte do Brasil, submetidos a teste de umedecimento e secagem. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v.20, p.21-31, 1996.
- SAS. **SAS/SAT user's guide**: version 6. Cary, 1995.
- SCATOLINI, F.M., MONIZ, A.C. Influência do material de origem, do lençol freático surgente e da posição topográfica nos solos de uma encosta em Mococa (SP). **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v.16, n3, p.379-88, 1992.
- SCHOEN, R., ROBERSON, C.E., Structures of aluminum hydroxide and geochemical implication. **Am. Miner.**, v.55, p.43-77, 1970,
- SCHULZE, D.G. The influence of aluminium on iron oxides VIII. Unit-cel dimension of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays Clay Miner.**, v.32, p.36-44, 1984.
- SCHWERTMANN, U. The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. **Adv. Soil Sci.**, v.1, p.172-96, 1985.
- SCHWERTMANN, U. Some propeties of soil and synthetic iron oxides. In: STUCKI, J.W. GOODMAN, B.A., SCHWERTMANN, U. **Iron in soil and clay minerals**. Dordrecht: D. Riedel Publishing, 1988. p.203-50 (NATO ASI SERIE, 217).
- SCHWERTMANN, U., CARLSON, L. Aluminium influence on iron óxides: XVII. Unit-cell parameters and aluminium substitution of natural goethites. **Soil Sci. Soc. Am. J.** , v.58, p.256-61, 1994.
- SCHWERTMANN, U., KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. **Soil Sci.**, v.139, n.4, p.344-50, 1985.

- SCHWERTMANN, U., MURAD, E., SCHULZE, D.G. Is there Holocene reddening (hematite formation) in soils of Axeric temperate areas? **Geoderma**, v.27, p.209-23, 1982.
- SCHWERTMANN, U., TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Ed.) **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: SSSA, 1989. p.379-438. (Book Series, 1).
- SCHWERTMANN, U. et al. The influence of aluminium on iron oxides. Part II: Preparation and properties of Al-substituted hematites. **Clays Clay Miner.**, v.27, p.105-12, 1979.
- SHADFAN, H., DIXON, J.B., CALHOUN, F.G. Iron oxide properties versus strength of ferruginous crust and iron - glaebules in soils. **Soil Sci.**, v.140, p.317-25, 1985.
- SHAPIRO, S.S., WILK, M.B. A analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v.52, p.591-611, 1965.
- STATISTICS for windows, Release 5.1: General conventions & statistics. Tulsa: Statsoft, 1995.
- SUMMERFIELD, M.A. **Global geomorfology**: na introducion to the study of landforms. New York: Longman, 1991. 537p.
- TORRENT, J., SCHWERTMANN, U., BARRÓN, V. The reductive dissolution of synthetic goethite and hematite in dithionite. **Clay Miner.**, v.22, p.329-37, 1987.
- TORRENT, J. et al. Quantitative relationships between soil color and hematite content. **Soil Sci.**, v.136, p.354-8, 1983.
- TRANGMAR, B.B., YOST, R.S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial of soil properties. **Adv. Agron.**, v.38, p.45-93, 1985.

- TROLARD, F., TARDY, Y. The stabilities of gibbsite, boehmite, aluminous goethite and aluminous hematites in bauxites, ferricrete, and laterites as a function of water activity, temperature and particle size. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v.51, p.945-57, 1987.
- UPCHURCH, D.R., EDMONDS, W. J. Statistical procedures for specific objectives. In: MAUSBACJ, M.J., WILDING, L.P. **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison: Soil Science Society America, 1993. p.49-71.
- VAN ENGELEN, V.W.P., PULLES, J.H.M. **The Soter manual**: procedures for small scale digital map and database compilation of soil and terrain conditions. 4.ed. Wageningen, ISRIC, 1991. 92p. (Working Paper).
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLC, 1969. 34p. (Boletim Técnico, 7).
- VIDAL TORRADO, P., LEPSCH, I.F. Morfogênese dos solos de uma topossequência com transição B latossólico x B textural sobre migmatitos em Mococa (SP). **Rev. Bras. Cien. Solo**, v.17, n.1, p.109 -19, 1993.
- VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudo de variabilidade espacial**: cursos de atualização do solo. Campinas, 1995. pte 1, p1-60.
- VIEIRA, S.R. et al. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Bekerlly**, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- WEBSTER, R. Mathematical geology. New York. Automatic soil-boundary location from transect data. **Math. Geol.**, v.5, p.27-37, 1973.
- WEBSTER, R., BECKETT, P.H.T. Qualy and utility of soil maps. **Nature**, v.219, n.5155, p.680-2, 1968.

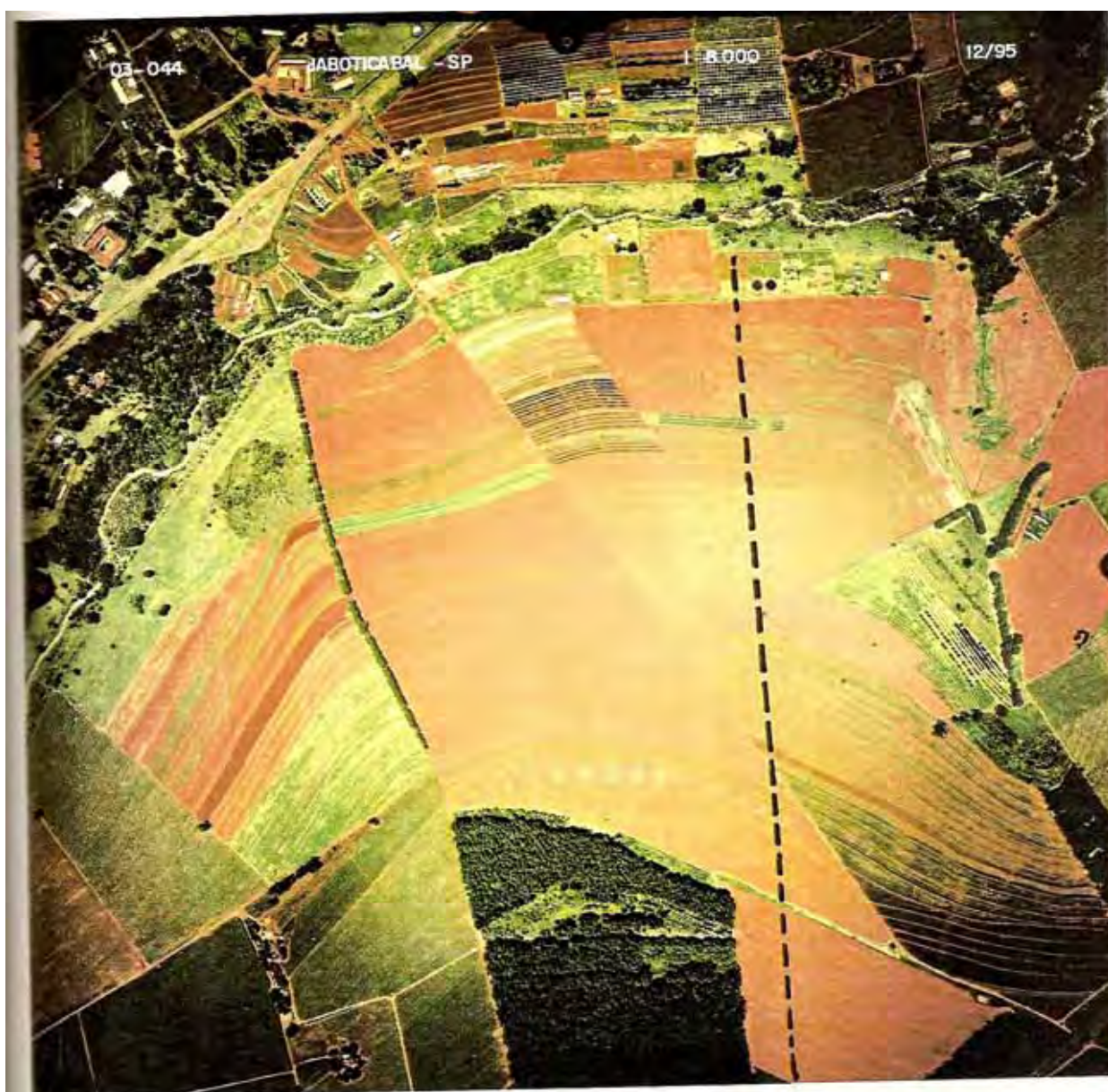
- WEBSTER, R., WONG, I.F.T. A numerical procedure for testing soil boundaries interpreted from air photographs. **Photogrammetria**, v.24, p.59-72, 1969.
- WILDING, L.P., DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: **Pedogenesis and soil taxonomy. I concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p.83-116.
- YAPP, C.J. Effects of $AlOOH-FeOOH$ solid solution on goethite-hematite equilibrium. **Clays Clay Miner.**, v.31, p.239-40, 1983.
- ZEESE, R. et al. Mineralogy and stratigraphy of three deep lateritic profiles of the Jos Plateau (Central Nigeria). **Catena**, v.21, p.195-214, 1994.

ABSTRACT

The present work had as objective to relate the geomorphic surfaces of a transect at Jaboticabal (SP) region with the mineralogy, chemistry and physics of Latosols (Oxisols) distributed on it and the spatial variability of these attributes. The found results, in this context, supply important data for planning and experimental evaluations, besides subsidising information about the genesis and the evolution of the soils in the landscape. In this work, three geomorphic surfaces were identified and characterised, the soils under them were sampled in detail and analysed, and the spatial variability of them were studied through descriptive statistics and geo-statistics. The results of this study evidenced that: (1) the reason for the Latosols under the youngest geomorphic surface (III) have an oxidic mineralogy, and the soils under the oldest surface (I) have a kaolinitic mineralogy, is consequence of the regional sandstone–basalt lithostratigraphy; (2) the pedogenic environment under the geomorphic surface I, favoured minerals of better degree of crystallisation, confirmed by the larger value of crystallite average diameter and smaller width at half height of XRD peaks, when compared with the same minerals under the geomorphic surface III; (3) the best soil attributes to confirm the limits among geomorphic surfaces were: terrain inclination, iron from sulphuric acid digestion, light/heavy minerals ratio, silt/clay ratio, particle density, and kaolinite/(kaolinite+gibbsite) ratio; (4) the soil (Dusky-Red Latosol) under the more recent, erosional geomorphic surface (III), is less homogeneous (higher

spatial variability), with relation to the selected attributes than the soil (Dark-Red Latosol) under the older and flatter geomorphic surface (I); and (5) the differential spatial dependence, represented by the values of the reaches(r) in soils under the three geomorphic surfaces, for the majority of the selected attributes, indicates different sampling schemes and planning of experimental plots design for the geomorphic surfaces I, II and III.

ANEXOS



Tranção estudada - - - - -

Anexo 1. Foto aérea da área estudada, tirada em dezembro de 1995, na escala 1:8000.

Anexo 2. Balanço hídrico mensal, considerando a capacidade de água disponível (CAD) para cada unidade (CENTURION, 1998).

mês	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Solo (CAD, mm)									
			LE-1 (73,9)		LE-2 (99,2)		LE-3 (81,4)		LR (113,8)			
			def.	exc.	def.	exc.	def.	exc.	def.	exc.		
Janeiro	240	23,6	0	124	0	124	0	123	0	124	0	124
Fevereiro	211	23,5	0	111	0	111	0	110	0	111	0	111
Março	168	23,2	0	66	0	66	0	65	0	66	0	66
Abril	70	21,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maior	46	19,2	2	0	1	0	2	0	2	0	1	0
Junho	45	17,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Julho	26	17,7	7	0	6	0	7	0	7	0	5	0
Agosto	24	19,8	23	0	19	0	22	0	22	0	17	0
Setembro	59	21,5	15	0	12	0	15	0	15	0	11	0
Outubro	140	22,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembro	151	23,1	0	30	0	21	0	25	0	25	0	18
Dezembro	248	23,3	0	135	0	135	0	134	0	134	0	135
Ano	1428	21,0	49	467	40	459	49	460	36	455		

- Ap 0-21cm: bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4 úmida); franco argilo arenoso; franca a moderada, pequena, granular e blocos angulares e subangulares, pequena e média, muito coesa; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- AB 21-53 cm: vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmida); argila arenosa; fraca, média e pequena, blocos subangulares, moderada, pequena, granular, duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- BA 53-80 cm: vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmida); argila arenosa, fraca, média e pequena, blocos subangulares, moderada, pequena, granular, duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw1 80-121 cm: vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmida); argila arenosa, moderada, pequena, granular e fraca média e pequena, blocos subangulares, ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw2 121-185 cm: similar ao Bw1.
- Bw3 185 cm+: similar ao Bw2.

Anexo 3. Descrição morfológica de perfil do Latossolo Vermelho-Escuro (LE-1), argiloso, relevo plano ou suave ondulado (CENTURION, 1998).

- Ap 0-15cm: bruno avermelhado escuro (2,5 YR 2,5/4 úmida); argilosa, fraca, pequena, granular; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada, muitos poros.
- AB 15-43 cm: bruno vermelhado escuro (2,5 YR 3/4 úmida); argilosa; fraca, média, blocos subangulares, muito duro, muito firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- BA 43-72 cm: vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmida); argilosa; fraca, média, blocos subangulares, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw1 72-102 cm: bruno vermelhado escuro (2,5 YR 3/4 úmida); argilosa, fraca média, blocos subangulares, duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw2 102-170 cm: vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmida); argilosa; fraca, média, blocos subangulares; macia, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw3 170 cm+: similar ao Bw2.

Obs.: presença de carvão vegetal nos horizontes Bw1 e Bw2.

Anexo 4. Descrição morfológica de perfil do Latossolo Vermelho-Escuro (LE-2), argiloso, relevo plano – perfil 1 (CENTURION, 1998).

- A₁ 0-21cm: bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/2 úmida); argilosa, forte e pequena, granular; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
- A_m 21-39 cm: bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4 úmida); muito argiloso, moderada, média e pequena, granular; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
- AB 39-68 cm: bruno vermelhado escuro (2,5 YR 4/4 úmida); muito argiloso; moderada e fraca, média, blocos subangulares, duro, firme, ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição gradual e plana.
- BA 68-100 cm: vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmida); muito argiloso; fraca, média e pequena, blocos subangulares e moderada, pequena, granular; ligeiramente duro, macio, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw1 100-152 cm: vermelhado (2,5 YR 4/6 úmida); muito argiloso; fraca, média e pequena, blocos subangulares e moderada a forte, pequena granular, ligeiramente duro, muito macio, plástico e pegajoso; transição difusa e clara.
- Bw2 152-207 cm: similar ao Bw1.
- Bw3 270 cm+: similar ao Bw2.

Anexo 5. Descrição morfológica de perfil do Latossolo Vermelho-Escuro (LE-3), muito argiloso (CENTURION, 1998).

- Ap 0-26 cm: bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4 úmida); argilosa, blocos pequenos e médios sem superfície de fraqueza definida, e blocos subangulares, média, fraca/moderada; muito duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- AB 26-58 cm: bruno vermelhado escuro (2,5 YR 3/4 úmida); muito argilosa, blocos subangulares, pequena, fraca; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- BA 58-78 cm: vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmida); muito argilosa; blocos subangulares pequena, fraca e granular muito pequena, forte, macio, friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw1 78-154 cm: vermelhado escuro (2,5 YR 3/6 úmida); argilosa, blocos subangulares, pequena, fraca com predomínio de granular muito pequena, forte; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw2 154-220 cm+: similar ao Bw1.

Anexo 6. Descrição morfológica de perfil do Latossolo Roxo (LR) muito argiloso (CENTURION, 1998).

Anexo 7. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho Escuro (LE-1), eutrófico, A moderado, argiloso, fase florestal tropical subperenifolia, relevo plano ou suave ondulado (CENTURION, 1998).

Horizonte		Volumen de Frações $1F$ ($g kg^{-1}$)					Argila dispersa em água ($g kg^{-1}$)		Carga de flocculação (%)		Umidade ($g g^{-1}$)	
Classificação	Profundidade (cm)	Areia grossa $2-0,20 mm$	Areia fina $0,20-0,075 mm$	Silte $0,075-0,002 mm$	Argila <math>< 0,002 mm</math>	Argila dispersa em água ($g kg^{-1}$)	Argila dispersa em água ($g kg^{-1}$)	Argila dispersa em água ($g kg^{-1}$)	Umidade (%)	Umidade (%)	Saca	Real
Ap	0 - 21	230	290	30	330	290	290	290	12	0,15	4,72	2,60
A01	21 - 55	270	300	10	430	330	330	330	11	0,05	1,38	2,38
B1A	55 - 80	260	230	30	460	300	300	300	9	0,07	1,50	2,65
B0a	80 - 121	290	240	30	450	310	310	310	13	0,08	1,50	2,82
B0b	121 - 185	220	310	40	430	320	320	320	12	0,09	1,41	2,67
B0c	185 -	230	310	10	430	330	330	330	11	0,11	1,40	2,64

pH	Título	BÁSES ERÓGÁVEIS			Valor SMI $C + Mg + K$	Acidez Titulável H^+	Endoponto $E_{500,0}$	Valor T $SBI-MOH$	Valor V $[pH]SIP$	Som com absorção $[100]M^2 SBI-MOH$
		Ca^{++}	Mg^{++}	K^+						
5,9	-4,5	22	6	0,5	28,5	18	40,0	39	5	
5,9	-4,6	24	9	0,8	33,8	18	53,3	65	6	
6,0	-4,0	16	6	0,3	22,3	22	41,7	51	0	
6,1	-3,7	12	4	0,6	16,6	13	29,9	50	0	
5,8	-3,0	10	3	0,8	13,8	15	28,8	48	0	
6,0	-3,2	12	4	0,5	16,5	13	29,5	50	0	

ALUMÍNIO DIFUSÍVEL		SOM Ca^{++}		SOM Mg^{++}		SOM K^+		SOM $Ca^{++} + Mg^{++} + K^+$	
Ca^{++}	Mg^{++}	Ca^{++}	Mg^{++}	Ca^{++}	Mg^{++}	Ca^{++}	Mg^{++}	Ca^{++}	Mg^{++}
150	135	44	2,9	1,5	3,92	1	21	90	90
138	160	40	2,2	1,0	3,18	2	14	44	44
127	160	44	2,3	1,3	3,92	2	11	51	51
136	120	61	3,8	1,1	4,37	1	10	38	38
125	160	40	2,2	1,1	4,10	1	10	41	41
116	200	41	2,8	0,8	3,23	1	8	17	17

Anexo 8. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho Escuro (LE-2), distrófico, A moderado, argiloso, fase florestal tropical subperenifolia, relevo plano – perfil 2 (CENTURION, 1998).

Horizonte		Composição Elementar (g kg ⁻¹)						Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)		Clima de floresta (%)		Umidade (g kg ⁻¹)	
Seabolo	Profundidade (cm)	Árvore grossa 2 a 10 mm	Árvore fina 0,20 a 0,50 mm	Silica 0,45 a 0,052 mm	Argila < 0,002 mm	Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)	Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)	Clima de floresta (%)	Umidade (g kg ⁻¹)	Silica / Argila	Silica	Argila	
Ap	0 - 20	320	190	20	220	200	200	26	0,13				
AD	20 - 54	260	150	20	170	200	200	32	0,08				
EA	54 - 64	260	160	20	160	200	200	12	0,08				
BW ₁	64 - 100	240	160	30	170	200	200	10	0,10				
BW ₂	100 - 200 +	230	160	40	170	210	210	11	0,11				

pH	pH	BASES TROVÁVEIS			Valor SU C a Mg K	Análise Trovável Al ³⁺	Histograma Fretado H ⁺	Valor V 50 (SU/1)	Valor V 100 (SU/1)	SU sem alumínio (SU/10 ³ SU/Al ³⁺)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺						
4,3	4,2	7	4	2,2	13,3	14,6	11,4	60,2	22	53
4,9	4,3	6	3	1,2	10,2	11,0	19,4	41,2	25	51
5,2	4,5	8	4	1,1	13,1	7,0	11,0	41,1	32	35
5,5	4,8	16	5	0,6	11,6	2,8	12,2	16,6	46	12
5,9	4,3	8	4	1,1	11,1	4,3	13,7	41,3	32	24

ATMOSFERA SUPERFÍCIE		SU _v (SU/1)		SU _s (SU/1)		SU _t (SU/1)		SU _v (SU/1)		SU _s (SU/1)		SU _t (SU/1)	
SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	CO	H ₂	NO	NO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	CO	H ₂
133	94	40	2,2	6,6	4,50	1,8	1,6	1,68	3	1,6	103		
119	129	44	6,6	4,5	4,50	1,8	1,6	4,50	4	1,6	99		
118	115	48	1,9	1,5	1,10	1,8	1,6	1,10	4	2	51		
150	130	51	2,9	1,6	2,97	1,8	1,6	2,97	4	6	50		
115	128	49	2,0	1,6	1,11	1,8	1,6	1,11	3	11	50		

Anexo 9. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho Escuro (LE-3), eutrófico, A moderado, muito argiloso, fase florestal tropical subperenifolia, relevo suave ondulado (CENTURION, 1998).

Horizonte		Composição granulométrica (%) (g kg ⁻¹)						Água disponível com água		Cau de floresta		Umidade (kg dm ⁻³)	
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,075 mm	Silte 0,075-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	Argila	(g kg ⁻¹)	(%)	Valor V (g kg ⁻¹)	Valor V (g kg ⁻¹)	Solo	Real	
A _v	0 - 21	140	110	160	590		470	20		0,27	1,81	2,56	
A _{1v}	21 - 39	110	110	140	640		560	13		0,22	1,15	2,59	
A _{2v}	39 - 48	90	100	160	650		400	16		0,25	1,78	2,71	
B _{1A}	68 - 100	80	110	140	670		570	15		0,21	1,15	2,69	
B _{2v}	100 - 152	100	100	160	640		590	4		0,25	1,11	2,68	
B _{3v}	152 - 207	80	120	170	630		510	19		0,26	1,17	2,72	
B _{4v}	207 -	90	110	120	640		480	29		0,18	1,17	2,71	

pH	Título	BASES TROVAVELIS			Valores CV	Valores S _D	Análise Trovável	Hidrogênio (atômico)	Valor V	Valor V	Sai com alumínio
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺							
7,0	6,1	43	21	8,6	111,6	0	18	111,6	46	0	
7,1	5,7	47	18	5,8	70,4	0	25	91,8	25	0	
8,6	5,5	23	12	4,2	39,2	0	20	59,2	66	0	
6,9	5,4	19	10	2,7	31,7	0	18	49,7	64	0	
7,0	6,0	32	11	3,2	44,2	0	12	66,2	80	0	
7,2	6,5	19	11	2,9	32,9	0	11	44,9	73	0	
7,3	6,3	16	11	3,2	36,2	0	11	41,2	73	0	

SiO ₂	ALUMÍNIO SOLÚVEL (g kg ⁻¹)		SULFATO		FOSFATO		MATERIA ORGÂNICA		MATERIA ORGÂNICA	
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	g dm ⁻³	g dm ⁻³	total	g dm ⁻³
151	215	191	1,1	0,4	2,19	0,1	12	61	192	
118	250	150	0,9	0,7	2,61	0,7	7	44	110	
157	275	163	1,0	0,7	2,65	0,7	6	17	60	
156	280	166	0,9	0,7	2,65	0,9	5	43	47	
144	269	151	0,9	0,7	2,70	0,7	7	16	75	
134	270	178	0,8	0,6	2,18	0,6	2	18	52	
107	275	168	0,6	0,5	2,65	0,5	1	18	41	

Anexo 10. Características físicas e químicas do Latossolo Roxo (LR), eutrófico, A moderado, muito argiloso, fase florestal tropical subperenifolia, relevo ondulado (CENTURION, 1998).

Horizonte	Composição textural (base 1:1 G.Kg ⁻¹)					Argila dispersa em água (g.kg ⁻¹)	Índice de flocculação (%)	Porosidade (p.p. des.)	
	Areia grossa > 0,20 mm	Areia fina 0,20-0,075 mm	Silte 0,075-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	Soma			Soma	Índice
Ap	90	90	230	600		340	40	0,17	2,85
A1B	70	90	210	430		0	100	0,33	2,60
B1A	70	90	200	640		0	100	0,34	2,73
B1B	70	100	230	600		0	100	0,38	2,69
B1C	70	100	210	630		0	100	0,34	2,76

pH	Densidade aparente (g.kg ⁻¹)	BÁSIS TRICÁLVANICA			Valor SII (x 10 ³ mg.kg ⁻¹)	Análise funcional Al ³⁺	Hidrogênio fixado H ⁺	Valor V 100 (SII/V)	Saturação de bases 100 (Al ³⁺ SII/Al ³⁺) (%)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺					
6,3	5,6	46	21	3,2	72,2	0	37	66	0
6,3	5,9	46	14	1,9	81,9	0	23	84,9	0
6,2	6,0	29	8	2,7	39,7	0	22	64	0
6,2	6,1	24	4	0,9	24,9	0	22	80,9	0
6,1	6,0	18	4	0,7	22,7	0	21	43,7	0

SOD ₁ (g.kg ⁻¹)	ATACORREABILIDADE		SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (m ³)	SOD ₂ /CaCl ₂ (m ³)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	P ₂ Solúvel (mg.kg ⁻¹)	MATÉRIA ORGÂNICA (g.kg ⁻¹)	RAI (10 ³ CaCl ₂ / 100 (SOD ₂ / Al ³⁺))
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃						
113	233	203	0,8	0,33	1,80	46	24	120
430	230	207	0,9	0,55	1,42	8	18	98
120	265	222	0,8	0,50	1,67	6	11	62
420	270	216	0,8	0,51	1,71	6	7	60
98	300	219	0,6	0,47	1,66	4	8	17



Anexo 11. Perfil de Latossolo Vermelho-Escuro argiloso (LE-1), do Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso (LE-3) e do Latossolo Roxo eutrófico (LR), onde foram coletadas as amostras estudadas, de 60 a 80 cm de profundidade (CENTURION, 1998).

Anexo 12. Atributos físicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.

Ponto	Superfície P Geomórfica/ Solo	Distância do topo (m)	Arg/Fe _d	DP (kg.dm ³)	Arg (g.g ⁻¹)	Sílte/Arg	AF/AG
1	I/LE-2	0,0	8,86	2,44	310	0,11	3,00
2	I/LE-2	25,0	7,50	2,53	360	0,11	6,34
3	I/LE-2	37,5	-	-	-	-	-
4	I/LE-2	50,0	9,74	2,47	370	0,10	4,75
5	I/LE-2	56,5	-	-	-	-	-
6	I/LE-2	68,8	-	-	-	-	-
7	I/LE-2	75,0	14,80	2,41	370	0,12	4,67
8	I/LE-2	100,0	9,75	2,50	390	0,15	5,67
9	I/LE-2	106,5	-	-	-	-	-
10	I/LE-2	112,5	-	-	-	-	-
11	I/LE-2	118,8	-	-	-	-	-
12	I/LE-2	125,0	11,47	2,47	390	0,10	8,01
13	I/LE-2	137,5	-	-	-	-	-
14	I/LE-2	150,0	17,73	2,30	390	0,11	6,01
15	I/LE-2	175,0	14,81	2,44	400	0,19	5,34
16	I/LE-2	187,5	-	-	-	-	-
17	I/LE-2	200,0	12,00	2,38	377	0,07	4,75
18	I/LE-2	225,0	11,52	2,35	380	0,09	6,51
19	I/LE-2	250,0	11,43	2,50	320	0,12	6,01
20	I/LE-2	275,0	10,26	2,50	390	0,12	4,33
21	I/LE-2	300,0	17,73	2,41	390	0,15	5,89
22	I/LE-2	325,0	12,12	2,47	400	0,10	8,01
23	I/LE-1	350,0	9,09	2,50	400	0,09	5,67
24	I/LE-1	362,5	-	-	-	-	-
25	I/LE-1	375,0	21,05	2,47	400	0,14	4,34
26	I/LE-1	400,0	10,00	2,47	440	0,13	8,50
27	I/LE-1	425,0	9,36	2,50	440	0,06	4,67
28	II/LE-1	450,0	8,68	2,47	460	0,03	5,33
29	II/LE-1	475,0	8,36	2,44	460	0,12	12,01
30	II/LE-1	500,0	10,70	2,47	460	0,18	7,50
31	II/LE-1	525,0	13,94	2,63	460	0,11	6,00
32	II/LE-1	531,5	-	-	-	-	-
33	II/LE-1	543,8	-	-	-	-	-
34	II/LE-1	550,0	9,84	2,63	620	0,08	6,51
35	II/LE-1	575,0	6,39	2,60	390	0,09	9,00
36	II/LE-1	600,0	4,44	2,63	320	0,11	5,50
37	II/LE-1	625,0	6,06	2,60	430	0,11	5,00
38	II/LE-1	650,0	6,00	2,56	420	0,12	5,02
39	II/LE-1	675,0	5,44	2,63	430	0,10	8,01
40	II/LE-1	687,5	-	-	-	-	-
41	II/LE-1	700,0	7,23	2,74	470	0,12	9,02
42	II/LE-1	725,0	7,43	2,74	520	0,12	7,01
43	II/LE-1	750,0	7,58	2,70	470	0,11	9,01

Continuação... Anexo 12..

44	II/LE-1	756,5	-	-	-	-	-
45	II/LE-1	762,5	-	-	-	-	-
46	II/LE-1	768,8	-	-	-	-	-
47	II/LE-1	775,0	8,00	2,70	560	0,17	7,00
48	II/LE-1	800,0	9,03	2,56	560	0,20	8,01
49	II/LE-1	825,0	11,91	2,70	560	0,11	7,01
50	II/LE-3	850,0	9,54	2,77	620	0,15	8,01
51	II/LE-3	875,0	8,41	2,66	580	0,13	8,01
52	II/LE-3	900,0	5,16	2,63	320	0,15	7,01
53	II/LE-3	925,0	10,69	2,70	620	0,15	5,01
54	II/LE-3	950,0	9,54	2,63	620	0,16	6,00
55	II/LE-3	962,5	-	-	-	-	-
56	II/LE-3	975,0	12,50	2,60	650	0,15	5,00
57	II/LE-3	1000,0	13,47	2,47	660	0,21	6,00
58	II/LE-3	1025,0	13,96	2,66	670	0,14	4,00
59	II/LE-3	1050,0	9,18	2,66	670	0,16	5,00
60	II/LE-3	1075,0	9,44	2,66	680	0,15	4,00
61	II/LE-3	1100,0	7,50	2,74	660	0,18	4,72
62	II/LE-3	1125,0	8,31	2,63	690	0,22	3,53
63	II/LE-3	1150,0	8,12	2,63	690	0,20	29,41
64	II/LE-3	1175,0	7,44	2,66	610	0,22	20,00
65	II/LE-3	1200,0	7,16	2,56	630	0,26	25,00
66	II/LE-3	1225,0	8,80	2,77	660	0,24	23,07
67	II/LE-3	1250,0	8,47	2,78	720	0,22	26,66
68	II/LE-3	1275,0	9,73	2,78	710	0,27	23,07
69	II/LE-3	1287,5	-	-	-	-	-
70	II/LE-3	1300,0	7,67	2,70	660	0,30	29,99
71	II/LR	1306,5	-	-	-	-	-
72	II/LR	1312,5	-	-	-	-	-
73	II/LR	1318,8	-	-	-	-	-
74	II/LR	1325,0	8,38	2,86	570	0,37	30,00
75	III/LR	1350,0	5,71	2,60	520	0,38	27,27
76	III/LR	1375,0	8,40	2,74	680	0,44	25,00
77	III/LR	1400,0	11,31	2,86	690	0,44	16,66
78	III/LR	1425,0	8,07	2,74	670	0,47	23,07
79	III/LR	1431,5	-	-	-	-	-
80	III/LR	1443,8	-	-	-	-	-
81	III/LR	1450,0	8,33	2,78	700	0,46	23,07
82	III/LR	1475,0	7,05	2,78	670	0,24	21,42
83	III/LR	1487,5	-	-	-	-	-
84	III/LR	1500,0	6,82	2,86	600	0,42	21,42
85	III/LR	1525,0	6,85	2,82	610	0,45	18,75
86	III/LR	1550,0	6,42	2,90	520	0,38	20,00
87	III/LR	1575,0	8,49	2,90	620	0,39	3,00
88	III/LR	1587,5	-	-	-	-	-
89	III/LR	1600,0	7,02	2,66	590	0,58	5,00
90	III/LR	1625,0	6,79	2,90	570	0,29	7,01
91	III/LR	1650,0	4,12	2,78	350	0,42	4,00

Anexo 13. Atributos químicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.

Pontos	Superfície Geomórfica/ Solo	Distância do topo (m)	Fe _s (g.kg ⁻¹)	Fe _d (g.kg ⁻¹)	Fe _o (g.kg ⁻¹)	CTC Arg (mmol _c .dm ⁻³)	CTC Solo (mmol _c .dm ⁻³)
1	I/LE-2	0,0	62,1	35,0	4,0	59,4	44,5
2	I/LE-2	25,0	63,0	48,0	4,0	52,2	42,2
3	I/LE-2	37,5	-	37,0	5,1	-	-
4	I/LE-2	50,0	57,2	38,0	4,0	58,6	53,2
5	I/LE-2	56,5	-	32,0	3,6	-	-
6	I/LE-2	68,8	-	35,0	4,4	-	-
7	I/LE-2	75,0	56,7	25,0	4,0	48,6	43,1
8	I/LE-2	100,0	56,9	40,0	4,0	30,8	38,1
9	I/LE-2	106,5	-	36,0	5,4	-	-
10	I/LE-2	112,5	-	35,0	3,9	-	-
11	I/LE-2	118,8	-	32,0	3,6	-	-
12	I/LE-2	125,0	52,2	34,0	4,0	45,4	41,1
13	I/LE-2	137,5	-	33,0	3,3	-	-
14	I/LE-2	150,0	56,9	22,0	5,0	31,7	48,8
15	I/LE-2	175,0	51,8	27,0	4,0	36,5	40,7
16	I/LE-2	187,5	-	34,0	3,6	-	-
17	I/LE-2	200,0	57,9	20,0	4,0	68,3	42,5
18	I/LE-2	225,0	57,9	33,0	3,0	36,8	42,8
19	I/LE-2	250,0	61,9	28,0	4,0	75,0	47,4
20	I/LE-2	275,0	60,9	38,0	4,0	42,7	37,8
21	I/LE-2	300,0	63,2	22,0	5,0	48,2	47,6
22	I/LE-2	325,0	74,7	33,0	4,0	45,5	41,6
23	I/LE-1	350,0	69,8	44,0	3,0	43,3	43,4
24	I/LE-1	362,5	-	38,0	6,0	-	-
25	I/LE-1	375,0	75,4	19,0	4,0	49,1	40,8
26	I/LE-1	400,0	69,5	44,0	4,0	50,7	48,4
27	I/LE-1	425,0	76,3	47,0	6,0	61,6	53,2
28	II/LE-1	450,0	82,9	53,0	4,0	51,3	47,0
29	II/LE-1	475,0	89,1	55,0	3,0	35,9	42,6
30	II/LE-1	500,0	94,8	43,0	5,0	42,6	45,7
31	II/LE-1	525,0	93,6	33,0	6,0	48,5	45,7
32	II/LE-1	531,5	-	46,0	5,9	-	-
33	II/LE-1	543,8	-	49,0	6,1	-	-
34	II/LE-1	550,0	96,1	63,0	8,0	36,0	45,7
35	II/LE-1	575,0	99,4	61,0	6,0	53,3	81,1
36	II/LE-1	600,0	104,1	72,0	7,0	45,8	35,8
37	II/LE-1	625,0	102,7	71,0	6,0	44,3	34,8
38	II/LE-1	650,0	100,1	70,0	8,0	48,0	41,3
39	II/LE-1	675,0	111,3	79,0	8,0	29,4	33,8
40	II/LE-1	687,5	-	52,0	8,0	-	-
41	II/LE-1	700,0	112,3	65,0	8,0	45,9	41,7
42	II/LE-1	725,0	109,5	70,0	7,0	31,3	42,4
43	II/LE-1	750,0	109,9	62,0	6,0	56,6	50,0
44	II/LE-1	756,5	-	50,0	8,0	-	-

Continuação... Anexo 13

45	II/LE-1	762,5	-	44,0	7,0	-	-
46	II/LE-1	768,8	-	45,0	7,0	-	-
47	II/LE-1	775,0	114,4	70,0	6,0	47,5	58,1
48	II/LE-1	800,0	105,9	62,0	6,0	52,5	55,5
49	II/LE-1	825,0	112,0	47,0	3,0	45,9	54,5
50	II/LE-3	850,0	106,2	65,0	5,0	45,9	58,0
51	II/LE-3	875,0	109,9	69,0	5,0	38,6	48,5
52	II/LE-3	900,0	113,4	62,0	4,0	93,4	61,4
53	II/LE-3	925,0	115,3	58,0	5,0	21,9	71,2
54	II/LE-3	950,0	118,5	65,0	6,0	42,7	58,0
55	II/LE-3	962,5	-	45,0	5,0	-	-
56	II/LE-3	975,0	115,7	52,0	3,0	43,8	57,3
57	II/LE-3	1000,0	116,7	49,0	4,0	39,7	60,4
58	II/LE-3	1025,0	121,4	48,0	5,0	41,7	72,5
59	II/LE-3	1050,0	112,3	73,0	6,0	39,1	57,7
60	II/LE-3	1075,0	123,4	72,0	6,0	35,5	60,6
61	II/LE-3	1100,0	124,4	88,0	8,0	53,9	77,4
62	II/LE-3	1125,0	114,4	83,0	4,0	43,3	58,7
63	II/LE-3	1150,0	133,2	85,0	10,0	35,1	58,4
64	II/LE-3	1175,0	134,2	82,0	11,0	64,0	78,2
65	II/LE-3	1200,0	133,0	88,0	10,0	81,5	93,2
66	II/LE-3	1225,0	155,2	75,0	10,0	59,1	73,2
67	II/LE-3	1250,0	100,8	85,0	9,0	52,5	63,9
68	II/LE-3	1275,0	153,3	73,0	9,0	66,2	75,8
69	II/LE-3	1287,5	-	63,0	11,0	-	-
70	II/LE-3	1300,0	157,8	86,0	11,0	57,0	71,8
71	II/LR	1306,5	-	84,0	10,0	-	-
72	II/LR	1312,5	-	68,0	10,0	-	-
73	II/LR	1318,8	-	59,0	11,0	-	-
74	II/LR	1325,0	223,1	68,0	12,0	73,9	73,6
75	III/LR	1350,0	237,8	91,0	12,0	87,9	79,9
76	III/LR	1375,0	237,8	81,0	12,0	54,7	63,3
77	III/LR	1400,0	252,5	61,0	13,0	29,6	65,0
78	III/LR	1425,0	252,5	83,0	13,0	36,0	58,3
79	III/LR	1431,5	-	61,0	15,0	-	-
80	III/LR	1443,8	-	57,0	15,0	-	-
81	III/LR	1450,0	-	84,0	13,0	46,1	61,1
82	III/LR	1475,0	267,6	95,0	13,0	18,6	51,6
83	III/LR	1487,5	-	58,0	12,0	-	-
84	III/LR	1500,0	264,1	88,0	14,0	16,2	43,9
85	III/LR	1525,0	231,5	89,0	12,0	21,6	42,0
86	III/LR	1550,0	253,0	81,0	14,0	21,3	42,6
87	III/LR	1575,0	248,3	73,0	14,0	29,6	58,3
88	III/LR	1587,5	-	64,0	14,0	-	-
89	III/LR	1600,0	173,1	84,0	13,0	13,8	44,6
90	III/LR	1625,0	199,2	84,0	10,0	26,8	49,5
91	III/LR	1650,0	231,8	85,0	13,0	83,6	68,4

Continuação... Anexo 13. Atributos químicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.

Pontos	Superfície Geomórfica/ Solo	Delta pH	Al ³⁺ (mmol _c .dm ⁻³)	pH CaCl ₂	SB (mmol _c .dm ⁻³)	V (%)	Matéria Orgânica (%)
1	I/LE-2	0,8	2,3	4,5	13,5	30,0	1
2	I/LE-2	0,7	3,2	4,6	11,2	27,0	0,9
3	I/LE-2	1,4	-	-	-	-	-
4	I/LE-2	0,4	1,5	4,2	11,2	21,0	1,2
5	I/LE-2	1,3	-	-	-	-	-
6	I/LE-2	1,3	-	-	-	-	-
7	I/LE-2	1,0	1,5	4,9	17,0	40,5	1,4
8	I/LE-2	0,9	1,4	4,7	13,1	34,0	1
9	I/LE-2	1,5	-	-	-	-	-
10	I/LE-2	1,0	-	-	-	-	-
11	I/LE-2	1,3	-	-	-	-	-
12	I/LE-2	0,9	2,2	4,5	13,1	32,0	0,9
13	I/LE-2	1,3	-	-	-	-	-
14	I/LE-2	0,8	1,5	4,7	20,8	43,0	1,4
15	I/LE-2	0,7	1,7	4,6	12,7	31,0	1
16	I/LE-2	1,3	-	-	-	-	-
17	I/LE-2	1,0	0,7	4,8	17,5	41,0	1
18	I/LE-2	0,9	1,7	4,6	14,8	35,0	1,1
19	I/LE-2	0,9	1,7	5,0	22,4	47,0	0,9
20	I/LE-2	0,9	1,0	5,1	19,8	52,0	0,8
21	I/LE-2	0,8	1,1	4,8	19,6	41,0	1,1
22	I/LE-2	0,9	1,2	4,8	16,6	40,0	0,9
23	I/LE-1	0,9	0,9	4,7	15,4	35,0	1
24	I/LE-1	1,3	-	-	-	-	-
25	I/LE-1	0,8	1,1	5,4	24,8	61,0	0,8
26	I/LE-1	0,7	0,9	5,0	23,4	48,0	1
27	I/LE-1	0,6	1,3	4,7	22,2	42,0	1
28	II/LE-1	0,9	1,7	4,6	16,0	34,0	0,9
29	II/LE-1	0,9	0,9	4,8	17,6	41,0	1
30	II/LE-1	0,9	1,1	5,0	20,7	45,0	1
31	II/LE-1	0,7	1,1	5,4	27,7	61,0	0,9
32	II/LE-1	0,7	-	-	-	-	-
33	II/LE-1	1,2	-	-	-	-	-
34	II/LE-1	0,6	1,1	5,0	20,7	45,0	0,9
35	II/LE-1	0,6	0,9	5,3	50,1	62,0	2,3
36	II/LE-1	0,8	1,1	5,1	15,8	44,0	0,8
37	II/LE-1	0,6	0,0	5,3	16,8	48,0	0,6
38	II/LE-1	0,6	0,0	5,2	23,3	56,0	0,8
39	II/LE-1	0,8	0,0	5,0	13,8	41,0	0,8
40	II/LE-1	0,9	-	-	-	-	-
41	II/LE-1	0,6	0,0	5,4	23,7	57,0	0,8
42	II/LE-1	0,7	0,0	5,5	24,4	58,0	1
43	II/LE-1	1,0	0,0	5,7	32,0	64,0	0,9
44	II/LE-1	1,1	-	-	-	-	-

Continuação... Anexo 13.

45	II/LE-1	1,2	-	-	-	-	-
46	II/LE-1	0,9	-	-	-	-	-
47	II/LE-1	0,7	0,0	5,5	38,1	66,0	1,2
48	II/LE-1	1,10	0,0	5,6	37,5	68,0	1
49	II/LE-1	0,7	0,0	5,6	36,5	67,0	1,1
50	II/LE-3	0,9	0,0	7,0	37,9	63,0	1,2
51	II/LE-3	1,0	0,0	5,6	30,5	63,0	1
52	II/LE-3	1,0	0,0	5,7	43,4	71,0	1,2
53	II/LE-3	1,0	0,0	4,8	33,2	47,0	2,2
54	II/LE-3	1,0	0,0	5,3	33,0	57,0	1,2
55	II/LE-3	0,9	-	-	-	-	-
56	II/LE-3	1,0	0,0	5,7	39,3	69,0	1,1
57	II/LE-3	0,9	0,0	5,6	40,4	67,0	1,3
58	II/LE-3	1,1	0,0	5,6	47,5	66,0	1,7
59	II/LE-3	0,9	0,0	5,7	37,7	65,0	1,2
60	II/LE-3	1,2	0,0	5,6	40,6	67,0	1,4
61	II/LE-3	0,7	0,0	5,9	61,4	79,0	1,6
62	II/LE-3	1,0	0,0	5,8	40,7	69,0	1,1
63	II/LE-3	0,8	0,0	5,5	38,4	66,0	1,3
64	II/LE-3	1,6	0,0	5,9	62,2	80,0	1,5
65	II/LE-3	0,3	0,0	6,0	80,2	86,0	1,6
66	II/LE-3	1,0	0,0	6,0	58,2	80,0	1,3
67	II/LE-3	0,4	0,0	6,0	48,9	77,0	1
68	II/LE-3	1,3	0,0	6,0	62,8	83,0	1,1
69	II/LE-3	0,9	-	-	-	-	-
70	II/LE-3	0,5	0,0	6,0	55,8	78,0	1,3
71	II/LR	0,9	-	-	-	-	-
72	II/LR	0,9	-	-	-	-	-
73	II/LR	0,8	-	-	-	-	-
74	II/LR	0,8	0,0	6,1	60,6	82,0	1,2
75	III/LR	0,8	0,0	6,1	66,9	84,0	1,3
76	III/LR	0,9	0,0	6,1	50,3	79,0	1
77	III/LR	0,8	0,0	5,8	47,0	72,0	1,7
78	III/LR	0,8	0,0	5,9	40,3	69,0	1,3
79	III/LR	0,9	-	-	-	-	-
80	III/LR	1,3	-	-	-	-	-
81	III/LR	0,6	0,0	6,0	48,1	79,0	1,1
82	III/LR	0,7	0,0	5,3	26,6	52,0	1,5
83	III/LR	0,8	-	-	-	-	-
84	III/LR	0,7	0,0	5,0	23,9	54,0	1,3
85	III/LR	0,8	0,0	5,2	22,0	52,0	1,1
86	III/LR	0,5	0,0	5,4	22,6	53,0	1,2
87	III/LR	0,8	0,0	6,4	37,4	60,0	1,4
88	III/LR	0,7	-	-	-	-	-
89	III/LR	0,5	0,0	5,2	19,6	44,0	1,3
90	III/LR	0,6	0,0	5,5	29,5	60,0	1,5
91	III/LR	1,0	0,0	5,3	37,4	55,0	2

Anexo 14. Atributos mineralógicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.

Pontos	Superfície Geomórfica/ Solo	Distância do topo (m)	APGt(c m ²)	AP Hm (cm ²)	AP An (cm ²)	AP Ct (cm ²)	AP Gb (cm ²)	SI Gt (mol % Al)
1	I/LE-2	0,00	0,42	0,77	0,92	1,34	0,40	13,4
2	I/LE-2	25,00	0,45	0,58	1,04	1,65	0,40	6,5
3	I/LE-2	37,50	0,36	0,57	0,86	1,43	0,47	-
4	I/LE2	50,00	0,33	0,79	0,90	1,42	0,37	-
5	I/LE-2	56,50	0,20	0,66	1,00	1,47	0,33	9,4
6	I/LE-2	68,75	0,41	0,56	0,96	1,48	0,47	-
7	I/LE-2	75,00	0,27	0,63	1,01	1,59	0,45	9,4
8	I/LE-2	100,00	0,21	0,83	1,12	1,34	0,37	7,7
9	I/LE2	106,50	0,24	0,79	0,97	1,38	0,37	-
10	I/LE-2	112,50	0,24	0,54	0,93	1,45	0,40	-
11	I/LE-2	118,75	0,23	0,58	0,73	1,51	0,41	7,7
12	I/LE-2	125,00	0,12	0,54	0,72	1,59	0,37	1,4
13	I/LE-2	137,50	0,36	0,66	1,04	1,31	0,30	12,8
14	I/LE2	150,00	0,25	0,64	1,00	1,71	0,35	-
15	I/LE-2	175,00	0,21	0,83	1,00	1,35	0,31	-
16	I/LE-2	187,50	0,22	0,59	0,89	1,47	0,33	20,2
17	I/LE-2	200,00	0,24	0,42	1,03	1,53	0,31	-
18	I/LE-2	225,00	0,28	0,59	0,95	1,68	0,30	-
19	I/LE2	250,00	0,26	0,53	1,07	1,53	0,37	19,1
20	I/LE-2	275,00	0,28	0,73	0,93	1,68	0,32	15,7
21	I/LE-2	300,00	0,31	0,65	1,12	1,43	0,37	-
22	I/LE-2	325,00	0,16	0,72	1,05	1,55	0,41	-
23	I/LE-1	350,00	0,24	0,57	0,88	1,47	0,45	-
24	I/LE-1	362,50	0,16	0,69	0,80	1,52	0,45	-
25	I/LE-1	375,00	0,27	0,58	0,67	1,38	0,49	-
26	I/LE-1	400,00	0,12	0,61	0,57	1,52	0,49	7,1
27	I/LE-1	425,00	-	0,56	0,64	1,57	0,60	-
28	II/LE-1	450,00	0,25	0,65	0,76	1,84	0,55	-
29	II/LE-1	475,00	-	0,53	0,71	1,68	0,52	-
30	II/LE1	500,00	-	0,61	0,88	1,69	0,50	-
31	IILE-1	525,00	-	0,62	0,90	1,58	0,64	-
32	II/LE-1	531,50	0,16	0,75	1,09	1,17	0,48	-
33	II/LE-1	543,75	0,14	0,59	0,72	0,98	0,54	-
34	II/LE1	550,00	0,18	0,49	0,88	1,33	0,82	-
35	IILE-1	575,00	-	0,59	0,78	1,31	0,73	-
36	II/LE-1	600,00	0,22	0,52	0,76	1,47	0,75	-
37	II/LE-1	625,00	0,16	0,65	1,06	1,46	0,78	5,9
38	II/LE1	650,00	0,16	0,48	0,63	1,39	0,91	-
39	IILE-1	675,00	-	0,49	0,59	1,41	0,71	-
40	II/LE-1	687,50	0,16	0,54	0,83	1,02	0,67	18,5
41	II/LE-1	700,00	0,20	0,78	0,46	1,44	0,83	-
42	II/LE1	725,00	0,17	0,58	0,88	1,47	0,88	10,5
43	IILE-1	750,00	0,14	0,66	0,67	1,60	0,69	-
44	II/LE-1	756,50	0,15	0,53	1,05	1,44	1,11	-
45	II/LE-1	762,50	0,24	0,80	1,13	1,43	0,89	-
46	II/LE1	768,75	-	0,69	1,17	1,55	0,73	-

Continuação... Anexo 14. Atributos mineralógicos na profundidade de 60 a 80 cm.

47	II/LE-1	775,00	0,16	0,44	1,06	1,58	0,76	-
48	II/LE-1	800,00	0,16	0,53	0,83	1,13	0,78	-
49	II/LE-1	825,00	-	0,62	0,97	1,72	0,84	-
50	II/LE-3	850,00	0,11	0,68	1,34	1,34	0,68	-
51	II/LE3	875,00	0,14	0,66	1,01	1,38	0,80	-
52	II/LE3	900,00	0,22	0,43	1,04	1,51	0,95	-
53	II/LE-3	925,00	0,18	0,55	1,10	1,53	0,88	10,0
54	II/LE-3	950,00	0,13	0,61	1,03	1,47	0,78	-
55	II/LE-3	962,50	0,36	0,62	1,15	1,55	0,88	8,2
56	II/LE-3	975,00	0,22	0,54	1,00	1,33	0,74	-
57	II/LE-3	1000,00	0,28	0,66	1,18	1,50	0,95	-
58	II/LE-3	1025,00	0,12	0,89	0,58	1,26	0,76	-
59	II/LE-3	1050,00	0,12	0,93	0,56	1,41	0,91	-
60	II/LE-3	1075,00	0,28	0,43	0,77	1,45	0,87	-
61	II/LE-3	1100,00	0,36	0,61	0,90	1,35	1,05	-
62	II/LE-3	1125,00	0,14	0,60	0,78	1,36	0,84	-
63	II/LE-3	1150,00	0,18	0,51	0,84	1,08	0,96	-
64	II/LE-3	1175,00	0,18	0,60	0,56	1,02	0,92	-
65	II/LE-3	1200,00	0,16	0,78	0,92	1,19	0,93	-
66	II/LE-3	1225,00	0,25	0,75	0,68	0,93	0,81	-
67	II/LE-3	1250,00	0,17	0,66	0,73	1,14	0,94	-
68	II/LE-3	1275,00	0,28	0,77	0,68	1,06	1,12	11,1
69	II/LE-3	1287,50	0,14	0,73	0,80	1,27	1,21	-
70	II/LE-3	1300,00	0,28	0,75	0,76	1,00	0,86	5,9
71	II/LR	1306,50	0,25	0,72	0,78	1,02	1,22	-
72	II/LR	1312,50	0,22	0,70	0,80	1,41	1,39	-
73	II/LR	1318,75	0,25	0,49	0,78	1,40	1,41	31,7
74	II/LR	1325,00	0,12	0,59	0,53	1,34	1,22	11,1
75	III/LR	1350,00	0,25	0,51	0,43	1,18	1,12	-
76	III/LR	1375,00	-	0,79	0,61	1,17	1,33	-
77	III/LR	1400,00	0,20	0,46	0,57	1,46	1,49	-
78	III/LR	1425,00	0,22	0,84	0,59	0,69	1,05	-
79	III/LR	1431,50	0,24	0,63	0,62	1,00	1,49	-
80	III/LR	1443,75	0,24	0,73	0,58	1,41	1,58	-
81	III/LR	1450,00	0,27	0,90	0,72	0,99	1,12	14,5
82	III/LR	1475,00	0,33	0,61	0,61	0,67	0,94	-
83	III/LR	1487,50	0,33	0,74	0,50	1,19	1,55	-
84	III/LR	1500,00	0,30	0,60	0,49	1,32	1,48	-
85	III/LR	1525,00	0,52	0,80	0,38	1,80	1,31	-
86	III/LR	1550,00	0,49	0,80	0,50	1,35	1,37	-
87	III/LR	1575,00	0,30	0,85	0,56	1,43	1,42	16,2
88	III/LR	1587,50	0,16	0,60	0,60	0,83	1,32	-
89	III/LR	1600,00	0,43	0,80	0,77	0,76	0,70	-
90	III/LR	1625,00	0,39	0,75	0,56	0,65	0,97	-
91	III/LR	1650,00	0,64	0,79	0,66	1,28	0,83	10,5

Continuação. Anexo 14. Atributos mineralógicos na profundidade de 60 a 80 cm.

Pontos	Superfície Geomórfica/ Solo	SI Hm (mol % Al)	DMC Gt (Å)	DMC Hm (Å)	DMC An (Å)	DMC Ct (Å)
1	I/LE-2	10,2	270	745	784	362
2	I/LE-2	13,3	256	689	539	257
3	I/LE-2	5,9	358	812	661	257
4	I/LE-2	10,2	270	525	784	289
5	I/LE-2	9,0	293	561	661	258
6	I/LE-2	10,2	189	640	861	278
7	I/LE-2	4,7	270	745	720	289
8	I/LE-2	14,5	410	598	661	362
9	I/LE-2	7,8	262	497	661	335
10	I/LE-2	10,2	377	999	861	301
11	I/LE-2	9,0	393	640	955	241
12	I/LE-2	5,9	522	640	742	301
13	I/LE-2	10,2	327	900	861	311
14	I/LE-2	9,0	264	745	661	241
15	I/LE-2	13,3	295	900	862	335
16	I/LE-2	9,0	295	999	661	241
17	I/LE-2	7,8	264	598	661	257
18	I/LE-2	7,8	262	999	720	241
19	I/LE-2	10,2	555	900	574	268
20	I/LE-2	12,1	295	900	861	241
21	I/LE-2	9,0	295	812	614	257
22	I/LE-2	10,2	487	745	661	258
23	I/LE-1	17,6	351	689	615	258
24	I/LE-1	9,6	492	999	861	241
25	I/LE-1	9,0	522	900	1072	289
26	I/LE-1	10,2	358	745	784	289
27	I/LE-1	10,2	-	839	861	241
28	II/LE-1	9,0	350	900	607	241
29	II/LE-1	13,3	-	594	607	207
30	II/LE-1	9,0	-	640	861	250
31	II/LE-1	7,8	-	812	574	230
32	II/LE-1	9,0	492	999	614	270
33	II/LE-1	7,8	488	999	861	226
34	II/LE-1	12,1	525	499	720	241
35	II/LE-1	13,3	-	812	639	233
36	II/LE-1	3,5	350	998	784	207
37	II/LE-1	10,2	525	598	507	250
38	II/LE-1	15,8	620	526	861	241
39	II/LE-1	5,9	-	998	861	241
40	II/LE-1	9,0	488	999	574	257
41	II/LE-1	17,6	269	598	432	258
42	II/LE-1	12,1	498	473	661	229
43	II/LE-1	13,3	403	598	861	190
44	II/LE-1	10,2	428	689	574	229
45	II/LE-1	10,2	277	999	507	257
46	II/LE-1	13,3	-	640	507	241
47	II/LE-1	10,2	511	745	539	213

Continuação... Anexo 14. Atributos mineralógicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.

48	II/LE-1	13,3	552	640	784	328
49	II/LE-1	10,2	-	812	539	196
50	II/LE-3	13,3	508	546	432	258
51	II/LE-3	10,2	511	689	614	250
52	II/LE-3	17,6	522	812	432	250
53	II/LE-3	12,1	488	745	574	250
54	II/LE-3	10,2	620	999	661	258
55	II/LE-3	13,3	326	900	614	229
56	II/LE-3	4,7	487	812	719	289
57	II/LE-3	9,0	391	598	574	196
58	II/LE-3	10,2	482	999	432	226
59	II/LE-3	4,7	495	899	539	201
60	II/LE-3	12,1	498	999	455	181
61	II/LE-3	15,8	279	471	508	201
62	II/LE-3	12,1	495	516	480	161
63	II/LE-3	11,9	495	571	432	207
64	II/LE-3	12,1	492	636	614	207
65	II/LE-3	11,1	487	694	432	186
66	II/LE-3	10,2	424	812	574	181
67	II/LE-3	13,3	525	745	574	196
68	II/LE-3	5,9	492	640	574	189
69	II/LE-3	9,0	489	689	539	181
70	II/LE-3	9,0	492	473	432	181
71	II/LR	8,4	-	598	432	232
72	II/LR	7,8	616	812	432	158
73	II/LR	10,2	294	812	574	181
74	II/LR	17,6	399	999	574	189
75	III/LR	12,1	294	640	661	196
76	III/LR	18,8	-	502	508	201
77	III/LR	12,1	505	641	747	157
78	III/LR	12,1	342	640	720	268
79	III/LR	14,5	269	640	432	271
80	III/LR	13,3	279	561	508	161
81	III/LR	14,5	492	640	432	176
82	III/LR	17,0	215	640	482	241
83	III/LR	13,3	263	561	574	190
84	III/LR	13,3	325	598	539	219
85	III/LR	9,0	261	745	574	151
86	III/LR	12,1	215	641	574	172
87	III/LR	17,6	376	703	432	197
88	III/LR	13,3	495	598	432	250
89	III/LR	15,8	237	640	455	226
90	III/LR	14,5	263	499	432	181
91	III/LR	5,9	190	473	715	161

Continuação... Anexo 14. Atributos mineralógicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.

Pontos	Superfície Geomórfic a/ Solo	DMC Gb (Å)	Gt/(Gt+H m)	An/(An+Hm)	Ct/(Ct+Gb)	Gt (g.Kg- 1)	Hm (g.Kg ⁻¹)	L/P
1	I/LE-2	518	0,16	0,30	0,77	8,90	42,04	420,00
2	I/LE-2	626	0,22	0,39	0,80	6,70	53,88	183,00
3	I/LE-2	626	0,18	0,35	0,75	10,70	43,29	-
4	I/LE-2	484	0,13	0,28	0,80	7,68	47,43	258,90
5	I/LE-2	626	0,10	0,35	0,82	4,88	41,37	-
6	I/LE-2	454	0,21	0,38	0,76	11,42	39,78	-
7	I/LE-2	428	0,13	0,36	0,78	5,17	31,10	483,00
8	I/LE-2	484	0,08	0,32	0,79	5,15	52,57	258,90
9	I/LE-2	727	0,10	0,30	0,79	5,55	46,49	-
10	I/LE-2	626	0,13	0,38	0,78	7,46	43,34	-
11	I/LE-2	607	0,12	0,31	0,79	6,26	40,13	-
12	I/LE-2	727	0,07	0,32	0,81	3,90	45,12	161,00
13	I/LE-2	433	0,16	0,36	0,82	8,44	39,60	-
14	I/LE-2	607	0,12	0,35	0,83	4,20	27,68	386,00
15	I/LE-2	579	0,08	0,30	0,81	3,48	35,48	161,00
16	I/LE-2	621	0,12	0,35	0,82	6,26	42,99	-
17	I/LE-2	727	0,17	0,46	0,83	5,31	23,82	150,00
18	I/LE-2	626	0,14	0,36	0,85	7,50	40,44	134,00
19	I/LE-2	484	0,15	0,41	0,81	6,50	34,19	149,00
20	I/LE-2	607	0,12	0,31	0,84	7,19	47,88	128,00
21	I/LE-2	484	0,14	0,38	0,80	5,01	26,96	182,00
22	I/LE-2	607	0,07	0,34	0,79	3,78	43,79	153,00
23	I/LE-1	428	0,13	0,35	0,68	9,03	54,80	162,00
24	I/LE-1	539	0,08	0,29	0,77	4,53	50,26	-
25	I/LE-1	557	0,14	0,29	0,74	4,26	23,34	125,00
26	I/LE-1	607	0,07	0,25	0,76	4,55	58,83	75,50
27	I/LE-1	484	-	0,28	0,72	-	-	65,00
28	II/LE-1	662	0,12	0,29	0,77	9,94	66,85	76,50
29	II/LE-1	662	-	0,32	0,77	-	-	109,00
30	II/LE-1	631	-	0,33	0,77	-	-	71,50
31	II/LE-1	607	-	0,34	0,71	-	-	56,00
32	II/LE-1	727	0,07	0,34	0,71	5,12	61,18	-
33	II/LE-1	607	0,08	0,30	0,64	5,91	64,75	-
34	II/LE-1	484	0,11	0,38	0,62	11,32	79,91	64,00
35	II/LE-1	662	-	0,32	0,64	-	-	93,00
36	II/LE-1	607	0,13	0,34	0,66	14,77	89,68	63,75
37	II/LE-1	557	0,08	0,36	0,65	8,92	93,51	98,82
38	II/LE-1	518	0,10	0,31	0,60	11,58	89,69	31,33
39	II/LE-1	662	-	0,30	0,66	-	-	66,00
40	II/LE-1	607	0,09	0,35	0,60	7,70	67,44	-
41	II/LE-1	727	0,08	0,17	0,64	8,47	85,33	87,00
42	II/LE-1	518	0,09	0,34	0,63	10,24	90,89	71,00
43	II/LE-1	727	0,07	0,26	0,70	6,81	82,54	42,50
44	II/LE-1	614	0,09	0,41	0,57	7,16	65,07	-
45	II/LE-1	626	0,10	0,33	0,62	6,65	56,94	-
46	II/LE-1	626	-	0,37	0,68	-	-	-
47	II/LE-1	626	0,11	0,46	0,68	12,58	88,79	68,00

Continuação... Anexo 14. Atributos mineralógicos dos solos estudados, na profundidade de 60 a 80 cm.

Pontos	Superfície Geomórfica/ Solo	DMC Gb (Å)	Gt/(Gt+Hm)	An/(An+Hm)	Ct/(Ct+Gb)	Gt (g.Kg ⁻¹)	Hm (g.Kg ⁻¹)	L/P
48	II/LE-1	690	0,10	0,35	0,59	9,37	80,24	39,50
49	II/LE-1	607	-	0,36	0,67	-	-	32,00
50	II/LE-3	727	0,05	0,41	0,66	5,58	87,93	38,00
51	II/LE-3	557	0,07	0,35	0,63	7,57	91,86	27,50
52	II/LE-3	614	0,15	0,46	0,61	14,88	75,28	32,00
53	II/LE-3	518	0,10	0,41	0,64	9,49	74,40	49,00
54	II/LE-3	557	0,07	0,37	0,65	7,14	86,53	29,50
55	II/LE-3	626	0,17	0,40	0,64	12,16	53,41	-
56	II/LE-3	662	0,13	0,39	0,64	10,34	65,07	45,00
57	II/LE-3	484	0,13	0,39	0,61	10,13	60,96	27,00
58	II/LE-3	626	0,05	0,19	0,62	3,43	65,55	45,00
59	II/LE-3	626	0,04	0,17	0,61	4,99	99,90	47,00
60	II/LE-3	646	0,10	0,39	0,63	10,50	83,71	41,00
61	II/LE-3	626	0,17	0,34	0,56	10,50	104,32	45,00
62	II/LE-3	727	0,08	0,31	0,62	9,91	109,78	39,00
63	II/LE-3	607	0,11	0,37	0,53	15,01	108,05	39,00
64	II/LE-3	607	0,10	0,25	0,53	12,39	106,12	33,00
65	II/LE-3	727	0,07	0,29	0,56	9,38	117,40	37,00
66	II/LE-3	662	0,11	0,24	0,54	12,53	95,98	29,00
67	II/LE-3	626	0,08	0,28	0,55	11,23	111,45	30,00
68	II/LE-3	626	0,11	0,24	0,49	13,01	92,69	28,00
69	II/LE-3	626	0,06	0,28	0,51	6,31	84,41	-
70	II/LE-3	626	0,12	0,26	0,54	15,87	108,71	15,00
71	II/LR	631	0,11	0,27	0,46	14,42	107,15	-
72	II/LR	581	0,10	0,29	0,51	10,70	87,62	-
73	II/LR	626	0,15	0,36	0,50	14,17	71,63	-
74	II/LR	539	0,07	0,24	0,52	7,25	90,72	13,50
75	III/LR	626	0,15	0,23	0,51	20,99	111,25	16,00
76	III/LR	518	-	0,21	0,47	-	-	13,00
77	III/LR	607	0,13	0,30	0,49	12,80	75,72	6,25
78	III/LR	727	0,08	0,20	0,40	11,08	108,72	10,00
79	III/LR	518	0,12	0,26	0,40	11,35	77,02	-
80	III/LR	557	0,10	0,22	0,47	9,33	73,12	-
81	III/LR	557	0,10	0,22	0,47	12,82	108,59	7,00
82	III/LR	662	0,16	0,26	0,42	24,02	114,24	6,25
83	III/LR	557	0,14	0,19	0,43	12,55	71,66	-
84	III/LR	662	0,15	0,22	0,47	20,84	107,09	2,50
85	III/LR	557	0,19	0,14	0,58	26,31	103,60	2,50
86	III/LR	662	0,18	0,18	0,50	22,80	95,32	2,45
87	III/LR	631	0,11	0,19	0,50	12,77	92,91	2,27
88	III/LR	727	0,09	0,23	0,39	8,65	83,74	-
89	III/LR	403	0,16	0,25	0,52	21,24	101,02	5,11
90	III/LR	662	0,16	0,21	0,40	20,70	101,50	3,92
91	III/LR	727	0,22	0,23	0,61	29,73	94,81	20,97

Anexo 15. Estatística descritiva com número de amostras, média, desvio padrão, erro padrão, assimetria, curtose, coeficiente de variação, tipo de distribuição de atributos físicos do solo, sob as superfícies geomórficas I, II e III.

Atributos	Superfície Geomórfica	Número Amostras	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria	Curtose	CV (%)	Tipo de Distribuição
Argila/Fe _d	I	18	12,18	3,65	0,86	1,14	0,67	29,96	*Lognormal
	II	36	8,74	2,32	0,39	0,64	0,33	26,60	Normal
	III	13	7,34	1,70	0,47	0,56	2,19	23,14	Normal
Densidade de Partículas (kg.dm ⁻³)	I	18	2,45	0,06	0,01	-1,14	0,95	2,46	*Normal
	II	36	2,65	0,10	0,02	-0,28	0,14	3,61	Normal
	III	13	2,79	0,09	0,03	-0,70	-0,03	3,35	Normal
Argila (g.kg ⁻¹)	I	18	384,28	32,61	7,69	-0,64	1,39	8,49	*Normal
	II	36	563,33	112,86	18,81	-0,58	-0,75	20,03	Normal
	III	13	599,23	96,22	26,69	-1,49	2,83	16,06	*Normal
Silte/Argila	I	18	0,11	0,03	0,01	0,58	1,08	26,84	Normal
	II	36	0,16	0,07	0,01	0,92	1,34	41,38	Normal
	III	13	0,41	0,08	0,02	-0,32	1,47	20,30	Normal
Areia Fina/Areia Grossa	I	18	5,69	1,43	0,34	0,44	0,04	25,16	Normal
	II	36	10,85	8,50	1,42	1,39	0,38	78,37	*Lognormal
	III	13	16,59	8,67	2,40	-0,65	-1,27	52,23	*Normal

* Aproximadamente

Anexo 16. Estatística descritiva, número de amostras, média, desvio padrão, erro padrão, assimetria, curtose, coeficiente de variação de atributos químicos do solo, nas superfícies geomórficas I, II e III.

Atributos	Superfície Geomórfica	Número Amostras	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria	Curtose	CV (%)	Tipo de Distribuição
Fe _s (g.kg ⁻¹)	I	18	62,46	7,67	1,81	0,62	-0,67	12,27	Normal
	II	36	117,23	24,96	4,16	2,43	8,56	21,29	*Lognormal
	III	12	237,43	27,14	7,84	-1,44	2,00	11,43	*Normal
Fe _d (g.kg ⁻¹)	I	27	33,67	7,72	1,49	-0,18	-0,29	22,92	Normal
	II	47	63,98	14,04	2,05	-0,04	-0,80	21,95	Normal
	III	17	77,59	12,54	3,04	-0,58	-1,17	16,16	*Normal
Fe _o (g.kg ⁻¹)	I	27	4,18	0,77	0,15	1,01	0,83	18,42	*Lognormal
	II	47	7,00	2,41	0,35	0,29	-0,80	34,48	*Lognormal
	III	17	13,06	1,25	0,30	-0,56	0,99	9,56	Normal
CTC - Solo (mmol.c.dm ⁻³)	I	18	44,29	4,55	1,07	0,68	-0,23	10,27	Normal
	II	36	57,93	14,51	2,42	0,32	-0,45	25,05	Normal
	III	13	56,04	11,58	3,21	0,50	-0,33	20,67	Normal
CTC	I	18	49,13	12,02	2,83	0,47	-0,06	24,45	Normal
	II	36	48,43	14,29	2,38	1,17	2,20	29,51	*Normal
	III	13	37,37	24,43	6,78	1,31	0,70	65,39	*Lognormal
Argila(mmol.c.dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* aproximadamente

Continuação... Anexo 16. Estatística descritiva com número de amostras, média, desvio padrão, erro padrão, assimetria, curtose, coeficiente de variação, tipo de distribuição de atributos químicos do solo, nas superfícies geomórficas I, II e III.

Atributos	Superfície Geomórfica	Número Amostras	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria	Curtose	CV (%)	Tipo de Distribuição
Delta pH	I	27	0,97	0,27	0,05	0,21	-0,58	28,13	Normal
	II	47	0,87	0,24	0,04	0,24	1,22	27,22	Normal
	III	17	0,78	0,19	0,05	1,04	2,48	24,74	Normal
Al ⁺³ (mmol.c.dm ⁻³)	I	18	1,49	0,60	0,14	1,40	2,61	40,44	Lognormal
	II	36	0,22	0,47	0,08	1,19	2,24	212,58	*Lognormal
	III	13	0	0	0	-	-	-	-
pH CaCl ₂	I	18	4,75	0,27	0,06	0,45	1,44	5,59	Normal
	II	36	5,55	0,46	0,08	0,44	1,79	8,24	Normal
	III	13	5,63	0,44	0,12	0,28	-1,27	7,82	Normal
SB (mmol.c.dm ⁻³)	I	18	17,17	4,36	1,03	0,25	-1,23	25,37	Normal
	II	36	37,98	16,08	2,68	0,53	-0,09	42,34	Normal
	III	13	36,28	14,05	3,90	0,75	0,10	38,74	Normal
V (%)	I	18	38,92	9,56	2,25	0,39	0,56	24,56	Normal
	II	36	63,11	13,35	2,23	-0,33	-0,55	21,15	Normal
	III	13	62,54	12,69	3,52	0,45	-1,12	20,30	Normal

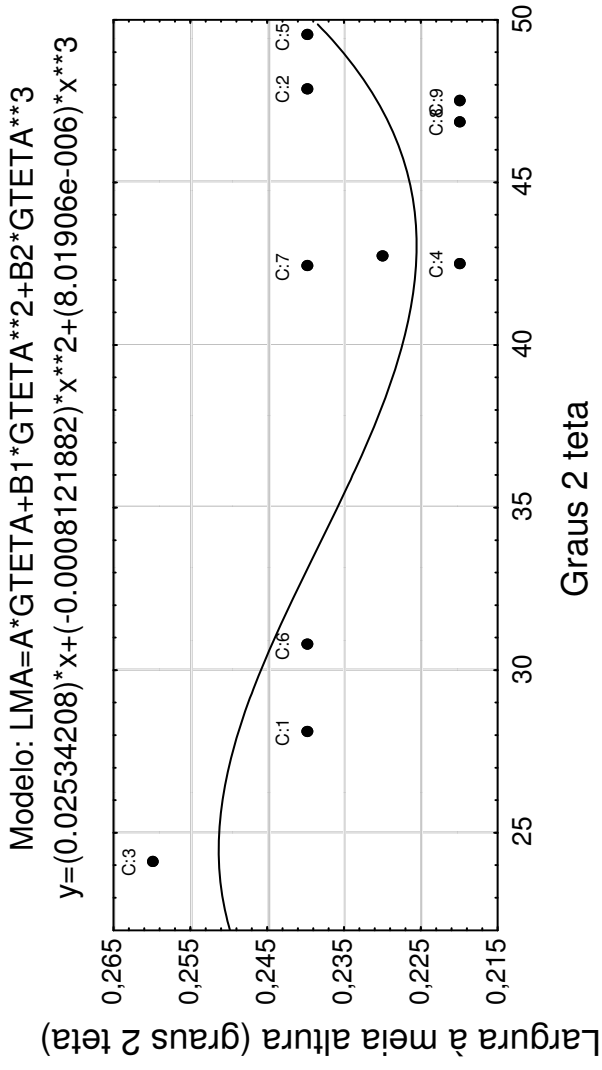
* aproximadamente

Anexo 17. Estatística descritiva com número de amostras, média, desvio padrão, erro padrão, assimetria, curtose, coeficiente de variação, tipo de distribuição de atributos mineralógicos do solo, nas superfícies geomórficas I, II e III (* aproximadamente).

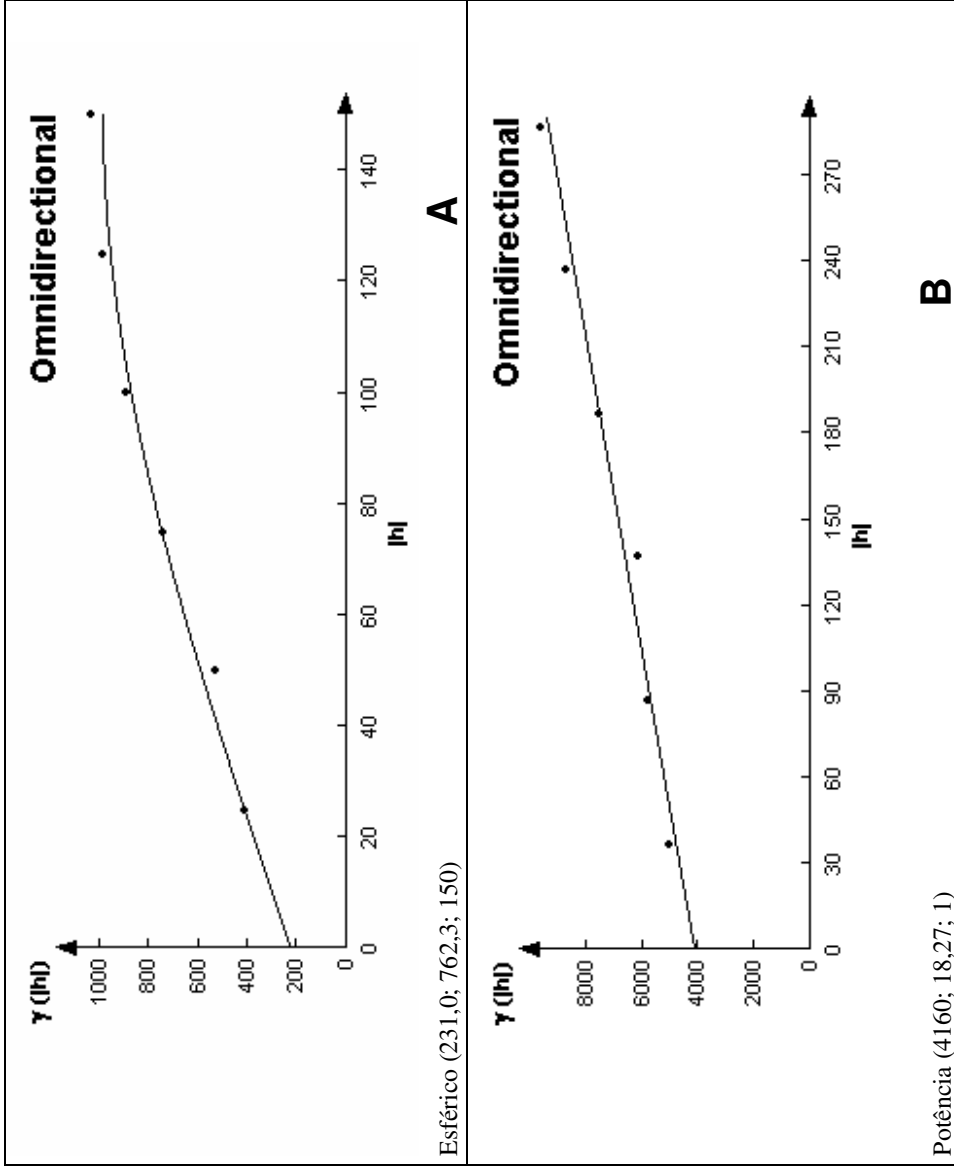
Atributos	Superfície Geomórfica	Número Amostras	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria	Curtose	CV (%)	Tipo de Distribuição
Área do pico Gt 110 (cm ²)	I	26	0,26	0,09	0,02	0,48	-0,03	32,64	Normal
	II	40	0,20	0,06	0,01	0,95	0,43	32,50	* Log Normal
	III	16	0,33	0,13	0,03	1,01	0,54	39,46	Normal
Área do pico Hm 012 (cm ²)	I	27	0,64	0,10	0,02	0,37	-0,28	16,04	Normal
	II	47	0,63	0,12	0,02	0,47	0,03	18,47	Normal
	III	17	0,72	0,13	0,03	-0,65	-0,54	17,58	Normal
Área do pico An 101 (cm ²)	I	27	0,92	0,15	0,03	-0,88	0,10	15,88	Normal
	II	47	0,85	0,20	0,03	0,23	-0,46	23,31	Normal
	III	17	0,57	0,10	0,02	0,00	0,46	16,86	Normal
Área do pico Ct 001 (cm ²)	I	27	1,49	0,11	0,02	0,26	-0,62	7,39	Normal
	II	47	1,36	0,21	0,03	-0,23	-0,40	15,75	Normal
	III	17	1,13	0,33	0,08	0,08	-0,62	29,23	Normal
Área do pico Gb 002 (cm ²)	I	27	0,40	0,07	0,01	0,87	0,99	18,13	Normal
	II	47	0,86	0,21	0,03	0,68	0,71	24,65	Normal
	III	17	1,24	0,27	0,07	-0,58	-0,78	21,64	Normal
Substituição Isomorf. Gt (% mol Al)	I	12	10,90	5,54	1,60	0,30	-0,37	50,79	Normal
	II	9	12,60	8,09	2,70	1,98	4,17	64,15	-
	III	3	13,81	2,94	1,69	-1,09	-	21,25	Normal
Substituição Isomorf. Hm (% mol Al)	I	27	9,91	2,68	0,52	0,79	1,89	27,05	Normal
	II	47	10,86	3,25	0,47	0,07	0,17	29,90	Normal
	III	17	13,54	3,08	0,75	-0,61	1,38	22,75	Normal
Leves/Pesados	I	18	201,96	116,63	27,49	1,37	1,09	57,75	Lognormal
	II	36	48,87	23,39	3,90	0,91	0,23	47,87	Lognormal
	III	13	7,56	5,88	1,63	1,25	0,84	77,83	Lognormal
DMC Gt 110 (Å)	I	26	344,11	99,08	19,43	0,86	-0,29	28,79	Log Normal
	II	39	464,14	90,26	14,45	-0,68	0,12	19,45	*Log Normal
	III	16	314,26	102,78	25,70	0,99	-0,19	32,71	Log Normal

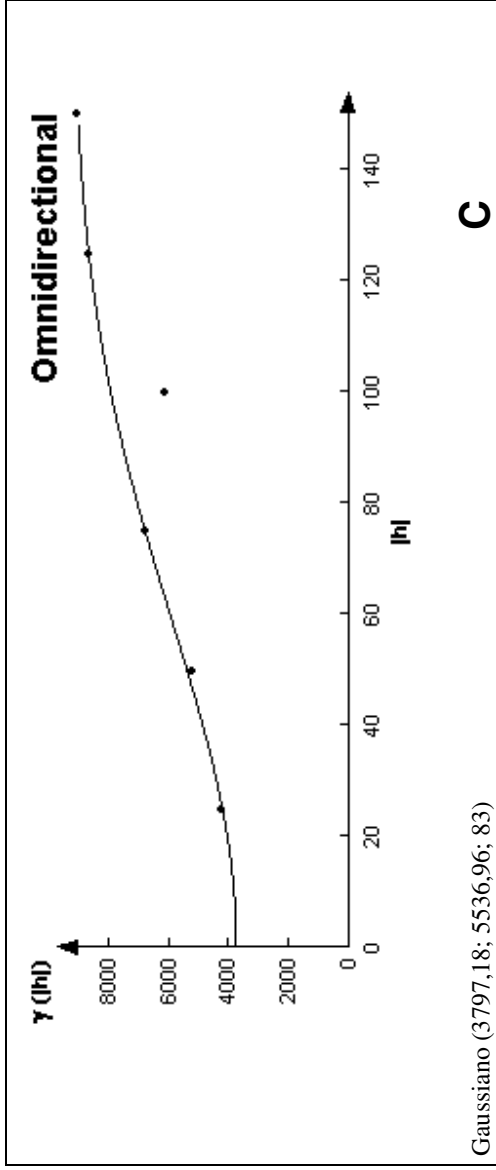
Continuação... Anexo 17. Estatística descritiva com número de amostras, média, desvio padrão, erro padrão, assimetria, curtose, coeficiente de variação, tipo de distribuição dos atributos mineralógicos do solo, nas superfícies geomórficas I, II e III (* aproximadamente).

Atributos	Superfície Geomórfica	Número Amostras	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria	Curtose	CV (%)	Tipo de Distribuição
DMC Hm 110 (Å)	I	27	769,28	152,68	29,38	-0,01	-1,05	19,85	Normal
	II	47	745,81	174,70	25,48	0,16	-1,22	23,42	*Log Normal
	III	17	610,02	71,66	17,38	-0,35	0,02	11,75	Log Normal
DMC An 101 (Å)	I	27	749,29	126,23	24,29	0,57	0,03	16,85	Normal
	II	47	589,77	130,79	19,08	0,81	-0,07	22,18	*Log Normal
	III	17	542,69	110,27	26,74	0,72	-0,79	20,32	Log Normal
DMC Ct 001 (Å)	I	27	278,23	36,98	7,12	1,01	0,14	13,29	*Log Normal
	II	47	223,17	34,67	5,06	0,42	0,44	15,54	Log Normal
	III	17	201,52	39,77	9,40	0,55	-0,85	19,24	Normal
DMC Gb 001 (Å)	I	27	568,06	90,25	17,37	0,07	-0,82	15,89	Normal
	II	47	622,39	61,43	8,96	-0,24	0,14	9,87	*Normal
	III	17	609,78	87,70	21,27	-0,58	0,33	14,38	Normal
Gt/(Gt+Hm)	I	26	0,13	0,04	0,01	0,45	-0,04	31,89	Normal
	II	40	0,10	0,03	0,01	0,49	0,16	31,28	Normal
	III	16	0,14	0,04	0,01	0,29	-0,39	27,73	Normal
An/(An+Hm)	I	27	0,34	0,05	0,01	0,47	0,48	13,72	Normal
	II	47	0,33	0,07	0,01	-0,35	0,07	20,62	Normal
	III	17	0,22	0,04	0,01	0,04	1,13	16,55	Normal
Ct/(Ct+Gb)	I	27	0,79	0,04	0,01	-0,97	1,42	4,81	Normal
	II	47	0,62	0,07	0,01	0,06	-0,12	11,85	Normal
	III	17	0,47	0,06	0,02	0,62	0,09	13,30	Normal
Gt (g.kg ⁻¹)	I	26	6,30	2,12	0,42	0,83	0,10	33,70	Log Normal
	II	40	9,89	3,14	0,50	0,03	-0,73	31,78	Normal
	III	16	17,37	6,63	1,66	0,31	-1,25	38,18	Normal
Hm (g.kg ⁻¹)	I	26	41,41	9,40	1,84	-0,32	-0,33	22,71	Normal
	II	40	85,09	16,81	2,66	-0,02	-0,86	19,76	Normal
	III	16	95,02	14,50	3,63	-0,46	-1,25	15,26	Normal

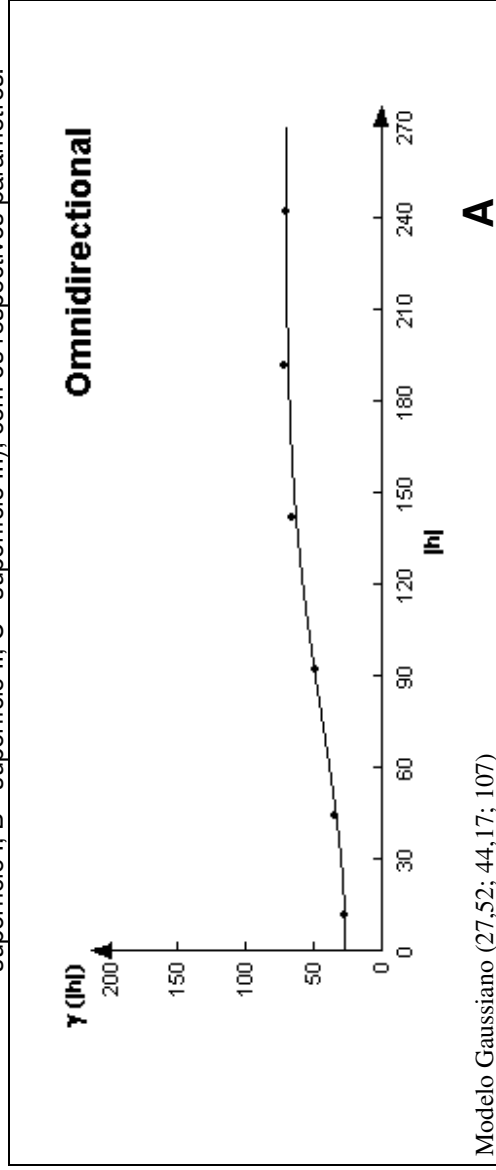


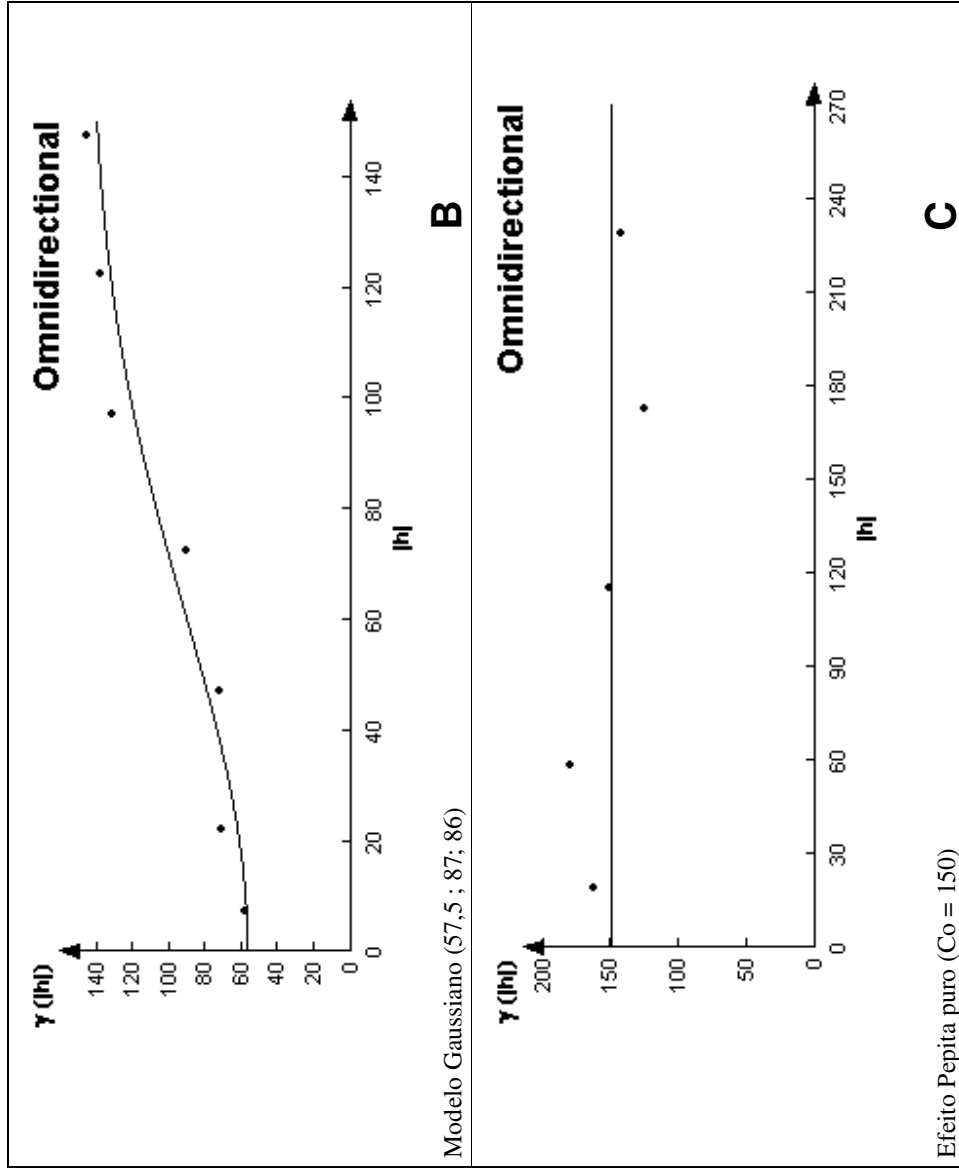
Anexo 18. Gráfico da correção do alargamento instrumental, onde, $LMA=b$, usado no cálculo do β da fórmula de SCHERRER.



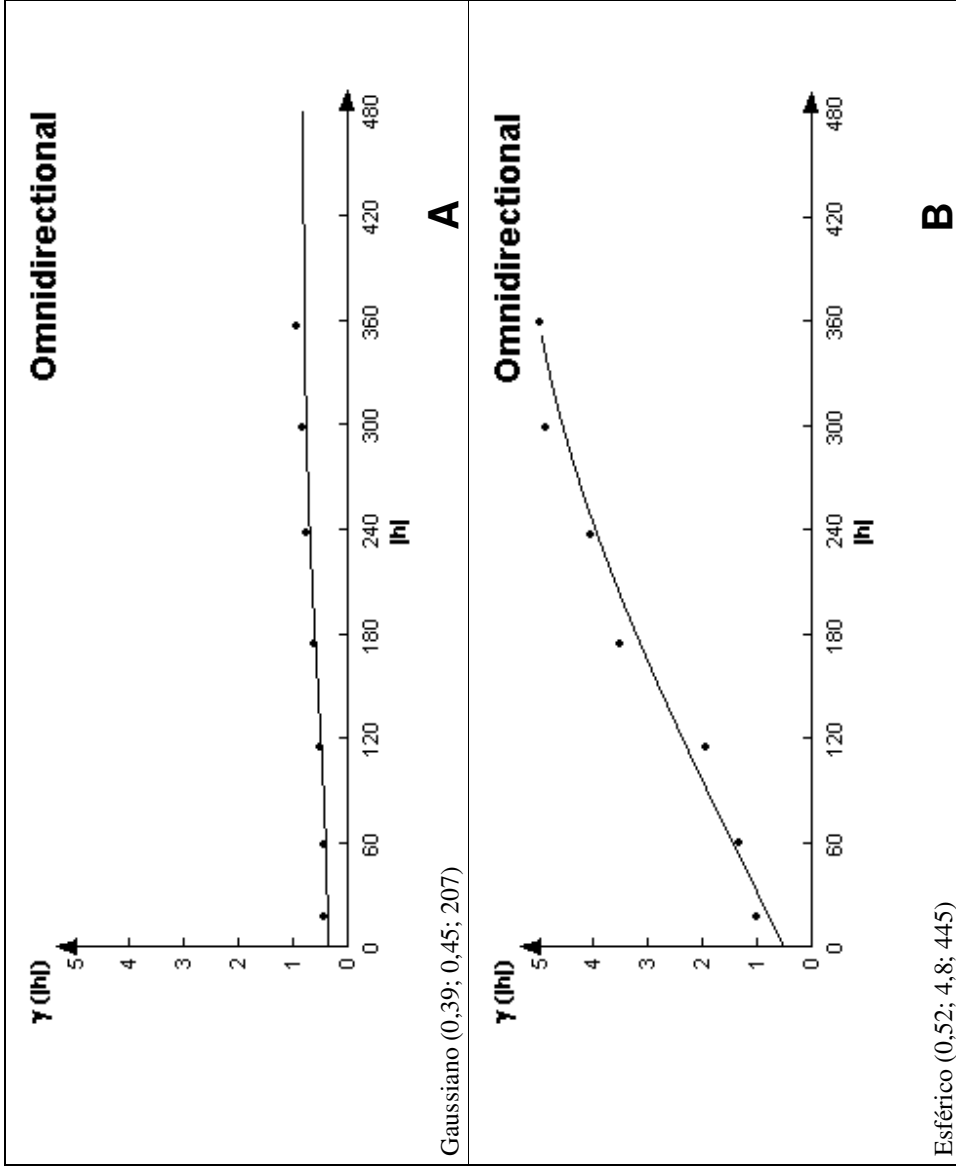


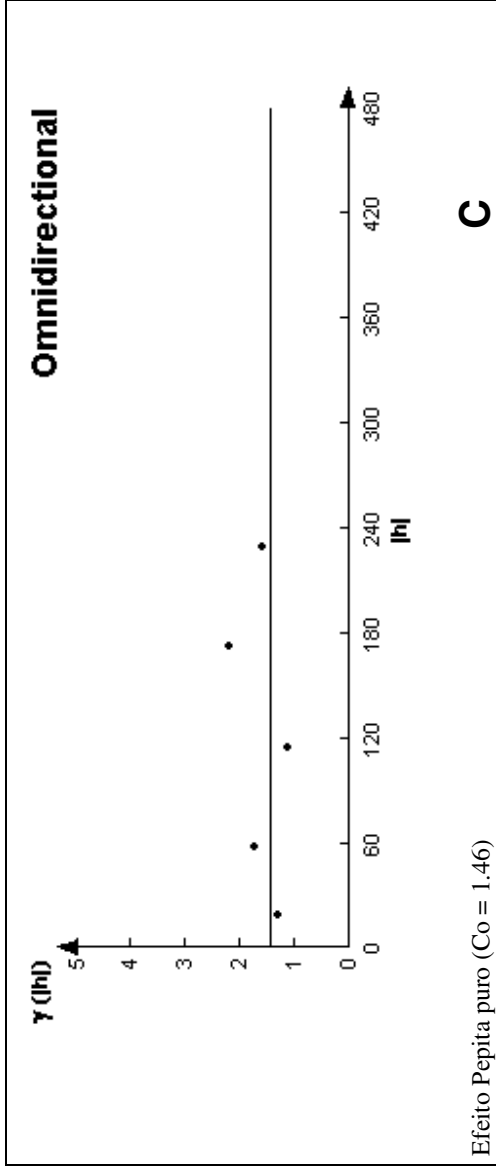
Anexo 19. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo físico, argila (g.kg^{-1}), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.



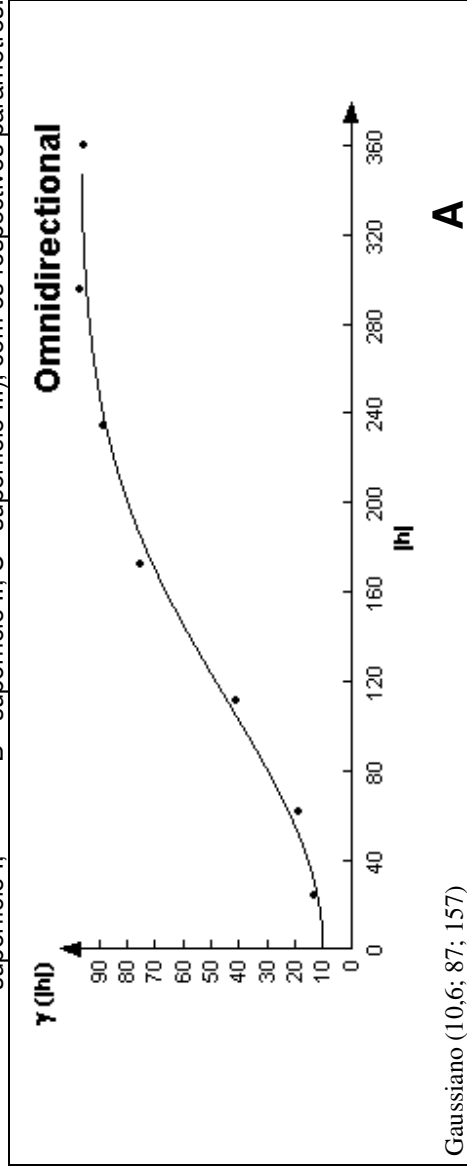


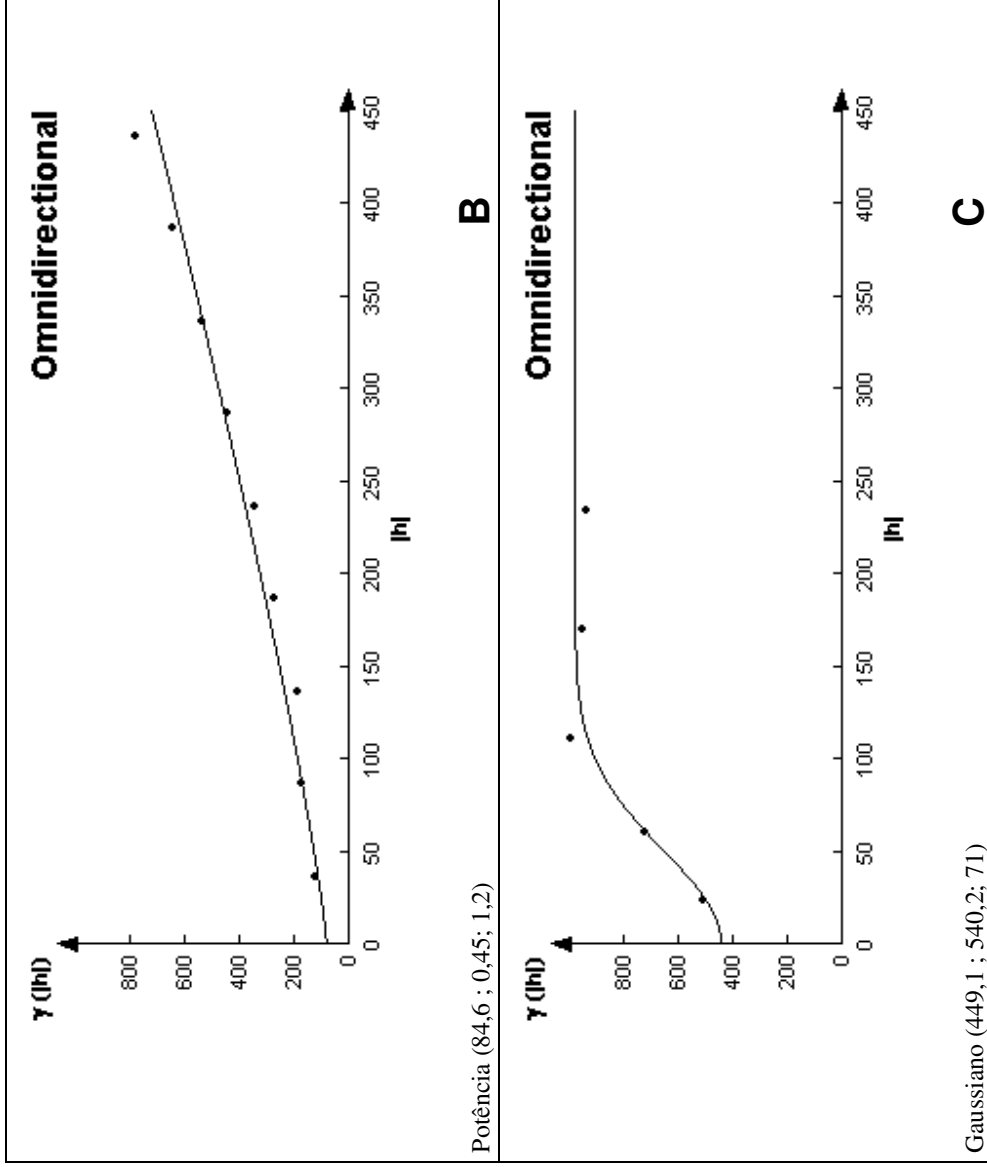
Anexo 20. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo químico, Fe_d (g.kg⁻¹), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.



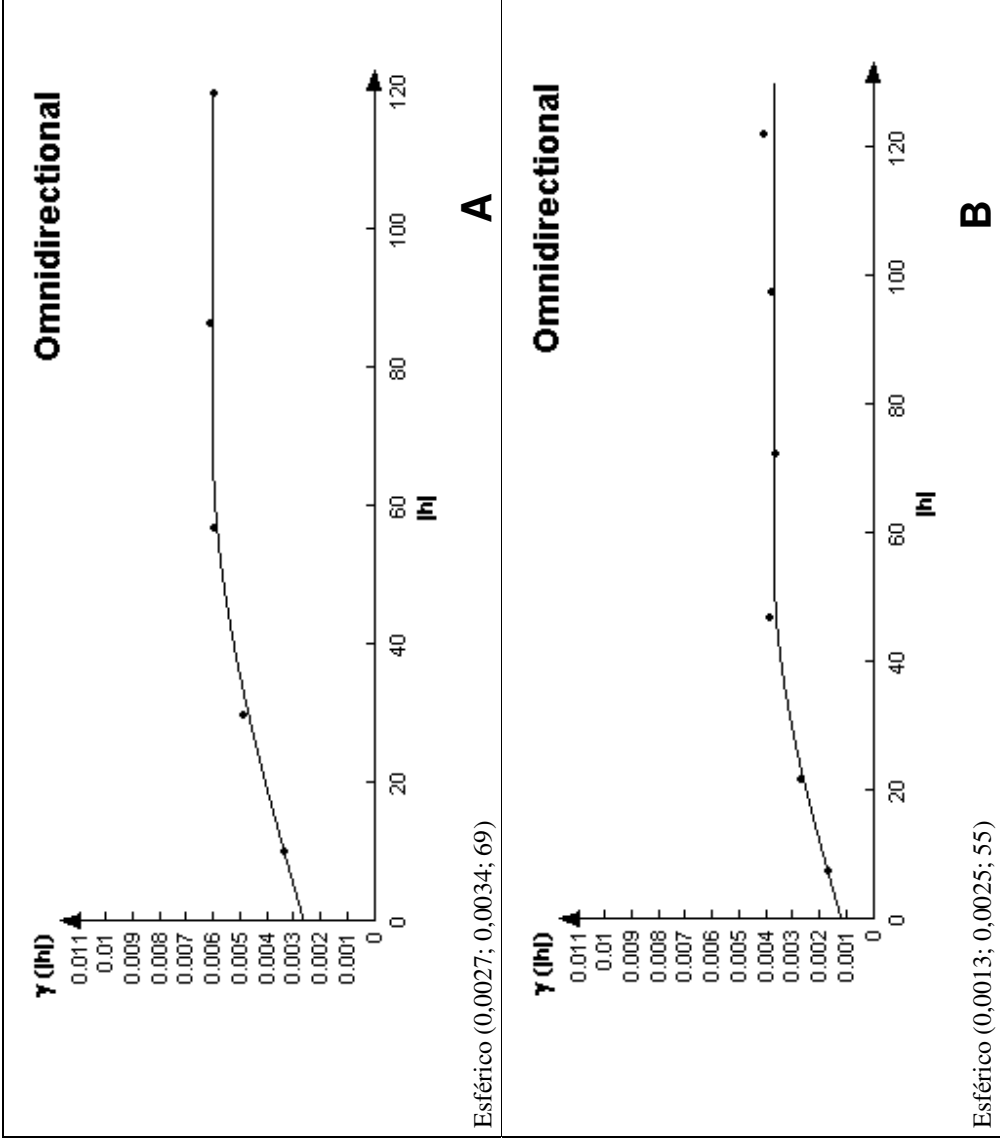


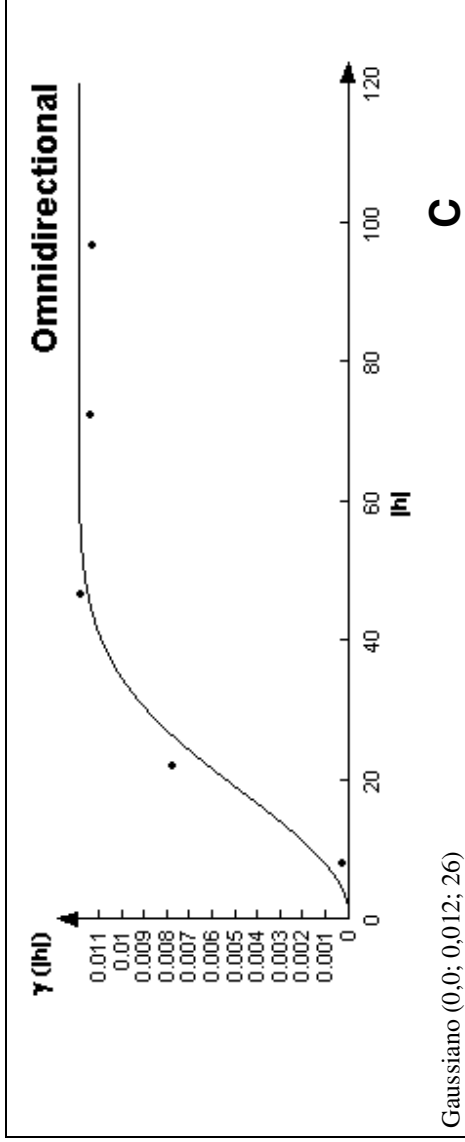
Anexo 21. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo químico, Fe_0 ($g \cdot kg^{-1}$), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.



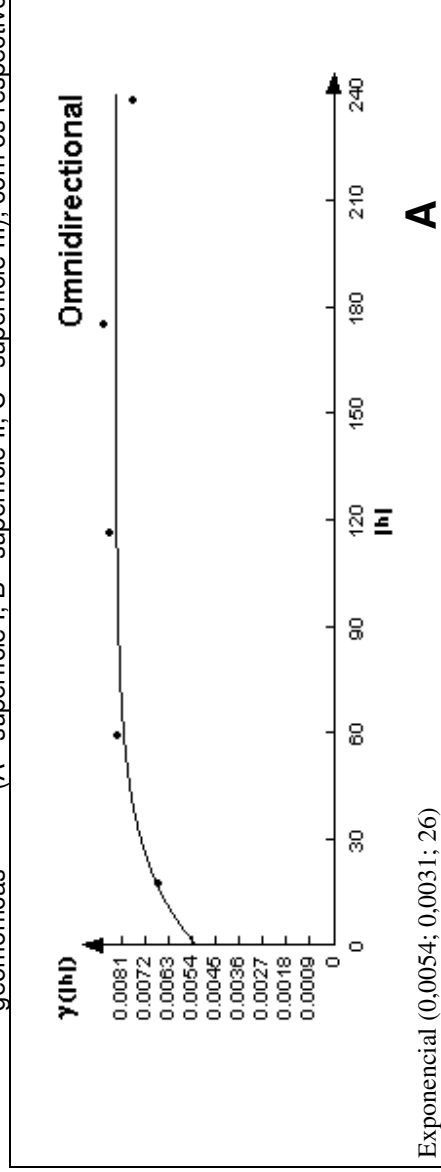


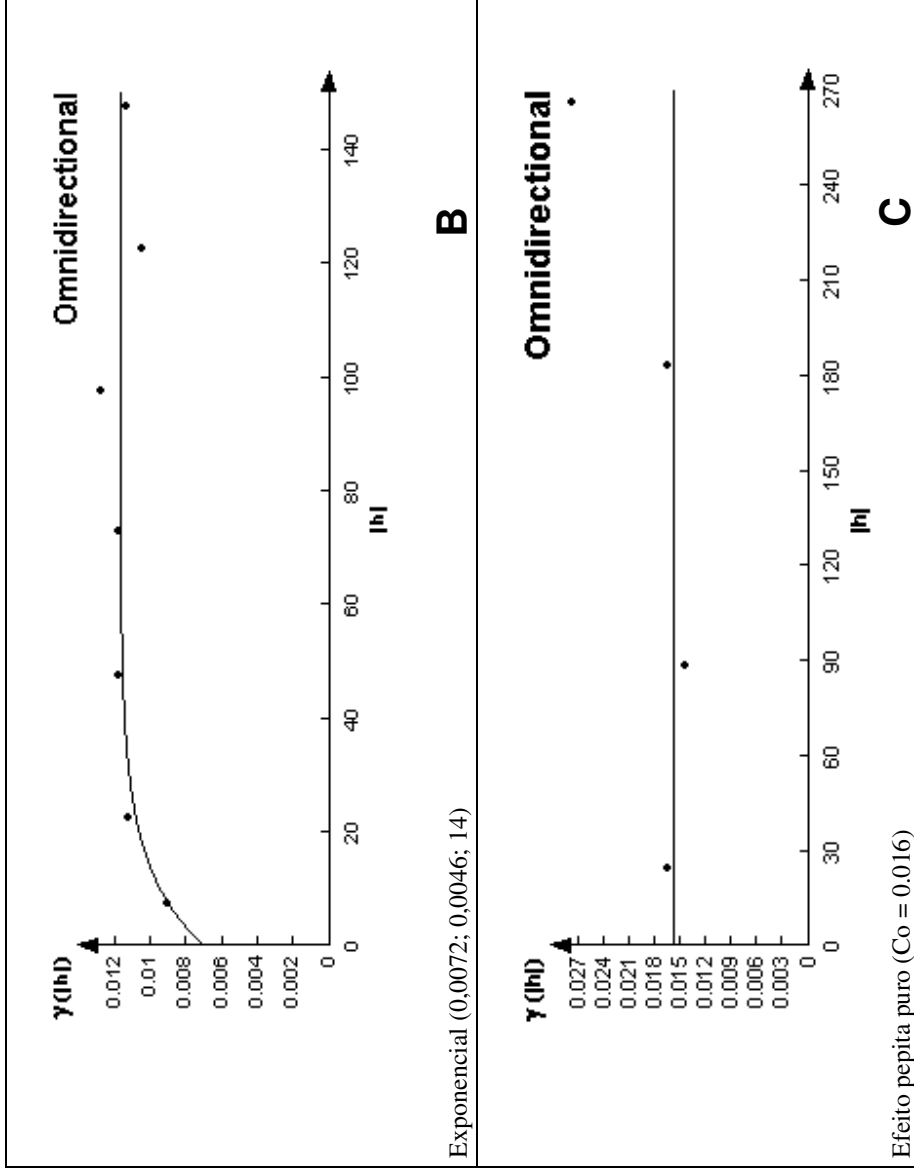
Anexo 22. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo químico, Fe_s ($g.kg^{-1}$), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.



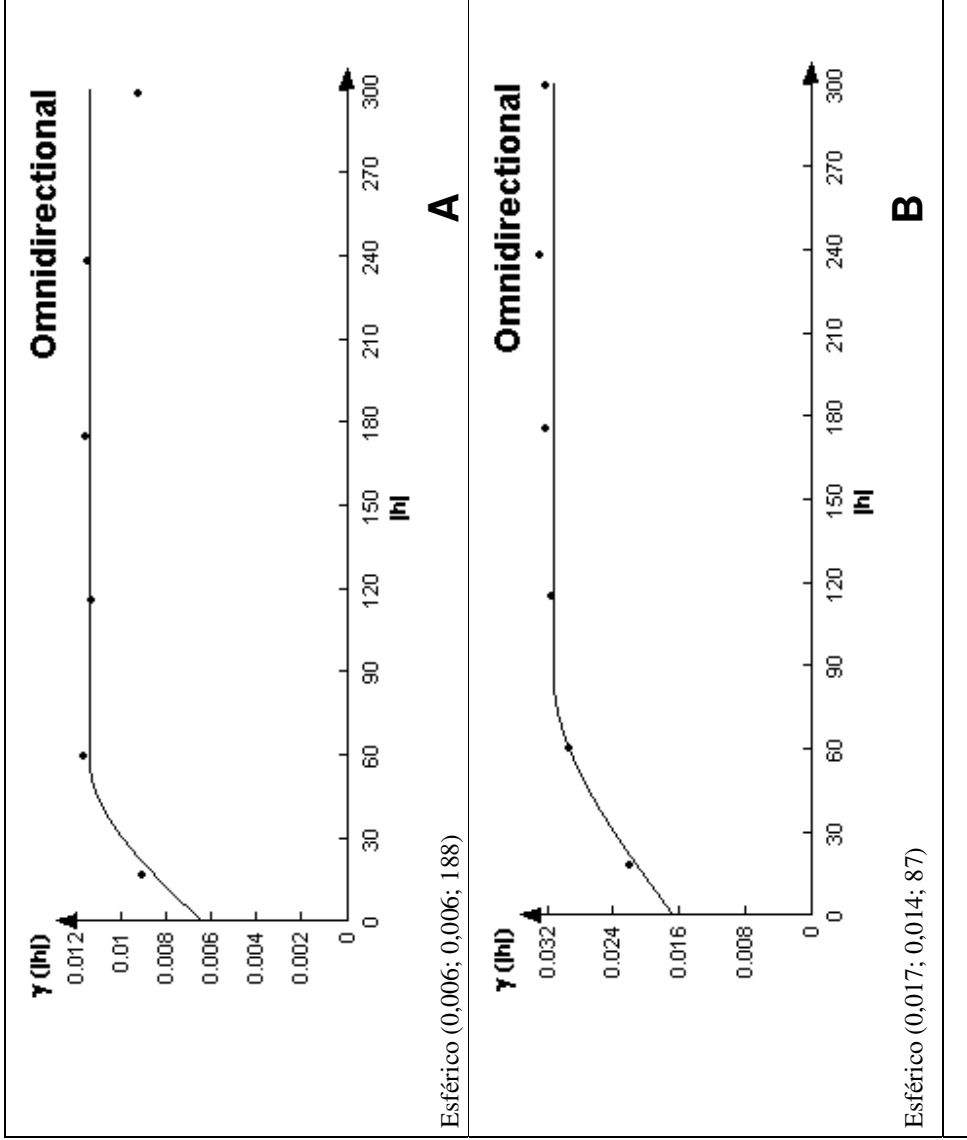


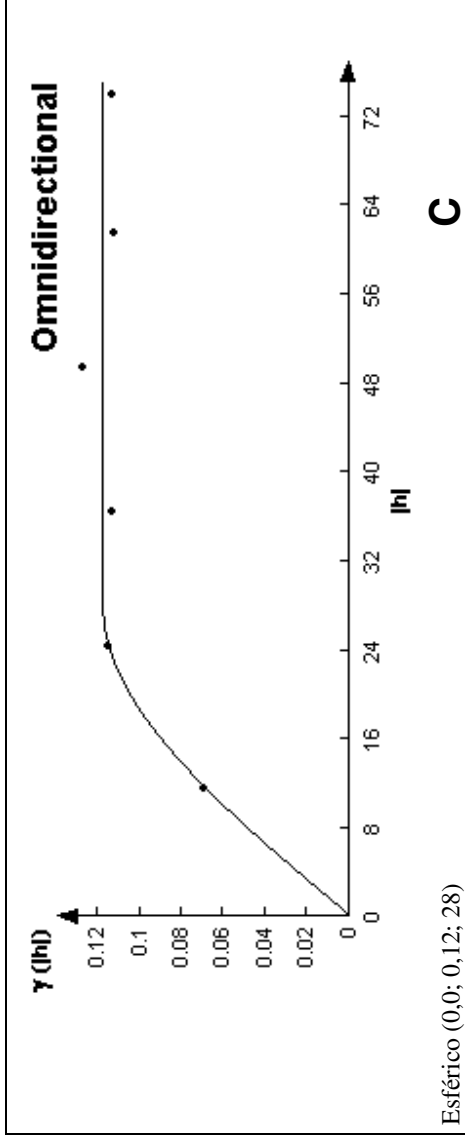
Anexo 23. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico, área do pico da Gt 110 (cm²), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.





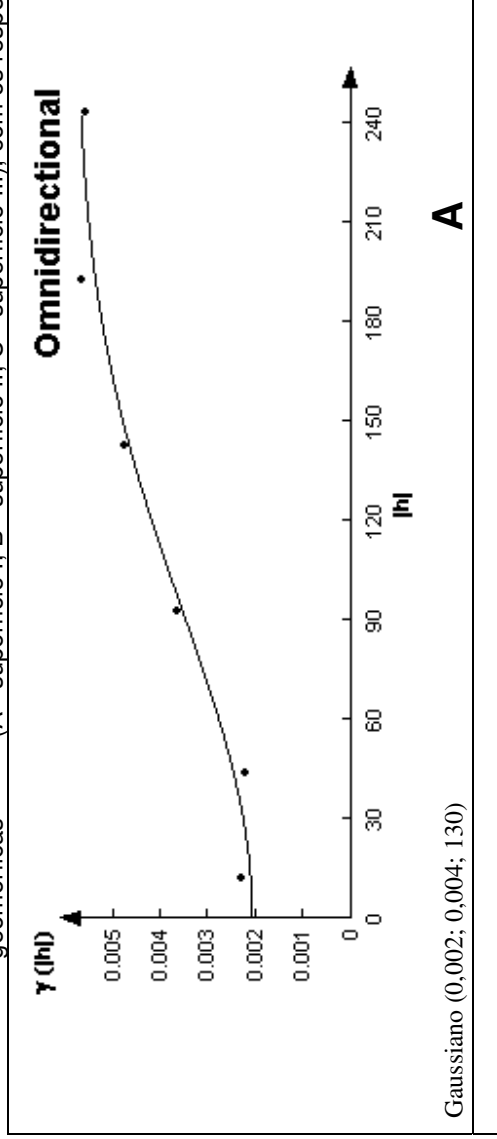
Anexo 24. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico, área do pico da Hm 012 (cm²), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.



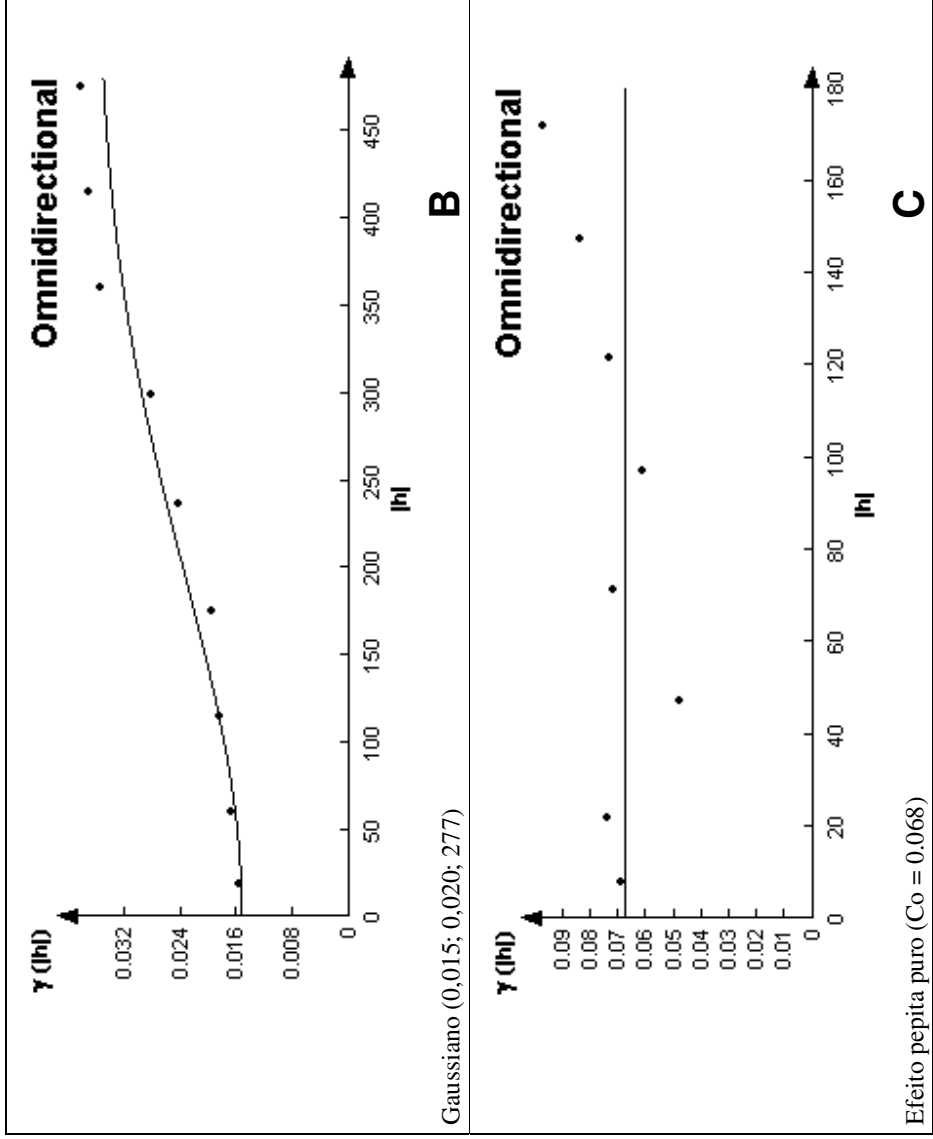


Esférico (0,0; 0,12; 28)

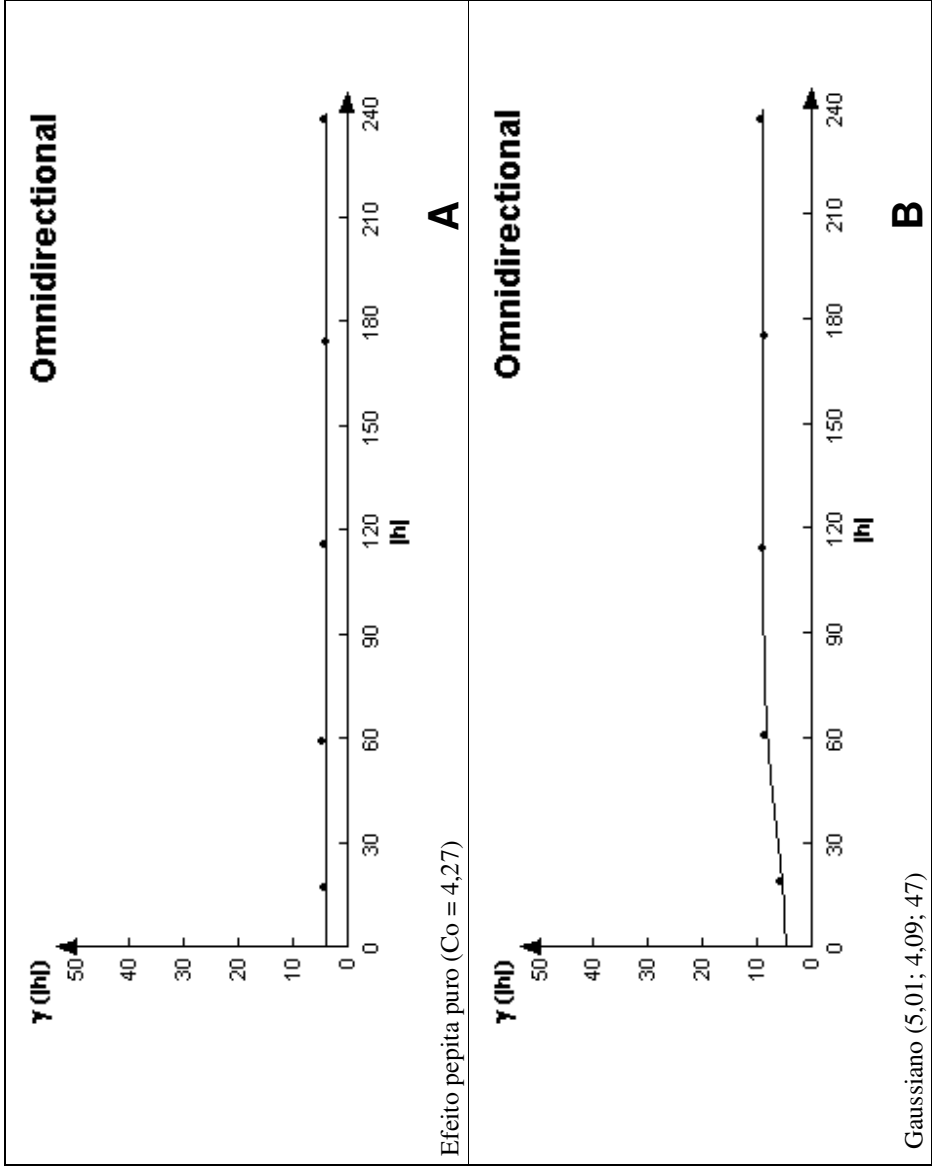
Anexo 25. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico, área do pico da Ct 001 (cm²), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.

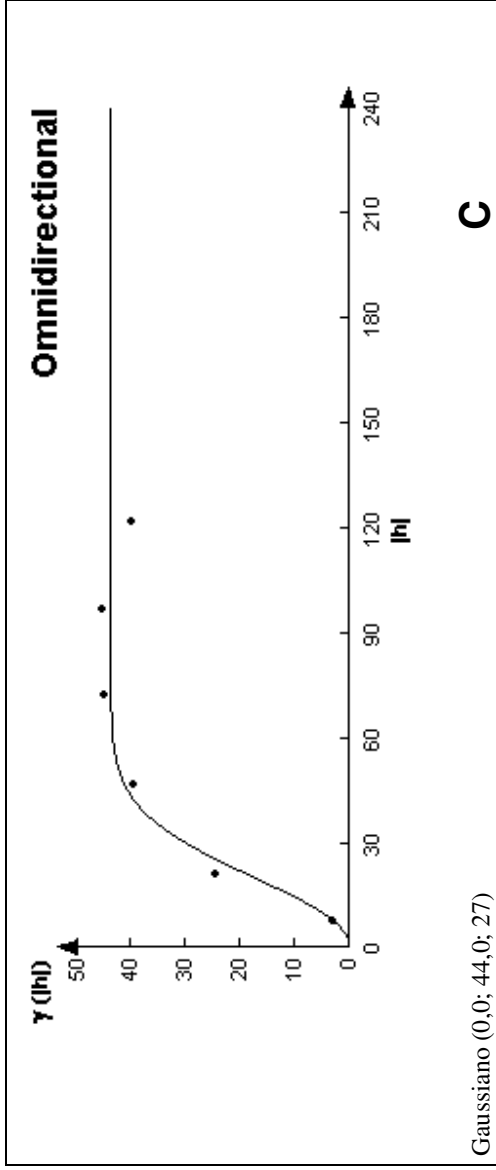


Gaussiano (0,002; 0,004; 130)

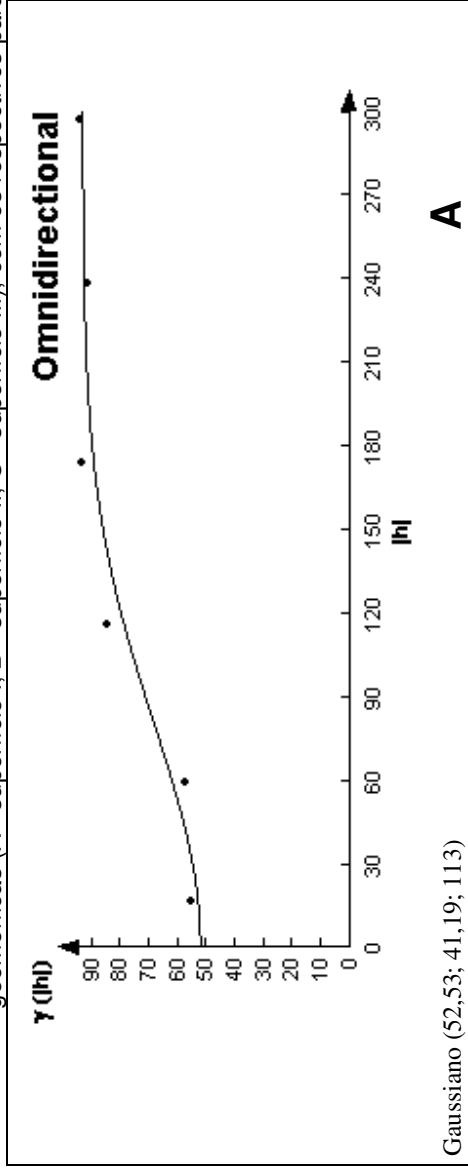


Anexo 26. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico, área do reflexo da Gb 002 (cm²), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.

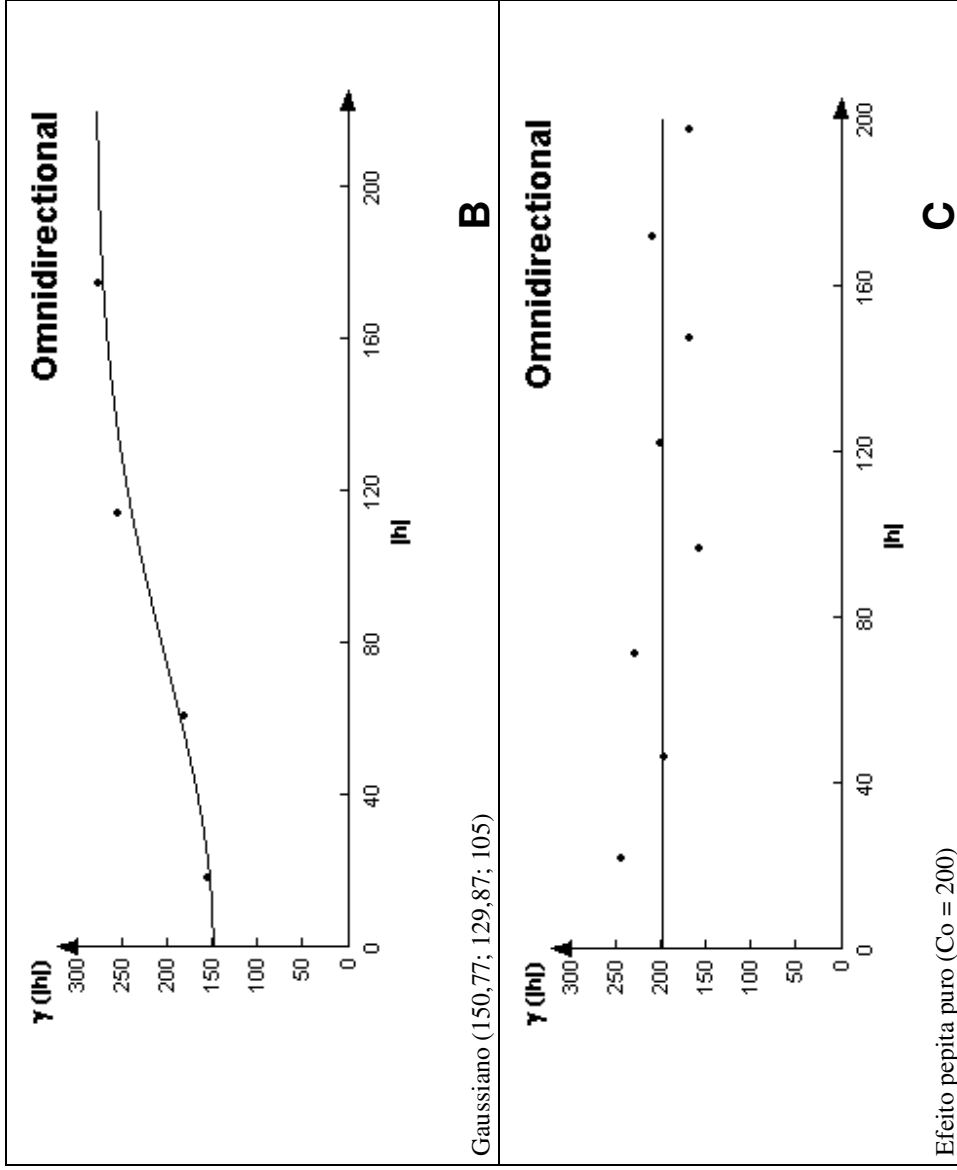




Anexo 27. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico teor de goethita (g.kg^{-1}), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.



Gaussiano (52,53; 41,19; 113)



Anexo 28. Modelos dos semivariogramas ajustados para o atributo mineralógico teor de Hematita (g.kg^{-1}), sob as três superfícies geomórficas (A - superfície I; B - superfície II; C - superfície III), com os respectivos parâmetros.