

DISTRIBUIÇÃO DE SOLOS E SUA RELAÇÃO COM O RELEVO EM UMA VERTENTE NO MUNICÍPIO DE FLORAÍ-PR

Distribution of soil and its relation with the landform on the slope of the Florai-PR

Fabiana Cristina Meira Zaparoli¹
Nelson Vicente Lovatto Gasparetto²

¹**Universidade Estadual de Maringá**
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Av. Colombo, 5790 Jardim Universitário-Maringá
fabianacz@yahoo.com.br

²**Universidade Estadual de Maringá**
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Av. Colombo, 5790 Jardim Universitário-Maringá
nvlgasparetto@uem.br

RESUMO

Este trabalho apresenta as transformações pedológicas e sua relação com o relevo de uma topossequência situada na bacia do córrego Aratu, no município de Florai/PR. A topossequência está localizada no compartimento de paisagem denominado Platô Elevado de Florai, onde as vertentes apresentam suaves patamares em direção à drenagem principal. Neste artigo será enfatizada a descrição morfológica ao longo da topossequência. Os resultados permitiram inferir que ocorrem três frentes de transformação pedológica importantes: a) uma na alta vertente, onde o Argissolo avança lateral e remontantemente sobre o Bw, provocando um adensamento logo abaixo do horizonte A; b) a segunda na média vertente, prevalecendo os mecanismos verticais de e-iluviação sobre os laterais e; c) a terceira ocorre na baixa vertente, onde o Neossolo Quartzarênico avança lateralmente sobre o Argissolo. Esse processo de destruição do Argissolo, que dá origem ao Neossolo Quartzarênico, permite o aparecimento de lamelas, identificadas como resquícios do horizonte Bt. Na média vertente, o Argissolo se diferencia do restante, em razão de apresentar maior concentração de argila e, também, por estar assentado diretamente sobre a rocha. Nesse setor da vertente, que antecede a um suave patamar, também aparece maior quantidade de areia muito fina e silte, bem superior ao restante. Provavelmente isso ocorra por influência litológica, devido a uma fácies constituída por material mais fino da Formação Caiuá. Diante do exposto, acredita-se que ocorram processos diferenciados de evolução do sistema pedológico ao longo da vertente, ora prevalecendo a pedogênese, ora a morfogênese.

Palavras-chave: Transformações pedológicas. E-iluviação. Bandas onduladas. Pedogênese. Morfogênese.

ABSTRACT

This paper presents the changes soil and its relation with the landform of a toposequence located in Aratu basin creek in the town of Florai / PR. The toposequence is located in the bay landscape of Florai called Plateau High, where the slopes have gentle terraces towards the main drain. In this paper will emphasize the morphological description along the toposequence. Results showed that occur three major pedological transformation fronts: a) a high slope in which advances in soil on the side and remontantemente Bw, causing a thickening just below the horizon, b) the second in the average slope, prevailing mechanisms vertical e-illuviation on the side, and c) the third occurs in the lower slope where the PSAMENT moves laterally on the Ultisol. This process of destruction of the Ultisol giving rise to PSAMENT allows the appearance of layers, identified as remnants of the Bt horizon. On average slope in soil differs from the rest, because of the greater concentration of clay, and also to be seated directly on the rock. In this sector of the slope prior to a gentle plateau also appears larger amount of very fine sand and silt, well above the rest. This probably occurs because of the influence due to a lithological facies constituted by finer material Caiuá Training. Given the above, it is believed to occur differentiated processes of

pedological evolution of the system along the slope, now prevailing pedogenesis now morphogenesis.

Keywords: Transformations soil. E-illuviation. Lamellaes. Pedogenesis. Morphogenesis.

1 INTRODUÇÃO

O solo é parte integrante da paisagem e sua distribuição na vertente está condicionada às variações topográficas e litológicas existentes na mesma. Analisando a paisagem, é possível relacionar diferentes tipos de solos com diferentes formas do relevo, isto é, o solo que ocorre em topo plano não é o mesmo que ocorre no final da vertente.

A distribuição dos solos na paisagem é controlada, em parte, pela rocha sotoposta e pelas condições climáticas, que, associadas com a declividade, definem as características e propriedades morfológicas dos mesmos. Essas propriedades refletem, em última análise, as irregularidades topográficas do terreno, que, aliadas ao tipo de vegetação, são as responsáveis pelas alterações da dinâmica hídrica que se manifesta tanto na superfície como em subsuperfície.

Este artigo é parte da dissertação da autora. O estudo procurou compreender a distribuição dos solos e sua relação com o relevo ao longo de uma vertente situada em um compartimento de paisagem no município de Florai, Paraná.

Para alcançar o objetivo proposto, foram utilizadas algumas etapas dos procedimentos descritos na metodologia de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET et al., 1982a, 1982b, 1982c). Esses procedimentos permitem verificar a dinâmica da cobertura pedológica, bem como tecer considerações a respeito da influência da pedogênese sobre a morfogênese e vice-versa

2 FUNDAMENTAÇÃO

Os elementos da paisagem (clima, relevo, rocha, vegetação, entre outros) se interrelacionam originando diferentes tipos de solos que recobrem a superfície.

Contudo, Ruellan e Dosso (1993), salientam que os fatores ativos (tectônica, clima, escoamento, vegetação, fauna, homem) trabalham em razão do tempo, transformando e dando modelado às rochas e aos relevos (fatores passivos). Essas relações são, por conseguinte, os motores dos mecanismos de formação das estruturas pedológicas.

Basicamente, a dinâmica que conduz à formação das estruturas pedológicas resulta de quatro tipos de mecanismos: os que conduzem à alteração das rochas e seus constituintes; os biológicos e de acumulação de matéria orgânica; os de liberação, migração e acumulação dos constituintes resultantes da alteração das rochas e evolução da matéria orgânica e; os arranjos e agregações dos constituintes procedentes da alteração e/ou resultantes das migrações (RUELLAN; DOSSO, 1993). O resultado de toda essa dinâmica é a formação de sistemas pedológicos que mudam conforme se altera a morfologia da paisagem.

Sistema pedológico é uma porção da cobertura pedológica que, por suas estruturas e por sua dinâmica, constitui uma unidade. É, portanto, um conjunto tridimensional do solo no interior do qual os horizontes estão organizados entre si, verticalmente e lateralmente (RUELLAN; DOSSO, 1993).

Assim, o sistema pedológico se define como um conjunto de horizontes caracterizados por um mesmo tipo de dinâmica evolutiva; ocupa um espaço tridimensional delimitado na unidade de paisagem, corresponde, também, a uma unidade de funcionamento hidrodinâmico; é descrito, delimitado e compreendido, inicialmente, pelas estruturas que o constituem (organizações elementares, assembléias e horizontes) e, também, pelo seu funcionamento. Um sistema

pedológico não está isolado do seu contexto pedológico; ele tem relação de proximidade com outros sistemas pedológicos em termos de estágios do material pedológico, e correlatividade em termos de desenvolvimento de suas estruturas em detrimento das estruturas vizinhas.

Como mencionado anteriormente, neste estudo foram utilizadas algumas etapas dos procedimentos descritos na metodologia de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET et al., 1982a, 1982b, 1982c).

Os primeiros esboços dessa metodologia foram aplicados por Delvigne (1965). O autor estudou a distribuição das catenas na paisagem e sua relação com a alteração do embasamento litológico, demonstrando assim as transformações mineralógicas, físicas e químicas dos solos ao longo das vertentes. Delvigne demonstrou, de forma clara, os mecanismos de perda, transferência e acumulações de materiais que ocorrem lateralmente ao longo das encostas, isto é, nas posições do topo das vertentes ocorre a exportação; paralelamente, os sopés podem ser zonas de acumulação, com neoformações. Para chegar a tais conclusões, o autor realizou análises químicas e mineralógicas, interpretação de lâminas delgadas em microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e de transmissão. Esse tipo de análise começou a ser tendência na França para estudos de solos.

A partir da década de 1970, com auxílio da análise estrutural da cobertura pedológica, aparecem vários trabalhos com evidências sobre as transformações verificadas na cobertura pedológica, dando ênfase às diferenciações laterais do solo, resultado de mecanismos pedológicos.

Boulet (1990) explica o termo “sistema de transformação”, salientando que “a pedologia considera o solo em formação ou em evolução sob o efeito de fatores pedobioclimáticos, que intervêm sobre a alterita, provocando redistribuição,

reestruturação e organizações em horizontes”. Esses horizontes se sucedem verticalmente numa série de organizações elementares, derivando uma da outra.

A partir dos anos 1980, as pesquisas em pedologia no Brasil tiveram importante desenvolvimento, devido a convênios firmados entre a ORSTOM e a CAPES/COFECUB. Foram realizados vários trabalhos visando compreender a gênese e a evolução dos solos e das paisagens tropicais utilizando os procedimentos da “análise estrutural da cobertura pedológica”.

3 CONTEXTO DA ÁREA DE ESTUDO

Alguns trabalhos já foram realizados na região onde está inserida a área desta pesquisa. Andrade (2005) identificou diferentes unidades de paisagens e os sistemas de produção agrícola de Floraí-PR, e Manosso (2006) relacionou a degradação das propriedades físicas dos LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos com os diferentes usos agrícolas desse município.

A bacia do córrego Aratu faz parte do compartimento de paisagem definido por Andrade (2005) como Platô Elevado de Floraí. Nessa unidade, as vertentes que estão voltadas para o ribeirão Esperança apresentam comprimento médio de 2.500m e desdobram-se em pequenos patamares, em razão do entalhe dos tributários de primeira e segunda ordem (ANDRADE, 2005). Esses patamares são bem marcados e ocorrem como rupturas de relevo em decorrência de contato litológico entre arenito e basalto, situados entre as cotas altimétricas de 450m e 440m. A partir da análise detalhada da geomorfologia da área de estudo, verifica-se a ocorrência de patamares semelhantes aos formados pelo contato litológico, porém em cotas mais elevadas entre as altitudes de 480m e 490m. Esses são pouco marcados e as vertentes onde ocorrem são constituídas essencialmente por litologias pertencentes à Formação Caiuá. Tais feições de relevo

despertaram o interesse pela pesquisa, uma vez que controlam a circulação da água e a distribuição dos tipos de solos nas vertentes da bacia do córrego Aratu.

4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

A área do estudo está localizada numa vertente da bacia do córrego Aratu, afluente do ribeirão Esperança, na mesorregião Norte Central do Paraná. Essa bacia está situada no setor nordeste do município de Florai, entre as coordenadas 23°16'22"S, 52°16'41"W e 23°18'11"S, 52°15'43"W (Figura. 1).

A bacia está inserida numa transição litológica entre arenitos da Formação Caiuá e basalto da Formação Serra Geral. Os arenitos da Formação Caiuá são compostos por areia de textura fina a média, moderada a bem selecionada, agregada por cimento silicoso, carbonático, ferruginoso e argila, de coloração marrom-arroxeadada a avermelhada. Os arenitos são

compostos predominantemente por grãos de quartzo, com ocorrência em menor porcentagem (máximo 15%) de feldspatos, micas, calcedônia e opala. Os grãos são em geral subarredondados a arredondados, foscos e encobertos por películas de uma associação de argila e óxido de ferro, devido à homogeneidade textural e estratificação cruzada de grande porte, configurando deposição eólica (SOARES et al., 1980). Segundo Fernandes (1992), o tom arroxeadado dos arenitos está associado à presença de cimento argiloso, enquanto o tom marrom-avermelhado é devido à presença de óxidos de ferro.

A Formação Serra Geral, de acordo com Nardy et al. (2002), é resultado de um extenso evento vulcânico de natureza fissural que inundou a bacia do Paraná com cerca de 800.000km³ de lavas e recobriu aproximadamente 75% de toda a sua superfície. O vulcanismo da bacia do Paraná é essencialmente de natureza básica e caráter toleítico.

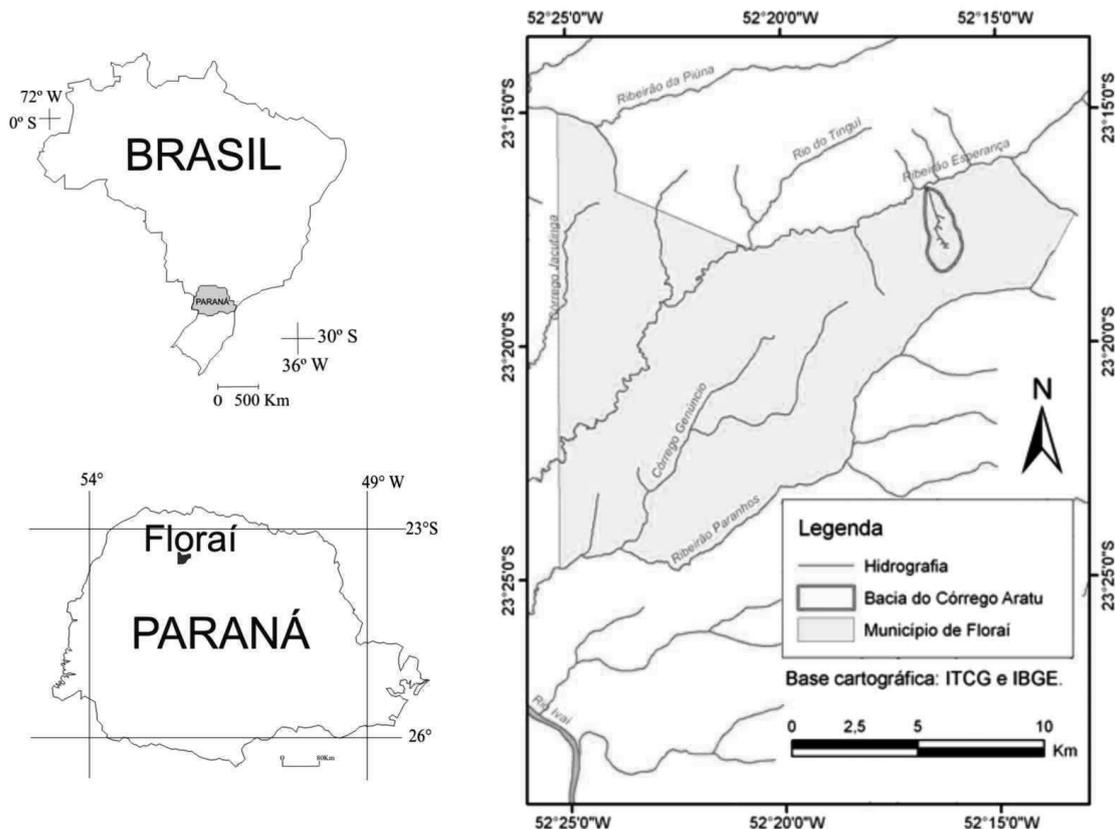


Figura 1: Localização da área do estudo

As declividades da área são baixas, variando entre 2% e 15%, configurando, assim, relevo ondulado. Verifica-se que as declividades compreendidas entre 5% e 10% dominam a maior área da bacia, enquanto as maiores, compreendidas entre 10% e 15%, estão próximas às quebras de declive onde formam os patamares pouco marcados.

O clima é classificado como subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e úmidos. A temperatura média do trimestre mais quente é superior a 28°C, a temperatura do trimestre mais frio é inferior a 18°C e a precipitação média anual fica em torno de 1.485mm, apresentando uma média de 225mm no trimestre mais seco e 600mm no trimestre mais úmido.

A topossequência estudada apresenta a sequência composta por Latossolo, Argissolo, Argissolo latossólico, Neossolo Quartzarênico e Gleissolo. Os solos da área em estudo são moderadamente ácidos, com pH variando entre 5,50 e 6,50.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Neste artigo consta apenas parte da dissertação da autora; assim, as etapas da metodologia de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET et al., 1982a; 1982b; 1982c) aqui apresentadas são:

a) Levantamento topográfico, ao longo da vertente escolhida, para elaboração do perfil topográfico, conforme Marques et al. (2000). Nesse levantamento foram utilizados clinômetro, metro e trena, para registrar a topografia, comprimento e altura dos eixos da vertente;

b) Tradagens com trado holandês ao longo da vertente a cada 50m de distância, com intercalações de 25m, 12m e 7m quando identificadas às transições laterais entre os tipos de solos. Essas tradagens foram realizadas com profundidades variáveis, de acordo com a profundidade dos solos dispostos na

vertente, variando de 5m a 1,5m, com o objetivo de elaborar gráficos com isovalores de silte e argila ao longo da vertente. Foram coletadas amostras a cada 20cm de profundidade de todas as tradagens, que somaram ao todo 24 pontos ao longo da vertente;

c) Após as tradagens, foi elaborado o primeiro gráfico da vertente, constando um esboço da textura e cor dos solos, o que permitiu a determinação dos pontos para abertura das trincheiras;

d) Abertura de 7 trincheiras em pontos predeterminados da vertente. Nessas trincheiras foram realizadas as descrições morfológicas e coleta de amostras deformadas e indeformadas de solos para posteriores análises laboratoriais.

e) Análises granulométricas, que permitiram a elaboração de gráficos de isovalores de silte e argila;

f) Elaboração de gráficos da distribuição dos solos ao longo da vertente e de gráficos de isovalores de silte e argila.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já foi mencionado na introdução e caracterização da área, a topossequência Sítio São José (nome dado à topossequência realizada na cabeceira de drenagem do córrego Aratu) situa-se no compartimento de paisagem denominado Platô Elevado de Florai (ANDRADE, 2005). Esse compartimento de paisagem, em razão de contato litológico entre o arenito e o basalto, apresenta relevo ondulado com vertentes longas (2.500m) desdobradas em patamares pouco marcados em direção à drenagem principal, o ribeirão Esperança. Entretanto, a topossequência estudada apresenta basalto apenas no sopé da vertente; mesmo assim exhibe suaves patamares em solo desenvolvido sobre o arenito.

A topossequência apresenta 1.100m de comprimento e desnível de 70m. O perfil topográfico da vertente apresenta mudanças em seu segmento,

configurando, assim, topo plano a levemente convexo, segmento da alta vertente retilíneo a côncavo pouco marcado, que se prolonga até a média vertente. A partir daí volta a ser praticamente plano quando desenvolve um patamar pouco marcado no final da média vertente. Do terço inferior até o sopé grada para levemente convexo a retilíneo (Figura 2).

Essa configuração de vertente é típica das cabeceiras de drenagem da bacia. No entanto, à medida que se avança para jusante do córrego, os segmentos próximos ao sopé tendem a ficar mais côncavos.

6.1 Descrição morfológica das trincheiras

As trincheiras abertas evidenciaram diferentes tipos de solo ao longo da topossequência. Os solos foram classificados de acordo com Andrade (2005), e acurados a partir das descrições morfológicas e granulometria. Dessa forma, constata-se a presença: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média (TR I); ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico textura média (TR's II, III, IV e V); NEOSSOLO QUARTZARÊNICO com caráter petroplíntico (TR VI) e GLEISSOLO (TR VII), (Figura 2).

O LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média, encontrado na TR I apresenta horizonte Ap com 6cm de espessura e o Bw excede aos 200cm.

À medida que começa a modificar a topografia, na alta vertente, aparece um horizonte embutido no Bw com maior teor de argila, como pode ser verificado na figura 3 (isovalores de argila), nesse setor o solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico (Figura 2).

O ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico textura média ocorre desde a alta até a baixa vertente, apresentando mudanças ao longo da mesma. Na alta vertente (TR II) ocorre o horizonte E até os 90cm de profundidade,

Bt entre 91cm e 185cm de profundidade e C a partir de 186cm de profundidade. Na média vertente (TR III), esse solo grada para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico, textura média latossólico, desenvolve horizonte Ap até 20cm de profundidade, horizonte E entre 21cm e 87cm, BE entre 88cm e 120cm, Bt entre 121cm e 185cm e Bw entre 185cm e 230cm.

A jusante, porém, ainda na média vertente, surgem as bandas onduladas espessas no interior do horizonte E (TR IV). Nessa trincheira o horizonte Ap apresenta espessura de 25cm, o horizonte E com bandas onduladas ocorre entre 26cm e 65cm de profundidade, o BE entre 66cm e 117cm, o Bt entre 118cm e 159cm e o Bw entre 160cm e 270cm.

Na TR V as bandas onduladas são mais delgadas do que na trincheira anterior. Aparecem na transição entre os horizontes Ap e E, no interior do horizonte E, e no contato com o horizonte BE, apresentado-se em algumas situações conectadas ao mesmo. Nessa trincheira, o horizonte Ap ocorre até 18cm de profundidade, o E entre 19cm e 55cm, o BE entre 56cm e 98cm, o Bt entre 99cm e 142cm, e o Bw entre 143cm e 260cm.

O horizonte BE, descrito acima, recebeu essa nomenclatura, de acordo com o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007), por apresentar predomínio de características do horizonte B, com algumas características do horizonte E. Esse horizonte é distinguível na descrição morfológica nas trincheiras onde ocorre, uma vez que sua porosidade é maior que a do Bt, apresenta menor quantidade de revestimentos e muitas vezes as bandas onduladas aparecem conectadas a ele.

Entre a TR V e VI devido, ao aumento da declividade e influência do lençol freático, todos os horizontes perdem a argila, transformando-se em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.

Na TR VI surge o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, de caráter petroplíntico. Nesse local o solo apresenta

Topossequência Sítio São José - Florai/PR

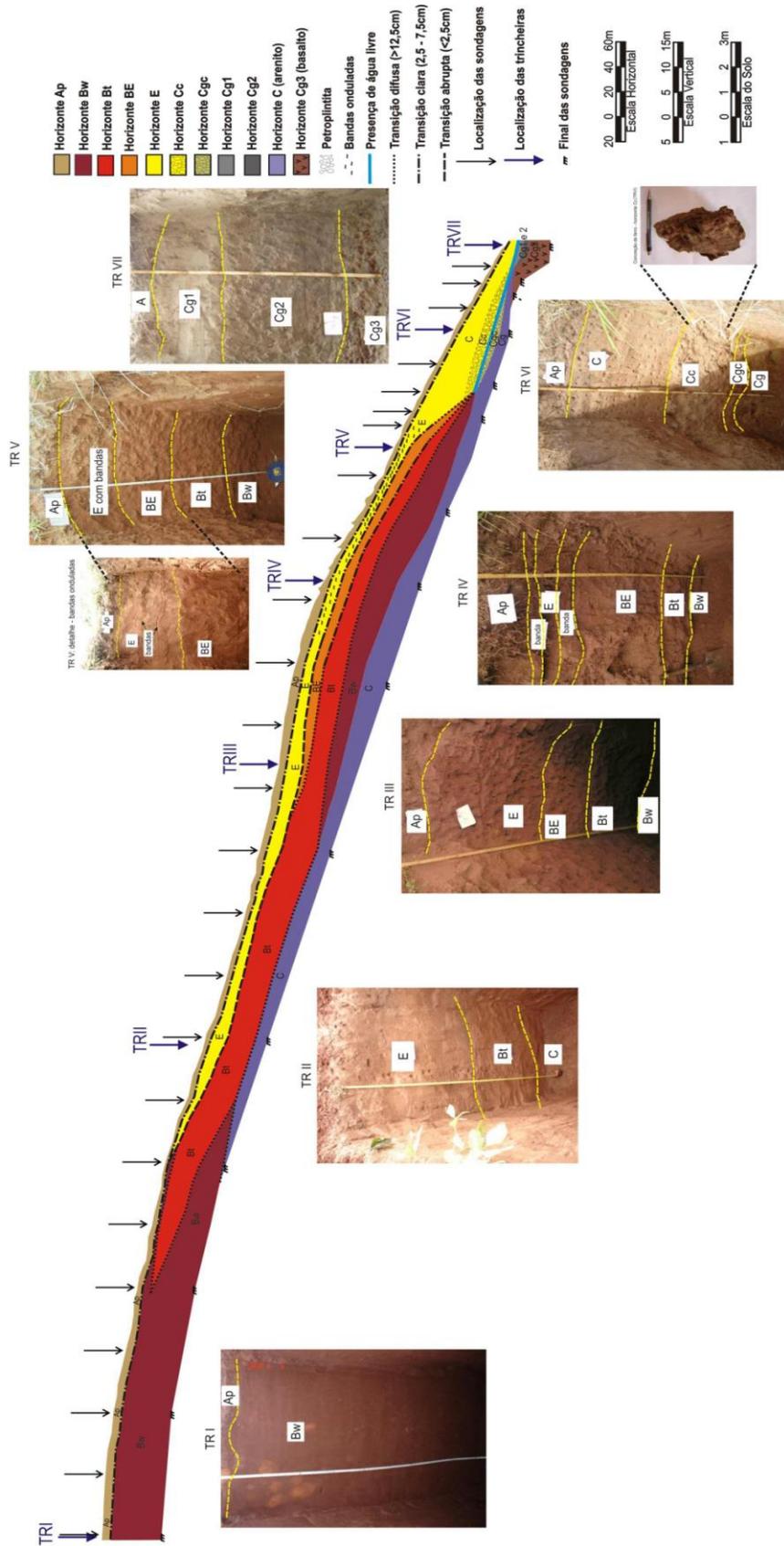


Figura 2: Representação da Topossequência do Sítio São José

RECLIVIDADE %	USO DO SOLO	RECLIVIDADE %	USO DO SOLO
3,66%	CULTURA PERMANENTE	6,33%	CULTURA TEMPORÁRIA
	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico		ARGOSSOLO VERMELHO Distrófico argiloso
	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argiloso	2,81%	ARGOSSOLO VERMELHO Distrófico argiloso atássico
	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	11,25%	PASTAGEM
	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico		NEOSSOLO QUARTZARENICO com caráter petroplintico

Isovalores de Argila e Silte - Sítio São José

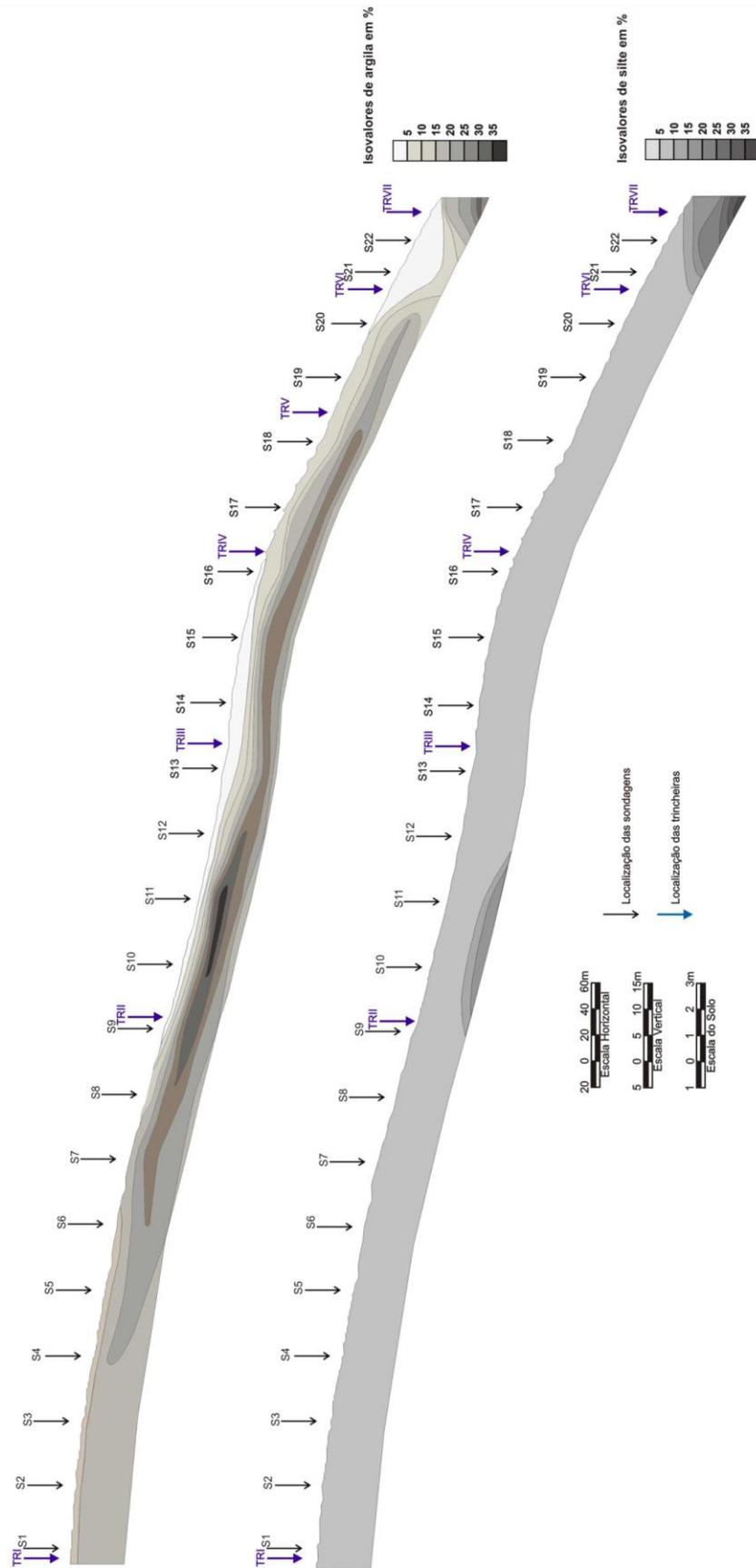


Figura 3: Curvas de isovalores de argila e silte

horizonte Ap até a profundidade de 20cm, C entre 21cm e 139cm, Cc entre 140cm e 153cm, Cgc entre 154cm e 180cm e Cg a partir de 181cm de profundidade. Esse solo está presente até o sopé da vertente, quando, por influência do basalto, aparece um Gleissolo com maior teor de argila.

No sopé da vertente, desenvolve-se GLEISSOLO com horizonte A até a profundidade de 15cm, horizonte Cg1 entre 16cm e 50cm, horizonte Cg2 entre 51cm e 105cm e horizonte Cg3 entre 106cm e 160cm de profundidade.

6.2 Distribuição das frações silte e argila ao longo da topossequência

Os resultados encontrados nas isolinhas de silte e argila, a partir das amostras de solo coletadas a cada 20cm nas 24 tradagens, com intervalos de 50m e com 2m de profundidade, corroboram a descrição morfológica da topossequência. A partir do topo, em direção ao sopé da vertente, foram elaborados os perfis topográficos com curvas de isovalores de argila e silte. Os resultados das análises granulométricas, evidenciados pelas classes de isovalores, demonstraram a estreita relação da distribuição dessas frações finas com a forma da vertente e sua evolução pedogenética (Figura 3).

No topo da vertente a distribuição de argila é homogênea no perfil, permanecendo dentro dos limites de 15% a 20%, (Figura3). Para jusante, à medida que mudam a declividade e a forma do segmento, que passa de plano para levemente convexo, os teores de argila diminuem próximo da superfície, indicando início de eluviação, enquanto em profundidade esses teores podem alcançar até 35%, em direção à média vertente. Na média vertente verificam-se o espessamento do horizonte eluvial e a conseqüente redução dos teores de argila. No início desse segmento os teores de argila permanecem em torno de 15%, e a jusante, sobre o patamar, tais valores não ultrapassam os 5%. É nesse setor da

vertente que ocorre o maior incremento de argila em subsuperfície, principalmente a partir da profundidade de 1m. No final desse segmento retilíneo e início do côncavo (patamar) os teores de argila atingem de 35% a 40% (Figura 3). Nesse mesmo setor, na profundidade de 2m, há um incremento das concentrações de silte, em razão da proximidade da rocha alterada.

Sobre o patamar na TR III, os teores de argila voltam a diminuir em todo o perfil. Nos horizontes superficiais os valores estão compreendidos entre 3% e 5%, enquanto que nos horizontes mais profundos alcançam valores de 25% a 30%. Próximo à profundidade de 2m os valores variam entre 15% e 20%.

Em direção à baixa vertente, no segmento convexo-retilíneo (TR IV), os teores de argila dos horizontes superficiais aumentam de 5% para 15%, enquanto nos horizontes subsuperficiais BE e Bt mais espessos alcançam teores entre 25% e 30% de argila. Esses valores permanecem até a trincheira V, porém diminuem drasticamente em direção ao sopé da vertente, onde a argila praticamente desaparece, marcando o aparecimento do NEOSSOLO QUARTZARÊNICO de caráter petroplíntico (TR VI). Nesse local são visíveis as oscilações do lençol freático, permitindo inclusive o desenvolvimento de petroplintita na base do perfil, no contato com a alterita do arenito. Essa oscilação do lençol freático colabora com a rápida desestabilização das ligações ferro e argila dos materiais, permitindo assim a lixiviação das partículas finas.

Os teores de argila e silte voltam a aumentar em profundidade no sopé da vertente, devido à presença dos materiais oriundos da alteração do basalto.

Analisando as curvas de isolinhas de argila, é possível realizar uma correlação entre os horizontes de solo dispostos na topossequência (Figura 2). No topo plano, onde ocorre o latossolo, os teores de argila são homogêneos em todo o

perfil. Porém na alta vertente, com a mudança do perfil do segmento para levemente convexo, começam a ocorrer aumento gradativo dos teores de argila no horizonte B e redução no horizonte A.

A migração da argila para o horizonte B está relacionada com o aumento da declividade, com a condutividade hidráulica e com o arranjo espacial dos poros (BOULET, 1988; CASTRO, 1989; SALOMÃO, 1994; VITAL-TORRADO, 1994; SANTOS e Castro 2006; COOPER, 1996; ZAGO, 2000; CUNHA, 2002). Devido ao uso e manejo do solo, o horizonte A tende a apresentar poros menores que o horizonte B dos latossolos (ZAGO, 2000).

6.3 Descrição morfológica dos horizontes de solo

Partindo do topo em direção à alta vertente, a porosidade diminui no horizonte. Devido à declividade, a água precipitada passa a migrar lateralmente; por conseguinte, penetra mais lentamente no solo, criando uma frente de “molhamento” que alcança menor profundidade do que no Bw de topo. Esse processo provoca expansão dos agregados, quando úmidos, e contração, quando secos, causando mudanças na estrutura do solo e originando, desse modo, a formação inicial de um Bt incipiente embutido no Bw. A água tende a adquirir maior incremento vertente a baixo, lixiviando o horizonte superficial, provocando eluviação, originando o horizonte E, e conseqüentemente iluviação (CASTRO, 1989; COOPER, 1999; ZAGO, 2000; CUNHA, 2002).

No início da média vertente ocorrem redução dos teores de argila nos horizontes superficiais e incremento nos horizontes de subsuperfície, em razão do processo de e-iluviação. O horizonte E é menos espesso no início da média vertente (TR II), com maior declividade, e mais espesso no final do segmento sobre o patamar (TR III).

Aparentemente, o espessamento do horizonte E, no final da média vertente, se deve aos processos de e-iluviação e de coluvionamento devido à redução da declividade. Entre as sondagens 8 e 12 não ocorre o horizonte Bw, provavelmente em razão da maior eficiência do processo de e-iluviação vertical e, também, pela proximidade da rocha sotoposta. Por outro lado, o horizonte Bt apresenta maior teor de argila quando comparado com os demais setores da toposequência.

Nas proximidades da TR III (sondagens 12 e 14) o horizonte Bt se estreita e diminuem os teores de argila. Isso pode estar relacionado à presença de lençol suspenso que se desenvolve sobre o horizonte Bt em períodos de chuva, como descrito por Zago (2000) e Cunha (2002). A saturação do solo pela água durante um período considerado provocaria a desestabilização das ligações entre os óxidos de ferro e argila, mudando a valência do ferro, tornando-o solúvel e provocando a remoção de material fino (CASTRO, 1989; SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989; KÄMPF; CURI, 2000).

A partir do patamar (TR III) em direção às TRs IV e V, a vertente tende a convexa, o horizonte E passa a ter mais argila, enquanto aumenta a espessura do horizonte Bt. A partir da TR IV até a baixa vertente (TR VI), setor de maior declividade, os valores de argila tendem a diminuir em todos os horizontes, com valores compreendidos entre 5% e 10%. Os horizontes BE, Bt e Bw desaparecem lateralmente de forma difusa em direção à TR VI. Nesse setor ocorrem oscilações de lençol a partir da profundidade de 1m; desestabilizam-se as ligações entre os óxidos de ferro e argila, quando submetidos à saturação temporária, passando de Fe^{3+} para Fe^{2+} , desestabilizando as estruturas e provocando a lixiviação dos materiais finos (BIGHAM et al., 2002).

Os maiores teores de silte identificados no gráfico da curva de isovalores (Figura 3) coincidem com a

maior proximidade da rocha, localizados na média vertente e junto ao sopé e decorrentes do substrato rochoso, que na média vertente é representado pelo arenito da Formação Caiuá e no sopé pelo basalto.

As descrições morfológicas mostram evidências importantes a respeito da dinâmica hídrica ao longo da vertente (fluxos de lençol suspenso e influência do lençol freático), assim como a importância das diferenças de declividade do terreno nas transformações laterais e verticais dos solos distribuídos na topossequência.

O horizonte Ap apresenta mudanças em sua estrutura ao longo da topossequência. No Ap do topo (TRI), a estrutura é grumosa, enquanto que em direção à média vertente (TRII), coincidindo com o aumento da declividade, torna-se subangular. Essa mudança provavelmente ocasiona retenção de água por mais tempo no horizonte superficial, além de incremento no escoamento superficial. Isso favorece a retirada do material fino, conforme foi constatado por Zago (2000) em Mamborê/PR e Cunha (2002) em Cidade Gaúcha/PR, para solos derivados de arenitos da Formação Caiuá. Essa situação pode ser um fator que colabore com a desestabilização das estruturas, devido à redução do óxido de ferro, desestabilizando as ligações entre óxidos de ferro e argila e causando transformações que originam o Bt, em razão dos processos de e-iluviação e de adensamento por umedecimento e secagem.

No final da média vertente (TR III), o horizonte Ap passa a apresentar estrutura granular a subangular, em razão da presença de gramíneas, favorecendo novamente o fluxo hídrico vertical.

O horizonte E aparece na média alta vertente. A partir do final da média vertente, quando o segmento se torna levemente convexo, surgem as bandas onduladas no horizonte E, inicialmente espessas (TR IV) e depois delgadas (TRV). Surge também o horizonte intermediário entre os horizontes E e Bt, identificado

como horizonte BE. No limite entre o E e o BE, ocorre uma banda ondulada espessa, às vezes conectada com o horizonte Bt (TR IV). Essas bandas se estreitam à medida que se avança para jusante da vertente e ao mesmo tempo o horizonte E se espessa.

Segundo Brady (1989), a razão do fluxo total de água nos poros do solo é proporcional à quarta potência do raio; assim, o fluxo através de um poro com raio de 1.000µm seria equivalente ao de 10.000 poros com raio de 100µm. A conectividade entre os poros também é um fator importante: quanto mais arenoso mais rápida será a percolação da água (BRADY, 1989). Desse modo entende-se que a água percolará verticalmente e de forma mais rápida nos horizontes Ap e E e terá um impedimento ao alcançar as bandas mais argilosas ou o horizonte BE e Bt, passando a movimentar-se lateralmente, embora não cesse o fluxo vertical devido à força gravitacional.

Zago (2000) salienta que o lençol de água suspenso permanece por até 2 dias sobre o horizonte Bt, após o término da precipitação. Isso pode favorecer a desestabilização das ligações entre óxidos de ferro e argila, propiciando a mobilização das partículas finas e o aparecimento de poros com maiores dimensões. As constatações verificadas pelo autor podem auxiliar na compreensão da gênese do horizonte BE.

Seguindo em direção à baixa vertente começam a surgir bandas onduladas estreitas (entre 1cm e 2cm de espessura), no contato entre o horizonte Ap e E. Foram identificados dois tipos de bandas:

- Uma banda mais superficial, entre 15cm e 30cm de profundidade, formada por camadas de grãos de areia bem selecionados, intercalados com grãos moderadamente selecionados. Essas bandas ocorrem tanto na TR V (Argissolo) quanto na TR VI (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO);

- Outra banda logo abaixo, entre 30cm e 50cm de profundidade. A organização espacial dos grãos de areia é coincidente com a do horizonte Bt do argissolo, indicando que as bandas são feições residuais do horizonte Bt.

As bandas onduladas foram também observadas nas topossequências estudadas por Cunha (2002), na topossequência Córrego Longe (Umuarama), Cunha e Castro (1996), Gasparetto (1999), na topossequência sítio Três Leões em Cianorte e Martins (2000), na topossequência Bom Jesus em Cidade Gaúcha. Os autores interpretaram essas bandas como relíquias do horizonte Bt, em razão das características do material que as compõe e, principalmente, pela ligação física através de pedúnculos que algumas ainda mantêm com o horizonte Bt. Castro (1989), na região de Marília, e Santos e Castro (2006), na região de Bauru, observaram situações semelhantes e sugeriram que as bandas onduladas são originadas a partir da destruição do horizonte Bt.

O horizonte Bt tem início na alta vertente, embutido no horizonte Bw, no setor onde o segmento de vertente passa de plano para ligeiramente convexo, enquanto a textura do horizonte Ap muda de grumosa para subangular, modificando-se também a porosidade. Aliado a esses dois fatores, aumento da declividade e mudança de estrutura, tem-se um favorecimento do escoamento lateral da água em superfície.

Na média vertente o Bt apresenta feições típicas de iluviação, como os revestimentos e preenchimentos. Este se desenvolve sobre a rocha nesse segmento; é espesso e com muita cerosidade.

O horizonte Bw aparece no topo e alta vertente e sotoposto ao Bt e no final da média vertente. A ausência do horizonte Bw na TR II é ainda uma incógnita, na qual se pondera a possibilidade de que em tempos remotos o mesmo tenha ocupado a vertente, mas com as mudanças para clima mais úmido os perfis superficiais saturados

em água tenham sofrido desestabilização das ligações ferro e argila, fazendo com que as partículas finas migrassem para o horizonte sotoposto, provocando o aparecimento do horizonte Bt.

Observando as transformações em cada horizonte, constata-se que ocorrem três frentes de transformação importantes: uma na alta vertente, onde o Bt avança remontantemente em direção ao Latossolo; outra na média vertente, prevalecendo processos verticais que fazem com que o horizonte Bt atinja o contato com a alterita; e outra frente de transformação importante e bastante agressiva ocorre na baixa vertente, devido à oscilação do lençol freático, responsável pela destruição de todos os horizontes argilosos, restando apenas um volume espesso de textura arenosa, o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO com caráter petroplíntico. No sopé o GLEISSOLO ocorre com muita argila abaixo da profundidade de 1m, denotando a influência do basalto em sua gênese.

Desequilíbrios como o verificado na topossequência do córrego Aratu podem estar relacionados com mudanças climáticas globais ou com modificação do nível de base local ou regional, favorecendo um aprofundamento do canal do rio e transformações remontantes na vertente (BOULET et al, 1982 a,b, c; BOULET, 1990; QUEIROZ NETO, 2000;), ou até mesmo podem decorrer do contato litológico descrito na dissertação. Mudanças lentas no relevo acontecem como resposta a essas transformações.

7 CONCLUSÕES

Analisando os dados apresentados nos resultados e discussão, constata-se que:

- O patamar pouco marcado identificado na topossequência contorna toda a média vertente da bacia do córrego Aratu;
- Os isovalores de silte indicam proximidade da rocha na média vertente;

- Os isovalores de argila indicam o incremento na média vertente e um drástico empobrecimento na baixa vertente;
- As bandas onduladas evidenciam testemunhos residuais de horizonte Bt, que já esteve mais elevado nos perfis antes de sua eluviação;

Essa topossequências apresenta particularidades que a diferenciam das outras já estudadas no noroeste do Paraná:

- Aparece horizonte Bw no topo da vertente e entre a média e baixa vertente, sendo interrompido entre a alta e média vertente, segmento que antecede o patamar pouco evidenciado, sugerindo uma influência importante da geomorfologia na evolução do solo nesse segmento;
- Percentagens altas de argila são encontradas no horizonte Bt apenas no segmento que antecede o patamar onde o Bw está ausente, sugerindo um incremento dos processos verticais de e-iluviação e uma dissecação do horizonte superficial nesse ponto, que se apresenta menos espesso do que a jusante;
- Após a frente de transformação da baixa vertente, que origina o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO com caráter petroplíntico, desenvolve-se um GLEISSOLO argiloso por influência do basalto alterado no sopé da vertente.

Diante do exposto nos resultados e discussão, acredita-se que ocorram basicamente três frentes de transformação do solo importantes:

- A primeira na alta vertente, onde o Argissolo avança lateral e remontantemente sobre o Bw;
- A segunda na média vertente, prevalecendo os mecanismos verticais de e-iluviação sobre os laterais;
- A terceira na baixa vertente, onde o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

avança sobre os horizontes do Argissolo lateralmente.

Essas frentes de transformação apresentam evolução e velocidades particulares, dependentes de fatores como forma da vertente e declividade, textura e estrutura do solo, das oscilações do lençol freático e estrutura da rocha.

Acredita-se que, nesse caso, a pedogênese e a geomorfogênese atuam contemporânea e solidariamente. Isto é, enquanto ocorre o controle da geomorfologia, principalmente entre a alta e a média vertente, processos diferenciados de transformações laterais e verticais do solo provocam lixiviação e dissoluções de grão de quartzo, colaborando com o rebaixamento do relevo, em setores da vertente onde o processo hídrico for mais agressivo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro e concessão de bolsa de estudos, e aos projetos de pesquisas financiados pela Fundação Araucária Convênio 319/2007 e pelo CNPq Processo nº 473253/2007.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. A. **As unidades de paisagens e os sistemas de produção agrícolas no município de Florai-PR**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.
- BIGHAM, J. M. et al. Iron Oxides. In: DIXON, J. B.; SCHULZE, D. G. (Org). **Soil mineralogy with environmental applications**. Madison: American Society of Agronomy, 2002.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP:

- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 79-90.
- BOULET, R. et al. Analyse structurale et pédologie I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cahier - ORSTOM: Serie Hydrobiologie**, Bondy, v. 19, no. 4, p. 309-322, 1982a.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cahier - ORSTOM: Serie Hydrobiologie**, Bondy, v. 19, n. 4, p. 323-339, 1982b.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie III. Passage de la phase analytique à une cartographie général synthétique. **Cahier - ORSTOM: Serie Hydrobiologie**, Bondy, v. 19, no. 4, p. 341-351, 1982c.
- BOULET, R. Os sistemas de transformação em pedologia. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 20, n. 39, p. 45-63, 1990.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.
- CASTRO, S. S. et al. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 107-164.
- CASTRO, S. S. **Sistema de transformação pedológica em Marília, SP: B latossólico em B textural**. 1989. 274 p. Tese (Doutorado)-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- CUNHA, J. E. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por latossolo e argissolo no município de cidade Gaúcha-PR**. 2002. Tese (Doutorado)-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, a Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S. Caracterização físico-hídrica e micromorfológica da topossequência Córrego Longe, em Umuarama, PR. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Piracicaba: SBCS/ESALQ, 1996.
- DELVIGNE, J. **Pédogenèse en zone tropicale: La formation des minéraux secondaires en milieu ferralitique**. Paris: ORSTOM, 1965.
- ESWARAN, H. ; STOOPS, G. Surface Textures of Quartz in Tropical Soils. **Journal / Soil Science Society of America.**, Madison, v. 43, p. 420-424, 1979.
- FERNANDES, L.A. **A cobertura cretácea suprabasáltico Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): Os Grupos Bauru e Caiuá**. 1992. 171 p. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- Superficiais do Noroeste do Paraná e sua Relação com o Arenito Caiuá**. 1999. Tese (Doutorado)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- IBGE. **Manual técnico de pedologia: manuais técnicos em geociências, nº 4**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 316 p.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 107-138.

- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- LUCAS, Y. et al. Transição latossolos-podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 8, p. 325-335, 1984.
- MANOSSO, D. C. C. **A degradação das propriedades físicas dos latossolos vermelhos distróficos em decorrência dos diferentes usos agrícolas em Florai-PR**. 2006. Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual de Maringá, 2006.
- MARQUES, A. J. et al. O uso do clinômetro no levantamento topográfico. Estudo de caso: levantamento pedológico. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 1, n. 1, p. 135-141, 2000.
- MARTINS, V. M. **Caracterização morfológica e da circulação hídrica dos solos da cabeceira de drenagem do córrego Bom Jesus no município de Cidade Gaúcha-PR**. 2000. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- NARDY, A. J. R. et al. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. **Geociências**, São Paulo, v. 21, n. 1/2, p. 15-32, 2002.
- QUEIROZ NETO, J.P. Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 1, nº1, 2000, p.59-67.
- RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Universités Francophones. Paris: Les Éditions Foucher, 1993.
- SANTOS, L. J. C.; CASTRO, S. S. Lamelas (Bandas Onduladas) em Argissolo Vermelho-Amarelo como Indicadores da Evolução do Relevo: o caso das colinas médias do Platô de Bauru (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2006, v. 7, p. 43-64.
- SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron Oxides. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds). **Minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison : Soil Science Society of America, 1989. p. 379-438.
- SOARES, P. C. et al. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 177-190, set. 1980.
- ZAGO, A. **Sistema pedológico latossolo-argissolo e seu funcionamento físico-hídrico em Mambore-PR**. 2000. 167 p. Tese (Doutorado)-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

Data de recebimento: 10.06.2010.

Data de aceite: 09.09.2010.