RELAÇÕES SOLO x RELEVO EM MOCOCA (SP). INFLUENCIA DAS
CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS E POSIÇÃO NA VERTENTE, NOS
ATRIBUTOS DO SOLO

PABLO VIDAL TORRADO

Orientador: Igo Fernando Lepsch

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Setembro - 1989

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

V649r Vidal Torrado, Pablo
Relações solo x relevo em Mococa (SP); influência das características topográficas e posição na vertente nos atributos do solo. - Piracicaba, 1989. 205p. ilus.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Relação solo-relevo - Mococa, SP 2. Solo - Gênese - Mococa, SP 3. Solo - Morfologia - Mococa, SP 4. Solo - Parâmetro topográfico - Mococa, SP 5. Topografia - Mococa, SP 6. Vertente - Solo - Mococa, SP I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba CDD 631.44

RELAÇÕES SOLO X RELEVO EM MOCOCA (SP). INFLUÊNCIA DAS
CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS E POSIÇÃO NA VERTENTE, NOS
ATRIBUTOS DO SOLO

PABLO VIDAL TORRADO

Aprovada em: 21.09.1989

Comissão julgadora:

Dr. Igo Fernando Lepsch

IAC

Prof. Dr. José Luis Ioriatti Demattê

ESALQ/USP

Prof. Dr. Ibrahim Octávio Abrahão

ESALQ/USP

Dr.

ernando Lepsch

Orientador

A meus queridos pais
pela luta da vida e apoio
que sempre me deram

OFEREÇO

A WALKIRIA, minha eterna cúmplice
e a nossa pequena GLORINHA

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Wal, pelo amor e companheirismo incondicional

Ao Dr Igo Fernando Lepsch, pela amizade, incentivo e orientação segura.

Ao Prof. José Luis Ioriatti Demattê, pelos ensinamentos, sugestões e amizade recebidos.

Ao Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP, na pessoa do Prof. Geraldo V. França, pela oportunidade e apoio concedidos.

Aos amigos Gerd Sparovek e Rafael Aloisi pelo apoio de todos estes anos.

Aos Drs. Antonio Carlos Moniz e João O. Menk (IAC) pelas sugestões oferecidas.

Ao Instituto Agronômico pela infraestrutura e análises de laboratório concedidas.

Ao colega Paulo B. Gallo, chefe da Estação Experimental de Mococa, por todo o apoio recebido.

Aos funcionários da E.E. de Mococa que colaboraram para este trabalho, em particular ao casal Maria Garófalo Moraes e José Moraes, cuja hospitalidade não esquecerei.

Ao colega Maurits van den Berg pela amizade, sugestões e orientação recebidos, especialmente no uso do microcomputador e nas análises estatísticas

Ao Prof. Zilmar Ziller Marcos, pela amizade, sugestões e auxílio na confecção do summary

Ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida

A Sra. Marta Sueli de Campos Ferraz pelo auxílio na digitação do texto.

A todos os amigos do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP pelo incentivo e apoio.

A todos que, direta ou indiretamente, embora não citados, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

S U M A R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xvii
RESUMO	xix
SUMMARY	xxii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. O relevo como fator de formação de solos...	3
2.2. Estudos solo x relevo e suas aplicações....	5
2.3. A compartimentação da vertente nos estudos solos x relevo.....	8
2.4. A necessidade da quantificação na pedolo - gia e a quantificação em estudos solo x re- levo. Alguns exemplos.....	18
2.5. Hipóteses para a formação da sequência Bw/ Bt na vertente.....	31
2.6. Considerações Gerais.....	36
3. MATERIAL E METODOS.....	38
3.1. Material	38
3.1.1. Localização da área estudada.....	38
3.1.2. Clima.....	40
3.1.2.1. Balanço hídrico.....	40
3.1.2.2. Classificação do clima.....	42

3.1.2.3. Regime hídrico e térmico dos solos.....	42
3.1.3. Vegetação natural	43
3.1.4. Uso atual das terras.....	43
3.1.5. Geomorfologia e relevo locais.....	44
3.1.6. Geologia e material de origem dos solos.....	47
3.1.7. Os solos presentes.....	53
3.2. Métodos.....	56
3.2.1. Métodos de campo	56
3.2.2. Métodos de laboratório.....	60
3.2.2.1. Análise química.....	61
3.2.2.2. Análise Física.....	62
3.2.2.3. Análise Mineralógica.....	63
3.2.2.4. Análise Micromorfológica...	63
3.2.3. Os Parâmetros Topográficos.....	64
3.2.4. Determinação do Índice Vermelho de TORRENT (IV).....	67
3.3. Métodos estatísticos.....	67
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
4.1. Análises de correlação e regressão linear entre os parâmetros de relevo e algumas características e propriedades do solo utilizando todos os pontos de amostragem.....	70

	Página
4.2.1.2. Camada subsuperficial.....	101
4.2.2. Transeção 2.....	108
4.2.2.1. Camada superficial.....	112
4.2.2.2. Camada subsuperficial.....	127
4.2.3. Formação do horizonte B textural....	136
5. CONCLUSÕES.....	174
6. BIBLIOGRAFIA	179
APENDICE	197

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 01 - Composição de uma vertente normal ou regular, conforme apresentada por Derruau (1965). A área pontilhada indica o regolito. (Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1981).....	9
Figura 02 - As quatro partes componentes da vertente, conforme modelo apresentado por King em 1953 (Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1981).....	10
Figura 03 - Classificação proposta por AANDAHL (1948) para os diversos segmentos da vertente...	11
Figura 04 - Comparação dos modelos propostos por Ruhe (em segundo plano) e por Wood e King (em primeiro plano) para os elementos da vertente. (Fonte: RUHE, 1960).....	12
Figura 05 - Modelo das nove unidades hipotéticas da vertente de DARLYMPLE et alii (1968). As setas indicam a direção e intensidade relativa do movimento do material de solo e fluxo da água no sistema. (Fonte: CHRIS - TOFOLETTI, 1980).....	13
Figura 06 - Elementos básicos da vertente (segundo RUHE, 1975). Em primeiro plano o modelo Wood e King e em segundo plano o modelo de Ruhe de 1960, adaptado. (Fonte: HALL, 1984).....	16
Figura 07 - Localização da área estudada no Estado de São Paulo.....	38
Figura 08 - Localização da Estação Experimental de Mococa em relação ao perímetro urbano e principais acidentes geográficos ao seu redor. Escala 1:50.000	39
Figura 09 - Balanço hídrico da Estação Experimental de Mococa segundo o método de Thornwaite e Mather (1955).....	41

Figura 10 - Bloco diagrama da porção sudeste da Estação Experimental de Mococa. Em primeiro plano as vertentes de declividade menor e lançantes mais longos.....	46
Figura 11 - Bloco diagrama da porção sudeste da Estação Experimental de Mococa. Em primeiro plano a scarpa declivosa. Note-se a presença de porções côncavas e convexas nas vertentes.....	47
Figura 12 - Mapa geológico (escala 1:50.000 da região onde se localiza a área em estudo (achureada). Note-se os dobramentos frequentes na região (cortes A-B e C-D).....	49
Figura 13 - Fragmentos de quartzo arestado a subarredondado dispostos segundo uma determinada orientação de uma valeta erosional..	52
Figura 14 - Mapa de solos da E.E. de Mococa, SP. (escala 1:10.000).....	54
Figura 15 - Mapa mostrando a amostragem realizada....	57
Figura 16 - Ângulo de curvatura da vertente. Se ângulo obtido a partir das tangentes traçadas no mapa for menor que 180, concavidade o contorno da vertente é concavo. Sendo maior que 180 indica convexidade...	65
Figura 17 - Bloco diagrama da transeção 1.....	82
Figura 18 - Situação topográfica da transeção 1. Mapa com curvas de nível de 1 em 1 m.....	82
Figura 19 - Vista panorâmica da área em estudo. Em destaque a concavidade lateral da transeção 1.....	83
Figura 20 - Bloco diagrama da transeção 2. Em destaque os diferentes segmentos e a transição encosta abaixo da morfologia do solo.....	84

Figura 21 - Situação topográfica da transeção 2. Curvas de nível de 1 em 1 m.....	84
Figura 22 - Dados analíticos da camada superficial da transeção 1.....	91
Figura 23 - Distribuição dos teores de cálcio trocável ao longo da transeção 1.....	91
Figura 24 - Distribuição do valor V% (saturação por bases da camada superficial) ao longo da transeção 1.....	92
Figura 25 - Distribuição de argila % e carbono % da camada superficial (0-20cm) da transeção 1.....	99
Figura 26 - Distribuição da razão C%/100g de argila ao longo da camada superficial da transeção 1.....	100
Figura 27 - Distribuição de alguns atributos químicos do horizonte B dos perfis amostrados ao longo da transeção 1.....	103
Figura 28 - Distribuição dos valores de saturação por bases (V%) ao longo da transeção 1. Dados das porções do horizonte B amostrados dos perfis.....	104
Figura 29 - Valores de pH do horizonte B ao longo da transeção 1.....	105
Figura 30 - Hipótese sobre a evolução da paisagem local. (A) paleopaisagem; (B) paisagem atual.....	107
Figura 31 - Aspectos do topo da transeção 2.....	109
Figura 32 - Ombro da vertente. Transeção 2.....	110
Figura 33 - Meia encosta e sopé da vertente (transeção 2).....	111
Figura 34 - Afloramentos de rocha na meia encosta da transeção 2. Os matacões de gnaiss foram aparentemente amontoados.....	112

Figura 35 - Distribuição dos atributos soma de bases (S) alumínio trocável (Al) e CTC do solo (S+Al+H), da camada superficial ao longo da transeção 2.....	113
Figura 36 - Teores de cálcio trocável da camada superficial ao longo da transeção 2.....	114
Figura 37 - Teores de magnésio trocável da camada superficial ao longo da transeção 2.....	114
Figura 38 - Teores de potássio trocável da camada superficial ao longo da transeção 2.....	115
Figura 39 - Valores de em água pH da camada superficial ao longo da transeção 2.....	115
Figura 40 - Distribuição do P-resina ao longo da transeção 2. Note-se o decréscimo no segmento ombro e meia encosta superior.....	117
Figura 41 - Distribuição do P-resina da camada superficial (0-20cm) ao longo da transeção 2, correlação com a espessura dos respectivos horizontes A.....	118
Figura 42 - Distribuição do carbono orgânico (%) e argila da camada superficial ao longo da transeção 2.....	119
Figura 43 - Razão C%/100g de argila da camada superficial ao longo da transeção 2.....	120
Figura 44 - Valores de H, S, Al e T (S+Al+H) para a camada subsuperficial (amostras do horizonte B) dos perfis da transeção 2 e respectivas posições na vertente.....	128
Figura 45 - Saturação por bases (V%) de amostras do horizonte B dos perfis da transeção 2 e respectivas posições na vertente.....	129
Figura 46 - Distribuição do C orgânico da camada subsuperficial da transeção convexo 1. Note-se os maiores valores para 177 e 176 (latossolo podzólico e podzólico-latossólico).....	130

Figura 47 - Distribuição de C orgânico (%) em profundidade em quatro perfis da transeção 2 e suas respectivas posições na vertente.	131
Figura 48 - Atividade das argilas (T/100g de argila), descontado o efeito da matéria orgânica através de cálculo. Valores para amostras do horizonte B dos perfis da transeção 2 e respectivas posições na vertente.....	132
Figura 49 - Direção hipotética do fluxo de água através da vertente. (Adaptado de MONIZ & BUOL, 1982).....	142
Figura 50 - Relação textural (% argila do B/% argila do A), dos perfis da transeção 1, e suas respectivas posições na vertente.....	145
Figura 51 - Perfil 149. Fotomicrografia sob luz natural de horizonte B latossólico. Trama granódica tendendo localmente a apórica granódica (38x).....	146
Figura 52 - Perfil 149. Fotomicrografia obtida com nicóis cruzados. Estrutura do plasma massépica. Trama granódica. (38x).....	146
Figura 53 - Perfil 149. Fotomicrografia com aumento maior que o apresentado na Figura 54 mostrando a estrutura massépica do B latossólico deste perfil (150x).....	147
Figura 54 - Perfil 153. Fotomicrografia sob luz natural do horizonte B textural. Trama porfírica fissurada. (38x).....	148
Figura 55 - Perfil 153. Fotomicrografia sob nicóis cruzados do horizonte B textural. Estrutura do plasma é vomassépica.....	148
Figura 56 - Perfil 153. Fotomicrografia sob luz natural do horizonte B textural. Detalhe mostrando cutãs. (38x).....	149
Figura 57 - Perfil 153. Fotomicrografia com nicóis cruzados evidenciando cutãs de iluviação do B textural. (38x).....	149

Figura 58 - Perfil 153. Fotomicrografia sob nicóis cruzados evidenciando cutãs atuais e paleocutãs de iluviação. (150x).....	150
Figura 59 - Perfil 153. Fotomicrografia sob nicóis cruzados. Note-se a estrutura vomassépica do horizonte B textural. (38x).....	150
Figura 60 - Perfil 161. Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfírica com cavidades fissurada. (38x).....	151
Figura 61 - Perfil 161. Fotomicrografia sob nicóis cruzados. Note-se os cutãs de iluviação acompanhando um canal e o maior número de separações plásmicas (em relação ao P153 e P149). Estrutura esquelvomassépica.....	151
Figura 62 - Perfil 161. Detalhe da seção delgada do horizonte B textural sob nicóis cruzados. Note-se o padrão característico dos cutãs de iluviação. (38x).....	152
Figura 63 - Relação textural (% argila B/% argila A), ao longo da transeção 2.....	155
Figura 64 - Densidade do solo (Ds) ao longo da transeção 2.....	158
Figura 65 - Perfil 177(topo). Fotomicrografia sob luz natural. Trama grânica-granódica do horizonte B latossólico. (38x).....	160
Figura 66 - Perfil 177 (topo). Fotomicrografia com nicóis cruzados. Note-se a estrutura inundúlica do horizonte B latossólico. (38x).....	160
Figura 67 - Perfil 177 (topo). Fotomicrografia sob luz natural mostrando área localizada com trama intertética no horizonte B latossólico. (38x).....	161
Figura 68 - Perfil 177. Fotomicrografia sob nicóis cruzados, mostrando área localizada com grande concentração de cutãs. (38x).....	161
Figura 69 - Perfil 176. Fotomicrografia sob luz natural. Trama Apórica-granódica em horizonte B de Podzólico Latossólico. (38x).....	162

Figura 70 - Perfil 176. Nicóis cruzados. A estrutura do plasma é esquelvomassépica. (38x).....	162
Figura 71 - Perfil 176. Concentração localizada de cutãs de iluviação. Nicóis cruzados. (38x).....	163
Figura 72 - Perfil 175. Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfirica com cavidades fissurada do horizonte B textural. (38x).....	164
Figura 73 - Perfil 175. Fotomicrografia com nicóis cruzados. Estrutura esquelvomassépica e cutãs de iluviação em evidência. (38x)...	164
Figura 74 - Perfil 171. Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfirica com cavidades do horizonte B textural do Podzólico Vermelho Amarelo pouco profundo. (38x).....	165
Figura 75 - Perfil 171. Nicóis cruzados. Seção delgada do horizonte B textural. Note-se a estrutura vomassépica e os cutãs de iluviação. (38x).....	165
Figura 76 - Perfil 171. Fotomicrografia sob maior aumento e com nicóis cruzados evidenciando a presença da mica. (150x).....	166
Figura 77 - Perfil 169. Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfirica do horizonte B textural. (38x).....	167
Figura 78 - Perfil 169. Nicóis cruzados. (38x).....	167
Figura 79 - Perfil 167. Fotomicrografia sob luz natural do horizonte B textural. Trama porfirica com cavidades. (38x).....	168
Figura 80 - Perfil 167. Com nicóis cruzados. Observa-se a grande quantidade de separações plásmicas. Estrutura vomassépica. Lâmina com 19% de cutãs. (38x).....	168
Figura 81 - Perfil 167. Fotomicrografia com nicóis cruzados. Note-se a pseudomorfose de mica no centro. (38x).....	169

Figura 82 - Perfil 164. Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfírica do horizonte B textural do Podzólico Vermelho Amarelo pouco profundo. (38x).....	170
Figura 83 - Perfil 164. Nicóis cruzados. Note-se a estrutura argilassépica e cutãs preenchendo um canal no canto superior. (38x).....	170
Figura 84 - Perfil 164. Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfírica e esqueleto abundante. (38x).....	171
Figura 85 - Perfil 164. Nicóis cruzados. Note-se a presença de minerais intemperizáveis em grande quantidade. Em destaque um grânulo grande de feldspato. Estrutura argilassépica. (38x).....	171
Figura 86 - Procedimento aconselhado para estudos de relações solo x relevo e/ou variabilidade espacial do solo na vertente.....	178
Figura 87 - Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 164; (sopé) amostras não deferrificadas.....	198
Figura 88 - Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 167; (sopé) amostras não deferrificadas.....	199
Figura 89 - Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 171; (meia encosta) amostras não deferrificadas.....	200
Figura 90 - Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 173; (ombro/meia encosta superior) amostras não deferrificadas....	201
Figura 91 - Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 175; (ombro) amostras não deferrificadas.....	202
Figura 92 - Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 175/6; (ombro) amostras não deferrificadas.....	203

Figura 93 - Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 176; (topo/ombro) amostras não deferriificadas.....	204
Figura 94 - Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 177; (topo) amostras não deferriificadas.....	205

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 01 - Valores médios de temperatura e precipitação da Estação Experimental de Mococa (dados médios de 35 anos).....	40
Tabela 02 - Classificação do regime térmico dos solos da E.E. de Mococa, SP. Fonte: Oliveira et alii (1975).....	42
Tabela 03 - Regressões significativas entre atributos da camada superficial do solo e a declividade posterior do local (D2). Análise feita considerando os 98 pontos de amostragem.....	71
Tabela 04 - Regressões significativas obtidas entre atributos do horizonte B dos 98 perfis de solo amostrados e parâmetros do relevo.....	73
Tabela 05 - Comparação entre cor do solo, profundidade do solum e declividade posterior (D2) e em diferentes trechos da amostragem.....	79
Tabela 06 - Regressões significativas no nível de 0,1% entre parâmetros do relevo e atributos da camada superficial dos solos da transeção 1.....	86
Tabela 07 - Regressões significativas no nível de 1% entre parâmetros do relevo e atributos da camada superficial dos solos da transeção 1.....	87
Tabela 08 - Regressões significativas no nível de 5% entre parâmetros do relevo e atributos da camada superficial dos solos da transeção 1.....	88

Tabela 09 - Cor e espessura do horizonte A dos solos e respectivas posições na vertente. Dados da camada superficial da transeção 1. Note-se o marcante escurecimento que se dá a partir da transição meia-encosta/sopé.....	94
Tabela 10 - Regressões significativas entre atributos da camada subsuperficial (horizonte B) dos solos da transeção 1 e parâmetros do relevo.....	102
Tabela 11 - Regressões significativas entre parâmetros do relevo e atributos da camada superficial dos solos da transeção 2...	123
Tabela 12 - Espessura e cor da camada superficial de alguns perfis da transeção 2 em relação na vertente. Obs.: m.e.s. = meia encosta superior.....	126
Tabela 13 - Análise de regressão e correlação para os parâmetros das camadas subsuperficiais da transeção 2.....	135
Tabela 14 - Avaliação qualitativa e quantitativa de feições micromorfológicas dos perfis da transeção 2 e suas respectivas posições na vertente.....	139
Tabela 15 - Avaliação qualitativa e quantitativa de feições micromorfológicas da transeção e posição na vertente.....	140
Tabela 16 - % de argila das camadas superficiais (horizonte A, ou parte superior deste amostrada de 0 a 20 cm), e subsuperficial (horizonte B amostrado de 60 a 80 cm), dos perfis situados no topo, ombro e meia encosta superior da transeção 2. Note-se o decréscimo no teor de argila da camada superficial dos perfis 174 e 175 (ombro).....	156

RELAÇÕES SOLO x RELEVO EM MOCOCA (SP). INFLUENCIA DAS
CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS E POSIÇÃO NA VERTENTE, NOS
ATRIBUTOS DO SOLO

AUTOR: Pablo Vidal Torrado

ORIENTADOR: Igo Fernando Lepsch

RESUMO

Visando compreender a evolução das propriedades morfológicas do solo e os padrões de distribuição na paisagem dos seus atributos químicos, estudou-se as relações existentes entre as características dos solos e a topografia, numa área que apresenta latossolos gradando, vertente abaixo, para podzólicos, todos desenvolvidos de rochas gnaíssicas na região nordeste do Estado de São Paulo.

Fez-se amostragem sistemática do solo em transeções situadas em vertentes com diferentes formas onde mediu-se a declividade, a distância do topo, os índices de curvatura lateral e longitudinal da vertente, a posição do solo e os atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos solos. Duas transeções foram mais detalhadas por serem mais representativas da paisagem local apresentando quatro segmentos de vertente distintos a saber: topo, ombro, meia encosta e sopé (transeções 1 e 2). Realizou-se

também estudos micromorfológicos em locais selecionados, quantificando-se os cutãs de iluviação e outros parâmetros. Os atributos do solo ao longo das transeções como um todo, e separadamente dentro dos diferentes segmentos, foram correlacionados com parâmetros topográficos para observar como a posição na encosta os afeta e compreender as transições laterais dos horizontes A e B.

Os parâmetros topográficos que mais se relacionaram com atributos do solo foram a distância do topo (DT) e a distância vertical do topo (DV), vindo logo em seguida a declividade e os índices de curvatura da vertente tanto lateral (CL) como longitudinal (CC), sendo os dois últimos os que menos contribuíram para explicar a variabilidade dos dados. Levando em conta todos os locais de amostragem, as variáveis K_i , CTC/100g de argila, teor de silte e outras relacionadas com o grau de intemperismo dos solos estão bastante relacionadas com a inclinação das encostas sendo que, quanto maior for a declividade, menor será o grau de intemperismo dos solos. Outros atributos como os teores de fósforo lábil, cálcio trocável e carbono orgânico, mostraram padrões de distribuição que somente foram compreendidos após o estudo compartimentado da vertente, fazendo-se uso dos conhecimentos atuais dos processos que predominam em cada segmento. A interpretação da sequência lateral de horizontes na encosta, tanto do A como do B, foi facilitada ao se relacionar o solo com sua posição na ver-

tente. A passagem do A moderado para A chernozêmico está correlacionada com a transição meia encosta/sopé. Nas transeções 1 e 2 a passagem B latossólico/B textural foi atribuída a ação conjunta entre o adensamento provocado pelo fluxo lateral subsuperficial, o aumento gradativo da lessivagem vertente abaixo e o maior tempo de formação do solo, principalmente da pedoturbação na superfície mais estável do latossolo situado no topo quase plano da encosta.

A quantificação de parâmetros topográficos e seu relacionamento com atributos dos solos no exato local de amostragem foi útil à compreensão das relações solo x relevo, especialmente quando foi efetuada a compartimentação da vertente em seus segmentos naturais. Esta metodologia permitiu compreender melhor os processos pedogenéticos ajudando a determinar o efeito da posição na encosta no desenvolvimento de seus solos auxiliando à previsão do comportamento do solo segundo as variações da topografia local.

SOIL-LANDSCAPE RELATIONSHIPS IN MOCOCA (SAO PAULO, BRAZIL).
THE INFLUENCE OF TOPOGRAFIC CHARACTERISTICS AND SLOPE
POSITION ON SOIL ATRIBUTES

AUTHOR: Pablo Vidal Torrado

ADVISER: Igo Fernando Lepsch

SUMMARY

Chemical and morphological attributes were studied in relation to landscape features in order to better understand the evolution of morphologic characteristics and the distribution patterns of latosols (oxisols) grading downslope to podzolic soils (alfisols). These soils originated from gneissic rocks and occur in the northeastern region of the State of São Paulo (Brazil).

For that purpose data on the topographic characteristics of the area as well as soil's position in the slope along selected transects were obtained and correlated to the soil's chemical, physical, mineralogic and morphologic attributes. Lateral and downward clay migration was evaluated by means of micromorphologic techniques.

Analysis of all transects together revealed that soil properties related to weathering indexes, such as

Ki, apparent clay CEC and silt content, are well related to slope gradient: The higher the slope the less weathered the soils are. For two transects selected as more representative, correlation analysis offered an acceptable explanation for the observed lateral gradation of a moderate A (ochric epipedon) to a chernozemic A horizon (mollic epipedon) and of the latosolic B (oxic horizon) to a textural B horizon (argillic horizon). There, the topographic parameters were rated according to their importance to predict soil's properties as follows: distance from summit, vertical distance from the summit and slope gradient. Lesser in importance were lateral and longitudinal curvature. Lateral sequence of soil horizons was related to their position in the slope whereas gradation of a moderate A to chernozemic A was related to kind the slope segment.

These results have contributed to a better understanding of soil-relief relationships and to the significance of soil position in the landscape so as to allow for the prediction of soil attributes based on topographic parameters. Partition of the hillslopes in segments was found to be very useful for interpreting the soil-landscape relations. The quantification of topographic features on the exact soil sampling sites was found to be very useful to understand soil landscape relationships specially when the slopes were splitted partitioned according to their natural segments. This methodology allowed us to a

better understanding of a pedogenic processes, and helped to determine the effects of soil position on a hillslope in relation to their development and behavior.

1. INTRODUÇÃO

" Dentre os fatores que afetam a formação dos solos o relevo tem marcante influência na diferenciação lateral dos solos que ali ocorrem".

Esta frase poderia ter sido dita por Dockuchaev, o "pai da pedologia", no final do século passado; por Milne, o célebre pesquisador que introduziu o conceito de "catena" em 1935, ou ainda por outros pedólogos de renome dos dias atuais, que reconhecem a importância de se compreender as relações entre a paisagem (ou relevo) local e os respectivos solos que nela ocorrem.

E através do conhecimento das relações solo x relevo que o pedólogo poderá interpretar e decifrar muitas coisas que podem ser desde aquelas que parecem eminentemente óbvias até um determinado comportamento estranho e anômalo (DANIELS et alii, 1971). Este conhecimento é de grande utilidade à pedologia especialmente em trabalhos de cartografia de solos, onde o desconhecimento destas relações pode aumentar sobremaneira a intensidade dos trabalhos de prospecções sistemáticas no campo e/ou conduzir a erros cartográficos.

No Brasil, diversos pesquisadores têm se preocupado em estabelecer relações entre as características do relevo e as variações que ocorrem no solo sem, no entanto quantificar estas relações. A quantificação de relações solo/paisagem deve seguir aos estudos puramente descritivos, situando-se em uma fase mais avançada do desenvolvimento dos estudos de pedogênese e deverá ser útil no levantamento e teste de hipóteses sobre a influência do relevo e seus componentes na formação do solo, assim como deverá otimizar a capacidade de prever o comportamento deste na paisagem.

Este trabalho descreve e quantifica as principais características do relevo e os atributos dos solos segundo suas posições nas vertentes numa área que apresenta solos com B latossólico (Bw) gradando para solos com B textural (Bt), desenvolvidos sobre rochas do embasamento cristalino no município de Mococa (SP). Tomou-se como hipótese que muitas características dos solos estão relacionadas com as da paisagem e que essa relação é possível de ser quantificada. Desta forma, os principais objetivos foram de aplicar metodologia de quantificação de relações solo/paisagem para ajudar as previsões de onde diferentes solos ocorrem na paisagem e determinar o efeito da posição na encosta no desenvolvimento dos seus solos, em especial na transição lateral B latossólico / B textural, dada sua relevância para regiões tropicais úmidas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O relevo como fator de formação de solos

No final do século passado, Dokuchaev pioneiramente lançou a teoria de que o solo é o resultado da interação de vários fatores segundo a seguinte equação:

$$S = f(cl, o, m)t^o$$

onde s= solo, cl= clima, o= organismos, m= material de origem e t^o representa a idade relativa (juventude, maturidade e senilidade). A equação tem o sentido de ser um modelo conceitual teórico e não implica numa solução matemática para o problema (GERRARD, 1981). Mais tarde, outros autores incluíram o relevo como fator de formação no modelo de Dokuchaev e JENNY (1946) apresentou sua equação onde o relevo (r) se faz presente e o tempo (t) é considerado a partir da formação do solo:

$$s = f (cl, o, r, m, t...)$$

Enquanto o relevo condicionar significativa e notadamente as propriedades do solo, poderá ser considerado como um fator independente na formação deste último. Entretanto, em muitos casos o relevo condiciona significativamente a evolução pedológica, porém interagindo com outros fatores. Realmente as interações relevo x clima, relevo x organismos, relevo x material de origem e relevo x tempo, tem sido muito úteis para explicar a evolução dos solos e suas propriedades na paisagem (BUOL et alii, 1980).

/ HUGGET (1975) em sua revisão sobre este assunto, apresenta uma abordagem interessante e esclarecedora da importância do relevo como fator de formação: "Enquanto material de origem, biosfera e atmosfera participam na formação do solo, dando sua contribuição de matéria ou energia, o relevo se encarrega de condicionar a redistribuição desta matéria e energia", lembrando ainda que esta redistribuição é influenciada pela topografia local e foi inicialmente reconhecida por Dokuchaev e posteriormente consolidou-se no conceito de catena proposto por MILNE (1935).

Após 1935 muitos pesquisadores têm estudado a interação solo x relevo para melhor compreender a distribuição e comportamento do solo, o que ajuda a predizer onde e como este ocorre nas diferentes partes da paisagem.

2.2 Estudos solo x relevo e suas aplicações

Um dos precursores dos estudos de relações solo x relevo, ressaltando a sua importância para os trabalhos de cartografia pedológica foi MILNE (1935). Na conceituação de catena feita pelo mesmo, as diferenças encontradas entre os solos são atribuídas à ação e interação entre os processos hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos (PENNOCK & VREEKEN, 1986).

Desde que este conceito de catena foi introduzido por Milne, grande número de pesquisadores têm tentado estabelecer relações entre as características das encostas e das correspondentes topossequências de solos (TORRENT et alii, 1983a).

A importância desses estudos é ressaltada por DANIELS et alii (1971) com a seguinte frase: "Se o pedólogo conhecer a história da paisagem, onde seu objeto de estudo solo ocorre, ele estará em condições de interpretar e decifrar muitas coisas que podem ser desde aquelas que parecem eminentemente óbvias até um determinado comportamento estranho e anômalo".

Os primeiros trabalhos que se preocuparam em estabelecer relações entre a evolução das formas da paisagem e a gênese dos respectivos solos foram dedicados à formação e distribuição da laterita (ou petroplintita), após o que diversos autores, principalmente australianos, deram maior

atenção às pequenas modificações que ocorrem na paisagem por erosão e deposição (DANIELS et alii, 1971).

A partir das décadas de 60 e 70, pedólogos de diferentes nacionalidades, notadamente norte-americanos, ingleses, australianos e franceses expandiram as pesquisas sobre as relações solo x relevo, trabalhando com metodologia, enfoques e escalas diferentes com o que muito se avançou nesta área.

Relações solo-paisagem são frequentemente mal interpretadas, resultando em imperfeições cartográficas nos levantamentos pedológicos (WRIGHT, 1972). Caso estas relações não forem bem definidas, será necessário um trabalho muito grande de prospecções sistemáticas para mapeamento de solos e/ou erros muito grandes poderão ser cometidos.

Neste sentido, PERES FILHO et alii (1980), comentam que trabalhos sobre as relações solo x relevo são importantes para compreender as razões de desenvolvimento dos diferentes solos. Uma vez compreendidas essas diferenças, afirmam os autores que os levantamentos de solos podem usar essas informações como auxílio para a cartografia de solos.

MALÔ et alii (1974), também citam a necessidade da compreensão das relações solo - paisagem na interpretação de sistemas pedogenéticos. Os autores lembram que muitas das propriedades dos solos seguem padrões

sistemáticos de ocorrência na paisagem, tais como o conteúdo de matéria orgânica, densidade, textura e pH do solo, que variam de acordo com a posição do solo na paisagem.

A forma, o comprimento e a inclinação, os três principais componentes de uma vertente (encosta), tem considerável influência nos processos de movimentação do solo e no deslocamento do material de origem encosta abaixo, assim como no movimento da água sobre e dentro do solo (MUNNIK et alii 1984).

No Brasil diversos pesquisadores tem se preocupado em estabelecer relações entre as características da paisagem e a variação de solos a estas associados (PENTEADO & RANZANI, 1971; QUEIROZ NETO & MODENESI, 1973; PENTEADO & RANZANI, 1973; AZOLIN, 1975; CURI, 1975; LEPSCH & BUOL 1974; DEMATTÉ & HOLOWAYCHUCK, 1977; LEPSCH et alii, 1977 a e b; RODRIGUES & KLAMT, 1978; GONÇALVES, 1978; PEREZ FILHO et alii, 1980; CURI et alii, 1984; CURI & FRANZMEIER, 1984; UBERTI & KLAMT, 1984).

Analisando-se todos estas afirmações pode-se concluir que a quantificação das relações entre parâmetros topográficos que expressem o relevo local, e as propriedades dos solo ao longo da vertente, são úteis e necessários para a compreensão do efeito das posições específicas da paisagem na pedogênese local, para facilitar futuros trabalhos de cartografia pedológica e, de um modo geral, para ajudar a explicar qualquer comportamento anômalo ou estranho do solo

em relação as práticas agrícolas ou trabalhos de engenharia.

2.3. A compartimentação da vertente nos estudos solo x relevo

Segundo GERRARD (1981), a compartimentação detalhada das unidades geomórficas da vertente, é de grande importância na avaliação dos processos morfogenéticos, responsáveis pela retirada, translocação e deposição de sedimentos ao longo de uma encosta. Tais processos desempenham papel decisivo no comportamento morfopedológico, sendo muitas vezes condicionadores de diferenciações topossequenciais das propriedades do solo.

Neste particular, CHRISTOFOLETTI (1981), apresenta uma revisão sobre critérios para a descrição de vertentes e discute alguns modelos propostos na bibliografia internacional, tais como os de Derruau (1965), King (1953) e Darlymple et alii (1968). Segundo o autor, Derruau considera que o perfil típico de uma vertente apresenta 3 segmentos a saber: Convexidade no topo, concavidade na parte inferior e a separação entre estas que pode ser um segmento ou um simples ponto de inflexão (Figura 1).

Figura 1. Composição de uma vertente normal ou regular, conforme apresentada por Derruau (1965). A área pontilhada indica o regolito. (Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1981).

King, propôs um modelo descritivo totalmente diferente do modelo de Derruau, separando a vertente em quatro partes: Convexidade no topo, escarpa retilínea (face livre), parte reta com detritos na porção intermediária da vertente e pedimento suavemente côncavo (Figura 2). A crítica a este modelo é de que não seria universal para toda

e qualquer vertente como o autor pretendeu, embora o perfil mostrado seja comum em regiões de litologia estratificada. Já em regiões de rochas não estratificadas ou magmáticas, como no Brasil oriental, as vertentes estão longe de se assemelharem ao modelo proposto por Lester King (CRISTOFOLETTI, 1981).

Figura 2. As quatro partes componentes da vertente, conforme modelo apresentado por King em 1953 (Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1981).

Poucos anos antes do trabalho de King ser apresentado, AANDAHL (1948) cita a necessidade de descrever a configuração das superfícies próximas ao perfil do solo em estudo. O autor julga que a descrição do perfil topográfico úcamente associado ao local do perfil do solo, não é suficiente para mostrar as variações morfológicas da vertente, importantes para o conhecimento de sua dinâmica e a pedogênese. Propõe assim, a descrição de algumas feições

da vertente, que levem em consideração os componentes de curvatura vertical e horizontal (figura 3).

Figura 3. Classificação proposta por AANDAHL (1948) para os diversos segmentos da vertente.

O autor enfatiza ainda que uma boa descrição da posição do perfil do solo na vertente, deve incluir uma discussão tanto do seu posicionamento geral na paisagem como de características específicas da vertente, incluindo-se nestas últimas a declividade, a curvatura, o comprimento e a face de exposição.

Anos mais tarde RUHE (1960), apresenta seu clássico trabalho "Elements of the soil landscape" e compara sua proposta com o modelo de King, adicionando o segmento aluvial ("alluvial toeslope") e mudando o enfoque dos

segmentos intermediários que passou a chamar de "pediment backslope" e "pediment footslope". O autor também define as "terras altas" ou "upland" para a posição de topo. A figura 4 foi extraída do trabalho de RUHE (1960) e mostra a comparação dos dois modelos.

Figura 4. Comparação dos modelos propostos por Ruhe (em segundo plano) e por Wood e King (em primeiro plano) para os elementos da vertente. (Fonte: RUHE, 1960).

Um modelo de nove unidades hipotéticas de vertente é apresentado por DARLYMPLE et alii (1968), o qual é analisado e discutido em alguns livros texto como os de CHRISTOFOLETTI (1980) e GERRARD (1981), que descrevem resumidamente este estudo, feito em áreas temperadas úmidas, na tentativa de determinar modelos teóricos universais que representem a forma da vertente.

A análise feita por Christofolletti mostra

que "os autores consideram a vertente como um complexo sistema tridimensional que se estende do interflúvio ao meio do leito fluvial e da superfície do solo ao limite da rocha não intemperizada. A vertente é dividida em nove unidades cada uma sendo definida em função da forma e dos processos morfogenéticos dominantes e normalmente atuantes sobre ela". Ainda segundo o texto do Prof. Christofolletti, será improvável encontrar as nove unidades hipotéticas em toda e qualquer vertente, assim como a ordem sequencial dos segmentos de vertente não precisa seguir exatamente o modelo (Figura 5).

Figura 5. Modelo das nove unidades hipotéticas da vertente de DARLYMPLE et alii(1968). As setas indicam a direção e intensidade relativa do movimento do material de solo e fluxo da água no sistema. (Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para cada segmento DARLYMPLE et alii (1968) atribuem a predominância de determinados conjuntos de processos geomórficos e pedológicos dando lugar a comportamentos característicos para cada um destes os quais são comentados por GERRARD (1981). Sobre as unidades 1 e 2 (Figura 6), predominam processos de pedogênese associados ao movimento vertical da água, favorecendo a lixiviação, dessilicatização e consequentemente dando lugar a solos mais profundos. A unidade 3, ("declive convexo com reptação") é caracterizada por apresentar tanto processos pedogenéticos como geomórficos. As unidades 4 e 5 (escarpa e declive intermediário de transporte), são controladas pelos processos de intemperismo e principalmente movimentos de massa. O sopé coluvial (unidade 6), é afetado por processos geomórficos e pedogenéticos. O declive aluvial (unidade 7) está controlado por movimento subsuperficial da água e incursões do rio nos períodos de enchente. As unidades 8 e 9 são controladas pela ação fluvial.

O modelo apresentado por DARLYMPLE et alii (1968), representa um padrão ideal para ser aplicado na compartimentação de uma vertente. Assim, uma vertente qualquer em estudo, apresentará certamente uma associação dos segmentos propostos no modelo, sendo que poderá haver tanto recorrência como ausência de um mesmo segmento ao longo do perfil desta (CHRISTOFOLETTI, 1980).

No Brasil, PEREZ FILHO et alii (1983),

aplicaram o modelo proposto por Darlymple et alii, para estudar as relações solo x relevo numa topossequência no Vale do Rio Moji Guaçu (São Paulo). Neste trabalho cinco unidades do modelo são apresentadas: topo, declive intermediário de transporte, sopé coluvial, níveis de terraços e aluviões. Os autores estabelecem relações gerais entre estas unidades da vertente e os respectivos solos quantificando somente as propriedades dos solos mas não o fazendo com as do relevo.

FERREIRA et alii (1987), estudaram a variabilidade granulométrica do solo ao longo de duas encostas desenvolvidas em substrato quartzítico. Os autores fizeram uso da compartimentação da vertente em unidades geomórficas (topo convexo, pedimento, concavidade em meia encosta e rampa de colúvio), e discutem a vinculação da distribuição das partículas com os processos geomórficos das encostas, os quais possuem estreitas relações com os diferentes compartimentos de vertente.

HALL (1983), revendo trabalhos sobre relações solo x paisagem, cita a importância de se reconhecer os elementos básicos da vertente, e dá destaque à nomenclatura do modelo mais utilizado nas pesquisas pedológicas atuais, que foi proposto por Ruhe (1975), a partir dos trabalhos anteriores dele mesmo e também de Wood e King. Cinco elementos ou segmentos básicos da vertente (figura 6) são descritos: (a) "Summit" (topo ou interflúvio),

(b) "Shoulder" (ombro, ombreira ou convexidade), (c) "Backslope" (meia encosta ou declive intermediário de transporte), (d) "Footslope" (sopé da encosta) e (e) "Toeslope" (declive aluvial).

Figura 6. Elementos básicos da vertente em modelo adaptado ao de Ruhe (1975). Em primeiro plano o modelo de Wood e King e em segundo plano o modelo de Ruhe de 1960 adaptado por ele em 1975. (Fonte : HALL, 1984).

A cada um destes segmentos geomórficos da vertente HALL (1984) atribui comportamentos distintos, destacando-se a forma do segmento, estabilidade na paisagem, dominância de fluxos de água, espessura do solo e variabilidade do mesmo segundo as descrições a seguir.

Topo: forma convexa a côncava quase plana; parte mais estável da paisagem com predominância de movimento vertical da água. É o segmento que deve apresentar maior uniformidade em relação aos seus solos.

Ombro: Forma convexa, instável com linhas de fluxo definidas; aparece o fluxo lateral subsuperficial e superficial. Quando tem altas declividades apresenta solos rasos com um grau elevado de complexidade quanto a sua distribuição espacial. É um elemento erosional da vertente.

Meia encosta: Apresenta perfil topográfico desde linear até convexo ou côncavo. É um segmento típico de transporte de material; é também geomorfológicamente instável apresentando solos desuniformes em superfícies irregulares. Está sujeito a um maior número de ciclos de umedecimento e secamento do que as posições superiores. Alguns autores (ex.: DAY et alii, 1987) subdividem a meia encosta em dois membros: Meia encosta superior ("upper backslope") e meia encosta inferior ("lower backslope").

Sopé: Apresenta perfil topográfico côncavo e é o segmento da vertente que recebe deposições de sedimentos advindos das posições superiores. O fluxo lateral

subsuperficial da água tem maior atuação neste segmento, havendo em alguns casos a confluência com o fluxo basal desta na vertente e, eventualmente proximidade do lençol freático. No sopé deve-se esperar solos heterogêneos devido aos complexos processos ali atuantes.

Declive aluvial: Segmento de construção aluvial com influência marcante do lençol freático. Nele deve-se esperar o menor grau de desenvolvimento dos solos, sendo estes influenciados por deposições recentes do rio o que afeta a variabilidade do solo. Neste segmento é comum a ocorrência de paleossolos.

Diversos trabalhos sobre as relações solo x relevo e suas aplicações utilizaram modelos semelhantes a este último, sendo bons exemplos os de WALKER & RUHE (1968), KLEISS (1970), MALD et alii (1974), NORTON (1984), OVALLES & COLLINS (1986) e DAY et alii (1987).

2.4. A necessidade da quantificação na pedologia e a quantificação em estudos solo x relevo. Alguns exemplos.

Em seu didático livro "Statistics and data analysis in Geology" DAVIS (1986), apresenta no capítulo introdutório uma citação de Lord Kelvin que, pela da relevância para este trabalho, é aqui transcrita também no seu original.

"...when you can measure what you are speaking about and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in your thoughts advanced to the state of science, whatever the matter may be."

ou, traduzindo-se:

"...quando se pode medir e expressar numericamente o que se deseja dizer, então significa que sabemos algo a respeito ; mas quando não se pode expressar em números, então o conhecimento é superficial e de natureza insatisfatória; poderá até ser o início do conhecimento, mas pode-se afirmar que, independentemente do assunto tratado, os pensamentos apenas se movimentaram na direção da ciência."

Como se vê, toda ciência deve passar, em algum estágio de seu desenvolvimento, por uma fase de quantificação que poderá sustentar e apoiar suas hipóteses fundamentais. Companheira da pedologia no grupo de ciências da terra, a geologia é um excelente exemplo de ciência que recebia primordialmente um tratamento qualitativo e no presente passou a ter ênfase nos estudos quantitativos. A pedologia, a despeito de ser uma ciência jovem somente nos últimos 20 a 25 anos começou a receber tal tratamento quantitativo, com ênfase na variabilidade espacial dos solos, com o objetivo de quantificar os conceitos pedogenéticos e melhor entender os padrões de distribuição do solo na paisagem (WILDING & DREES, 1983).

Características e propriedades do solo podem ser quantitativas, o que vem sendo feito desde a antiguidade (ARNOLD, 1983). Já que propriedades dos solos podem ser medidas, variações destas podem ser relacionadas com a posição na paisagem, e o modo como variam pode ser descrito por relações matemáticas ou estatísticas. O conhecimento das relações existentes numa vertente por exemplo, será de grande auxílio na avaliação da ocorrência e distribuição das propriedades dos solos (MALO et alii, 1974).

RUHE & WALKER (1968), julgam que as relações entre a evolução geomorfológica e a pedogênese são passíveis

de quantificação. Com este intuito os autores estudaram algumas vertentes onde observaram diversos atributos do solo correlacionando-os com parâmetros morfométricos da vertente.

Em diversas áreas da pedologia, como a morfologia e a pedogênese pesquisas tem sido feitas usando modelos estatísticos avançados. Estes modelos são muito importantes para testar as hipóteses sobre o objeto de estudo que é o sistema solo (COLLINS & FENTON, 1982).

vários exemplos de estudos que relacionam quantitativamente as relações entre o relevo local e as características e propriedades do solo, através de técnicas matemáticas e estatísticas, podem ser mencionados. Um dos primeiros pesquisadores que teve esta preocupação foi AANDAHL (1948), que estudou a influência do comprimento da vertente no conteúdo de nitrogênio total do solo, e obteve regressões altamente significativas. O autor associa ainda a influência da distância do topo com outros parâmetros tais como, curvatura da vertente (vertical e horizontal), e propôs que, nos estudos de produtividade de culturas realizados em áreas com mudanças topográficas, a amostragem deve levar em consideração as variações morfológicas da vertente.

Muitos estudos tem mostrado que propriedades do solo estão correlacionadas com o gradiente de declividade e com o comprimento da vertente. Isto se deve parcialmente à interação entre a forma da vertente e os processos de erosão e deposição, assim como o movimento de água e material sólido que é governado pela configuração da encosta. Entretanto, estes processos poderão acentuar ou atenuar certas características físicas e químicas do solo (GERRARD, 1981).

MUNNIK et alii (1984), estudando aspectos por eles denominados de "pedogeomórficos" de uma região da África do Sul, concluíram que as relações entre espessura do solum e alguns parâmetros topográficos, em especial o grau de declividade e posição na vertente, foram consistentes o suficiente para estabelecer tres modelos básicos que representassem as variações da região. Os autores comentam, entretanto, que algumas anormalidades ocorreram, escapando de tais modelos, o que indicaria que a profundidade de um solo não obedece necessariamente uma relação simples e totalmente predizível a partir do conhecimento dos parâmetros da vertente (GERRARD, 1981).

OVALLES & COLLINS (1986), citam diversos trabalhos que procuram estabelecer a quantificação das relações solo x relevo e justificam seu trabalho na região norte do Estado da Flórida, pela falta de informações existentes nesse sentido para a região. Avaliaram como as propriedades dos solos se relacionaram com a posição na paisagem e também

compararam a variância de algumas propriedades do solo selecionadas, dentro e entre as diferentes posições na paisagem. Dividiram a vertente em topo, ombro e meia encosta ("summit", "shoulder" e "backslope", respectivamente). Os autores utilizaram diferentes métodos estatísticos para avaliar as relações solo x relevo e a variabilidade do solo.

Dentre os trabalhos que se preocuparam com a quantificação das relações entre as características do relevo e as propriedades do solo, o de WALKER et alii (1968b), forneceu grande parte da motivação para esta dissertação, dada a clareza e objetividade com que os atributos topográficos foram medidos e posteriormente incluídos em análises de regressão, procurando explicar as variações morfológicas do solo.

WALKER et alii (1968b) e também FURLEY (1971), dividiram a vertente em porções côncavas e porções convexas, o que aumentou a precisão das regressões estabelecidas entre parâmetros do relevo e propriedades e/ou características dos solos havendo, no entanto, uma variabilidade substancial que permaneceu sem explicação.

Já TORRENT et alii (1983a), não encontraram melhoria na correlação de propriedade do solo com as do relevo ao separar os segmentos convexas, côncavos e retilíneos, a não ser para alguns casos como a taxa de sódio trocável e a espessura do epipedon nas zonas convexas.

KLEISS (1970), relacionou algumas propriedades da camada superficial com a posição do solo na vertente e com a sua forma, indicada pelos diferentes segmentos destas. Estabeleceu desta maneira equações matemáticas que expressam a forma geométrica da vertente. Uma equação quadrática descreveu o topo e o ombro da vertente, enquanto que uma equação logarítmica expressou a forma da meia encosta, sopé e declive aluvial. As variações de carbono orgânico(C%) no horizonte A, assim como a distribuição granulométrica, acompanharam as variações morfológicas da vertente e os processos de erosão-deposição. Assim, nas posições de acúmulo, a quantidade de carbono orgânico vai aumentando gradativamente do topo para o declive aluvial. Estas diferenças de C% também estão relacionadas com o regime de umidade de cada posição da vertente. O autor seguiu usando de análises de regressão para estabelecer outras relações da posição na vertente com propriedades do solo como CTC, soma de bases, saturação por bases e densidade do solo da camada superficial.

FURLEY (1971), avaliando diversos trabalhos, relata a correlação encontrada do ângulo de inclinação da encosta e bem como do seu comprimento com propriedades do solo. Tais relações seriam resultado dos processos de erosão-deposição operantes sobre a forma da vertente com um relacionamento estreito da percolação e fluxo superficial da água, controlados por esta forma, e o desenvolvimento do

perfil do solo.

Muitos trabalhos mostram que análises de regressão entre declividade da encosta e atributos do solo, não são muito consistentes quando esta análise se dá na encosta como um todo. A compartimentação da encosta em diferentes segmentos (topo, ombro, meia encosta, sopé e declive aluvial), permite a distinção de melhores correlações. É possível, por exemplo, encontrar correlações significativas no ombro de uma determinada vertente entre a declividade e propriedades do solo (pH, carbono %, nitrogênio total % e soma de bases), e não obter valores significativos para o sopé da mesma vertente (FURLEY, 1971).

FURLEY (1971) também estudou o efeito do comprimento e do ângulo de declive da encosta sobre a variação nas propriedades do solo, em quatro transeções que apresentavam elementos convexos e côncavo, através da sua encosta (meia encosta e sopé). O autor usou de análises de regressão múltipla para mostrar o efeito combinado da declividade e distância do topo e concluiu ser esta combinação responsável por boa parte da variação observada nas propriedades do solo. Utilizou também, análises de regressão parciais que permitiram confirmar que algumas encostas podem ser divididas em dois segmentos principais, sendo que em um deles predomina o processo erosivo sobre a deposição de sedimentos ("upper slope") e no outro a

deposição é predominante ("lower slope"). Na camada superficial do solo nas partes superiores da encosta o pH, as frações grosseiras e o cálcio, potássio e sódio trocáveis aumentam com o incremento da declividade, enquanto que o carbono orgânico e frações finas decrescem com o aumento da declividade. Nas partes baixas da encosta, o autor encontrou uma variabilidade muito grande, atribuída ao caráter predominantemente deposicional. Na análise da vertente como um todo, a distância do topo correlacionou-se melhor do que a declividade com as variações do solo.

MALO et alii (1974) mostraram que o teor de carbono orgânico na camada superficial (horizonte A), aumenta logaritmicamente do ombro para o declive aluvial. Uma equação quadrática foi descrita para a relação carbono orgânico x distância do topo. Os autores atribuíram as variações, encontradas nos diferentes segmentos, principalmente aos processos de erosão e deposição. Componentes da vertente como o declive aluvial recebem material e acumulam. O topo da vertente mostrou melhor distribuição da matéria orgânica em profundidade do que o ombro e a meia encosta. Isto serviu como indicativo da predominância de processos pedogenéticos em detrimento do processo erosivo, permitindo melhor desenvolvimento do solo. Nas posições de ombro e meia encosta, a situação é inversa, o que explica a menor distribuição da matéria orgânica em profundidade.

Além destas relações acima descritas MALO et alii (1974), concluíram que os valores de densidade do solo também estão correlacionados com a posição geomorfológica do mesmo. Em seu estudo, a relação entre a profundidade do solo, onde a densidade do solo era maior que $1,4 \text{ g/cm}^3$, versus distância do topo é descrita por uma equação quadrática, com alto coeficiente de correlação.

Demonstrando certa dessintonia com os trabalhos de RUHE e WALKER (1968) e de WALKER et alii (1968a e 1968b), assim como de outros trabalhos aqui citados que mostram relações polinomiais empíricas obtidas a partir de análises de regressão para tentar predizer as propriedades do solo a partir de dados topográficos, TORRENT et alii (1983), estudando numa área por eles considerada de grande homogeneidade litológica e geomorfológica, concluíram que a utilidade das relações solo x relevo para uma cartografia detalhada na área em estudo era limitada, em função dos baixos coeficientes de correlação e determinação encontrados. Segundo os autores, o uso sistemático de dados topográficos, não permite predizer as propriedades dos solos além de uma maneira muito generalizada, o que não estaria de acordo com as necessidades de uma cartografia detalhada. Para este tipo de levantamentos os autores sugerem que a amostragem em malha ou ao acaso com alta intensidade terão melhor resultado.

PARRAGA et alii (1983), num estudo da influência conjunta do relevo e da vegetação sobre solos sob floresta na Espanha, encontraram que o conteúdo de carbono orgânico, nitrogênio total, porcentagem de saturação por bases e o conteúdo de ferro livre e de argila eram influenciados pela declividade e altitude (cota) do local de amostragem. Neste estudo regional de áreas montanhosas, o carbono e o nitrogênio mostraram depender essencialmente da altitude e sofrer incrementos a medida que esta aumenta. A saturação por bases e o ferro livre dependem da declividade, crescendo ambos em razão direta a esta.

Uma das propriedades mais relacionadas com o relevo é o regime hídrico que por sua vez afeta a cor do solo (TORRENT et alii, 1983).

Hematita e goethita imprimem cores características aos solos. Solos com hematita mostram matizes Munsell, em geral, mais vermelhos do que 7,5 YR, enquanto que solos goethíticos livres de hematita mostram matizes bruno-amarelados entre 2,5 YR e 7,5 YR (KAMPF & SCHWERTMANN 1983a e b). Em ambientes mais úmidos a goethita tende a predominar sobre a hematita (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1977), impondo cores mais amareladas aos solos (TORRENT et alii, 1983b).

TORRENT et alii (1983a), avaliaram a variação na cor do solo em função das variações de relevo, estabelecendo uma análise de regressão entre a cor do topo do horizonte B, através do "índice vermelho" (I.V.),

definido por TORRENT et alii (1980), e alguns parâmetros topográficos das vertentes. Concluíram que havia correlação negativa entre I.V. e a declividade no local, e correlação positiva entre I.V. e a distância do topo. Entretanto, os valores dos coeficientes de determinação (r^2) foram bastante baixos, não permitindo uma predição razoável do I.V. a partir dos dados topográficos. Neste trabalho foram analisadas diversas vertentes de um mesmo material de origem (granodioritos), e os coeficientes de correlação de algumas encostas foram elevados e significativos em detrimento de outras que apresentaram valor r muito baixo. Os autores atribuem ainda esta variação a pequenas diferenças no material de origem, entre outros fatores. Sendo assim, é possível que a correlação I.V. x parâmetros topográficos da vertente, possa ser de maior utilidade em áreas de maior homogeneidade litológica, especialmente no que se refere aos minerais máficos constituintes das rochas.

Existem sistemas de solos que podem reagir a pequenas mudanças de forma da superfície da encosta, em distâncias da ordem de um metro, enquanto que outros sistemas menos sensíveis apresentam variações dos atributos do solo correlacionadas com a compartimentação da paisagem. A falta de correlação entre propriedades do solo e a forma das encostas, pode estar então ligada à adoção de uma escala inadequada ao estudo do sistema solo x relevo (GERRARD, 1981).

TORRENT et alii (1983a), afirmam que embora possam ser estabelecidas frequentemente relações entre as propriedades dos solos em uma topossequência e as características topográficas de sua encosta correspondente, é duvidoso que se possam predizer as propriedades dos solos para uma área relativamente grande tão somente a partir dos dados topográficos.

Por outro lado GERRARD (1981), expõe que as relações entre as propriedades do solo e a forma da vertente, não são necessariamente simples e predizíveis. O autor chama a atenção para os casos não pouco frequentes de encostas que mantêm declive constante e no entanto apresentam enorme variabilidade nas propriedades do solo e, por outro lado, as propriedades do solo poderão ocorrer com razoável uniformidade sob encostas com grandes variações em sua forma.

Ausência de correlações poderão ser esperadas se a paisagem for muito jovem geomorfologicamente, ou se as fases erosivas foram extremamente vigorosas (GERRARD, 1981).

Para trabalhos como os que aqui foram discutidos, NORTON (1984), sugere a inclusão de representações tridimensionais, na forma de blocos diagramas construídos por computador, o que levará à melhor compreensão dos processos dinâmicos desta vertente.

No Brasil, trabalhos que quantifiquem as relações solo x relevo são raros. Nesta revisão apenas um

trabalho foi encontrado com enfoque semelhante aos aqui apresentados. Trata-se de pesquisa realizada em solos de várzea por van den BERG et alii (1987a e b), que usaram da análise de regressão múltipla, observando como algumas características do solo se correlacionaram com a distância do rio e altitude nas planícies aluviais do Vale do Rio Ribeira do Iguape, no Estado de São Paulo.

Outros estudos quantitativos de relações solo x relevo feitos no Brasil, abordam o uso de índices de drenagem, de semelhança geométrica e de análise dimensional de amostras circulares de redes de drenagem, estudadas por fotointerpretação, relacionando-os com cartas de solos preexistentes (FRANÇA, 1968; KOEFLER, 1976; CARVALHO et alii, 1980). Tais trabalhos não têm por objetivo compreender detalhadamente as relações pedogenéticas que ocorrem numa catena.

2.5. Hipóteses para a formação da sequência Bw/Bt na vertente

A área escolhida para esta pesquisa, apresenta solos com horizontes B latossólico (Bw), nas posições de topo, que gradam vertente abaixo para solos com B textural (Bt). Tal transição lateral é muito freqüente na paisagem local e para poder discutir com maior profundidade as relações solo x relevo, fez-se necessária uma revisão dos

aspectos ligados à gênese destes dois tipos de horizontes.

A gênese do horizonte B textural (Bt), equivalente no caso ao horizonte argílico, quando bem drenado, da taxonomia norte americana de solos (E.U.A., 1975), tem sido objeto de diversos trabalhos. Explicações diversas para situações também diversas, foram fornecidas por pedólogos tanto em condições tropicais como para a região temperada.

Um resumo de conceitos e hipóteses relevantes à discussão sobre a gênese do horizonte B textural e sua associação na paisagem com o horizonte B latossólico, ou horizonte "óxico", (E.U.A., 1975), é a seguir relatada:

Lessivagem ou argiluviação (BUOL et alii, 1980), é definida como migração de argila dos horizontes superficiais e posterior acúmulo no horizonte B textural. Este processo é favorecido quando as condições do meio superficial são ótimas para a dispersão das argilas (E.U.A., 1975; ESWARAN & SYS, 1979; BIRKELAND, 1974), quando da ocorrência de uma alternância de estações úmidas e secas, o que possibilita o transporte e a deposição das argilas que caminham verticalmente de forma dispersa através dos microporos do solo (E.U.A., 1975; TIÊ-BI-YOUAN et alii, 1983).

A ocorrência de fluxo subsuperficial lateral e basal de água, crescentes a partir do ombro da vertente, aumentam a incidência de ciclos de umedecimento (com saturação) e secamento do solo vertente abaixo e facilitam a

formação do B textural. Estes fluxos dão lugar a deformações plásticas que aumentam a densidade e grau de desenvolvimento de macroestrutura do solo, assim como incrementam a orientação do plasma ao redor dos poros, pedos e grânulos do esqueleto (MONIZ & BUOL, 1982a).

LEPSCH & BUOL (1977) e QUEIROZ NETO et alii (1981) sugerem um modelo onde a circulação de soluções no topo de uma vertente se dá verticalmente. A partir do ombro a circulação (fluxo de soluções) é mista, vertical e lateral, e seria responsável pela formação de B texturais a partir de B latossólicos; com o efeito do fluxo lateral as ligações ferro/argila se rompem, favorecendo a migração vertical das argilas e a estrutura do Bw transforma-se de granular muito pequena a sub angular média a grande do Bt.

Processos de destruição das argilas da camada superficial, que tem como principal consequência a formação de um gradiente textural são citados por diversos autores (BRINKMAN, 1969/70; E.U.A. 1986; JIMENEZ RUEDA & DEMATTÉ, 1988). Tais processos parecem ter lugar principalmente no topo do horizonte B textural de solos ácidos (álícos), que apresentam elevado gradiente textural e reduzida permeabilidade. A presença de cores típicas de ambientes de redução, na forma de mosqueados, na transição entre o horizonte superficial (normalmente horizonte E) e o B textural, é considerada uma forte evidência de degradação do topo do Bt.

Latossolos ocorrem normalmente em posições relativamente estáveis e de topo, em superfícies antigas, algumas datadas do meio do terciário, como remanescentes de uma erosão regional prévia ou ainda remanescentes preservados de velhos terraços aluviais (BUOL et alii, 1980; ESWARAN & TAVERNIER, 1980).

Assim sendo, a maioria dos latossolos (ou oxissolos de boa drenagem) são formados sobre sedimentos previamente intemperizados e transportados, sendo que este transporte pode ser tanto a grandes como a curta distâncias, podendo-se dar aos mesmos o adjetivo de alóctones, ou pseudoautoctones e (E.U.A., 1975; BUOL et alii, 1980; ESWARAN & TAVERNIER, 1980; BENNEMA 1981; LEPSCH & BUOL, 1986).

Entretanto, latossolos autóctones, que são aqueles que se desenvolveram a partir de um material não previamente intemperizado e transportado, poderão se formar a partir de rochas ricas em minerais máficos, granitos, gnaisses etc. Estes latossolos podem ocupar posições geomorfológicas relativamente jovens quando estão associados a regimes de umidade perudicos (ESWARAN & TAVERNIER, 1980; BUOL, 1981).

Muitos dos latossolos alóctones podem ser reconhecidos através da presença de linhas de pedras ou "stone lines" (BIRKELAND, 1984), mas nem todos estes latossolos a apresentam. Numa escala microscópica

entretanto, a natureza alóctone do material pode ser evidenciada em alguns casos. Fragmentos de argilãs (argila iluviada) incorporados na matriz do solo e/ou a presença de lito ou pedo-remanescentes com argilãs incorporados, podem evidenciar ser material misturado a partir de um transporte. A gênese dos argilãs, neste caso, seria anterior à formação "in situ" do latossolo. Outros exames também podem indicar a descontinuidade litológica no perfil, indicando um retrabalhamento (ESWARAN & TAVERNIER, 1980).

Muitos solos com B latossólico (horizonte óxico), gradam, vertente abaixo, para solos com B textural (LEPSCH & BUOL, 1974; LEPSCH et alii, 1977; MONIZ & BUOL, 1982a). Embora possam existir diferentes hipóteses para esta transição lateral B latossólico / B textural, BUOL (1981) afirma que todos os oxissolos (latossolos) sofrem alterações morfológicas durante a evolução geomorfológica da paisagem, a apresentando comumente um horizonte argílico ou pseudoargílico nos segmentos laterais da vertente, onde o fluxo lateral interno da água, dá lugar a ciclos de umedecimento e secamento do solo, provocando a compressão deste e originando uma estrutura em blocos (MONIZ & BUOL, 1980).

2.6. Considerações gerais

Uma vez vistos todos os aspectos que envolvem este trabalho, o leitor deve ter em mente que:

a) O relevo tem grande influência sobre a formação do solo.

b) Muitas propriedades do solo variam sistematicamente dentro de determinados padrões da paisagem.

c) A compartimentação detalhada da vertente em segmentos, tem sido de grande utilidade para interpretar os processos dinâmicos que influem na diferenciação do solo ao longo desta.

d) As hipóteses sobre a evolução lateral dos solos com B latossólico para B textural aqui aventadas, sofrem direta ou indiretamente a influência do fator relevo.

e) É possível medir atributos tanto do solo como da topografia em que ele se insere.

f) Modelos estatísticos e matemáticos, como a análise de regressão, podem ser estabelecidos para quantificar as relações solo x relevo.

g) A expressão das relações solo x relevo através de modelos matemáticos e/ou estatísticos, permite comprovar hipóteses sobre a influência dos componentes do relevo sobre o solo como um todo.

h) Um tratamento apenas qualitativo da previsão do comportamento do solo em função das características topográficas carece de objetividade suficiente para as necessárias interpretações em relação aos estudos pedogenéticos e trabalhos de cartografia pedológica.

i) Finalmente justificando este trabalho, o leitor deve tomar em consideração a carência de estudos quantitativos que mostrem as relações solo-relevo no Brasil e suas implicações com a pedogênese.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1. Localização da área estudada

A Estação Experimental de Mococa, do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, situa-se no município de mesmo nome, na região nordeste do estado, coincidindo com o limite entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica Paulista.

As coordenadas geográficas são: $21^{\circ} 28' S$ e $47^{\circ} 1' W$ de Greenwich (figura 7).

Figura 7. Localização geral da área estudada no Estado de São Paulo.

km

Figura 8. Localização da Estação Experimental de Mococa em relação ao perímetro urbano e principais acidentes geográficos ao seu redor. Fonte : Mapa do IBGE, (Coordenadas UTM)

3.1.2 Clima

3.1.2.1. Balanço hídrico.

O balanço hídrico segundo método de Thornwaite e Mather (1955), pressupondo-se para fins de cálculo uma capacidade máxima de armazenamento de água pelo solo de 125mm, foi calculado com os dados de chuvas e temperatura obtidos no posto meteorológico da E.E. de uma altitude de 665m (tabela 1). Segundo este balanço (figura 9) há uma estação seca bem definida durante os meses de inverno (especialmente nos de julho agosto e setembro), e um excedente anual de 495mm bem como um déficit anual de 68mm. A precipitação média anual é de 1442 mm.

Tabela 1. Valores médios de temperatura e precipitação da Estação Experimental de Mococa (dados médios de 35 anos).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Temperatura (C)												
23.2	23.2	22.9	21.1	19.0	18.2	18.4	20.5	22.2	22.6	22.8	23.0	21.4
Precipitação (mm)												
258	204	173	67	47	37	22	20	51	133	178	251	1442

*

dados fornecidos pela seção de climatologia do IAC.

Figura 9. Balanço Hídrico da Estação Experimental de Mococa segundo o método de Thornwaite e Mather (1955).

3.1.2.2. Classificação do clima

Segundo a classificação climática de Koeppen o clima da área é do tipo Cwa definido como subtropical, temperado de inverno seco onde a temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C e a do mês mais quente ultrapassa 22 °C.

3.1.2.3. Regime hídrico e térmico dos solos

Segundo OLIVEIRA et alii (1975) a área em estudo apresenta regime hídrico údico, isto é os solos apresentam menos de 90 dias consecutivos de deficiência hídrica. O regime térmico é do tipo hipertérmico, sendo a temperatura média anual, medida na seção de controle do solo (a 40 cm de profundidade), superior a 22 °C e a amplitude está acima de 5 °C.

Tabela 2. Classificação do regime térmico dos solos da E.E. de Mococa, SP. Fonte: OLIVEIRA et alii (1975).

REGIME TÉRMICO DOS SOLOS DA E.E. DE MOCOCA		
Temperatura média anual do ar.....	21,4	°C

3.1.3. Vegetação natural

Na área ocorria de modo generalizado, floresta tropical subperenifólia ou latifoliada e hoje apresenta-se reduzida em áreas de pequenas dimensões e bastante alteradas pelo homem. Segundo RADAMBRASIL (1983) a região em estudo se encontra no contato entre savana e floresta estacional semidecídua, havendo poucas áreas remanescentes de tais vegetações.

3.1.4. Uso atual das terras

Dada a condição de fazenda experimental são ali conduzidas diversas culturas anuais (principalmente algodão, milho, soja e arroz), adubos verdes e algumas perenes, onde se destaca os cafezais. As pastagens também tomam uma parte significativa da fazenda, ocupando no presente terras que no passado pertenceram a outros cultivos. A experimentação no local inclui os mais variados setores da pesquisa agrônômica, envolvendo ensaios de manejo do solo (incluindo fertilização), melhoramento genético de espécies, sistemas de rotação de culturas, práticas de irrigação e conservação do solo. Além disso existem áreas destinadas a produção de algumas sementes básicas, principalmente café, arroz, soja e adubos verdes.

Para o município de Mococa SILVA (1986) cita as pastagens, a cana-de-açúcar e a cultura do café como principais formas de ocupação do solo havendo uma tendência de expansão da cana-de-açúcar principalmente nas áreas de pastagens, pois os cafeeiros ocupam as porções de relevo mais acidentado associadas ao Planalto Atlântico, onde a mecanização exigida pelos cultivos anuais fica dificultada.

3.1.5. Geomorfologia e relevo locais

A área em estudo localiza-se na faixa de transição entre duas divisões geomorfológicas do Estado de São Paulo: Depressão Periférica e Planalto Atlântico, mais especificamente na transição entre a Zona de Moji Guaçu e a Serrania de Lindóia conforme IPT (1981a), e a seguir resumidamente descritas:

Zona de Moji: O relevo é de colinas médias, com predomínio de interflúvios com áreas de 1 a 4 Km², de topos aplainados, com vertentes de perfil convexas a retilíneas. Drenagem de média a baixa intensidade, padrão subretangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas. Nesta zona há um predomínio de baixas declividades (até 15%) e amplitudes locais de altitude inferiores a 100m.

Serrania de Lindóia: Relevo de morros paralelos, topos arredondados, vertentes com perfil retilíneo a convexo. Drenagem de alta intensidade, padrão em treliça a localmente subdendrítica, vales fechados a abertos, planícies aluviais restritas. Predominam declividades altas (acima de 15%) e amplitudes locais em torno de 100 a 300 metros.

Na E.E. de Mococa, existem tanto colinas suaves com largas vertentes de perfil retilíneo a convexo, morros como de topo arredondado com vertentes escarpadas associadas. Nas primeiras ocorrem solos profundos (latossolos e podzólicos argilosos), semelhantes às descritas para a Zona de Moji, que possui vertentes mais suaves, enquanto que nos morros estão os solos mais rasos e afloramentos rochosos do pré-cambriano inferior (Complexo Varginha).

As figuras 10 e 11 ilustram o relevo local da parte oeste da E.E. de Mococa. Nestes blocos-diagrama obtidos a partir de carta planialtimétrica 1:5000 com curvas de nível de 1 em 1 metro, e elaborado em computador com a ajuda do programa SURF¹, pode-se observar as variações topográficas locais. Vertentes longas com menor declividade com solos profundos em contato com escarpas íngremes nas quais são encontrados solos pouco desenvolvidos e afloramentos rochosos. As vertentes apresentam variações

(1)

SURF - Golden Software

quanto a sua morfologia, havendo as convexas de contorno côncavo e as convexas de contorno também convexo.

Optou-se por estudar as vertentes de maior representatividade para a região incluindo-se, na amostragem de solos, os diferentes contrastes que se encontram na E.E. de Mococa e cuja fisiografia mais se assemelha à Serrania de Lindóia. Maior detalhamento foi dado a duas topossequências que aparentemente melhor representam as áreas de ocupação agrícola mais intensiva na região.

Figura 10. Bloco diagrama da porção sudeste da Estação Experimental de Mococa. Em primeiro plano as vertentes de declividade menor e lançantes mais longos. (Escala aproximada: Vertical 1:2.000 ; Horizontal 1:16.000).

ESTACAO EXPERIMENTAL DE MOCOCA

Figura 11. Bloco diagrama da porção sudeste da Estação Experimental de Mococa. Em primeiro plano a escarpa declivosa. Note-se a presença de porções côncavas e convexas nas vertentes. (Escala aproximada: Vertical 1:2.000 ; Horizontal 1:16.000)

3.1.6. Geologia e material de origem dos solos

De acordo com o mapa geológico (IPT 1981b), a área de estudo localiza-se no Complexo Varginha. Trata-se de um extenso terreno granítico-gnaissico de idade arqueana, caracterizado por uma grande variabilidade litológica, onde são encontrados migmatitos diversos de paleossomas granulíticos, calcossilicáticos, anfibolíticos, xistosos, dioríticos e quartzíticos incluindo ainda termos gnaissicos a biotita e granada e pequenos corpos anfibolíticos

regulares. Esta associação litológica é referida pelos autores às áreas de Mococa, São João da Boa Vista e Caconde, penetrando pelo Estado de Minas Gerais.

CAMPOS NETO & FIGUEIREDO (1985) apresentam em seu mapa geológico na escala 1:50.000, a mesma região com a denominação de Complexo Pinhal onde a área em estudo está situada na "suite Granito-Migmatítica Pinhal". A litologia é descrita, com detalhamento maior, como sendo composta de migmatitos estromáticos a leucossoma granítico a quartzo sienítico róseo ou cinza rosado, melanossoma de biotita e opacos e/ou hornblenda e mesossoma inequigranular cinza granito-diorítico a quartzodiorítico. Bandas trondjemíticas aparecem localmente (PSPme). A figura 12 mostra o mapa dos referidos autores para a região de Mococa.

Figura 12. Mapa geológico (escala 1:50.000) da região onde se localiza a área em estudo (achureada). Note-se os dobramentos frequentes na região (cortes A-B e C-D).

As observações de afloramentos rochosos na E.E. de Mococa confirmam tal litologia, tendo sido encontrados migmatitos e gnaisses com predominância de minerais félsicos (quartzo, feldspatos e muscovita). Tais afloramentos entretanto, apresentam normalmente predominância de quartzo quando não representam veios quartzíticos propriamente ditos. Desta forma os blocos e matacões que se encontram próximos à superfície constituem-se de material altamente resistente ao intemperismo, sendo portanto presumivelmente mais preservados que as demais rochas.

Nas observações de afloramentos de rocha na E.E. de Mococa, foi possível reconhecer a predominância de gnaisses leucocráticos e, associados a eles, menor ocorrência de granitos. Localmente aparecem rochas com maior quantidade de minerais máficos, que possivelmente correspondem as rochas anfibolíticas. Veios quartzíticos também foram observados com espessura e granulação variável.

Depósitos superficiais neocenozóicos

Observações de campo mostraram evidências da existência de depósitos superficiais provavelmente originados de um retrabalhamento do regolito em algumas posições. Linhas de seixos e matacões (cascalheiras) foram observadas em corte de cerca de 10m de profundidade em rodovia limítrofe com a Estação experimental. Blocos de

arenito fracamente consolidado de granulação fina e aparentemente com alto grau de selecionamento, foram encontrados nesta linha de pedras associados a fragmentos de blocos concrecionários lateríticos. Por outro lado, foram também encontrados fragmentos de finas carapaças ferruginosas ainda preservados, indicando uma aparente formação insitu desta carapaças. Por se tratar de área muito próxima à Depressão Periférica e à Formação Botucatu, os blocos de arenito não evidenciam necessariamente um retrabalhamento com transporte a longas distâncias, podendo ser a curta distância com forte contribuição dos migmatitos e gnaisses locais. A presença de manchas de alteração esbranquiçadas acima da linha de pedras e a ocorrência de solos argilosos, vermelhos com teor médio a alto de óxidos de ferro nestas superfícies apoiam tal hipótese.

Na área específica onde foi feita a amostragem de solos foram observadas outras linhas de pedras as quais foram interpretadas como produto da alteração do migmatito próximo ou subjacente, sendo os fragmentos de quartzo arestados ou subarredondados correspondentes a veios quartzíticos da rocha, com ocasional transporte a distâncias relativamente curtas (2 a 20m). Esta possível movimentação local por processos de coluvionamento e/ou deslizamento do corpo do solo, parece explicar a disposição e quebra da continuidade das linhas de pedras observadas nas paredes de uma grande valeta erosional que existe na área (figura 13).

- Cascalho arredondado de quartzo no solo
Solo (Podzólico Vermelho Escuro)

Escala horizontal 1:100

Figura 13. Fragmentos de quartzo arredondado a subarredondado dispostos segundo uma determinada orientação no interior do horizonte B do solo exposto nas paredes de uma valeta erosional.

Linhas de pedras também aparecem comumente a cerca de 15 a 30cm de profundidade em alguns solos podzólicos e cambissolos, chegando em alguns casos a haver grande quantidade de calhaus no horizonte A nos solos das encostas mais íngremes. Os processos de coluvionamento da vertente e os veios de quartzo das rochas ali presentes parecem explicar tais ocorrências.

3.1.7. Os solos presentes

A figura 14 mostra a distribuição espacial dos solos da área em estudo obtida através de levantamento detalhado dos solos da E.E. de Mococa (LEPSCH et alii, em ¹preparação), para o qual contribuíram as informações obtidas nesta dissertação.

(1)

LEPSCH, I.F.; MONIZ, A.C.; VIDAL TORRADO, P.
Levantamento pedológico detalhado da Estação
Experimental de Mococa. Em preparação.

A porção oeste da E.E. de Mococa, apresenta solos de natureza diversa variando entre latossolos vermelho escuros de textura muito argilosa, álicos ou distróficos, podzólicos vermelho escuros eutróficos de textura argilosa a média/argilosa com horizonte A moderado ou A chernozêmico, e solos rasos ou pouco profundos como os da unidade PV8 (podzólicos e cambissolos eutróficos) da figura 15. É neste contexto que as amostragens foram estabelecidas, dando destaque às topossequências de maior representatividade na paisagem daquela região.

Solos podzólicos eutróficos de textura muito argilosa ou média/argilosa, derivados de rochas cristalinas semelhantes ao aqui estudados, têm ocorrência significativa na região nordeste do Estado de São Paulo, especificamente nos municípios de Mococa, São José do Rio Pardo e Divinolândia. Mais ao sul desta região, ainda na zona geomorfológica da Serrania de Lindóia, novamente surgem solos semelhantes aos estudados neste trabalho, nos municípios de Moji Guaçu, Amparo, Itapira e proximidades de Campinas. A maioria destes municípios conta com uma exploração intensiva das terras, havendo no entanto pouquíssimas informações detalhadas sobre os seus solos. Mapeamento em nível de semidetalhe,¹ como o que vem sendo feito para a quadrícula de Moji Guaçu por OLIVEIRA¹, e no

(1)

OLIVEIRA, J.B. Levantamento Pedológico Semidetalhado da Quadrícula de Moji Guaçu, Instituto Agrônomo, Campinas (em preparação).

nível de detalhe certamente serão efetuados nestas regiões no futuro, e trabalhos como este, que apresentem bases para uma melhor compreensão da ocorrência destes solos na paisagem, poderão ser úteis para futuros estudos pedológicos.

3.2. Métodos

3.2.1. Métodos de campo

As atividades de campo seguiram a sequência apresentada a seguir.

Seleção da área de estudo

Baseando-se nas informações obtidas no início dos trabalhos de identificação dos solos para efeito do levantamento pedológico detalhado, foi escolhido um local que favorecesse a pesquisa proposta, isto é, englobando diferentes feições fisiográficas e que apresentasse transição entre solos latossólicos e podzólicos.

Estabelecimento dos locais de amostragem

Interpretando-se aerofotos na escala 1:25.000 e observando-se mapas planialtimétricos da E.E de Mococa na escala 1:4.000, foram escolhidos os locais para o estabelecimento das cinco transeções de amostragem. Para

este fim selecionou-se transeções de vertentes com contorno côncavo e outras de contorno convexo ou convexo a retilíneo. Escolhidas as transeções, procedeu-se a marcação dos locais a serem amostrados em intervalos regulares de 25m (figura 15).

Figura 15. Mapa mostrando a localização das transeções (T1, T2, T3, T4 e T5) com os pontos onde a amostragem do solo foi realizada e os parâmetros do relevo medidos.

Determinação do declive

Calculou-se a declividade em cada local amostrado, fazendo-se leituras de distância entre pontos com a trena e diferença de altitudes com um nível de engenharia ZEISS.

Amostragem dos solos

Foram abertas trincheiras com intervalos regulares de 50 m, sendo que as amostragens se intercalaram a cada 25m entre trincheiras e tradagens. As descrições dos solos seguiram as normas do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (S.B.C.S. 1984). Na maioria das tradagens duas amostras foram coletadas, sendo uma representativa do horizonte A ou camada superficial (0 a 20cm) e outra do horizonte B (60 a 80cm). Nesta etapa também foram coletadas as amostras indeformadas para análise de densidade do solo e micromorfológicas. Ainda nesta fase, efetuou-se uma verificação de homogeneidade de material de origem dos solos, incluindo observações e coletas em barrancos, trincheiras e tradagens profundas (5 a 8m de profundidade) em três locais.

Observação da litologia e geomorfologia

Identificação das características geomorfológicas e geológicas locais, com observações das formas de relevo e afloramentos rochosos. Nesta etapa foi possível verificar os tipos de rochas predominantes na área, correlacionando-as com a litologia constante no mapa geológico publicado por CAMPOS NETO & FIGUEIREDO (1985), na escala 1:50.000.

Análise ultradetalhada da morfologia do solo em uma das transeções

Após o estudo inicial de campo, procedeu-se a um detalhamento maior da transeção 2 (fig. 21), descrevendo-se continuamente a variação lateral dos horizontes, conforme proposto por BOULET (1980). Para isso comparou-se a morfologia dos horizontes dentro da transeção, colocando pequenas amostras destes em caixinhas de papelão organizadas sequencialmente por perfis, em uma caixa de madeira. A esta caixa de madeira BOULET¹, deu o nome de "pedocomparador", tendo sido muito útil aos seus propósitos, neste e em outros trabalhos. A partir destas observações, desenhou-se em papel milimetrado, no campo, toda a sequência

1

BOULET, R. Comunicação pessoal.

vertical e lateral dos horizontes, permitindo uma visualização desta em corte longitudinal desde o topo até o sopé desta encosta.

Estabelecimento dos segmentos de vertente

Foram reconhecidos e delimitados os segmentos topo (ou interflúvio) , ombro (ou convexidade do topo), meia encosta (ou declive intermediário de transporte) e sopé. As transeções 1 e 2 foram as únicas que apresentaram os 4 segmentos, sendo que as transeções 3 e 4 somente possuem topo e meia encosta e a transeção 5 ombro e meia encosta. Os critérios aqui utilizados para tal distinção entre segmentos de vertente estão descritos em HALL (1984), DARLYMPLE et alii (1968) e em CRHISTOFOLETTI (1980).

3.2.2. Métodos de laboratório

As amostras de solo, com exceção das destinadas a determinações de densidade e confecção de lâminas para descrições micromorfológicas, foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2mm de abertura , sendo que a fração menor que esse valor constitui é a terra fina seca ao ar (TFSA). As análises químicas, físicas e mineralógicas foram feitas nos laboratórios da Seção de Pedologia do Instituto Agronômico.

3.2.2.1. Análise química

Foram feitas as determinações de acordo com CAMARGO et alii (1986) a seguir resumidamente descritas:

pH em água e em solução de cloreto de potássio 1N. Determinação potenciométrica após três horas de repouso; relação solo-líquido 1:2,5.

Carbono orgânico (C). Obtido por oxidação da matéria orgânica com solução de dicromato de potássio em meio ácido e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato amoniacal 0,05N e uso de difenilamina como, indicador.

Bases trocáveis (Ca^{++} , Mg^{++} e K^{+}). Obtidas por extração por agitação de 5g de TFSA com 50ml de NH_4OAc 1N a pH 7,0. O cálcio e o magnésio foram determinados no extrato por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando-se solução de óxido de lantânio a 0,2% para eliminar a interferência do alumínio e fósforo. O potássio foi determinado por fotometria de chama.

Acidez titulável ($\text{H}^{+} + \text{Al}^{+++}$). Obtido por extração por agitação de 5g de TFSA com 100ml de acetato de cálcio 1N pH 7,0 e titulação com NaOH 0,1N, usando fenolftaleína como indicador.

Alumínio trocável (Al^{+++}). Obtido por extração por agitação de 5g de TFSA com 100ml de cloreto de potássio 1N e titulação com NaOH 0,1N usando fenolftaleína como indicador.

Fósforo disponível (P resina). Determinação efetuada em algumas amostras selecionadas das transeções 1 e 5. Obtido através de resina trocadora de ânions conforme metodologia proposta por RAIJ e QUAGGIO (1983).

Ataque sulfúrico. Determinação do SiO_2 %, Fe_2O_3 %, Al_2O_3 % e TiO_2 %, fazendo uso do ácido sulfúrico (com $d = 1,47$), para promover o ataque ácido e determinação de SiO_2 no resíduo resultante e de Fe_2O_3 , de Al_2O_3 e de TiO_2 no filtrado.

3.2.2.2. Análise Física

Análise granulométrica. A análise granulométrica foi processada a partir da TFSA (fração menor que 2 mm). A composição granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, utilizando-se como dispersante mistura de hexametáfosfato com hidróxido de sódio, segundo GROHMANN e RAIJ (1973). Utilizou-se agitador rotatório de Wiegner a 30rpm durante dezesseis horas.

Argila dispersa em água. Processou-se da mesma maneira como foi feito para a argila total, porém, usando-se unicamente água destilada como dispersante.

Grau de floculação. Calculado segundo a fórmula: $100(\text{argila total} - \text{argila dispersa em água})/\text{argila total}$.

Densidade das partículas. Determinada a partir da TFSA (fração menor que 2mm), por embebição do solo com álcool etílico 96^o GL.

Densidade do solo (Ds). Esta determinação foi feita em amostras indeformadas, coletadas no campo com anel volumétrico de 50ml de volume, com borda cortante.

3.2.2.3. Análise Mineralógica

Análise mineralógica da fração argila. Realizada com difração de raio X em amostras previamente tratadas para eliminação da matéria orgânica, sem remoção de óxidos de ferro, fazendo uso da radiação de tubo de cobalto e filtro de ferro. O equipamento utilizado foi um difratômetro de raios-X HZG.

3.2.2.4. Análise Micromorfológica

Foram selecionados horizontes de alguns perfis para a coleta de material indeformado para fins de observação micromorfológica. As amostras secas foram impregnadas sob vácuo de torneira em dessecador, com a mistura de resina de poliéster Polilyte e monômero de estireno, utilizando o peróxido de metil-etil-cetona como catalizador para a polimerização do poliéster final (CASTRO, 1985). Após o endurecimento do material, procedeu-se o

corte, polimento por via úmida com pó de carborundum e montagem em lâminas de vidro com bálsamo do Canadá. O polimento final foi feito com o referido pó com granulometria cada vez mais fina até a obtenção de secções delgadas com cerca de 30mm de espessura.

A descrição micromorfológica seguiu os padrões propostos por BREWER (1964) e CURI et alii (1985). Nas contagens efetuadas para a quantificação de cutãs, poros, esqueleto e outras feições micromorfológicas, foi estabelecida uma malha regular de 200 pontos.

3.2.3. Os Parâmetros Topográficos

Foram medidos cinco parâmetros topográficos para cada ponto de amostragem do solo:

Distância do topo (DT). Medida no campo em metros. Refere-se à distância medida na superfície do solo entre o ponto de amostragem e a linha de cumeada mais próxima.

Distância vertical (DV). Corresponde à diferença de altitude entre o ponto de amostragem e o topo da sua vertente.

Declividade anterior (D1). Medida da porcentagem de declive entre o ponto anterior e o ponto de amostragem.

Declividade posterior (D2). Medida da porcentagem de declive entre o ponto de amostragem e o ponto que o sucede vertente abaixo.

Declividade média (D3). Média aritmética entre D1 e D2. Corresponde ao valor médio de declividade entre três pontos de amostragem em sequência e foi referido ao ponto central.

Angulo de curvatura lateral da vertente (CL). Medido em mapa topográfico planialtimétrico em escala 1:5.000, com curvas de nível de 1 em 1m. A medição foi feita com transferidor (precisão de 0,50^o), após locação dos pontos de amostragem no mapa topográfico. A figura 16 mostra o esquema adotado:

Figura 16. Ângulo de curvatura lateral da vertente. Se o ângulo obtido a partir das tangentes traçadas no mapa for menor que 180° indica concavidade no contorno da vertente. Sendo maior que 180° indica convexidade.

Índice de curvatura longitudinal da vertente (CC). Obtido através da razão $D1/D2$. Assim, se CC for maior que 1 indica concavidade longitudinal, e se menor que 1, convexidade. Quando CC for igual a 1, o perfil da vertente é retilíneo no ponto considerado.

$$D1 > D2 - CC > 1$$

$$D2 > D1 - CC < 1$$

$$D1 = D2 - CC = 1$$

3.2.4. Determinação do Índice Vermelho de TORRENT (IV)

Determinou-se o índice vermelho (IV) conforme TORRENT et alii (1980) e KAMPF e SCWERTMANN (1983):

$$IV = H^* C/V,$$

onde C e V correspondem respectivamente ao croma e ao valor Munsell, enquanto H^{*} assume valores crescentes com a coloração vermelha: H^{*} corresponde a 12,5 para o matiz 7,5 R; 10 para 10 R; 7,5 para 2,5 YR; 5 para 5YR; 2,5 para 7,5 YR e 0 para 10 YR. Desta forma, quanto mais vermelho for o solo, maior será o IV.

3.3 Métodos estatísticos

Para estabelecer a quantificação das relações entre os parâmetros de relevo e as propriedades e características do solo, optou-se por análises de regressão e correlação linear. Os parâmetros de relevo foram considerados como variáveis independentes e os atributos do solo como variáveis dependentes. Os dados foram trabalhados em microcomputador utilizado-se o sistema SYSTAT de análises estatísticas, especificamente os módulos de análise multivariada (MGLH) e correlação (CORR).

Inicialmente procedeu-se ao selecionamento das variáveis independentes (parâmetros topográficos) pelo método "stepwise" (passo a passo) com o objetivo de escolher

aquelas que mais diretamente se relacionam com os atributos do solo. Após este procedimento, foram estimadas as regressões com as variáveis selecionadas, estabelecendo as equações de regressão, os coeficientes de determinação r^2 (r), e os níveis de significância da equação (teste F), assim como da(s) variável(is) independente(s) (P tail). Uma vez estabelecidas as equações de regressão linear (múltipla ou simples), foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson (r), entre as variáveis envolvidas em cada caso.

Diante das diversas situações de relevo encontradas para as diferentes topossequências, como vertentes com formas desiguais e inclinações com grande amplitude de variação desde suaves até fortemente declivosos, dois procedimentos foram adotados para quantificar as relações solo-relevo:

-Análise de correlação e regressão linear entre os parâmetros do relevo e atributos do solo, utilizando todos os pontos de amostragem.

-Relação solo-relevo em duas transeções da área em estudo. Para este procedimento, foram selecionadas as transeções 1 e 2 por apresentarem os segmentos, declividade e formas de vertente mais representativos da paisagem local. Esta escolha também foi motivada pela presença de solos com horizonte B latossólico passando a B textural e horizonte A moderado passando a A chernozêmico

vertente abaixo, o que possibilitou fornecer mais bases para a compreensão da influência do relevo nestas transições, tão comuns no ambiente tropical brasileiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises de correlação e regressão linear entre os parâmetros de relevo e algumas características e propriedades do solo utilizando todos os pontos de amostragem.

No total os solos foram amostrados em 98 locais ou pontos (Figura 15). Destes 98, metade foram coletados em trincheiras e os restantes com o trado. Como algumas determinações não foram feitas nas amostras coletadas por trado (densidade do solo, por exemplo), somente foram aqui consideradas ou usadas para os cálculos aquelas variáveis de solo e de relevo comuns aos 98 pontos. Também subdividiu-se a análise em duas partes a saber:

- a) Regressões da camada 1 (superficial).
- b) Regressões da camada 2 (sub-superficial).

A camada superficial, amostrada de 0 a 20cm, constitui o horizonte A ou a parte mais superficial do mesmo, e, a subsuperficial, na maioria dos casos amostrada entre 60 a 80cm de profundidade, representa uma parte do horizonte B.

4.1.1. Camada superficial (camada 1)

A seleção das variáveis pelo "step-wise" mostrou um número muito baixo de regressões significativas entre os parâmetros de relevo e as características do horizonte mais superficial do solo. Ao nível de significância de 0,1%, apenas as variáveis razão silte/argila (S/A) e CTC/ 100g de argila (TC), foram selecionadas por estarem correlacionadas com características do relevo (tabela 3).

Tabela 3. Regressões significativas entre atributos da camada mais superficial do solo e a declividade posterior do local (D2). Análise feita considerando todos os pontos de amostragem.

REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICANCIA (P) DE 0,1%				
VAR	N	R^2	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	r (pearson)
S/A	98	0,55	S/A=0,23+0,027D2	0,743
TC	98	0,64	TC=11,28+1,11D2	0,799

*** e + = significativo no nível de 0,1%
 S/A = razão silte/argila
 TC = CTC/100g de argila

A estimativa das equações e seus parâmetros (tabela 3), mostram a declividade, no caso o índice D2 (declividade posterior), explicando 55 e 64% da variação nos dados em relação à razão silte/argila e à capacidade de troca aparente da argila (TC) respectivamente.

O número relativamente baixo de variáveis estatisticamente selecionadas no horizonte A é justificável, pois a área em estudo forma parte de uma estação experimental, sendo que houve uma grande diversidade de técnicas de manejo das diferentes culturas instaladas no passado e no presente. O processo erosivo decorrente do uso intensivo destas terras é visível em algumas áreas. Desta forma somente os parâmetros razão silte argila e CTC/100g de argila (com desconto da CTC devida a matéria orgânica), aparentemente pouco influenciadas pelo manejo, mostram correlação positiva com a declividade: aumentando-a aumenta também tanto o teor de silte como a CTC do solo. Tal tendência é comum a todos os solos da Estação Experimental de Mococa, sendo mais evidente nas encostas mais íngremes, onde predominam os solos menos intemperizados.

4.1.2. Camada subsuperficial (camada 2)

Para a camada subsuperficial, ou parte do horizonte B (tabela 4), percebe-se novamente o índice D2 (declividade posterior) correlacionando-se com as seguintes

variáveis de solo: atividade de argila (TAC), razão silte/argila (S/A), teor de silte (SL), teor de argila (Ar), índice Ki,

Tabela 4. Regressões significativas obtidas entre parâmetros do relevo e atributos do horizonte B nos 98 perfis de solo amostrados.

REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 0,1%						
VAR	N	² R	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	r1	r2	
IV	98	0,52	IV=13,96+0,05DV -0,27D2 * ***	-0,224	++	+
IV	98	0,49	IV=14,38-0,001DT-0,24D2 ***	0,058	+	-0,702+
DPH	98	0,46	DPH=-0,27-0,03D2 ***	-0,675	-	-
Ca	98	0,52	Ca=1,4+0,18D2 -0,04D *** *	0,698	+	++
Ki	51	0,40	Ki=1,48+0,04D2 ***	0,691	-	-
TAC	98	0,72	TAC=4,18+0,77D2 +0,002DT ***	0,847	+	-0,075
TAC	98	0,74	TAC=5,37+0,85D2 -0,14DV ** **	0,847	+	+
S/A	98	0,66	SA=0,09+0,027D2 ***	0,813	-	-
SL	98	0,53	SL=10,16+0,57D2 ***	0,726	-	-
TAC	98	0,72	TAC=4,65+0,766D2 ***	0,847	-	-
Ar	98	0,61	Ar=68,22-0,008DT-1,063D2 ***	0,005	-	+

(+ e ++) = significativo a 1% e 5% respectivamente.

(***, ** e *) = significativo a 0,1% , 1,0% e 5,0% respectivamente.

Obs: O nível de significância adotado tanto para a camada 1 como para a camada 2, foi o mais baixo possível, uma vez que o número de observações foi elevado nestes casos.

pH e teor de cálcio trocável (Ca), foram selecionados como como significativamente correlacionados (ao nível de 0,1%) com atributos do relevo, especialmente D2, DT e DV.

4.1.2.1. Intemperismo x declividade

Equações presentes na tabela 4, sugerem que na área em estudo existe uma boa relação entre o grau de intemperismo dos solos e a declividade dos segmentos de vertente que lhes estão mais próximos.

Atividade de argila, razão silte/argila, teor de silte, índice Ki e teor de cálcio trocável (Ca) se correlacionaram positiva e significativamente com a declividade (D2), enquanto que o índice vermelho (IV), pH e teor de argila tiveram correlação negativa com D2, demonstrando que quanto maior a declividade menos intemperizado é o solo e que, na área de estudo, é possível prever razoavelmente um em função do outro. Algumas destas variáveis são usadas por pedólogos para estimar o grau de intemperismo tais como atividade de argila, razão silte argila e índice Ki. Sistemas de classificação de solos tem se valido desses parâmetros quantitativos para estabelecer critérios de separação de classes taxonômicas (E.U.A., 1975; EMBRAPA, 1980; CAMARGO et alii, 1986).

O silte é partícula pouco estável, pois constitui-se de uma mescla de minerais primários decomponíveis e de minerais secundários (BESOAIN, 1985) e representa de certo modo, o potencial de reserva mineral do solo (JUO, 1980). Normalmente, quanto menos intemperizado for um solo maior será seu conteúdo de silte. Analogamente, quanto maior for a quantidade de argila, mais intenso terá sido o intemperismo sobre as rochas cristalinas que deram origem a estes solos. O balanço de cargas apontado pelo delta pH ($\text{pH em KCl} - \text{pH em H}_2\text{O}$), será mais negativo quanto menor o grau de intemperismo do solo, uma vez que as cargas negativas permanentes originadas por substituição iônica e as cargas negativas dependentes de pH, são favorecidas por menores intensidades de lixiviação e dessilicatização (remoção de sílica). O índice K_i é uma relação molecular entre sílica e alumina e, quanto mais intensa for a dessilicatização menor será o mesmo K_i . Da mesma forma quanto maior for a lixiviação do meio, menor será o conteúdo de bases trocáveis, sendo o cálcio principal representante destas bases. Finalmente o índice vermelho será maior quanto mais hematita houver (TORRENT et alii, 1983; KAMPF e SCHWERTMANN, 1983 b.), e normalmente o acúmulo desta hematita será tanto maior quanto mais antigo e intemperizado for o solo (MELFI et alii, 1979).

A dinâmica de água em uma vertente varia a medida que aumenta ou diminui sua declividade afetando os processos de erosão e deposição, assim como o movimento de água e material sólido através do corpo do solo (GERRARD, 1981). Isto modifica a ação do intemperismo. Nas posições de topo (ou interflúvio) e ombro da vertente, a declividade é baixa (tabela 5), e, conseqüentemente, predomina o movimento vertical da água, intensificando os processos pedogenéticos (DARLYMPLE et alii, 1968), aumentando principalmente a lixiviação e conseqüentemente a dessilicatização no solo (JACKSON, 1964). Na meia encosta e na escarpa a declividade aumenta, o que faz com que os processos de erosão e transporte sejam aí mais atuantes em detrimento dos processos pedogenéticos. Na meia encosta e no sopé há o incremento de sílica e bases, provocado pelo fluxo lateral de soluções proveniente dos segmentos superiores da vertente (JACKSON, 1964; MONIZ, 1980).

Os resultados obtidos (Tabela 4) concordam com outros trabalhos onde os graus de intemperismo e de declividade estão direta ou indiretamente correlacionados (RUHE e WALKER, 1968; WALKER et alii, 1968; AHNERT, 1970; FURLEY, 1971; TORRENT et alii, 1983). A convergência dos resultados obtidos nas análises de regressão para estes fatos com elevados coeficientes de determinação encontrados em alguns casos (atividade de argila, por exemplo), e alta significância, permitiram quantificar a relação do fator

declividade com o intemperismo e nas variáveis índice vermelho (IV), atividade de argila (TAC), pH, razão silte/argila (S/A), teor de silte (SL) e teor de argila (Ar). O primeiro será a seguir discutido com maior detalhe.

4.1.2.2. Índice vermelho (IV) x parâmetros do relevo

O índice vermelho (IV), correlacionou-se de forma negativa com declividade (D2) (tabela 4). Isto equivale a dizer que, no presente estudo, em áreas de menor declividade os solos são mais vermelhos do que aqueles que se situam em locais mais declivosos. Tal tendência foi observada desde o início dos trabalhos de no campo e possivelmente está associada à maior concentração de hematita nas posições mais antigas e estáveis da paisagem local. Por outro lado, nas áreas mais íngremes, ocorrem solos pouco desenvolvidos, chegando a apresentar matiz 10YR, mas, mais comumente, 5YR. Este resultado opõe-se ao obtido por TORRENT et alii (1983), que encontraram correlação positiva entre IV e declividade no local estudando solos de clima temperado, e vertentes com outros formatos.

Para melhor ilustrar o que ocorre na área em estudo elaborou-se a tabela 5, pela qual pode-se observar as relações entre matiz/profundidade do solum/declividade /posição na vertente. Para formar esta tabela foram selecio-

nados perfis da transeção 3 (encosta escarpada), transeção 1 (encosta com todos os segmentos) e também perfis da interligação entre as diversas transeções.

Nas posições de topo e ombro da vertente os solos são mais velhos, mais profundos e avermelhados com matiz 2,5YR. Já na encosta escarpada (transeção 3), nas meia encostas e no sopé com declividades acima de 15%, a coloração é menos avermelhada, a matiz do solo passa a 5YR e eventualmente 7,5YR, e por fim os solos são mais rasos e menos intemperizados (solos jovens). Os teores totais de óxidos de ferro não variam muito, situando-se na maioria dos casos entre 8 e 11%. Em solos bem drenados e com clima tropical quente e, neste caso, regime údico, a formação de hematita é favorecida (KAMPF e SCHWERTMANN, 1983a; SCHWERTMANN, 1985).

A maior umidade em solos que ocupam posições na meia encosta e no sopé, dificulta a desidratação da ferridrita, que é a precursora necessária da hematita (SCHWERTMANN, 1969). Assim, embora bem drenados, estes solos têm um acúmulo maior de água por fluxo lateral interno, fato que não ocorre nas posições de topo, diminuindo a participação da hematita, favorecendo a goethita. Diversos trabalhos em ambientes tropicais confirmam esta tendência (CURI e FRANZMEIER, 1984; ADAMS e KASSIM, 1984).

Nos solos pouco profundos, além do fluxo lateral de água existe a proximidade da rocha diminuindo a

Tabela 5. Comparação entre cor do solo, profundidade do solum e declividade posterior (D2) e em diferentes trechos da amostragem.

PONTO	POSIÇÃO	COR MUNSELL (úmida)	Fe2O3 (%)	PROF. SOLUM (CM)	% DECLIVE (d2)
Transecção 3 (encosta escarpada)					
34	mee	7,5YR 3/4	15,5	70	35
35	mee	7,5YR 3,5/2	5,0	75	30
39	mee	5,0YR 4/5	8,0	50	35
41	mee	5,0YR 4/3	10,0	100	36
45	mee	5,0YR 4/6	12,7	130	25
47	O	5,0YR 5/6	7,4	100	14
Interligação das transecções					
51	O	2,5YR 3,5/4	9,1	100+	3
55	to	2,5YR 4/6	9,0	200+	5
63	to	2,5YR 4/7	10,7	200+	4
71	to	2,5YR 4/8	8,6	200+	1
* 77	to	2,5YR 3/5	10,9	500+	2
Transecção 1					
177*	to	2,5YR 3,5/6	8,8	500+	1
175	O	2,5YR 3,5 5/7	8,3	180+	2
171	me	2,5YR 4,0/7	10,0	120+	8
167	SP	5,0YR 2,5/8	8,8	120	13
165	SP	5,0YR 4,5/8	9,6	100	9
164	SP	5,0YR 4/8	7,0	75	16

* tradagens profundas; me - meia encosta normal ou suave;
mee - meia encosta escarpada; O - ombro da vertente;
to - topo, interflúvio; SP - Sopé Coluvial

permeabilidade do perfil.

Outra explicação diz respeito aos solos situados em posições de acúmulo de matéria orgânica como são os Podzólicos Vermelho Escuros e Cambissolos com horizontes A chernozêmicos situados nos sopés das vertentes das transeções 1, 2 e 3. Nestes, o ambiente mais úmido se associa ao poder complexante dos compostos orgânicos, que podem diminuir a cristalogênese da ferridrita, favorecendo a goethita (PEDRO et alii, 1979; CURI & FRANZMEIER, 1984).

A estes comentários deve-se adicionar que a acumulação de óxidos de ferro na forma de hematita, é, normalmente, tanto mais elevada quanto maior for a idade do material do solo e, quanto mais alta for a quantidade de minerais primários alterados (PEDRO et alii, 1979).

Cabe no entanto ressaltar, que o segmento sopé, ocorre somente em duas transeções e com declividade acima de 5%. Caso existissem áreas maiores de sopé com declividade baixa, a relação índice vermelho (IV) x declividade (D%), seria mais complexa invertendo no caso provavelmente o sentido dos coeficientes correlação r_1 e r_2 relacionados com distância do topo e declividade respectivamente (Tabela 4). Nesse caso a análise seria melhor feita por segmentos de vertente, uma vez que tanto no topo como no sopé teríamos declividades baixas com situações opostas em relação à cor do solo.

4.2. As relações soloxrelevo em duas transeções da área em estudo.

Duas transeções foram separadas para analisar o efeito do relevo nos diferentes tipos de vertentes da área em estudo. Estas foram escolhidas por apresentarem todos os segmentos de vertente a saber: topo, ombro, meia encosta e sopé. Outro aspecto importante na escolha foi a sequência de solos presentes nestas transeções, assim como a geometria contrastante entre estas. A seguir apresenta-se uma breve descrição de ambas as transeções:

Transeção 1: Tem 350m com transição entre latossolos (topo), podzólicos com A moderado (meia encosta) e podzólicos com horizonte A chernozêmico (sopé). Apresenta perfil lateral côncavo (figuras 17, 18 e 19).

Transeção 2: Tem 450 m e está localizada na mesma vertente da transeção 1, com os mesmos segmentos e transições entre solos, porém apresentando perfil lateral convexo a retilíneo (figuras 19 e 20).

Figura 17. Bloco diagrama da transeção 1.

Figura 18. Situação topográfica da transeção 1 mostrando respectivos pontos de amostragem. Mapa com curvas de nível de 1 em 1 m.

Figura 19. Vista panorâmica da área em estudo. Em destaque a concavidade lateral da transeção 1.

Figura 20. Bloco diagrama da transeção 2. Em destaque os diferentes segmentos e a transição encosta abaixo da morfologia do solo.

Figura 21. Situação topográfica da transeção 2. Curvas de nível de 1 em 1 m.

Em cada uma das transeções, foram observados certas tendências no que diz respeito às relações solo-relevo (ou solo topografia). Em alguns casos o efeito concavidade/convexidade lateral da vertente, pode ser observado e em outros não. Nem sempre a distância do topo foi um bom parâmetro nas análises de regressão. Também, não foi possível medir o ângulo de concavidade/convexidade para todos os pontos, o que excluiu este parâmetro da análise geral que envolveu todos os pontos de amostragem na área, já discutida no item 4.1.

Para melhor analisar as relações entre os parâmetros topográficos, já apresentados em 3.2.3., e os atributos do solo, foram então estabelecidas análises de correlação simples e regressão linear dentro de cada uma das transeções e somente para os pontos de amostragem nelas contidos. Da mesma forma que para as análises gerais já descritas, separaram-se os dados das amostras de solo superficiais e subsuperficiais para efeito de análise.

4.2.1. Transeção 1

4.2.1.1. Camada superficial (camada 1).

As regressões obtidas para a camada superficial estão nas tabelas 6, 7 e 8, onde os resultados estão agrupados segundo os níveis de significância 0,1, 1 e 5%.

Tabela 7. Regressões com nível de significância de 0,1 a 1% entre parâmetros do relevo e atributos da camada superficial dos solos da transeção 1.

REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 0,1 A 1%					
VAR	N	² R	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	r1	r2
V	14	0,69	V=15,76+28,50DV **	0,828 +	-
S	14	0,68	S=-0,05+0,007DT +2,47CC * *	0,702 +	0,679 +
S	14	0,56	S=2,05+0,14DV *	0,748 +	-
S	14	0,46	S=0,16+3,53CC *	0,679 +	-
TC	14	0,52	TC=9,58+0,04DT **	0,721 +	-
Ca	14	0,45	Ca=-0,09+2,51CC **	0,672 +	-
V%	14	0,50	V%=15,76+28,50CC **	0,710 +	-
Ar	14		Ar=54,431-0,055DT **		
C/A	14	0,67	C/A=3,76-0,299D2 +0,113DV ***		
C/A	14	0,60	C/A=3,67-0,323D2 +0,008DT **		

(+) = r (pearson) significativo em 1%

(***)= significativo em 0,1%

(**) = significativo em 1%

(*) = significativo em 5%

Tabela 8. Regressões significativas no nível entre 1 e 5% entre parâmetros do relevo e atributos da camada superficial dos solos da transeção 1.

REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) ENTRE 1 E 5%					
VAR	N	R ²	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	r1	r2
Ep	8	0,56	Ep=13,53-1,40CL*	0,746	-
Ep	8	0,53	Ep=23,92+0,04DT*	0,725	-
Ep	8	0,50	Ep=25,24+0,68DV*	0,710	-
Mg	14	0,49	Mg=0,21+0,02DV+0,40CC	0,610	0,557
Mg	14	0,45	Mg=0,18+0,001DT+0,42CC	0,563	0,557
Mg	14	0,32	Mg=5,04+0,001DT*	0,563	-
Mg	14	0,37	Mg=0,53+0,02DV*	0,610	-
C	14	0,38	C=1,61-0,05D2*	0,614	-
Ar	14	0,38	Ar=60,06-16,51CC*	0,476	-
pHH	14	0,33	pH=4,39+0,92CC	0,576	-

(++) = r (pearson) significativo em 5%

(*) = significativo em 5%

4.2.1.1.1. Relações com os índices DV (distância vertical) e DT (distância do topo)

Frequêntes são as relações encontradas e registradas pelos pedólogos, entre os atributos de um pedon e o seu distanciamento do topo da vertente em que se situa. O próprio conceito de catena proposto por MILNE (1935) está incluído neste contexto. Diversos autores definiram quantitativamente algumas destas relações (AANDAH, 1948; WALKER, 1966; RUHE e WALKER, 1968; WALKER et alii, 1968b; AHNERT, 1970; KLEISS, 1970; FURLEY, 1971; MALO et alii, 1974; TORRENT et alii, 1983).

Em vários dos trabalhos consultados a diferença de cota ou distância vertical (DV), relativa ao topo do local foi considerada como um útil parâmetro de relevo. WALKER et alii (1968 b), encontraram correlações significativas entre distancia vertical (DV) e algumas propriedades do solo tais como espessura do horizonte A e profundidade de mosqueados cinzentos (hidromorfismo).

As tabelas 6, 7 e 8, mostram que tanto a distância do topo (DT) como a distancia vertical (DV), estão bem correlacionadas com alguns atributos do solo como : T/100 g de argila, saturação por bases (V%), soma de bases(S), teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, argila %, pH em KCl e espessura do horizonte A (Ep).

Atributos químicos

Na tabela 6, soma de bases (S), saturação por bases (V%) e teor de cálcio trocável (Ca⁺⁺), correlacionaram-se positivamente com DT e DV, com coeficientes de determinação bastante expressivos e nível de significância de 0,1%. DT e DV não são incluídos na mesma equação pois, por serem interrelacionados, poderiam levar a um resultado enganoso. Tal correlação confirma as tendências observadas nos dados (figura 22, 23, e 24), e coaduna com a sequência encosta abaixo de solos ali encontrada: latossolos distróficos ou álicos (topo), podzólicos latossólicos eutróficos com A moderado (meia encosta) e finalmente podzólicos com A chernozêmico e CTC da argila bem mais elevada. A movimentação na vertente por fluxo lateral superficial e subsuperficial das bases, combinada ao menor grau de intemperismo dos solos encosta abaixo, explicam tais resultados.

No nível de 5% de significância, portanto com menor probabilidade de acerto, aparecem também o teor de magnésio trocável (Mg⁺⁺), relacionado com DV e DT. Além do menor nível de significância, apenas 37 e 32% da variância foi explicada por DV (distância vertical do topo) e DT (distância do topo) respectivamente.

Figura 22. Dados analíticos da camada superficial da transeção 1 segundo perfis amostrados do topo (149) para o sopé (163) da encosta.

Figura 23. Distribuição dos teores de cálcio trocável ao longo da transeção 1 segundo perfis amostrados do topo (149) para o sopé (163) da encosta.

Figura 24. Distribuição do valor V% (saturação por bases da camada superficial) ao longo da transeção 1 segundo perfis amostrados do topo (149) para o sopé (163) da encosta.

Teor e capacidade de troca da argila

As relações entre distância vertical (DV), distância do topo (DT) e teor de argila (Ar%) e CTC/100g de argila, concordam com o desenvolvimento lateral do horizonte B textural vertente abaixo, o que será abordado com maior detalhe no item 4.2.3.

A correlação positiva entre o grau de atividade das argilas e os parâmetros Dv e Dt, pode ser

explicada pelo menor grau de intemperismo dos solos situados nas partes mais baixas. Isto é consubstanciado pelos índices K_i e K_r mais elevados, obtidos na camada subsuperficial destes solos.

Espessura do horizonte A

A correlação positiva entre a espessura do horizonte A (E_p) e distância do topo (DT) e distância vertical do topo (DV), embora tenha sido na análise de regressão significativa somente no nível de 5%, apresentou um coeficiente de determinação superior a 0,5% e quantifica uma clara tendência antes notada no campo e concorda com os resultados de TORRENT et alii (1983). Nessa sequência o aumento de espessura do horizonte A encosta abaixo ocorre mais distintamente a partir da transição entre a meia encosta e o sopé, onde se dá a passagem do A moderado o para o A chernozêmico no Podzólico Vermelho Escuro. A maior espessura do horizonte A segue-se um escurecimento crescente deste horizonte do interflúvio ao sopé da vertente (tabela 9).

Tabela 9. Cor e espessura do horizonte A dos solos e respectivas posições na vertente. Dados da camada superficial da transeção 1. Note-se o marcante escurecimento que se dá a partir da transição meia-encosta/sopé.

Ponto	Cor úmida do solo (Munsell)	Espessura do A (cm)	Posição na vertente
* 801	2,5YR 3,5/7	30	topo
* 802	2,5YR 3/5	30	topo
149	2,5YR 3/5	20	topo
151	2,5YR 4/5	30	ombro/meia encosta
153	2,5YR 3,5/4	15	meia encosta
155	2,5YR 4/5	20	meia encosta
157	2,5YR 4/4	18	meia encosta
159	2,5YR 3/4	25	meia encosta/sopé
161	5,0YR 3,5/3	37	sopé
162	5,0YR 3/3	40	sopé
163	5,0YR 3/3,5	35	sopé

(*) Tradagens

Este maior desenvolvimento e escurecimento do horizonte A no sopé estaria ligado tanto à maior deposição de material orgânico por coluvionamento como ao regime

hídrico, mais úmido, característicos desta posição, este último favorecendo a pedoturbação biológica e intensificando a melanização no local. É possível também que as argilas, aí mais ativas e possivelmente com maior superfície específica, tenham uma capacidade maior de adsorver e proteger o húmus.

4.2.1.1.2. Influência do parâmetro declividade

Teor de silte (Sl%) da camada superficial correlacionou-se positivamente com declividade, apresentando um coeficiente de determinação (r^2) de 0,64 para um nível de significância de 0,1%. Este comportamento está de acordo com o descrito anteriormente no item 4.1.2.1. sobre as relações entre intemperismo e declividade. Deve ser salientado aqui o fato de que dentro do sopé ocorrem declividades acima de 8%, maiores do que as encontradas no topo e meia encosta. Em encostas com sopé extenso e com menores declividades que as posições superiores que o antecedem, especialmente em meia encostas escarpadas, a correlação teor de silte x declividade deverá se manter, porém os solos menos intemperizados estarão em posição diferente na vertente.

O teor de carbono (C%) da camada superficial da transeção 1 correlaciona-se negativa e significativamente com declividade posterior (D2). O maior acúmulo de matéria

orgânica nas posições de declividade menor também já foi relatado em diversos trabalhos como os de KLEISS (1970), FURLEY (1971) e MALO et alii (1974).

4.2.1.1.3. Relações com o índice de curvatura longitudinal (CC)

O índice CC representa a concavidade/convexidade de uma vertente em seu comprimento. Quando o mesmo é maior que 1, tem-se um segmento côncavo; sendo menor que 1 segmento é convexo e, sendo igual a 1, o segmento analisado é retilíneo. Na análise numérica da transeção 1, o índice CC contribuiu significativamente para melhorar o coeficiente de determinação de algumas regressões, principalmente as que incluem os teores de bases trocáveis. A correlação positiva com teor de cálcio e magnésio trocáveis (Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺), soma de bases (S) e saturação por bases (tabelas 6, 7 e 8), são exemplos de que posições de concavidade (CC maior que 1) são de fato regiões de acúmulo destas bases trocáveis na camada superficial.

Tal acúmulo também deve ocorrer em relação as frações granulométricas mais grosseiras, que são depositadas superficialmente nestas posições após processos de rastejamento ou erosão. A tabela 8 mostra a equação de regressão obtida entre teor de argila (Ar%) da camada

superficial da transeção 1 e o índice CC. A equação 1 confirma estas idéias, já que o teor de argila diminui a medida que a concavidade (CC) aumenta.

$$\begin{aligned} \text{Ar\%} &= 60,06 - 16,51 \text{ CC} \\ r^2 &= 0,38 \quad n = 14 \end{aligned} \quad (\text{eq.1})$$

4.2.1.1.4. Relações com o ângulo de curvatura lateral da vertente (CL)

De todas as características do solo testadas, apenas a espessura do horizonte A (E_p), se relacionou com CL (tabela 8), demonstrando que quanto maior a concavidade lateral, maior é o desenvolvimento do horizonte superficial, segundo a equação:

$$\begin{aligned} E_p &= 13,53 - 1,40 \text{ CL} \\ r^2 &= 0,56 \quad n = 14 \end{aligned} \quad (\text{eq.2})$$

4.2.1.1.5. Acúmulo relativo do C orgânico no sopé da encosta.

Embora não tenha havido um acúmulo absoluto do carbono (C) orgânico em toda a vertente, alguns fatos chamaram nossa atenção, pois uma das hipóteses mais testadas nos trabalhos sobre a influência do relevo, e mais especialmente da forma da vertente, nos atributos do solo é justamente o acúmulo de matéria orgânica nos segmentos sopé e sopé aluvial, "footslope" e "toeslope" respectivamente, (WALKER et alii, 1968 a e b; KLEISS, 1970; FURLEY, 1971 e MALO et alii, 1974).

Apesar do valor absoluto de C% não variar substancialmente em toda a transeção (Figura 25), isto não acontece com seus teores relativos pois o teor de argila da camada superficial decresce vertente abaixo (Figura 25).

Figura 25. Distribuição de argila % e carbono % da camada superficial da transeção 1.

Mantendo-se clima, vegetação e tipo de argila relativamente constantes, observa-se correlação positiva entre argila e carbono (LEPSCH et alii 1981). A formação de complexos organo-minerais de alta estabilidade (McKEAGUE et alii, 1986), seria responsável pelo incremento de carbono orgânico a medida que o teor de argila aumentasse. Desta forma é mais lógico comparar-se teores relativos de matéria orgânica do que os absolutos. Por isso estabeleceu-se uma relação C%/100 g de argila, e, para se ter uma melhor idéia do acúmulo relativo de matéria orgânica na camada superficial ao longo da transeção 1, elaborou-se a figura

26, onde percebe-se uma tendência de acúmulo relativo no sopé em relação às demais posições na vertente.

Figura 26. Distribuição da razão C%/100g de argila ao longo da camada superficial da transeção 1.

A equação 3 mostra que associando-se a distância vertical do topo (DV) com a declividade posterior do local (D2), 67% da variância é explicada para a relação C%/Ar%, e a associação das variáveis distância do topo (Dt) e declividade posterior (D2) explicaram 60% da variância de C%/Ar% (equação 4).

$$C\%/Ar\% = 3,76 - 0,299 D2^{**} + 0,113 DV^{***} \quad r^2 = 0,67 \text{ (eq.3)}$$

$$C\%/Ar\% = 3,67 - 0,323 D2^{**} + 0,008 DT^{**} \quad r^2 = 0,60 \text{ (eq.4)}$$

As duas equações são significativas no nível de 1%. Para FURLEY (1971), esta mesma combinação de parâmetros foi muito eficaz na avaliação da variação dos dados de C orgânico em quatro transeções.

4.2.1.2. Camada subsuperficial.

Para as amostras das camadas subsuperficiais, ou horizonte B, dos solos da transeção 1, foram encontradas regressões significativas entre os respectivos parâmetros de relevo e as variáveis do solo pH(pHH), potássio trocável⁺ (K), relação textural (RT), saturação por alumínio (m), teor de alumínio trocável (Al⁺⁺⁺), soma de bases (S), e para os índices Ki e Kr. (Tabela 10).

Tabela 10. Regressões significativas entre atributos da camada subsuperficial (horizonte B) dos solos da transeção 1 e parâmetros do relevo.

REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 0,1%.						
VAR	N	R ²	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	r1	r2	
PHH	13	0,80	PHH=4,45+0,110D1 +0,002DF *	0,842	0,822	
PHH	13	0,78	PHH=4,49+1,20D1 +0,025DV *	0,842	0,790	
PHH	13	0,71	PHH=4,39+0,179D1 ***	0,842	-	
REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 1,0%						
RT	13	0,71	RT=1,52-0,079D2 +0,045DV * ***	0,108	0,734	
RT	13	0,68	RT=1,49-0,093D2+0,003DT ***	0,108	0,685	
K	13	0,58	K=-0,088+0,054D1 **	0,763	-	
M	13	0,47	M=74,67-9,701D3 **	-0,683	-	
Al	13	0,54	Al=1,70-0,236D3 **	-0,734	-	
Ds	8	0,72	Ds=1,18+0,002 DT **	-0,851	-	
REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 5,0%						
S	13	0,41	S=1,24+0,009 DT *	0,645	++	
Ki	6	0,66	Ki=1,47+0,058 DV *	0,814	++	
Kr	6	0,68	Kr=0,76+0,108 D1 *	0,828	++	
Kr	6	0,66	Kr=1,11+0,041 DV *	0,813	++	
Ds	8	0,64	Ds=1,121+0,11 DV *	0,799	++	

Atributos químicos

As figuras 27 e 28, ilustram o comportamento dos principais atributos químicos (soma de bases, alumínio trocável e hidrogênio; $S + Al + H = CTC$) e do parâmetro V% (saturação por bases) respectivamente da camada subsuperficial da transeção 1.

Figura 27. Distribuição de alguns atributos químicos do horizonte B dos perfis amostrados ao longo da transeção 1.

Figura 28. Distribuição dos valores de saturação por bases (V%) ao longo da transeção 1. Dados do horizonte B dos perfis amostrados.

Os atributos químicos pH em H₂O (pH), soma de bases (S), valor m (saturação por alumínio), teor de Al⁺⁺⁺ e K⁺, de grande importância agrônômica, mostraram boa correlação tanto com os parâmetros distância do topo (DT) e distância vertical do topo (DV), principalmente pH em H₂O e S, como com grau de declividade (este último com pH, K⁺⁺⁺, Al⁺⁺⁺ e valor m).

A maior quantidade de bases trocáveis nos podzólicos eutróficos do sopé (figura 29), deve estar ligada

tanto à liberação via intemperismo dos minerais primários, como ao enriquecimento via fluxo lateral subsuperficial da vertente. A equação 5, quantifica a tendência aqui encontrada para o valor S segundo o distanciamento desde o topo (onde ocorre o latossolo álico/distrófico) até o sopé (onde ocorre o podzólico eutrófico com A chernozêmico).

$$S = 1,24 + 0,009 DT^2 \quad r^2 = 0,41 \quad (\text{eq. 5})$$

Havendo um acúmulo de bases nas posições mais baixas a concentração hidrogeniônica relativa na solução do solo diminui fazendo com que o valor pH também aumente gradativamente do topo para o sopé (figura 29), aumento este que pode ser razoavelmente previsto com as equações 6 e 7.

Figura 29. Valores de pH do horizonte B ao longo da transeção 1.

$$\text{pHH} = 4,45 + 0,110 D1^* + 0,002 Dt \quad (\text{eq. 6})$$

$$\text{pHH} = 4,49 + 0,120 D1^* + 0,025 Dv \quad (\text{eq. 7})$$

A declividade anterior (índice D1) está alta e positivamente correlacionada com o pH. Na análise de regressão, D1 explica 71% da variância encontrada para pH em água. Tal comportamento deve estar ligado à maior lixiviação que ocorre nas posições de topografia mais plana, onde o fluxo vertical da água é favorecido (DARLYMPLE et alii, 1968; MONIZ & BUOL, 1982), e ao fornecimento de bases via intemperismo no sopé e meia encosta.

A correlação negativa entre a declividade média no local (D3) e os valores de alumínio trocável +++ (Al⁺⁺⁺) e saturação por alumínio (m), segue a mesma linha de raciocínio. Deve ser salientado no entanto que, na posição de topo, ombro e início da meia encosta desta vertente, os latossolos e podzólicos latossólicos ali existentes são solos situados em superfícies mais estáveis e possivelmente originados de depósitos superficiais mais antigos e previamente intemperizados, antes de serem transportados¹, dando lugar hoje a uma vertente com solos dessaturados nas posições mais elevadas e com topografia mais suave.

(1)

Não foi possível avaliar com precisão a hipótese de retrabalhamento no local. Entretanto as cascalheiras, descritas no item sobre a geologia da área (ver 3.1.6.), indicam que tal fenômeno pode ter ocorrido generalizadamente na área da Estação Experimental de Mococa.

O entalhamento subsequente teria mudado a paisagem, expondo o saprolito e as rochas metamórficas do embasamento, dando origem assim, a solos mais recentes nas posições de meia encosta e sopé, cujos materiais de origem eram menos intemperizados quanto menor eram suas altitudes (Figura 30).

(A)

(B)

Depósito superficial provavelmente retrabalhado

Saprolito de Gnaiss

Gnaiss

Gnaiss com mais quartzo

Figura 30. Hipótese sobre a evolução da paisagem local.
(A) Paleopaisagem; (B) paisagem atual.

A partir deste entalhamento, o provimento de bases via fluxo lateral subsuperficial, que é mais intenso quanto maior for a declividade, começa a ocorrer vertente abaixo, enriquecendo os solos da meia encosta e principalmente do sopé (MONIZ, 1980).

A correlação positiva entre potássio trocável (K) e o índice de declividade anterior (D1), vem de encontro com as explanações anteriores. Na tabela 10 pode-se notar que D1 explica 58% da variância de K em um nível de significância de 1%.

4.2.2. Transeção 2

As figuras 20 e 21, mostram o perfil topográfico, os segmentos da vertente e a sequência lateral do desenvolvimento do solo na transeção 2, onde o topo é ocupado por latossolos podzólicos de textura argilosa (perfis 177 e 176), passando, em distância relativamente curta, para podzólicos de textura argilosa/muito argilosa sem mica visível a olho nu, na convexidade da vertente ou ombro (perfis 175, 174 e 173). Seguindo vertente abaixo, na meia encosta, surgem podzólicos com gradiente textural mais elevado de textura média/argilosa e com mica visível nas frações grosseiras (perfis 172, 171 e 170). A medida que se caminha para o sopé da vertente a cor do horizonte B passa de 2,5YR para

5,0YR (perfis 169, 168, 167 e 166), e o horizonte A moderado escurece chegando a desenvolver um A chernozêmico nos podzólicos sob o sopé (perfis 164 e 165). Nas figuras 31, 32 e 33 pode-se perceber aspectos da vertente e seus segmentos. Em algumas posições da vertente a rocha está mais próxima à superfície, chegando haver afloramentos de matacões de gnaisses a alguns metros do perfil 171 (figura 34).

Figura 31. Aspecto do topo da transeção 2.

Figura 32. Ombro da vertente. Transeção 2.

Figura 33. Meia encosta e sopé da vertente (transeção 2).

Figura 34. Afloramentos de rocha na meia encosta da transeção 2. Os matacões de gnaiss foram aparentemente amontoados.

4.2.2.1. Camada superficial.

Atributos químicos

Os dados do horizonte A, referentes às bases trocáveis (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e K⁺) e pH em água, alumínio trocável e CTC, não mostraram tendências nítidas na vertente (Figuras 35, 36, 37, 38 e 39). Por outro lado, pode-se observar a maior variabilidade existente no segmento sopé para estes atributos, o que se reflete, por consequência, nos valores de S e V%. Esta variabilidade maior no sopé, é até certo ponto previsível, pois trata-se de posição parte erosional

parte deposicional (RUHE & WALKER, 1968), e os solos ali desenvolvidos recebem material desuniformemente, causando tal variação nas características do solo (HALL, 1983). Desta forma, as análises de correlação simples e regressão linear entre atributos químicos da camada superficial e parâmetros do relevo não mostram significância a não ser para pH em água. (Tabela 11).

A variabilidade no material de origem destes solos (gnaisses, migmatitos e sedimentos coluviais derivados dos mesmos), podem estar também influenciando a variabilidade dos solos.

Figura 35. Distribuição dos atributos soma de bases (S) alumínio trocável (Al) e CTC do solo (S+Al+H), da camada superficial ao longo da transeção 2.

Figura 36. Teores de cálcio trocável da camada superficial ao longo da transeção 2.

Figura 37. Teores de magnésio trocável da camada superficial ao longo da transeção 2.

Figura 38. Teores de potássio trocável da camada superficial ao longo da transeção 2.

Figura 39. Valores de pH da camada superficial ao longo da transeção 2.

Um caso especial é o do fósforo lábil³ estimado em ug/cm³ e extraído com resina trocadora de ânions. Esta determinação foi feita unicamente para amostras superficiais retiradas ao longo desta transeção em função do uso e vegetação uniforme, que atualmente é pastagem por toda a vertente, com predominância da gramínea *Brachiária decumbens*.

Observando a figura 41, nota-se que dificilmente uma reta poderá descrever a distribuição dos dados vertente abaixo. Uma curva parabólica (equação 7) descreve o comportamento do P-resina ao longo da transeção, com tendência a aumentar no topo e no sopé. É notável a redução do nível do P-resina nos perfis pertencentes ao ombro e a meia encosta superior ("upper backslope" conforme DAY et alii, 1987 e AGUILAR & HEIL, 1988).

Esta redução do P-resina no ombro e na meia encosta superior (perfis 175, 174, 173, 172 e 171), pode ser explicada pela maior intensidade do processo erosivo nestas posições em relação ao topo e ao sopé (RUHE & WALKER, 1968). O topo sofre pouca erosão e as posições de meia encosta-inferior ("lower backslope" conforme DAY et alii, 1987) e principalmente o sopé, são enriquecidos por deposições provenientes do ombro e meia encosta superior. Estes resultados estão em consoância com os obtidos por AGUILAR & HEIL (1988).

Figura 40. Distribuição do P-resina ao longo da transeção 2. Note-se o decréscimo no segmento ombro e meia encosta superior.

A equação a seguir (eq. 7) é para um nível de significância de 0,2%, sendo Dt e Dt^2 significativos no nível de 0,1%, o que demonstra o elevado grau de ajuste da curva para os resultados, quantificando e apoiando os comentários aqui feitos sobre a distribuição do P-resina ao longo da transeção.

$$P\text{-res} = 11,11 - 8,723 Dt^{***} + 2,832 Dt^2^{***}$$

$n = 14 \quad r^2 = 0,67 \quad (\text{eq. 7})$

A maior intensidade do processo erosivo nas posições de ombro e meia encosta-superior, pode ser claramente percebida observando-se os dados de espessura do horizonte A ao longo da transeção. Ocorre um estreitamento deste horizonte A justamente onde se constatarem os menores teores de P-resina (Figura 41), o que vem apoiar o raciocínio exposto anteriormente.

ESPESSURA DO HORIZONTE A x P-resina (Transeção 2)

Figura 41. Distribuição do P-resina da camada superficial ao longo da transeção 2, e sua relação com a espessura do horizonte A.

Incremento relativo de C orgânico vertente abaixo

O comportamento observado para o C orgânico na transeção de no. 1, se repete na de no. 2. Observando as figuras 42 e 43, percebe-se:

a) Manutenção dos níveis de C% numa faixa entre 1 e 1,5% ao longo da transeção (figura 42).

b) O teor de argila na camada em questão (horizonte A), é decrescente vertente abaixo.

c) Estabelecendo-se a relação C%/100g de argila percebe-se uma tendência de aumento relativo do C orgânico vertente abaixo.

Figura 42. Distribuição dos teores de carbono e de argila da camada superficial ao longo da transeção 2.

Figura 43. Razão % C/100g de argila da camada superficial ao longo da transeção 2.

A tabela 11 mostra que 81% da variância do C orgânico é explicada pelo efeito combinado da declividade média do local (D3), distância vertical do topo (DV) e índice de curvatura lateral da vertente (CL). Na mesma tabela percebe-se que a variável DV explica sozinha 45% da variância de C%/100g de argila. Ambas as equações estão no nível de 1% de significância.

Além das regressões, a tabela 11 mostra os índices de correlação entre a variável "C%/100g de argila" e as variáveis independentes DV, DT, D3 e CL. Todos estes se correlacionaram positiva e significativamente com aquela variável.

Teor de argila da camada superficial

A tabela 11, mostra que 80% da variância do teor de argila na camada superficial, foi explicada pela interação entre a distância do topo (DT), índices de curvatura lateral e longitudinal da vertente (CL e CC, respectivamente). A correlação negativa existente com DT foi significativa no nível de 5% e para CL e CC os coeficientes de correlação linear simples com %argila, não foram significativos.

Assim a porcentagem de argila do horizonte A, decresce vertente abaixo e os índices de concavidade/conve-xidade tanto lateral quanto longitudinal da vertente ajudam no ajuste da equação de regressão, levando a um coeficiente de determinação elevado ($r^2 = 0,80$).

O teor de argila na camada superficial do solo pode ser afetado por:

- material de origem
- processos pedogenéticos
- fenômenos de erosão/deposição
- grau de intemperismo

Os fenômenos erosivos, o grau de intemperismo e os processos pedogenéticos que atuam na vertente são afetados diretamente por sua topografia (JENNY, 1980; GERRARD, 1981). Ao mostrar a interação distância do topo/curvatura lateral/curvatura longitudinal da vertente na

explicação da variância dos dados para % de argila da camada superficial desta transeção, a tabela 11, apoia tal ponto de vista. Assim a medida que aumenta a distância do topo, o teor de argila diminui, pois a lessivagem vai se tornando cada vez mais intensa; as partículas grosseiras deslocam-se das posições superiores e depositam-se nas posições de sopé e meia encosta inferior, de forma que o acúmulo de areia será maior quanto maior for a concavidade lateral e longitudinal da vertente, definindo uma posição de recepção de sedimentos.

A menor quantidade de argila nos perfis 175 e 174 em relação aos perfis situados na meia encosta superior, deve estar associada a maior intensidade do processo erosivo no ombro da vertente (HALL, 1983), causando um acúmulo residual de partículas mais grosseiras na superfície do solo.

Por outro lado, na posição de topo, o solo é mais intemperizado e mais antigo, e já não possui minerais primários que possam ser quimicamente intemperizados e dar origem a argilas neoformadas, as quais são mais susceptíveis de serem eluviadas. Também deve ser considerado que, nestas condições, os fenômenos de pedoturbação que tendem a homogeneizar o perfil do solo (BUOL et alii, 1980), atuaram por muito mais tempo, diminuindo o gradiente textural que por ventura existisse.

Tabela 11. Regressões significativas entre parâmetros do relevo e atributos da camada superficial dos solos da transeção 2.

VAR	N	R2	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO		

REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 0,1%					

DPH	12	0,77	Dp=-0,79-0,04D2*** -0,06CL		
		r1 = -0,178	r2 = -0,287		

REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 1%					

%ARGILA	12	0,80	ar=47,09-0,06DT	+3,47CL	-3,05CC
		++			
		r1 = -0,750	r2 = 0,432	r3 = -0,374	

REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 5%					

pH	14	0,78	pH=4,94-0,05DV	+0,09D2	+0,27CC
		r1 = -0,396	r2 = -0,164	r3 = 0,390	

(++) = r (pearson) significativo no nível de 5%
 (*) = significativo no nível de 5%
 (**) = significativo no nível de 1%
 (***) = significativo no nível de 0,1%

Configuração lateral do horizonte A

Outra explicação diz respeito aos solos situados em posições de acúmulo de matéria orgânica como são os Podzólicos Vermelho Escuros e Cambissolos com horizonte A chernozêmico nos sopés das vertentes em que se encontram (transeções 1, 2 e 3). Nesta posição o ambiente mais úmido se associa ao poder complexante dos compostos orgânicos, que podem diminuir a cristalogênese da ferridrita, favorecendo a goethita (PEDRO et alii, 1979; CURI & FRANZMEIER, 1984).

A estes comentários deve-se adicionar que a acumulação de óxidos de ferro na forma de hematita, é, normalmente, tanto mais elevada quanto maior for a idade do material do solo e, quanto mais alta for a quantidade de minerais primários alterados (PEDRO et alii, 1979).

Cabe no entanto ressaltar, que o segmento sopé, ocorre somente em duas transeções e com declividade acima de 5%. Caso existissem áreas grandes de sopé com declividade baixa, a relação índice vermelho (IV) x declividade (D%), seria mais complexa e deveria ser analisada por segmentos de vertente, uma vez que tanto no topo como no sopé teríamos declividades baixas com situações opostas em relação à cor do solo.

O bloco diagrama da figura 20, apresenta de forma clara as feições do horizonte A do topo ao sopé, mostrando um estreitamento do mesmo, nas posições de ombro e meia encosta superior.

Figura 20. Bloco diagrama da transeção 2. Note-se os diferentes segmentos e a transição encosta abaixo da morfologia do solo.

A tabela 12, mostra os perfis analisados em trincheiras com os atributos espessura e cor da camada superficial (ou horizonte A), e as respectivas posições na vertente.

Tabela 12. Espessura e cor do horizonte A de alguns perfis da transeção 2 em relação na vertente.

PERFIL	ESPESSURA	COR MUNSELL	POSIÇÃO
177	30	2,5YR 3,5/4	topo
176	30	2,5YR 3/4	topo/ombro
175	23	2,5YR 3,5/5	ombro
173	20	2,5YR 3,5/4	ombro/m.e.s. *
171	22	2,5YR 3,5/5	m. e. s.
167	30	5,0YR 3,5/3 (15cm) e 5,0YR 4/6 (15cm)	sopé
164	38	5,0YR 3,5/3,5 (15cm) e 5,0YR 4/6 (23cm)	sopé

* m.e.s. = meia encosta superior.

Observando a figura 20 e a tabela 12 , verifica-se que além do estreitamento do horizonte A na posição de ombro e meia encosta superior, ocorre um escurecimento maior no sopé. A sequência mostra que a passagem do horizonte A do tipo moderado para tipo chernozêmico está estreitamente ligada a transição meia encosta-sopé.

A maior espessura do horizonte A na posição de topo, ocorre devido a ser esta a posição mais estável da paisagem (HALL, 1983) e ali predominam os processos pedogenéticos internos em detrimento da erosão (CONACHER & DARLYMPLE, 1977; GERRARD, 1981). Como já foi discutido para a transeção 1, no sopé duas condições básicas devem favorecer o desenvolvimento do horizonte A: Acúmulo de material orgânico por deposição proveniente da vertente e a maior quantidade de água ao longo do ano, condições que favorecem atividade biológica e os processos de pedoturbação (bioturbação) que dão origem as características do horizonte A (BUOL et alii, 1980).

4.2.2.2. Canada subsuperficial

Efeito do relevo nos atributos químicos e mineralógicos

A figura 44 mostra o comportamento de
+++ o
alumínio trocável (Al⁺⁺⁺), hidrogênio (H⁺), soma de bases

(S) e capacidade de troca catiônica (T) da camada subsuperficial (amostras do horizonte B), ao longo da transeção 2.

Figura 44. Valores de H, S, Al e T (S + Al + H) para a camada subsuperficial (amostras do horizonte B) dos perfis da transeção 2 e respectivas posições na vertente.

Nota-se que a partir da meia encosta inferior e no sopé coluvial há uma nítida tendência de aumento do valor S. Os valores de T seguem esta tendência, o mesmo ocorrendo para a saturação por bases (Figura 45).

Figura 45. Saturação por bases (V%) de amostras do horizonte B dos perfis da transeção 2 e respectivas posições na vertente.

Os valores de T, decrescem ligeira e gradativamente do perfil 177 (topo) ao perfil 171 (meia encosta superior), para depois aumentarem em direção ao sopé. Desta forma a equação que, em função da distância do topo (DT), mais se ajusta ao comportamento de T ao longo da vertente é de segundo grau (equação 8):

$$T = 6,125 - 1,540 DT + 0,662 DT^2 \quad (\text{eq. 8})$$

*** 2 ***

$r^2 = 0,81 \quad n=14 \quad p=0,1\%$

Os difratogramas de raio X da fração argila (anexo 1), mostram que os solos da transeção são cauliniticos, não havendo diferenças perceptíveis entre os

mesmos, a não ser nos perfis 164 e 167 onde surge a mica. Desta forma, a argila dos perfis 177 a 171 (topo até meia encosta superior), não apresentam diferenças aparentes no tipo de argila e o ligeiro incremento de T no sentido meia-encosta superior/topo aparentemente está relacionado a uma maior distribuição do C orgânico em profundidade nos solos destas posições, principalmente nos latossolos da parte mais plana e superior da topossequência. (Figura 46).

Figura 46. Distribuição do C orgânico da camada subsuperficial da transeção 2. Note-se os maiores valores para 177 e 176 (latossolo podzólico e podzólico-latossólico).

O maior conteúdo de C em profundidade no topo, deve estar ligado à maior estabilidade do segmento, sofrendo menos erosão do que o ombro e meia encosta superior e também estando mais tempo sujeito aos processos de pedoturbação que, a longo prazo, tendem a incorporar mais profundamente partículas estáveis de humus. BENNEMA (1975), credits esta maior uniformidade no perfil do C orgânico, às melhores condições físicas que as raízes tem para se desenvolver em solos porosos sem diferenças significativas de textura entre camadas, como são os latossolos.

A figura 47 mostra a distribuição de carbono em profundidade para as diferentes posições da vertente em questão:

Figura 47. Distribuição de C orgânico (%) em profundidade em quatro perfis da transeção 2 e suas respectivas posições na vertente.

Corrigindo-se o efeito da matéria orgânica sobre a CTC, obtreuve-se a relação T/100g de argila da figura 48.

Figura 48. Atividade das argilas (T/100g de argila), descontado o efeito da matéria orgânica através de cálculo. Valores para amostras do horizonte B dos perfis da transeção 2 e respectivas posições na vertente.

Uma vez descontada a CTC devida unicamente à matéria orgânica, percebe-se que pouca diferença deve existir na mineralogia da argila dos solos que ocupam as posições de topo, ombro e meia encosta superior, diferindo

somente no sopé (figura 49). Esta informação está de acordo com os difratogramas da fração argila que evidenciam a predominância de caulinita e gibbsita ao longo da transeção surgindo, apenas no sopé, picos aos 10A, denotando a presença de mica. Nos perfis 177 e 176 nota-se um ligeiro aumento no pico basal da gibbsita e uma leve redução na intensidade dos picos da caulinita.

As equações de regressão obtidas para saturação por bases (V%), soma de bases (S) e teor de cálcio trocável (Ca⁺⁺), em função da distância do topo (DT) e distância vertical do topo (DV), explicam boa parte da variância encontradas para estas variáveis. Os coeficientes de correlação obtidos são positivos e significativos no nível de 1%. (tabela 13). Isto corrobora a hipótese já apresentada sobre o enriquecimento de bases vertente abaixo via fluxo lateral subsuperficial, já que mineralogicamente não se percebe diferenças significativas do topo à meia encosta. No sopé o acúmulo destas bases e sílica via fluxo lateral e basal, ambos subsuperficiais (MONIZ et alii, 1982), proporciona um ambiente mais favorável a uma mineralogia mais ativa (JACKSON, 1965), o que, associado à proximidade da rocha, dá lugar a solos menos intemperizados e com maior reserva mineral.

A equação obtida para atividade das argilas (T/100g de argila) em função da distância vertical do topo (DV), assim como a correlação positiva encontrada entre

estes dois parâmetros, está de acordo com esta explanação (tabela 13).

Como já foi comentado os difratogramas da fração argila (anexo 1) mostram um decréscimo na intensidade dos picos da gibsita vertente abaixo, especialmente no sopé (perfis 167 e 164), onde aparecem também os picos da mica. A vertente em estudo é considerada um sistema aberto (RUHE & WALKER, 1968), e não havendo mudanças climáticas bruscas o seu sistema mineralógico parece se encaixar no modelo de aparente "estado estável" ou "steady state" (JENNY, 1980 e BIRKELAND, 1984), onde, em função da dinâmica que o relevo nela imprime, a entropia seria mínima e o fluxo de matéria e energia devem ser suficientes para manter as propriedades do sistema (DELGADO RODRIGUEZ & DELGADO CALVO-FLORES, 1984).

Tabela 13. Análise de regressão e correlação para os parâmetros das camadas subsuperficiais da transeção 2.

VAR	N	R ²	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	r(pearson)
REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 0.1%				
V%	14	0,59	V%=56,69 + 0,06 Dt***	0,766+
			***	+
S	14	0,80	S=3,11 + 0,07 Dv	0,895
			***	+
S	14	0,74	S=3,00 + 0,00 Dt	0,862
			***	+
Ca	14	0,68	Ca=2,07 + 0,074 Dv	0,825
			***	+
Ca	14	0,60	Ca=1,97 + 0,006 Dt	0,776
			***	+
L	14	0,66	L=7,09 + 1,35 D3	0,811
			***	+
Ds	9	0,89	Ds=1,21 + 0,02 D1	0,944
REGRESSÕES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (P) DE 1%				
V%	14	0,50	V%=58,55 + 0,61 Dv	0,708
			**	+
T/A-C	14	0,45	T/A-C=7,237 + 0,247 Dv *	
			*	
C/Ar	14	0,45	C/Ar=2,79 + 0,066 Dv	0,669
(1)			*	++
Ki	7	0,58	Ki=1,70 + 0,23 CC	0,763
			**	+
L	14	0,49	L=12,48 + 0,50 Dv	0,698
			**	+
L	14	0,57	L=10,96 + 0,05 dT	0,764
			**	+
Ar	14	0,47	Ar=72,93 - 1,75 D3	-0,685
			**	+
Ar	14	0,45	Ar=68,36 - 0,066 Dt	-0,668
			**(2)	+
Ds	9	0,73	Ds=1,254 + 0,07 Dt	0,854

(1) equação significativa no nível de 5%.

(2) unidade em 100 m.; ***, **, *, variáveis significativas em 0,1, 1 e 5% respectivamente; + e ++; coeficientes de correlação de pearson significativos; em 1 e 5% respectivamente
 V% = saturação por bases; S = soma de bases (meq/100g TFSA)
 T/A-C = CTC/100g argila; Ca= cálcio trocável (meq/100g TFSA)
 L = % de silte; Ds = densidade do solo (g/cm³)

4.2.3. Formação do horizonte B textural.

Ao longo das duas transeções observou-se uma passagem encosta abaixo de solos com B latossólico (Bw) para B textural (Bt), sendo no topo da vertente latossolos, no ombro podzólicos-latossólicos e na meia encosta e sopé podzólicos típicos.

Sequências Bw/Bt em materiais de origem diversos foram estudadas no Brasil por diversos autores com diferentes hipóteses para explicar tal evolução (LEPSCH & BUOL, 1974; LEPSCH et alii, 1977; MONIZ & BUOL, 1982; MONIZ et alii 1982; TIÊ-BI-YOUAN et alii, 1983; LUCAS et alii, 1984; JIMENEZ RUEDA & DEMATTE, 1988).

Não é objetivo principal deste trabalho esclarecer com detalhes a evolução B latossólico - B textural, mas sim mostrar de forma quantitativa as relações destes solos com a topografia local e a posição do solo na paisagem. Contudo, dada a importância do assunto sob o ponto de vista pedogenético e considerando os inúmeros dados descritos neste trabalho, considerações serão feitas a esse respeito.

Como já foi descrito acima, a sequência lateral Bw/Bt ocorre tanto na transeção 1 como na 2, sendo que entre as duas topossequências existem alguns aspectos concordantes:

- . Ambas pertencem a mesma vertente.
- . Transição lateral Bw/Bt.
- . Ocorrência de horizonte A chernozêmico na posição de sopé.
- . Proximidade de zonas de alteração do gnaiss (horizonte C) em algumas posições na meia encosta e no sopé.

Da mesma forma algumas diferenças importantes devem ser apontadas para melhor entendimento da discussão:

- . A transição Bw/Bt é muito mais brusca e em curta distância na transeção 2.
- . O topo da transeção 2 está situado no limite entre o topo da vertente e a curvatura inicial desta, sendo o solo que ali se encontra um Latossolo Vermelho Escuro Podzólico. Já na transeção 1 o topo é ocupado por um Latossolo típico.
- . Na transeção 1, a vertente tem contorno côncavo enquanto que a transeção 2 tem contorno retilíneo-convexo, de acordo com HUGGET (1975).
- . A convexidade entre topo e meia encosta (ombro da vertente), é mais evidente na transeção 2 onde quatro perfis nela se situam, enquanto que na transeção 1, apenas

o perfil 150 está tipicamente na posição de de ombro.

A tabela 14, mostra as principais características micromorfológicas de três perfis selecionados na transeção 1. Cada perfil ocupa uma posição distinta na vertente, e ilustram a transição B latossólico/B textural (Bw/Bt) ali observada. Já para a transeção 2, nove perfis foram selecionados para a mesma finalidade e os dados obtidos estão na tabela 15. Esta maior amostragem na transeção 2 se deve a melhor distinção dos quatro segmentos de vertente, em especial o segmento "ombro", em relação a transeção 1, assim como por ser mais representativa da paisagem local. Dados morfológicos e analíticos relevantes à discussão em pauta foram adicionados às tabelas 14 e 15 (relação textural; descrição de estrutura e cerosidade; densidade do solo e classificação do perfil).

Transeção 1

Nessa área de transição entre solos com aqueles dois horizontes diagnósticos (Bw e Bt), algumas tendências são evidentes. A trama do solo passa de granóidica (figura 51 e 52) no topo a porfírica fissurada na meia encosta (figura 54) e no sopé é porfírica fissurada com

Tabela 14 - Avaliação qualitativa e quantitativa de feições micromorfológicas da transeção 1 e posição na vertente.

SEGMENTO DE VERTENTE	TOPO	MEIA ENCOSTA	SOPE
Nº do perfil	149	153	161
Trama	Granóidica tendendo localmente a apórica granóidica	Porfírica fissurada	Porfírica c/ cavidades fissurada
Estrutura do plasma	massépica	vomassépica	esquelvomassépica
Cutãs	0	11 %	13 %
Poros	32,5 %	12 %	18 %
Esqueleto	9 %	15 %	13 %
Outras observações morfológicas (campo)	ausência cerosidade	cerosidade fraca COMUM	cerosidade moderada COMUM
Classificação do perfil	LEa	PEL	PE
Densidade do solo (g/cm³)	0,90	1,30	1,34
Relação textural	1,20	1,40	1,80
Estrutura	B latossólico típico (granular muito pequena)	Subang., média, fraca a moderada	Subang., média moderada a forte

Tabela 15 - Avaliação qualitativa e quantitativa de feições micromorfológicas dos perfis da transeção 2 e sua respectivas posições na vertente.

SEGMENTO DA VERTENTE	TOPO		OMBRO			MEIA-ENCOSTA			SOPE	
	177	176	175	173	171	169	167	165	164	
Nº do perfil										
Trama	Grânica-granodica. Localmente intertística	Apórica-granodica	Porfírica com cavidades físsuradas	Porfírica com cavidades	Porfírica com cavidades	Porfírica	Porfírica com cavidades	Porfírica com cavidades físsuradas	Porfírica	Porfírica
Estrutura do plasma	Quase isotípica circular concentrada	Esquelvo-massepica	Esquelvo-massepica	Argilassépica	Vomassépica	-	Bimassépica	Esquelvo-massepica	Argilassépica	Argilassépica
Cutãs de iluviação	8 %	4 %	14 %	4 %	4 %	13,5 %	19 %	13 %	3 %	
Poros	28 %	22 %	22,5 %	9 %	25 %	15 %	13 %	13 %	7 %	
Esqueleto	12 %	12,5 %	8,5 %	14 %	6 %	14 %	17 %	24 %	35 %	
Outras observações (cerosidade no campo e alteração rocha)	cerosidade fraca pouca	cerosidade fraca pouca	cerosidade moderada comum	cerosidade fraca comum	rocha alterada a 50cm de prof.	cerosidade moderada comum	cerosidade forte comum	cerosidade moderada comum	cerosidade de min. primários	grande qtde. de min. primários
Classificação do solo	LEPd	PELe	PEe	PEe	PEpp	PEe	PEe	PVe	PVpp	
Densidade do solo (g/cm3)	1,16	1,25	1,34	1,35	1,34	1,41	1,39	1,40	1,49	
Estrutura	granular muito pequena	granular muito pequena	sbq;md; mod	sbq;md; mod	sbq;md; mod e fte	sbq;md; mod	sbq;md; mod	sbq;md; mod e fte	sbq;md; mod a fte	

cavidades (figuras 60 e 61). A sequência para a estrutura do plasma é massépica-vomassépica-esquelvomassépica respectivamente para as três posições (figuras 52, 53, 54, 55, 59, 61, 62). A incidência de cutãs é crescente a partir da meia encosta, sendo nula no topo, e coincide com a observação de ocorrência e intensidade de cerosidade observada com lentes de bolso na descrição morfológica de campo.

Esta descrição micromorfológica mostra claramente o aumento do tamanho dos peds assim como maior intensidade de orientação do plasma vertente abaixo, quer seja na forma de tramoides (separações plásmicas) ou de cutãs de iluviação. (Ver figuras 51 a 62).

Como se vê, estas observações são convergentes no sentido de explicar a evolução lateral Bw/Bt, com um adensamento dos peds, reduzindo a porosidade, e aumentando a quantidade de cutãs de argiluviação vertente abaixo. Este adensamento maior nas posições de meia encosta e sopé certamente tem influência do maior fluxo lateral e basal que ocorre nestas posições, levando a um maior número de ciclos de umedecimento com saturação e posterior secamento do solo, podendo tanto favorecer deposição da argila iluviada do A (E.U.A., 1975) como dar lugar a deformações plásticas, aumentando a densidade (MONIZ & BUOL, 1982) e incrementando a orientação do plasma ao redor dos poros, peds e grânulos do esqueleto (MONIZ, 1980).

Figura 49. Direção hipotética do fluxo de água através da vertente. (Adaptado de MONIZ & BUOL, 1982).

No sopé há maior ação deste fluxo lateral/basal subsuperficial (GERRARD, 1981; MONIZ & BUOL, 1982; HALL, 1983). A maior quantidade de cutões e incidência de tramóides encontrados nesta posição está de acordo com os resultados obtidos por MONIZ (1980).

A hipótese de aumento gradativo da densidade do solo vertente abaixo, por ação do fluxo lateral subsuperficial, encontra respaldo nas análises de regressão da tabela 10. Tanto a distância do topo (DT), como a distância vertical do topo (DV), explicam cerca de 70% da variância da densidade do solo (D_s), e correlacionam-se positiva e significativamente com D_s .

Entretanto, este fenômeno não há de ser o único responsável por tal constatação em toda a vertente, uma vez que existem evidências de um material de solo mais jovem com presença de minerais primários decomponíveis visíveis a olho nu (mica) nas frações grosseiras dos perfis situados no sopé. A constatação de bolsões de alteração de rocha, a proximidade do horizonte C e a presença de matacões de rocha fresca próximos à superfície, fundamentam tal idéia.

O menor grau de intemperismo no sopé é constatado pelos índices Ki e Kr obtidos para os solos nesta posição (perfil 161 e perfil 163). O difratograma da fração argila de P 161, indica a presença da mica, que não aparece nos perfis 153 e 149 (meia encosta e topo, respectivamente).

Embora a ressilicatização ou neoformação de argilominerais seja favorecida nas posições baixas da vertente, principalmente no sopé, via fluxo lateral e/ou basal subsuperficial (JACKSON, 1965; MONIZ, 1980), as evidências já citadas de um solo menos intemperizado são claras, descartando-se a hipótese dos solos destas posições terem uma mineralogia mais ativa em função exclusivamente da ressilicatização via fluxo lateral subsuperficial de sílica e bases.

Com este acúmulo de bases e com uma mineralogia mais ativa, as condições para que exista o processo de argiluviação são favorecidas (EUA, 1975; ESWARAN

& SYS, 1979). Nesta condições de mineralogia mais ativa, agregados maiores se formam, dando lugar a uma macroestrutura mais forte (DEXTER, 1988).

As regressões significativas obtidas para relação textural (razão entre % de argila do horizonte B / % argila do horizonte A-RT) em função dos parâmetros de relevo (tabela 10), mostram que distância do topo (DT) e distância vertical do topo (DV) estão fortemente correlacionados com RT e de forma positiva. Os coeficientes de determinação foram mais elevados e significativos para as equações quando o índice de declividade (D2) foi incluído nas regressões (tabela 10), melhorando ainda mais a possibilidade de prever RT em função de parâmetros topográficos nesta transeção.

A presença de argilãs atuais (CURI et alii, 1985), mostrando forte orientação e contraste em exame de seções delgadas é considerada como prova de argiluviação (BUOL et alii, 1980), do topo para o sopé, tendo sua máxima expressão neste último (figuras 59, 60 e 64).

O grau de estrutura mais desenvolvido nos solos intermediários que ocupam a posição de ombro da vertente entre o topo (latossolos) e a meia encosta (podzólicos), parece ser explicado pelas considerações de MONIZ & BUOL (1982), sobre o fluxo lateral subsuperficial crescente a partir desta posição, gerando uma camada gradativamente mais adensada no material original presumivelmente latossólico a partir do topo. Permanece, entretanto, a

indagação de como explicar os cutãs atuais descritos nas seções delgadas destes solos, uma vez que estes apresentam forte contraste e orientação característicos de material de argiluviação.

Figura 50. Relação textural (% argila do B/% argila do A), dos perfis da transeção 1, e suas respectivas posições na vertente.

Figura 51. Perfil 149. Fotomicrografia sob luz natural de horizonte B latossólico. Trama granóidica tendendo localmente a apórica granóidica (38x).

Figura 52. Perfil 149. Fotomicrografia obtida com nicóis cruzados. Estrutura do plasma massépica. Trama granóidica. (38x).

Figura 53. Perfil 149 (topo). Fotomicrografia com aumento maior mostrando a estrutura masséfica do B latossólico deste perfil (150x).

Figura 54. Perfil 153 (Meia encosta). Fotomicrografia sob luz natural do horizonte B textural. Trama porfirica fissurada. (38x).

Figura 55. Perfil 153 (Meia encosta). Fotomicrografia sob nicóis cruzados do horizonte B textural. Estrutura do plasma é vomassépica.

Figura 56. Perfil 153 (Meia encosta). Fotomicrografia sob luz natural do horizonte B textural. Detalhe mostrando cutãs. (38x).

Figura 57. Perfil 153 (Meia encosta). Fotomicrografia com nicóis cruzados evidenciando cutãs de iluviação do B textural. (38x).

Figura 58. Perfil 153 (Meia encosta). Fotomicrografia sob nicóis cruzados evidenciando cutãs atuais e paleocutãs de iluviação. (150x).

Figura 59. Perfil 153 (Meia encosta). Fotomicrografia sob nicóis cruzados. Note-se a estrutura vomassépica do horizonte B textural. (38x).

Figura 60. Perfil 161 (Sopé). Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfirica com cavidades fissurada. (38x).

Figura 61. Perfil 161 (Sopé). Fotomicrografia sob nicóis cruzados. Note-se os cutãs de iluviação acompanhando um canal e o maior número de separações plásmicas (em relação ao P153 e P149). Estrutura esquelmassépica.

Figura 62. Perfil 161 (Sopé). Detalhe da seção delgada do horizonte B textural sob nicóis cruzados. Note-se o padrão característico dos cutões de iluviação. (38x).

Transecção 2

A evolução das organizações pedológicas ao longo da transecção 2 é semelhante ⁽¹⁾ à descrita para a transecção 1 e está resumida na tabela 15. A trama do solo na posição de topo da vertente (perfil 177) é característica de latossolos e representa a "estrutura micropédica" descrita por STODPS & BUOL (1985). Neste caso as unidades estruturais (peds), mostram-se não acomodadas umas às outras, mas em alguns pontos de contato parecem fundidas (Figura 67). A trama evolui para apórica-granóidica na transição topo-ombro (figura 71), o que significa que os microagregados parecem ligados entre si por considerável proporção de suas superfícies (CURI et alii, 1985).

Já no ombro ocorre uma mudança brusca para uma trama mais densa denominada porfírica (figura 74). A porosidade neste caso está ligada às cavidades e as fissuras que a trama apresenta.

A passagem de trama grânica-granóidica no topo para uma trama porfírica nos segmentos inferiores na vertente já foi discutida para a transecção 1. A influência crescente do fluxo lateral de água no adensamento do solo via deformações plásticas, a partir do ombro em direção ao

(1)

Para melhor visualizar a descrição micromorfológica da tabela 15, recomenda-se ao leitor a observação concomitante das figuras 67 a 87.

segmentos inferiores, se faz notar não só na descrição da trama como também nas aferições de % de poros e densidade global. O grau de desenvolvimento de macroestrutura também indica tal ação e é definido como fraco no topo, moderado no ombro e meia encosta e moderado a forte nas posições mais baixas da vertente (sopé). O aumento gradativo de separações plásmicas é notado na sequência, do topo ao sopé, para a estrutura plásmica: Isótica com leve orientação circular concêntrica - esquelvomassépica - bimassépica.

Assim como na transeção 1, a lessivagem parece ser mais intensa vertente abaixo, e, principalmente nos perfis do sopé (167 e 165) e meia encosta inferior (169). O perfil 164 é um solo pouco profundo e com horizonte Bt menos desenvolvido provável razão pela qual não apresenta cerosidade e cutãs significativos (tabela 15).

A metodologia empregada para a quantificação de cutãs (contagem de 200 pontos em malha), mostrou boa correlação com as descrições de cerosidade feitas no campo nos solos com intensidade moderada ou forte. Entretanto, algumas discrepâncias surgiram nos perfis 177, 176 e 173, situados no topo. Para estes perfis, a cerosidade foi descrita como fraca pouca e fraca comum, e a quantidade de cutãs foi da ordem de 8, 4 e 4%, respectivamente.

A figura 63, ilustra o comportamento da razão textural (% argila do B/% argila do A), na transeção 2.

Figura 63. Relação textural (% argila B/% argila A), ao longo da transeção 2.

Nota-se que há um incremento significativo de RT no sopé. O aumento de RT nesta posição pode ser explicado não só pelo incremento do processo da lessivagem nesta posição da vertente, como pelo acúmulo de partículas grosseiras na superfície desta posição. Já no perfil 175, o processo de argiluviação associa-se à maior erosão que ocorre no ombro da vertente (HALL, 1983), causando um maior acúmulo residual de areia neste segmento, em comparação com o topo e a meia encosta superior (tabela 16).

Tabela 16. % de argila das camadas superficiais (horizonte A, ou parte superior deste amostrada de 0 a 20 cm), e subsuperficial (horizonte B amostrado de 60 a 80 cm), dos perfis situados no topo, ombro e meia encosta superior da transeção 2. Note-se o decréscimo no teor de argila da camada superficial dos perfis 174 e 175 (ombro).

Perfil	Posição	% argila	
		A	B
177	Topo	53	67
176	Topo/ombro	43	67
175	Ombro	35	68
174	Ombro	39	65
173	Ombro/m.e. sup.	44	68
172	m.e. superior	42	67
171	m.e. superior	44	61

Já foi comentado na discussão sobre a transeção 1, a presença nesta vertente de material de solo mais jovem principalmente na parte baixa desta (sopé). Na transeção 2, a presença de rocha alterada mais próxima a superfície (horizonte C a 80-100cm), aparece a partir da meia encosta inferior indo até o sopé (figura 21). Os solos menos intemperizados destas posições apresentam, por consequência, um teor mais baixo de argila no horizonte B. A provável variação que possa existir na constituição mineralógica das rochas gnáissicas, material de origem destes solos, certamente influencia a granulometria destes. Entretanto, as tendências observadas na distribuição granulométrica dos solos são para segmentos da vertente e não apenas para perfis isolados.

A tabela 13, mostra as equações de regressão e as análises de correlação entre %argila do horizonte B com a declividade posterior (D3) e a distância do topo (DT). Quanto maior a declividade menor é o teor de argila no B. Da mesma forma, quanto maior é o distanciamento do perfil do topo da vertente, menor é o teor de argila do B. A correlação negativa obtida para % de argila e declividade posterior (D3), justifica-se na medida em que a ação dos processos erosivos e de transporte são favorecidos em detrimento dos processos de intemperismo, com o aumento da declividade. O teor de silte aumenta a medida que ocorre o distanciamento do topo e aumenta a declividade (tabela 15),

o que está de acordo com as explicações feitas para o teor de argila do horizonte B destes solos.

A figura 64, mostra os valores da densidade do solo (D_s), vertente abaixo, do topo ao sopé da transeção 2. Os valores obtidos, assim como as descrições da tabela 15, mostram a convergência dos dados denotando o maior adensamento e grau de desenvolvimento de estrutura subangular na meia encosta inferior e no sopé, a semelhança do ocorrido no sopé da transeção 1 e em consonância com os trabalhos de MONIZ & BUOL (1982).

Figura 64. Densidade do solo (D_s) ao longo da transeção 2.

Certamente, o aumento de silte e outras partículas maiores vertente abaixo, afetam o valor de densidade global, aumentando-a a medida que o teor de argila diminui. Entretanto as evidências já descritas de maior grau de desenvolvimento da estrutura subangular, a trama porfírica mais compacta com menor porosidade observada ao microscópio (figura 65, 69, 72, 74, 77, 79 e 82), indicam um adensamento gradativo vertente abaixo, confirmado ainda pela equação de regressão da tabela 13, onde DT (distância do topo) explicou 73% da variação de Ds (densidade do solo), correlacionando-se positiva e significativamente. Isto apoia a hipótese da ação crescente do fluxo lateral e basal no desenvolvimento do B textural, desenvolvida por MONIZ & BUOL (1982). A ação do fluxo lateral e/ou basal subsuperficiais de água parece ser mais evidente a medida que aumenta a declividade a partir do topo plano, uma vez que a componente de infiltração vertical é diminuída (GERRARD, 1981; MONIZ & BUOL, 1982). A forte correlação positiva obtida entre Ds (densidade do solo) e D1 (declividade anterior), assim como a equação de regressão obtida entre ambos (tabela 13), corroboram esta hipótese, sendo que 89% da variação de Ds foi explicada por D1.

Figura 65. Perfil 177 (Topo). Fotomicrografia sob luz natural. Trama grânica-granóidica do horizonte B latossólico. (38x).

Figura 66. Perfil 177 (Topo). Fotomicrografia com nicóis cruzados. Note-se a estrutura quase isótica com leve orientação circular-concêntrica do plasma do horizonte B latossólico. (38x).

Figura 67. Perfil 177 (Topo). Fotomicrografia sob luz natural mostrando área localizada com trama intertética no horizonte B latossólico. (38x).

Figura 68. Perfil 177 (Topo). Fotomicrografia sob nicóis cruzados, mostrando área localizada com grande concentração de cutãs. (38x).

Figura 69. Perfil 176 (ombro). Fotomicrografia sob luz natural. Trama Apórica-granóidica em horizonte B de Podzólico Latossólico. (38x).

Figura 70. Perfil 176 (ombro). Nicóis cruzados. Estrutura do plasma é esquelvomassépica. (38x).

Figura 71. Perfil 176 (ombro). Concentração localizada de cutãs de iluviação. Nicóis cruzados. (38x).

Figura 72. Perfil 175 (ombro). Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfírica com cavidades fissurada do horizonte B textural. (38x).

Figura 73. Perfil 175 (Ombro). Fotomicrografias com nicóis cruzados. Estrutura esquelomassépica e cutãs de iluviação em evidência. (38x).

Figura 74. Perfil 171 (Meia encosta). Fotomicrografia sob luz natural. Trama Porfírica com cavidades do horizonte B textural do Podzólico Vermelho Amarelo pouco profundo. (38x).

Figura 75. Perfil 171 (Meia encosta). Nicóis cruzados. Seção delgada do horizonte B textural. Note-se a estrutura vomassépica e os cutãs de iluviação. (38x).

Figura 76. Perfil 171 (Meia encosta). Fotomicrografia sob maior aumento e com nicóis cruzados evidenciando a presença da mica. (150x).

Figura 77. Perfil 169 (Meia encosta). Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfírica do horizonte B textural. (38x).

Figura 78. Perfil 169 (Meia encosta). Nicóis cruzados. (38x).

168.

Figura 79. Perfil 167 (sopé). Fotomicrografia sob luz natural do horizonte B textural. Trama porfírica com cavidades. (38x).

Figura 80. Perfil 167 (sopé). Com nicóis cruzados. Observa-se a grande quantidade de separações plásmicas. Estrutura bimassépica. Lâmina com 19% de cutãs. (38x).

Figura 81. Perfil 167 (sopé). Fotomicrografia com nicóis cruzados. Note-se evidências de fragmentos de mica ou pseudomorfo da mesma no centro. (38x).

170.

Figura 82. Perfil 164 (sopé). Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfírica do horizonte B textural do Podzólico Vermelho Amarelo pouco profundo. (38x).

Figura 83. Perfil 164 (sopé). Nicóis cruzados. Note-se a estrutura argilassépica e cutãs preenchendo um canal no canto superior. (38x).

171.

Figura 84. Perfil 164 (Sopé). Fotomicrografia sob luz natural. Trama porfírica e esqueleto abundante. (38x).

Figura 85. Perfil 164 (Sopé). Nicóis cruzados. Note-se a presença de minerais intemperizáveis em grande quantidade. Em destaque um grânulo grande de Feldspato (provavelmente microclina). Estrutura argilassépica. (38x).

O problema da contagem de cutãs de iluviação

A metodologia empregada para a quantificação de cutãs (contagem de 200 pontos distribuídos em malha requerer na superfície da lamina delgada), mostrou boa correlação com as descrições feitas no campo nos solos vistos com cerosidade moderada ou forte. Entretanto, algumas discrepâncias surgiram nos perfis 177, 176 e 173. Para estes a cerosidade no campo foi avaliada tanto como "fraca pouca" como "fraca comum", sendo que os cutãs foram quantificados como abrangendo, 8, 4 e 4% das respectivas lâminas delgadas.

Embora nos dados de contagem de cutãs sejam coerentes com a avaliação da cerosidade, os números encontrados parecem muito altos em comparação com os dados de argila iluviada, obtidos por McKEAGUE et alii (1981): em 54 horizontes argílicos (E.U.A., 1975), eles encontraram apenas 32 com mais de 1% de argila iluvial. Contudo, LEPSCH et alii (1977b), descreveram seções delgadas de horizontes B texturais contendo até 20% de cutãs de iluviação usando uma técnica idêntica de contagem de pontos.

Os problemas encontrados na quantificação de cutãs não foram privilégio de nosso trabalho. BULLOCK & THOMPSON (1985), mostram os principais obstáculos encontrados por pesquisadores que pretendem alcançar este objetivo, dentre os quais a representatividade da amostragem, tamanho da seção delgada e o método estimativo parecem ser os

maiores problemas.

O uso de lâminas "mamute" (8 x 15cm ou maior) seria melhor indicado para este fim, melhorando a representatividade da amostra e a correlação com as observações de campo (BULLOCK & THOMPSON, 1985). Entretanto, a falta de equipamentos, material e tecnologia adequada, não têm permitido a elaboração de seções delgadas deste porte. Uma amostragem composta e a confecção de mais de uma seção delgada com as lâminas pequenas, parece uma boa alternativa para os estudos de quantificação em micromorfologia de solos, onde lâminas "mamute" não possam ser confeccionadas. Por outro lado, BULLOCK & THOMPSON (1985) comentam a falta de padronização nas técnicas de quantificação de cutãs de iluviação, e julgam improvável que estimativas de argila iluvial feitas por diferentes pesquisadores sejam de fato comparáveis.

Assim sendo, julga-se que, a avaliação quantitativa feita neste estudo mostra limitações, porém foi adequada para os objetivos a que se propôs e permitiu apoiar as discussões sobre as relações solo-relevo, e de forma mais específica sobre a influência do relevo sobre o processo de lessivagem.

5. CONCLUSÕES

1. Os parâmetros topográficos que melhor se relacionaram com propriedades do solo, em grau decrescente de importância, foram: distância do topo (DT); distância vertical do topo (DV); declividade do local; índice de curvatura longitudinal (CC) e ângulo de curvatura lateral da vertente (CL). Os dois últimos apresentaram correlação relativamente baixa com os atributos do solo. Tanto D1 (declividade anterior) como D2 e D3 (declividade posterior e média, respectivamente), foram igualmente selecionados pelo método "stepwise", não sendo discernida a forma ideal de se medir a declividade do local para que melhor possa correlacionar-se com os principais atributos do solo ali situado.

Em especial, o grau de intemperismo dos solos está bastante relacionado com a declividade das encostas. Quanto maior a declividade, menor é o grau de intemperismo.

2. Em alguns casos a forma da vertente também afeta os atributos do solo, sendo que tal efeito pode ser notado nos segmentos com concavidade mais pronunciada (tran-

seção 1). Aparentemente, a metodologia empregada para medir o ângulo de curvatura lateral da vertente (CL) foi adequada mas perdeu-se precisão ao se trabalhar em mapas topográficos pré-existentes. Para esta finalidade é necessário maior detalhe na determinação de CL, preferivelmente a partir de medições feitas no local de amostragem com instrumentos topográficos de precisão, tal como foi feito para declividade e distância do topo.

A comparação entre formas côncavas e convexas foi prejudicada pelo baixo grau de convexidade lateral da transeção 2, que é praticamente retilínea.

3. A associação de vários parâmetros topográficos é útil na explicação da variabilidade do solo. As mais eficazes para isto são a declividade com DT (distância do topo) e com DV (distância vertical do topo). Contudo, várias tendências podem ser quantificadas relacionando-se o atributo medido do solo simplesmente com DV ou DT, facilitando desta forma as previsões do comportamento do solo ao longo de uma vertente.

4. A interpretação da variação em sequência de horizontes A ou B em uma encosta, foi facilitada ao se relacionar o solo tanto com sua posição na vertente como à sua evolução da paisagem. A passagem lateral do horizonte A moderado para A chernozêmico coincide com a transição meia

encosta para sopé. No sopé predominam condições de acúmulo tanto de resíduos orgânicos como de água, condições estas que favorecem a melanização e a bioturbação. A transição lateral B latossólico/ B textural deve ser produto de uma ação conjunta do fluxo lateral subsuperficial, do aumento gradativo das melhores condições para a lessivagem e do maior tempo de formação do solo na superfície mais estável do topo. Isto principalmente porque, vertente abaixo, o material de origem é mais recente e há um acúmulo de bases e sílica via escoamento lateral de soluções. Nas duas transeções estudadas com maior detalhe (transeções 1 e 2), a lessivagem é favorecida a partir do ombro e tem sua expressão máxima no sopé da vertente. O processo de adensamento por ação do fluxo lateral subsuperficial de soluções proposto por MONIZ & BUOL (1982), com um consequente desenvolvimento de agregados maiores e mais estáveis, segue a mesma tendência.

5. As tendências observadas para pH, saturação por bases (V%), soma de bases (S) e capacidade de troca de cátions (CTC) do topo ao sopé podem ser quantitativamente previstas através de análises gerais de correlação e regressão principalmente com os parâmetros DT e DV. Outros atributos químicos como os teores de fósforo lábil, cálcio trocável e carbono orgânico, mostraram padrões de distribuição que somente puderam ser melhor compreendidos após os

perfis de solo serem especificamente selecionados de acordo com grupos dentro dos respectivos compartimentos da vertente.

Esta compartimentação permite a aplicação dos conhecimentos atuais dos processos que predominam em cada segmento da vertente e que se refletem nas atributos do solo, o que por sua vez possibilita compreender as relações solo x relevo no conjunto de toda a vertente. Uma vez que a compartimentação é útil, de grande aplicação serão os estudos detalhados dos processos superficiais e subsuperficiais (por exemplo: dinâmica de soluções e solutos) em cada segmento para fornecer subsídios à compreensão dos padrões de distribuição e a variabilidade espacial dos atributos do solo na vertente. Por outro lado fica evidente que os critérios de determinação de glebas homogêneas para a amostragem de solo para fins de fertilidade e para instalação de experimentos, devem levar em consideração a compartimentação detalhada da vertente em segmentos.

6. Em um determinado ecossistema, um estudo detalhado inicial das relações solo x relevo, melhorará a capacidade de prever o comportamento do solo a partir da topografia local. O uso de parâmetros topográficos como distância do topo, declividade e índices de curvatura da vertente, auxiliam na quantificação das relações solo x relevo.

7. Com base nas experiências e resultados obtidos no estudo de solo e relevo na E.E. de Mococa, sugere-se o procedimento indicado no fluxograma da figura 88, para futuros estudos de variabilidade espacial e relações solo-paisagem vertentes.

Figura 86. Procedimento para estudos de relações solo x relevo e/ou variabilidade espacial do solo na vertente.

6. BIBLIOGRAFIA

AANDAHL, A.R. The characterization of slope positions and their influence on the total nitrogen content of a few virgin soils of Western Iowa. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 13:449-454. 1948.

ADAMS, W.A. & KASSIM, J.K. Iron oxyhydroxides in soils developed from lower Paleozoic sedimentary rocks in mid Wales and implications for some pedogenetic processes. J. Soil Sci., 35:117-126. 1984.

AGUILAR, R. HEIL, R.D. "Soil Organic Carbon Nitrogen, and Phosphorus Quantities in Northern Great Plains Rangeland". Soil Sci. Soc. Am. J., 52:1076-1081. 1988.

AHNERT, F. A Comparison of theoretical slope models with slopes in the field. Z.Geomorphol. Suppl., 9:88-101. 1970.

ARNOLD, R. W. Concepts of soils and pedology. In: Pedogenesis and Soil Taxonomy: Concepts and Interactions, vol. I. Elsevier Sci. Pub.; New York; p 1-21. 1983.

AZOLIN, M.A.D. Relações solo-superfícies geomórficas e material de origem a oeste da depressão central e Campanha no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 15^o. Campinas, 1975, *Anais*, 1976, Campinas, Soc. Bras. Ci. Solo, p.p.345-350.

BAVER, L. D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W, R. "Soil Physics". Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, EUA. 1972.

BENNEMA, J. Oxissolos brasileiros. In: Congresso brasileiro de Ciência do Solo, 14^o, Santa Maria, U.F.S.M., 1973, Santa Maria, Soc. Bras. Ciência do Solo, 1974, p.7-35.

BENNEMA, J. Oxisols of Brazil. In: Fourth International Soil Classification Workshop. Rwanda. *Proceedings*. Bruxelas, p.111-143. 1983.

BERG, M. van den; LEPSCH, I.F.; SAKAI, E. Solos de planícies aluviais do Vale do Ribeira de Iguape: I Padrões de distribuição. *Rev. bras. Ci. Sol.*, Campinas, 11:305-313, 1987a.

BERG, M. van den; LEPSCH, I.F.; SAKAI, E. Solos de planícies aluviais do Vale do Ribeira do Iguape. II. Relações entre características físicas e químicas. *Rev. bras. Ci. Solo*, Campinas, 11:315-321, 1987b.

BESDRAIN, E. Mineralogia de Arcillas de Suelos. Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura. San José, Costa Rica. 1985. Cap. 3. 1216p.

BIRKELAND, P. W. "Soil and Geomorphology". Oxford University Press, New York EUA. 1984.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. II. Une méthode pierante en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pedologiques. Cah. ORSTOM, Paris, XIX, 4:p.323-339. 1982 (Ser. pedol.).

BRASIL. Projeto Radambrasil. Levantamento de Recursos Naturais. v. 32. Folhas SF. 23/24. Rio de Janeiro/Vitória; Rio de Janeiro, 1983.

BREWER, R. Fabric and Mineral Analysis. John Wiley & Sons. Inc. U.S.A., 482p. 1964.

BRINKMAN, R. Ferrolisis, a hidromorphic soil forming process. Geoderma Amsterdam, 3, 199-206. 1969/70.

BULLOCK, P. & THOMPSON, M.L. "Micromorphology of Alfisols". In: Soil Micromorphology and Soil Classification. Soil Sci. Soc. of Am. Special Publication no. 15, : 17-48. 1985.

- BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; McCracken, R. J. Soil genesis and classification. The Iowa Stat. University Press, Ames. 404p. 1980.
- BUOL, S.W. Pathways of Oxisol formation. In: Fourth International Soil Classification Workshop. Rwanda. Proceedings. Bruxelas, p. 377-395, 1983.
- BUTLER, B.E. Soil periodicity in relation to landform development in Shoutheastern Australia. In: Landforms Studies from Australia and New Guinea. Australian National University Press. 231-255. 1986.
- CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos, utilizada em levantamentos Pedológicos no Brasil. Bol. Inf. Soc. bras. Ci. Solo, Campinas, 12: 11-33. 1987.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico. Bol. Tec., 106. 94p. 1986
- CARVALHO, W. A.; PIEDADE, G. C. R.; FRANÇA, G. V. Redes de drenagem em duas áreas de solos diferentes. Rev. bras. Ci. Solo. Campinas, SP. v. 2, 3; p.204-208. set-dez. 1978.
- CASTRO, S. S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. Bol. Inf. Soc. bras. Ci. Solo.

Campinas. v. 10, no. 2, p44. maio-ago. 1985.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Editora Edgar Blucher Ltda. São Paulo, SP. Brasil, 188p, 1982.

CONACHER, A.J. & DARLYMPLE, J.B. The nine unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research. *Geoderma*, 18:1-154. 1974.

COLLINS, M. E. & FENTON, T. E. Characteristics of the Colo Soil Series as mapped in the North Central Region. *Soil Sci. Am. J. Madison* 47:599-606. Maio-jun. 1982.

CURI, N. **Relações genéticas e geomórficas em solos das encostas inferior e superior do Nordeste, no Rio Grande do Sul.** (Mestrado - UFRGS, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre). 134p, 1975.

CURI, N.; KAMPF, N. & RESENDE, M. Mineralogia, química, morfologia e geomorfologia de solos originados de rocha efusivas das Encostas Superior e Inferior do Nordeste, no Rio Grande do Sul. *Rev. bras. Ci. Solo.*, Campinas, 8: 269-276. 1984

CURI, N. & FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 48:341-346. 1984.

- CURI, N.; LIMA, P. C.; LEPSCH, I. F. Terminologia de micromorfologia do solo. *Bol. Inf. Soc. bras. Ci. Solo.* Campinas, v. 10 no. 2: 33-43. 1985.
- DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J. & CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit land surface model. *Zeitschrift fur Géomorphologie*, 12(1): 60-76. 1968.
- DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. E. & CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. *Advances in Agronomy*, 23:51-87, 1971.
- DAVIS, J. C. *Statistics and data analysis in Geology*. 2a. edição. John Wiley & Sons editores. Nova York, E.U.A. 646p. 1986.
- DAY, L. D.; COLLINS, M. E.; WASHER, N. E. Landscape Position and Particle-size Effects on Soil Phosphorus Distributions. *Soil Sci. Soc. Am. J. Madison*, 51,: (6) 1547-1553. 1987.
- DELGADO RODRIGUEZ, M.; DELGADO CALVO-FLORES, R. El tiempo como factor formador del suelo. *Anales de Edaf. y Agrobiologia*, Madrid. 63; 5-6. p.959-982, maio-jun. 1984.
- DEMATTE, J. L. I.; HOLLOWAYCHUK, N. Solos da região de São Pedro, Estado de São Paulo, I. Propriedades granulométricas e químicas. *Rev. bras. Ci. Solo.* Campinas, 1: 92-98, 1977.

- DEXTER, A. R. "Advances in characterization of soil structure". *Soil and Tillage Res.*, 11:199-238, 1988.
- EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (2a. Aproximação)*. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. 1981.
- ESWARAN, H. & SYS, C. Argillic horizons in LAC soils formation and significance to classification. *Pedologie, Ghent*, 29: 175-190. 1979.
- ESWARAN, H.; TAVERNIER, R. Classification and genesis of oxisols. In: *Soils with variable charge*. New Zealand Society of Soil Science. Palmerston North, out. 1980.
- E.U.A. Soil Survey Staff. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Agric. Handb. no. 436, v.5. Government Printing Office, Washington, D.C. 330p. 1975.
- FERNANDES BARROS, O. N. Uma proposta metodológica para o estudo dos solos. *Encontro Nacional dos Geógrafos*, 5, Porto Alegre, 1:430-433, julho 1982.
- FERREIRA, M. C.; SANTOS, W. R.; MARUJO, M.F. Condicionamento geomórfico na variabilidade granulométrica do solo ao longo de duas encostas desenvolvidas em substrato quartzítico. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 21. Campinas. *Resumos*. Campinas, Soc. bras. Ci.

Solo, p.172-173, 1987.

FRANÇA, G. V. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, 1968. (Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

FURLEY, P. A. Relationship between slope form and soil properties developed over chalk parent materials. The Institute of British Geographers Special Publication no. 3, p.141-163. jan, 1971.

GERRARD, A. J. Soils and landforms. George Allen & Unwin (Publishers) London U.K. 1981. 219p.

GONÇALVES, N. M. M. Estudo dos materiais superficiais da região de Ribeirão Preto, SP e suas relações com elementos morfológicos da paisagem. São Paulo, 1978. 177p. (Mestrado - Instituto de Geociências/USP). 177p.

HALL, G.F. Pedology and Geomorphology. In: Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and interactions. Elsevier Sci. Pub., Njew York; p.117-140. 1983.

HUGGETT, R. J. Soil-landscape systems: A model of soil genesis. Geoderma, Amsterdam; 13, p.1-22. 1975.

I.B.G.E.

I.P.T. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. Divisão de Minas e Geologia Aplicada do

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981a.

I.P.T. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981b.

JACKSON, M. L. Clay Transformations in soil genesis during the quaternary Soil Sci. 99:15-22. 1965.

JACKSON, M. L. Weathering of primary and secondary minerals in soils. 9 th. Intern. Soil Sci. Congress. Adelaide, Australia. Transactions 4:281-292, 1968.

JENNY, H. Factors of Soil Formation. New York; McGraw-Hill: 281p. 1941.

JENNY, H. The Soil Resource. Origin and Behavior. New York; Springer-Verlag editores. 376 p. 1980.

JIMENEZ RUEDA, J. R. & DEMATTE, J. L. I. Solos originados de lamitos da Formação Marília (Grupo Bauru) da região de Monte Alto, SP. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, 12: 161-170. 1988.

JUD, A. S. R. Mineralogical characteristics of Alfisols and Ultisols. In: Soil with variable charge. B.K.G. Theng, editor p.69-87, (1980).

KAMPF, N. & SCWERTMANN, U. Goethite and Hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. In: **Geoderma**, 29(4):27-39. 1983a.

KAMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos cauliniticos do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ci. Solo.**, Campinas; SP. 7:27-31, 1983.

KLEISS, H. J. Hillslope sedimentation and soil Formation in Northeastern Iowa. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison; 34: 287-290. 1970.

KOEFLER, N. F. Análise do relevo a partir de índices de drenagem obtidos com fotografias aéreas. **Bol. Geogr. Teorética**. Rio Claro, 12: 23-24. 1976.

LEPSCH, I. F. Superfícies geomorfológicas e depósitos superficiais neocenozóicos em Echaporã, SP. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, 53: 5-34. 1977.

LEPSCH, I. F. Formações superficiais de origem dos Latossolos de São Paulo. **Colóquio Estudo e Cartografia de Formações Superficiais e suas Aplicações em Regiões Tropicais**. São Paulo, vol. 1, 323-334, 1978.

LEPSCH, I. F. & BUOL, S. W. Investigations in an oxisol-ultisol toposequence in São Paulo State, Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** Madison, 38, 3, maio-jun. 1974.

- LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B. Soil landscape relationships in the occidental plateau of São Paulo, Brazil; I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 104-109. 1977a.
- LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B. Soil Landscape relationships in the Occidental, of São Paulo State, Brazil. II. Soil Morphology, genesis and classification. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 109-115. 1977b.
- LEPSCH, I.F.; SILVA, N.M. & ESPIRONELO, A. Relação entre matéria orgânica e textura de solos sob cultivo de algodão e cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Bragantia 41:231-236. 1981.
- LEPSCH, I. F. & BUOL, S. W. Oxisol-Landscape relationships in Brazil. In: Proceedings of the VIII International Soil Classification Workshop, part 1 - papers. Maio 1986. Embrapa, SMSS, AID, UPR. pp.174-189. 1986.
- LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G.; SCATOLINI, F. Transição Latossolos-Podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. Rev. bras. Ci. Solo. Campinas, 8; p.325-335, set-dez. 1984.
- MALO, D.D.; WORCESTER, D. K.; CASSEL, D. K.; MATZDORF, K.D. Soil-Landscape relationships in a closed drainage system. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison. 38: 813-817. 1974.

McKEAGUE, J.A.; WANG, C.; ROSS, G.J.; SMITH, R.E.; ANDERSON, D.W.; PETTAPIECE, W. W.; LORD, T. M. Evaluation of criteria for argillic horizons (Bt) of soils in Canada. *Geoderma*, Amsterdam. 25: 63-74. 1981.

McKEAGUE, J.A.; CHESHIRE, M. B.; ANDREUX, F.; BERTHELIN, J. "Organo-mineral Complexes in Relation to Pedogenesis". In: *Interactions of soil mineral with natural organics and microbes*, SSSA Spec. Pub. no. 17. Madison, USA. p.549-592, 1986.

MELFI, A. J.; PEDRO, G.; VOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. *Rev. bras. Ci. Solo*. Campinas, 3: 47-54. 1979.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particular for East African Soils. *Soil Res.* 4, no. 3. 1935.

MONIZ, A. C. Formation of an Oxisol-Ultisol transition in São Paulo, Brazil. Raleigh, Carolina do Norte, E.U.A., 1980. (Doutorado - North Carolina State University).

MONIZ, A. C. & CARVALHO, A. Sequência de evolução de solos derivados do arenito de Bauru e de rochas básicas da região noroeste do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 32, p.309-335. nov. 1973.

MONIZ, A. C. & BUOL, S. W. Formation of an oxisol-ultisol

- transition in São Paulo, Brazil: I. Double-water flow model of soil development. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 46: 1228-1233. 1982.
- MONIZ, A. C.; BUOL, S. W.; WEED, S. B. Formation of an oxisol-ultisol transition in São Paulo, Brazil: II. lateral dynamics of chemical weathering. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1234-1239. 1982.
- MUNNIK, M. C.; VERSTER, E. & VAN ROOYEN, T. H. Pedogeomórfic aspects of the Roadepoort area, Transvaal: Soil depth-slope relationships. *S. Afr. J. Plant Soil*, 1:61-66, 1984.
- NORTON, L. D. The relationship of present topography to pre-loess deposition topography in East central Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 48: 147-151. 1984.
- OLIVEIRA, J. B.; ALFONSI, R. R.; PEDRO JUNIOR. Regimes hidrico e térmico dos solos do Estado de São Paulo. In: Congr. bras. Ci. Sol., 15o., Campinas, SP. *Anais*, p.359-362. 1976.
- OVALLES, F. A. & COLLINS, M. E. Soil Landscape relationships and soil variability in North Central Florida. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 50: 401-408. 1986.
- PARRAGA, M. J.; DELGADO, R. C. & AGUILAR, J. R. La influên-

- cia conjunta del relieve y la vegetación sobre los suelos forestales de la dehesa del camarate (Sierra Nevada). *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid. vol. 62, no.11-12, p.1885-1903. 1983.
- PEREZ FILHO, A.; DONZELLI, J. L.; LEPSCH, I. F. Relações solo-paisagem em várzea do rio Mogi-Guaçu, SP. *Rev. bras. Ci. Solo*. Campinas, 4: 3:181-187. 1980.
- PEREZ FILHO, A.; SILVA, F. B. R. & REGO, M. J. M. Análise de uma topossequência de solos no Vale do Moji-Guaçu. *Geociências*, São Paulo, 2.: 33-41. 1983.
- PENNOCK, D. J.; VREEKEN, N. J. Soil geomorphic evolution of a Boroel Catena in Southwestern Alberta. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 50:1520-1526. 1986.
- PENTEADO, M. M. & RANZANI, G. Aspectos geomorfológicos e os solos do município de Jaboticabal. *Geographica*, vol.25, Ano VII. Soc. Geog. Lisboa, 59p. 1971.
- PENTEADO, M. M. & RANZANI, G. Problemas geomorfológicos relacionados com a gênese dos solos podzolizados de Marília, SP. *Sedimentologia e pedologia*. no. 6, São Paulo, I. G. USP, p.23. 1973.
- QUEIROZ NETO, J. P. & MODENESI, M. C. Observações preliminares sobre as relações entre solos e geomorfologia da área de Itu-Salto, São Paulo.

Sedimentologia e Pedologia, 3. USP. Inst. Geografia, p. 28. 1973.

QUEIROZ NETO, J. P.; CASTRO, S. S.; FERNANDES BARROS, O. N. MANFREDINI, S.; PELLERIN, J.; RUELLAN, A.; TOLEDO, G. S. Um estudo de dinâmica de solos: Formação e transformação de perfis com horizonte B textural. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Salvador. 1980. Campinas, Soc. bras. Ci. Solo. Resumos. 1981.

RAIJ, B. van & QUAGGIO, J. A. Métodos de análise do solo para fins de fertilidade. Instituto Agrônômico, Campinas, Instituto Agrônômico. 31p. (Boletim técnico, 81). 1983.

RODRIGUES, T. E. & KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos do Distrito Federal. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, 2: 132-139, 1978.

RUHE, R. V. Elements of the soil landscape. 7th. Intern. Congress of Soil Science, Madison, Wisc. USA, Proc. v.23, p.165-171. 1960.

RUHE, R. V. & WALKER, P. H. Hillslope models and soil formation. I. Open Systems. In: International Congress of Soil Science, 9, Transactions. Adelaide, p.551-560. 1968.

SCWERTMANN, U. Ocurrence and formation of iron oxides in various pedo environments. In: A Nato Advanced Study Institute on Iron in soils and clay Minerals. 758-812.

Bad Winsheim, Germany, 1985.

SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R. M. Iron Oxides. In: Minerals in soil environments. Edit. Dixon e outras. Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin. E.U.A. p.145-180, 1977.

SCHWERTMANN, U. & KAMPF, N. Oxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. Rev. bras. Ci. Solo. Campinas, SP. 7: 251-256. 1983.

SILVA, G. W. L. Identificação e mapeamento por fotointerpretação das comunidades vegetais dos solos e da erosão acelerada do município de Mococa, SP. Trabalho de graduação em Agronomia apresentado à FCAV, UNESP Campus Jaboticabal. (Datilografado). 60p. 1986.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO (S.B.C.S.). Manual de Métodos de trabalho de campo. 2a. aproximação. Rio de Janeiro. 33p. 1984.

STOOPS, G. J. & BUOL, S. W. Micromorphology of Oxisols. In: Soil Micromorphology and Soil Classification. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. no. 15. p.105-120. 1985.

TIE-BI-YOUAN, M.; SAKAI, E.; LEPSCH, I. F.; CHAUVEL, A. Caracterização e classificação de solos da formação Pariquera-açu (SP). Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, 7: 183-190. 1983.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U. & SCHULZE, D. G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. *Geoderma* 23:191-208. 1980.

TORRENT, J.; PARRA, M. A.; MONTEALEGRE, L. & BARRIOS, J. Naturaleza y utilidad de las relaciones suelo-relieve en una zona granodiorítica de la parte central del valle de los pedroches (Córdoba). *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid, 62(1,2): 67-84. 1983a.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; FECHTER, H.; ALFEREZ, F. Quantitative relationships between soil color and hematite content. *Soil Science*, vol. 136(6): 354-358. 1983b.

TREMOCOLDI, W.A.; STEINHARDT, G. C. Gênese de solos podzólicos derivados de arenitos da formação Bauru do Estado de São Paulo. *Rev. bras. Ci. Solo*. Campinas, 11: 59-65. 1987.

UBERTI, A. A. & KLAMT, E. Relações solo-superfícies geomórficas na Encosta Inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul. *Rev. bras. Ci. Solo*. Campinas, 8:229-234. 1984.

WALKER, P. H. Postglacial environments in relation to landscape and soils on the Cary drift, Iowa. Iowa State University. *Exp. Station Research Bulletin*, 549:838-875, 1966.

- WALKER, P. H. & RUHE, R. V. Hillslope models and soil formation. II. Closed systems. In: International Congress of Soil Science, 9. Transactions. p.561-568, 1968.
- WALKER, P. H.; HALL, G. F.; PROTZ, R. Soil trends and variability across selected landscapes in Iowa. Soil Sci. Amer. Proc., Madison, 32: 97-101. 1968a.
- WALKER, P. H. HALL, G. F.; PROTZ, R. Relation between land form parameters and Soil Properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison. 32 (1): 101-105. 1968b.
- WILDING, L. P. & DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and interactions. Elsevier Sci. Pub., New York; p.83-116. 1983.
- WRIGHT, W. Pedogenic and geomorphic relationships of associated Paleudults in Southern Maryland. Maryland (E.U.A.), 1972, 151p. (Doutorado - University of Maryland).

A P E N D I C E

Espaçamento interplanar (d/n), $\text{\AA}$

Figura 87. Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 164; (sopé) amostras não deferrificadas.

Figura 88. Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 167; (sopé) amostras não deferriçadas.

Figura 89. Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 171; (meia encosta) amostras não deferificadas.

Figura 90. Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 173; (ombro/meia encosta superior) amostras não deferrificadas.

Espaçamento interplanar (d/n), $\text{\AA}$

Figura 91. Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 175; (ombro) amostras não deferrificadas.

Figura 92. Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 175/6; (ombro) amostras não deferrificadas.

Espaçamento interplanar (d/n), $\text{\AA}$

Figura 93. Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 176; (topo/ombro) amostras não deferri-
ficadas.

Espaçamento interplanar (d/n), $\text{\AA}$

Figura 94. Difratoograma da fração argila do horizonte B do perfil 177; (topo) amostras não deferrificadas.