

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

SUPERFÍCIES GEOMÓRFICAS E ATRIBUTOS DE LATOSSOLOS EM UMA SEQÜÊNCIA ARENÍTICO- BASÁLTICA DA REGIÃO DE JABOTICABAL (SP)⁽¹⁾

Pedro Cunha⁽²⁾, José Marques Júnior⁽³⁾, Nilton Curi⁽⁴⁾,
Gener Tadeu Pereira⁽⁵⁾ & Igo Fernando Lepsch⁽⁶⁾

RESUMO

Em um segmento de vertente com substrato de arenito em contato com basalto, regionalmente muito freqüente, pretendeu-se não só relacionar as superfícies geomórficas com os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos Latossolos nelas encontrados, mas também testar métodos geoestatísticos para localização de limites dessas superfícies. Usando critérios geomorfológicos, três superfícies foram identificadas e topograficamente caracterizadas. Os solos foram amostrados, a intervalos regulares de 25 m, na profundidade de 0,6 a 0,8 m (topo do horizonte B), em uma transeção de 1.700 m perfazendo 109 pontos. Nas amostras, foram analisados: densidade de partículas, granulometria, CTC do solo, CTC da argila, Fe total da argila (ataque por H₂SO₄) e óxidos de Fe “livres” (por dissolução seletiva). A fração argila desferrificada foi analisada por difração de raios X. Com base na estratigrafia e variações do relevo local, foram identificadas e diferenciadas, no campo, três superfícies geomórficas. Analisaram-se também o perfil altimétrico e o modelo de elevação digital do terreno. Observou-se que as três diferentes superfícies estão bem relacionadas com os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos seus respectivos solos. Na parte inferior desta vertente, superfície mais recente e sobre basalto, em Latossolo Vermelho eutroférico típico, foram encontradas as maiores variabilidades da declividade, da argila e de Fe. As variações da inclinação do

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP. Rebido para publicação em outubro de 2003 e aprovado em novembro de 2004.

⁽²⁾ Especialista em Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas, SPO. Área 5, Qd 3 Bloco L, Sala 237, CEP 70610-200 Brasília (DF). E-mail: cunha@ana.gov.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos e Adubos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14884-900 Jaboticabal (SP). E-mail: marques@fcav.unesp.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: niltcuri@ufla.br

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Ciências Exatas, FCAV/UNESP. E-mail: genertp@fcav.unesp.br

⁽⁶⁾ Pesquisador Visitante, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: igo@esalq.usp.br

terreno, quando analisadas sistematicamente pelo “split moving windows dissimilarity analysis” (análise estatística de dissimilaridade, em segmentos móveis), mostraram que este método estatístico pode ser usado para ajudar a localizar os limites entre superfícies geomórficas. As variações dos solos da transeção, e arredores, mostraram-se relacionadas com idade, inclinação do terreno e litologia. O trabalho geomórfico detalhado forneceu importantes informações para subsidiar os trabalhos de levantamento de solos e de pedogênese.

Termos de indexação: superfícies geomórficas, relações solo-paisagem, variabilidade espacial, geoestatística, “split moving windows dissimilarity analysis”.

SUMMARY: GEOMORPHIC SURFACES AND LATOSOL (OXISOL) CHARACTERISTICS ON A SANDSTONE/BASALT SEQUENCE FROM THE JABOTICABAL REGION, SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Soil and geomorphic surfaces were studied on a sandstone/basalt hillslope segment, commonly found in the Jaboticabal region (NW São Paulo State). Main objectives were to relate the geomorphic surfaces with chemical, physical and mineralogical properties of Oxisols and to apply geostatistic methods as a helping tool for their automatic location. Soils were sampled at depths of 0.6 to 0.8 m (upper B-horizons) in a 1,700 m long transect at regular 25 m intervals, amounting to 109 sampling sites. Soil samples were analyzed for particle density, particle-size-distribution, soil CEC, clay CEC, total clay iron and “free” iron oxides. Iron free clays were submitted to X ray diffraction analysis. Three geomorphic surfaces were identified based on fieldwork and previous stratigraphic knowledge. The topographic profile was also analyzed. The different geomorphic surfaces are well-related to physical, chemical and mineralogical soil properties. The variability of the clay and iron amounts were higher in the lower part of the slope (over basaltic rocks). Variation on slope gradient, when analyzed by the “split moving windows dissimilarity analysis”, showed to be useful to indicate geomorphic surface boundaries. Most of the soil variability was logically well-related to the surface age, parent material and slope gradient. Geomorphic work proved to be very useful to help outline detailed soil survey maps as well as to help understand soil evolution process.

Index terms: geomorphic surfaces, automatic location, soil-landscape relationships, spatial variability, split moving windows dissimilarity analysis.

INTRODUÇÃO

Diversos trabalhos que relacionam pedologia com geomorfologia evidenciam que os estudos de variabilidade espacial do solo, levantamentos pedológicos e pedogênese produzem melhores e aplicáveis resultados quando os trabalhos de campo são intensificados e métodos geomorfológicos são incluídos. Daniels et al. (1971) e Gerrard (1993), por exemplo, ressaltam a importância de trabalhos que envolvem estes dois ramos da ciência, mencionando três dos principais aspectos a serem neles considerados: (a) a identificação da coluna estratigráfica e material de origem dos solos, (b) a identificação das superfícies geomórficas (que indicam as idades relativas dos solos) e (c) o

relacionamento entre atributos do solo e do relevo, integrando os dois itens anteriores.

Muitos dos métodos e objetivos da geomorfologia coincidem com os da pedologia, uma vez que ambas estudam uma mesma parte do sistema, que é a superfície dos diferentes corpos de solos (Daniels et al., 1971). Dentre os estudos dos diversos processos geomórficos, originando as diferentes feições do relevo, está a identificação e cartografia de superfícies geomórficas (Ruhe, 1969). Esta cartografia, diferentemente dos levantamentos pedológicos generalizados, é sempre efetuada em níveis detalhados (escalas entre 1:50.000 e 1:5.000). Portanto, em levantamentos pedológicos detalhados, é possível obter maior proveito deste método geomorfológico.

As superfícies geomórficas, tais como propostas e definidas por Ruhe (1969), são feições mapeadas a partir da observação cuidadosa, no campo (com ou sem apoio de fotos aéreas e mapas topográficos), de mudanças nas inclinações dos terrenos, depois de se ter estudado e entendido a sua estratigrafia e litologia locais. O critério usado para suas delimitações requer conhecimentos teóricos geomorfológicos, envolve experiência advinda de trabalhos de campo e pode comportar algum grau de subjetividade. Além disso, muitas vezes, a densa vegetação e feições artificiais (antrópicas) dificultam a correta identificação das mudanças de gradientes das inclinações das encostas, um dos principais indícios usados para delimitação detalhada dessas superfícies.

Penteado & Ranzani (1971), em descrição pioneira da geomorfologia e solos da região de Jaboticabal - Monte Alto (SP), definiram, de forma generalizada (em escala pequena), aspectos geomorfológicos com a caracterização das superfícies de erosão e suas relações gerais com os solos. Estudos em maior grau de detalhe, tomando como base o modelo de superfícies geomórficas estabelecido por Ruhe (1969) e depois aperfeiçoado e bastante divulgado por Daniels et al. (1971) e Daniels & Hammer (1992), têm servido como base para importantes estudos de solos brasileiros.

Por exemplo, Lepsch et al. (1977), Coelho et al. (1994) e Marques Júnior & Lepsch (2000) estudaram, no Planalto Ocidental de São Paulo, as relações entre as propriedades do solo e as formas do relevo, aplicando estas conceituações de superfícies geomórficas. Utilizando transeções (ou topossequências), tais autores nos estudos de solo-paisagem relacionam variabilidade espacial de atributos dos solos com os compartimentos de relevo. Ressaltam também que a compreensão dessas relações facilita muito a previsão da ocorrência dos diferentes corpos de solo na paisagem e mostram-se favoráveis ao uso desses critérios como base para mapeamento pedológico detalhado, em vez de propriedades quantitativas taxonomicamente estabelecidas, uma vez que estas últimas são consideradas artificiais (Hudson, 1992; Young & Hammer, 2000). Dentro deste contexto, tais estudos são de grande utilidade para fornecer elementos básicos necessários à transferência de conhecimentos pedológicos entre áreas de idêntico clima, material de origem e relevo.

Marques Júnior & Lepsch (2000), com base na teoria de episódios decorrentes da alternância de climas pretéritos, semi-áridos e úmidos, bem como em eventos neotectônicos, em área próxima à estudada e com solos desenvolvidos de arenitos, procuraram explicar a variação de propriedades do solo, conforme modelo de evolução da paisagem, conjugando detalhes fisiográficos dependentes do tempo. Aconselharam eles ser oportuno estender este tipo de estudo detalhado para locais com substrato de arenito, limítrofe para basalto, situados em cotas inferiores às relatadas.

Desta forma, o presente estudo objetivou definir alguns critérios para identificar e delinear áreas com maior homogeneidade de solos e dentro da conceituação de corpos naturais da pedosfera (Hudson, 1992), em locais com substrato arenito com contacto geológico para basalto, comuns na região nordeste de São Paulo. A finalidade principal foi fornecer elementos básicos para auxiliar na execução de levantamentos pedológicos detalhados em regiões adjacentes e similares, bem como esclarecer processos pedogenéticos. Mais especificamente, pretendeu-se verificar a possibilidade de identificar e separar, por métodos estatísticos, os limites das superfícies geomórficas, que seriam aproximadamente idênticos aos de corpos (naturais) de solos a exemplo do que foi feito para limites de atributos internos do solum por Webster (1973).

MATERIAL E MÉTODOS

O meio físico

O município de Jaboticabal está localizado na parte Centro-Norte do estado de São Paulo (latitude 21° 15' 22" e longitude 48° 18' 58"), província geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, próximo às Cuestas Basálticas que limitam este Planalto com a Depressão Periférica da Bacia do Paraná. Apresenta superfícies de erosão particulares que condicionam a distribuição dos solos e têm grande representatividade no Estado. Em Jaboticabal e arredores, nas altitudes entre 450-650 m, predominam os Latossolos, distribuindo suas diferentes variações ao longo de vertentes de colinas, com padrão repetitivo, de acordo com posições predefinidas do relevo colinoso local (Penteado & Ranzani, 1971). Nas porções mais elevadas e planas destas colinas, encontram-se os Latossolos Vermelhos textura média, cujo material de origem derivou-se principalmente de arenitos do Grupo Bauru (provavelmente retrabalhado). Estes transicionam, encosta abaixo (próximo ao fundo dos vales) para Latossolos eutroférricos textura argilosa, originados principalmente dos produtos da alteração dos basaltos (Formação Serra Geral) subjacentes aos arenitos.

O clima é classificado, segundo Köppen, como subtropical com inverno seco (Cwa). Contudo Bigarella & Andrade (1965) relataram que, no período do Quaternário, o clima era mais seco (semi-árido) alternando-se com fases mais úmidas, durante épocas equivalentes a períodos glaciais e interglaciais, das latitudes mais baixas.

A vertente estudada é parte da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, iniciando-se em uma altitude de 615 m (cerca de 1.000 m abaixo do topo da colina em que

se encontra), com transição gradual para o sopé de transporte e deposição até o fundo do vale do córrego Jaboticabal, a 520 m de altitude. O material geológico é constituído por arenitos do Grupo Bauru, Formação Adamantina, e por basaltos do Grupo São Bento, Formação Serra Geral (IPT, 1981). Os solos desta Fazenda Experimental foram mapeados e caracterizados primeiro por Aloisi & Demattê (1974) e depois por Centurion (1998). Aloisi & Demattê (1974) os classificaram como Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Roxo (LR). No levantamento mais detalhado de Centurion (1998), o LE foi subdividido em três unidades: LE-1, LE-2 e LE-3. O LE-1 e LE-3 foram diferenciados de acordo com variações da textura, argilosa e muito argilosa, respectivamente; o LE-2 foi diferenciado do LE-1 por critério taxonômico, pelo caráter distrófico daquele. O LE-2 ocupa as posições mais altas e planas, o LE-1 e LE-3 ocorrem na parte mediana e o LR na porção inferior da encosta.

Atualmente, segundo a Embrapa (1999), estes mesmos solos são classificados da seguinte forma: LE-1, Latossolo Vermelho ácrico típico (LVw); LE-2, Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd); LE-3, Latossolo Vermelho eutrófico típico (LVe); e LR, Latossolo Vermelho eutroférico típico (LVef).

Métodos de campo, laboratório e escritório

A área foi escolhida por ser vertente representativa de transição arenito-basalto, de ocorrência comum na região e arredores.

As superfícies geomórficas foram aí identificadas, por meio de percepções visuais no campo, em locais onde há descontinuidades ou “quebras” do grau das inclinações e, ou, das formas do terreno. Para isso observou-se uma faixa de aproximadamente 100 m de largura, ao longo da transeção. Adicionalmente, foram feitas medições topográficas (com teodolito), calculados e desenhados o perfil e modelo de elevação digital da encosta, usando-se o programa SPRING (Câmara et al., 1996). Os critérios e o conceito de superfície geomórfica utilizados foram os estabelecidos por Ruhe (1969) e Daniels et al. (1971) e idênticos aos usados por Lepsch et al. (1977).

Em seguida, os solos foram amostrados em 67 pontos, a intervalos regulares de 25 m (desde a cota de 615 m até a de 530 m), e sempre entre 0,6 e 0,8 m de profundidade. Em outros pontos, em faixa paralela à transeção, coletas idênticas foram também feitas, objetivando-se maior representatividade amostral dos solos situados em cada uma das superfícies geomórficas. Adicionaram-se assim seis outros pontos de amostragem para cada superfície, totalizando então 109 locais de coleta.

A análise granulométrica foi efetuada pelo método da pipeta, utilizando-se NaOH 0,1 mol L⁻¹, como dispersante, e agitação lenta (Day, 1965), enquanto a densidade de partículas foi obtida pelo

método do picnômetro (Blake, 1965). Ca, Mg e K trocáveis foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (Raij et al., 1987). A acidez trocável (representada como Al³⁺) foi determinada, segundo o método de Raij & Zullo (1977), e o C orgânico segundo Embrapa (1997). O Fe (expresso como Fe₂O₃ - Fe_s) foi extraído por digestão com H₂SO₄ 1:1 (Embrapa, 1997). Os óxidos de Fe “livres” (Fe_d) foram extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato de Na (DCB), segundo Mehra & Jackson (1960). O cálculo da capacidade de troca de cátions (CTC) da argila foi feito, utilizando-se equação que desconta a contribuição da matéria orgânica (Bennema & Camargo, 1964):

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

Minerais leves da fração areia foram separados dos pesados utilizando-se tetrabromoetano, conforme Jackson (1979). A fração argila desferrificada foi submetida à difração de raios X, em forma de pó (Camargo, 1986). Utilizou-se difratômetro HZG-4/B, com cátodo de Cu, filtro de Ni e radiação K α (20 mA, 30 kV) com velocidade de varredura de 1° 2 θ /min. A razão {Ct/[Caulinita (Ct) + Gibbsita (Gb)]} foi calculada tomando-se como base as áreas dos reflexos referentes a Ct (001) e Gb (002).

Análises estatísticas

Os resultados das análises físicas (granulometria e densidade de partículas), químicas e mineralógicas das amostras de solos foram submetidos à análise estatística descritiva, com o uso do “Statistics for Windows”⁽⁷⁾. Efetuou-se a análise do tipo “auto-correlogramas” para o atributo inclinações de segmentos do terreno (entre dois pontos de amostragem do solo) ao longo da transeção, pelo método “Split Moving Windows Dissimilarity Analysis” - SMWDA (programa JEM 1.0, descrito por Pereira et al., 1996).

Esse método tem sido mais usado para indicar limites naturais de diferentes regiões de solos, por meio de cálculos estatísticos de dissimilaridades entre seqüências de grupos de pontos amostrais (ou “janelas”). Com ele é possível verificar automaticamente quais partes da transeção são mais homogêneas, pela indicação de locais onde ocorrem mudanças mais evidentes de atributos do solo (Webster, 1973). Primeiramente, uma porção de transeção (denominada “Janela”), com números de pontos e largura pré-fixada, é escolhida. Essas janelas são então “movimentadas” consecutivamente, do seu início (ponto da parte mais elevada) até o fim da transeção.

⁽⁷⁾ STATISTICS for windows, realease 5.1: General conventions & statistics. Tulsa: Statsoft, 1995.

Em cada nova posição a porção em análise da transeção é dividida em duas partes (ou duas janelas), sendo calculadas e comparadas as médias das duas janelas consecutivas. Essas comparações de médias são feitas usando-se o teste “t-Student” (no caso $n = 14$). O valor destes testes é sucessivamente colocado em um gráfico nas posições em que as janelas expostas foram sendo movidas. Picos maiores neste gráfico correspondem então aos valores de “t-Student” mais elevados e identificam limites coincidentes com locais onde ocorrem maiores variações ao longo de toda transeção, indicando, assim, limites naturais de atributos do interior e, ou, da superfície do solo.

Marques Júnior (1995) aplicando essa mesma técnica em transeção de Latossolos e Argissolos, desenvolvidos de arenitos, relatou, como de maior importância: pH, soma de bases, saturação por bases e inclinação do terreno (%), os quais apresentaram-se como os mais coincidentes com os limites pré-identificados, no campo, de acordo com exame da morfologia do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas e mapeadas três superfícies geomórficas (I, II e III, Figuras 1 e 5), em cuja conceituação, está implícito o caráter de dependência do tempo, isto é, as superfícies situadas em partes mais elevadas da paisagem são interceptadas por aquelas situadas em posições de menor altitude, que são mais jovens e, no caso presente, apresentam inclinações maiores (Figura 1).

A superfície geomórfica I está localizada na parte mais elevada e menos inclinada (0 a 4 %) da área, entre as cotas de 615 e 600 m. Por apresentar maior altitude e inclinação menor, supõe-se que seja de caráter deposicional e esteja relacionada com o nível P2 (superfície de Jaboticabal), antes identificada nas cotas regionais de 560 a 630 m, e formada no Pleistoceno Médio, conforme Penteadó & Ranzani (1971). O limite entre as superfícies I e II está localizado em uma variação de menor inclinação para outra maior, a 450 m, a jusante do ponto inicial (Figura 4).

A superfície geomórfica II situa-se entre 600 e 560 m de altitude, iniciando-se a 450 m do ponto inicial da transeção, com inclinações entre quatro e sete por cento (Figura 1). Esta superfície, provavelmente, é de origem mista, erosional e deposicional (coluvionar), e pode ter sido modelada sob condições de clima semi-árido pretérito, relacionado aos últimos eventos de glaciações do Pleistoceno Superior (Penteadó & Ranzani, 1971). As transições de inclinações, relativamente graduais, entre as superfícies I e II, aliadas aos sucessivos cultivos ao seu redor, dificultaram a identificação

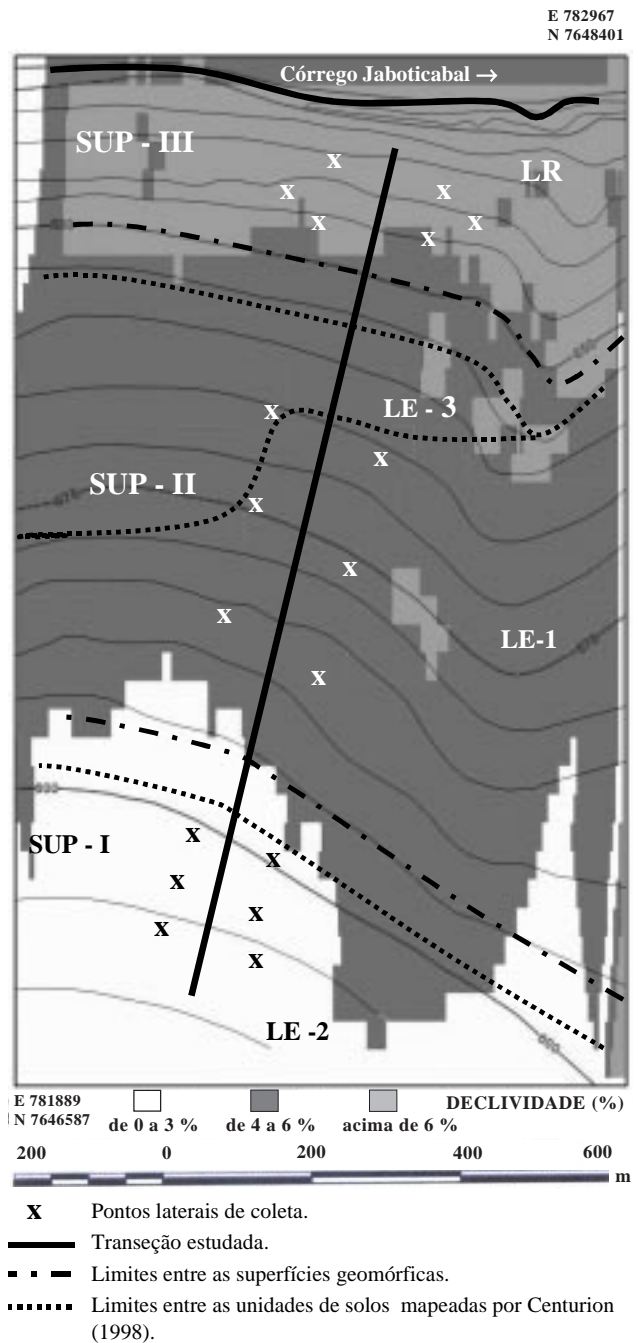


Figura 1. Superfícies geomórficas, unidades de solos antes mapeadas (Centurion, 1998) e classes de declividade obtidas a partir de “modelo de elevação digital de terreno”.

no campo dos limites entre estas superfícies geomórficas, sendo, neste caso, necessário recorrer a informações complementares oriundas do perfil topográfico e modelo de elevação digital do terreno.

A superfície geomórfica III, coincidindo com parte do talvegue do córrego, é a de maior inclinação (7 a 12 %), sendo uma encosta rejuvenescida, de caráter

erosional, entre 560 e 530 m de altitude. Sua parte inferior grada suavemente para seu segmento deposicional (aluvial) holocênico (não amostrado), um fundo de vale semi-encaixado do Córrego Jaboticabal (Figura 1).

Uma vez que, conforme Daniels et al. (1971), a idade do solo deve ser considerada como a mesma da respectiva superfície geomórfica, os solos na superfície geomórfica I são os mais velhos, seguindo-se em idade os solos das superfícies II de idade intermediária e os da superfície III, a mais nova.

O conceito de superfície geomórfica também foi usado por Lepsch et al. (1977); Coelho et al. (1994) e Marques Júnior & Lepsch (2000) como indicador da idade dos solos. Vários atributos dos solos da transeção aqui estudada estão bem relacionados com as respectivas superfícies geomórficas, o que está de acordo com Coelho et al. (1994), que também estudaram três superfícies geomórficas em encosta de transição arenito-basalto. Os limites destas superfícies estavam bem próximos ainda que um pouco abaixo dos das unidades de mapeamento de solos. Fato idêntico foi relatado por Lepsch et al. (1977) e Marques Júnior (1995) em áreas de arenito do Grupo Bauru.

A textura do solo depende, como outros atributos, do material de origem e do grau de intemperismo. Na transeção em pauta, os teores de argila do horizonte B (0,6–0,8 m) aumentam gradual e constantemente da parte mais elevada para o sopé da vertente. Quando dados referentes a teores de

argila são agrupados por superfícies geomórficas (Figura 2b), podem-se distinguir três regiões de classes texturais: a dos solos argilosos, e limitrofes para textura média, desenvolvidos do arenito e coincidentes com solos da superfície I e a dos com textura argilosa e muito argilosa, predominantemente desenvolvidos de mistura arenito-basalto e basalto, nos solos correspondentes às superfícies II e III, respectivamente.

A mesma tendência pode ser observada para o atributo densidade de partículas, que aumenta vertente abaixo (Figura 2a), concordando com dados de Curi & Franzmeier (1987). Essa tendência pode ser explicada pelos menores teores de quartzo no material derivado do basalto. Comparando entre superfícies as médias deste atributo, verificou-se que a densidade de partículas apresentou valores cujas diferenças são estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os solos de todas as três superfícies (Figura 2a). Contudo para a argila, tais diferenças não foram significativas, quando solos das superfícies II e III foram comparados (Figura 2b).

As médias, por superfície geomórfica, dos resultados dos atributos químicos (Figuras 2c, 2d, 3a, 3b e 3f) mostram que os maiores valores de CTC do solo (Figura 2c) estão no horizonte B dos solos sob as superfícies II e III e são coincidentes com a litologia basáltica. Os solos eutróficos, coincidindo com as superfícies II e III, confirmam a maior influência dessa rocha máfica, rica em feldspato

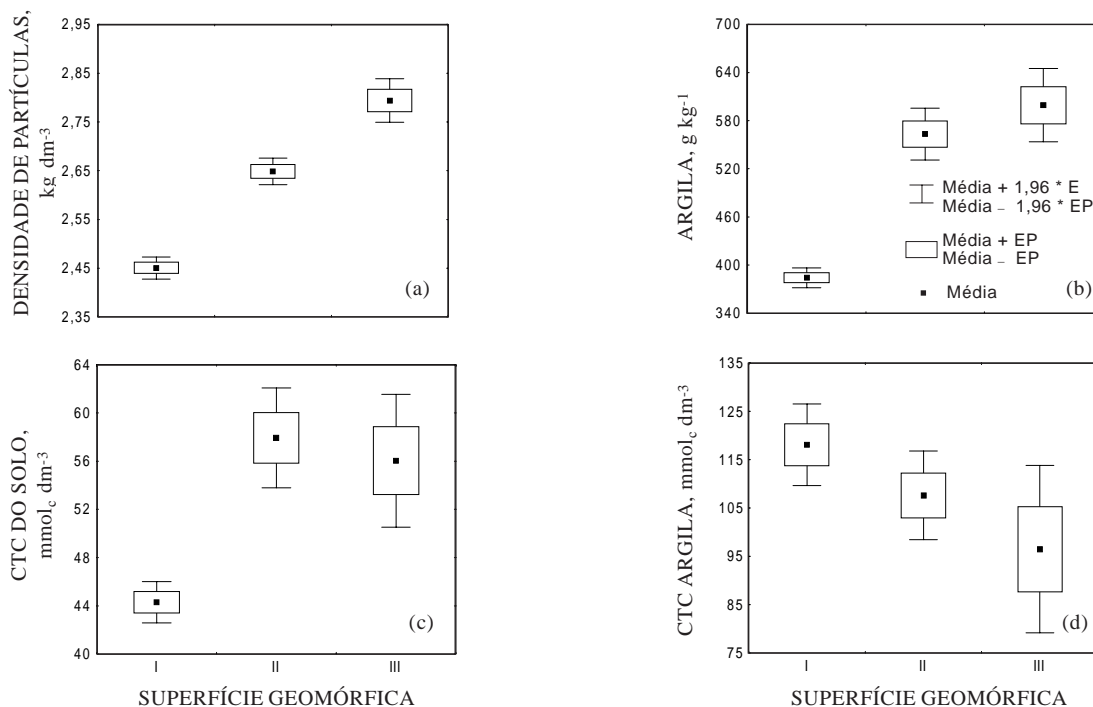


Figura 2. Médias, com respectivos intervalos de confiança, de atributos físicos e químicos dos solos (profundidade de 0,6 a 0,8 m), de acordo com as respectivas superfícies geomórficas: (a) densidade de partículas; (b) teor de argila; (c) CTC do solo; (d) CTC da argila.

calco-sódico e piroxênio e, ou, menor tempo de lixiviação, uma vez que aí os solos são mais jovens.

A CTC é maior nos solos sob as superfícies II e III (Figura 2c), havendo diferenças significativas somente quando comparadas com os da superfície I, o que pode ser interpretado como consequência dos menores teores de argila dos solos desta superfície. Todavia, quando se considera somente a CTC da argila, diferenças relativas são percebidas entre solos de todas as superfícies (Figura 2d) com valores decrescendo dos solos da superfície I para os da superfície III, evidenciando a dominância de caulinita nos relativos solos. A razão $Ct/(Ct + Gb)$ (Figura 3c), diminuiu significativamente da superfície mais antiga para a mais recente, coincidindo com o aumento dos óxidos de Fe, neste mesmo sentido (Figura 3a). Nota-se também um aumento dos materiais com mineralogia oxidica dos solos da superfície I para os da III, provavelmente ocasionado mais pelas diferenças de litologia do que de tempo de evolução pedogenética. Na caracterização das amostras coletadas nas faixas laterais à linha da transeção, observaram-se as mesmas tendências no atributo supracitado (Figura 3e).

Embora, normalmente, solos de superfícies mais recentes se apresentem mineralogicamente menos evoluídos, conforme relatado por Marques Júnior & Lepsch (2000), observou-se o oposto neste caso. Isto provavelmente porque os solos da superfície III, ao contrário dos relatados por aqueles autores, são derivados do basalto, no qual existem maiores quantidades de minerais ferro-magnesianos que favorecem intemperismo mais rápido, originando, assim, uma mineralogia oxidica (Figura 3c e 3e).

O aumento do teor de matéria orgânica no sentido do declive (Figura 3f) pode ser explicado pela sua comum associação com a fração argila do solo (Figura 2b), tendência também observada por Coelho et al. (1994) em solos transicionais de arenito para basalto.

Ao longo da transeção, os teores de Fe, obtidos pela dissolução com ácido sulfúrico (Fe_d), aumentam significativamente dos solos da superfície I para os da superfície III (Figura 3a), concordando com dados de Coelho et al. (1994). A relação (Fe_d/Fe_s) costuma ser utilizada para indicar o grau de desenvolvimento do solo, sendo maior nos solos mais intemperizados (Figura 3b). Os maiores valores dessa relação ($Fe_d/Fe_s > 0,80$) foram encontrados nos Latossolos Vermelhos (LVd, LVw e LVe) situados nas superfícies I e II, indicando um estágio mais avançado de intemperização, em comparação ao LVef da superfície III (com valor de 0,55). O fato de os solos sob a superfície I serem mais profundos que os da superfície III (Penteadó & Ranzani, 1971), confirma estes dados.

Verificou-se também maior homogeneidade do tipo de óxidos de Fe nos compartimentos do terreno

separados segundo o modelo de superfícies geomórficas (Daniels et al., 1971), com resultados idênticos aos relatados por Marques Júnior (1995) – que constatou a dependência espacial dos tipos de óxidos de Fe e condicionamento dos mesmos à idade das superfícies geomórficas. Também concordam com a premissa de Kämpf & Curi (2000) de que os óxidos de Fe podem ser considerados como bons indicadores de mudanças ambientais atuais ou pretéritas. Por outro lado, foi constatada maior variabilidade espacial dos atributos mineralógicos para os solos sob a superfície geomórfica III (Cunha, 2000), a mais recente de todas.

Segundo Daniels & Hammer (1992), técnicas de amostragens de solo, tais como comumente usadas em trabalhos de geoestatística, só auxiliam na transferência de informações, de uma área para outra, quando consideram a geomorfologia e a estratigrafia do terreno. Para eles esses mesmos autores, a idéia de que a variabilidade dos atributos do solo ocorre ao acaso é falsa, pois a maior parte dessa variabilidade é seqüencial e pode ser prevista quando se faz uso do conceito de superfície geomórfica e estas predições são muito úteis principalmente para execução de levantamentos pedológicos detalhados. Os dados obtidos neste trabalho concordam com essas premissas.

Com a finalidade de verificar, com métodos estatísticos, relações entre limites das unidades de mapeamento de solos e mudanças de inclinação do terreno (indicadoras de limites entre superfícies geomórficas), foram aplicados métodos de autocorrelogramas, por meio da técnica do SMWDA (análise de dissimilaridade, usando “janelas estatísticas móveis”). Tal técnica foi então testada para verificar a possibilidade de métodos estatísticos ajudarem a indicar os limites das superfícies geomórficas, tomando-se como base diferentes graus de inclinações da encosta nos vários e sucessivos segmentos marcados na transeção estudada. Com este método verificou-se que valores mais elevados do teste “t-Student” (indicados pelos picos mais elevados- Figura 5) coincidem com as “quebras” do relevo, existentes entre as superfícies I, II e III. Confirmou-se então a possibilidade de tais limites serem detectados por métodos numérico – estatísticos (Figura 5).

As superfícies geomórficas são bidimensionais, resultados de determinados fenômenos ocorridos em determinadas épocas e segundo processos erosivos específicos (remoção e, ou, deposição). A sucessão de tais fenômenos está refletida nas quebras de gradiente do terreno, desde que elas não estejam condicionadas por diferenças marcantes da litologia local. Neste estudo, dados relacionados com a declividade do terreno, quando analisados por métodos geoestatísticos, mostraram-se importante ferramenta para definir e confirmar limites das superfícies geomórficas predeterminados em campo,

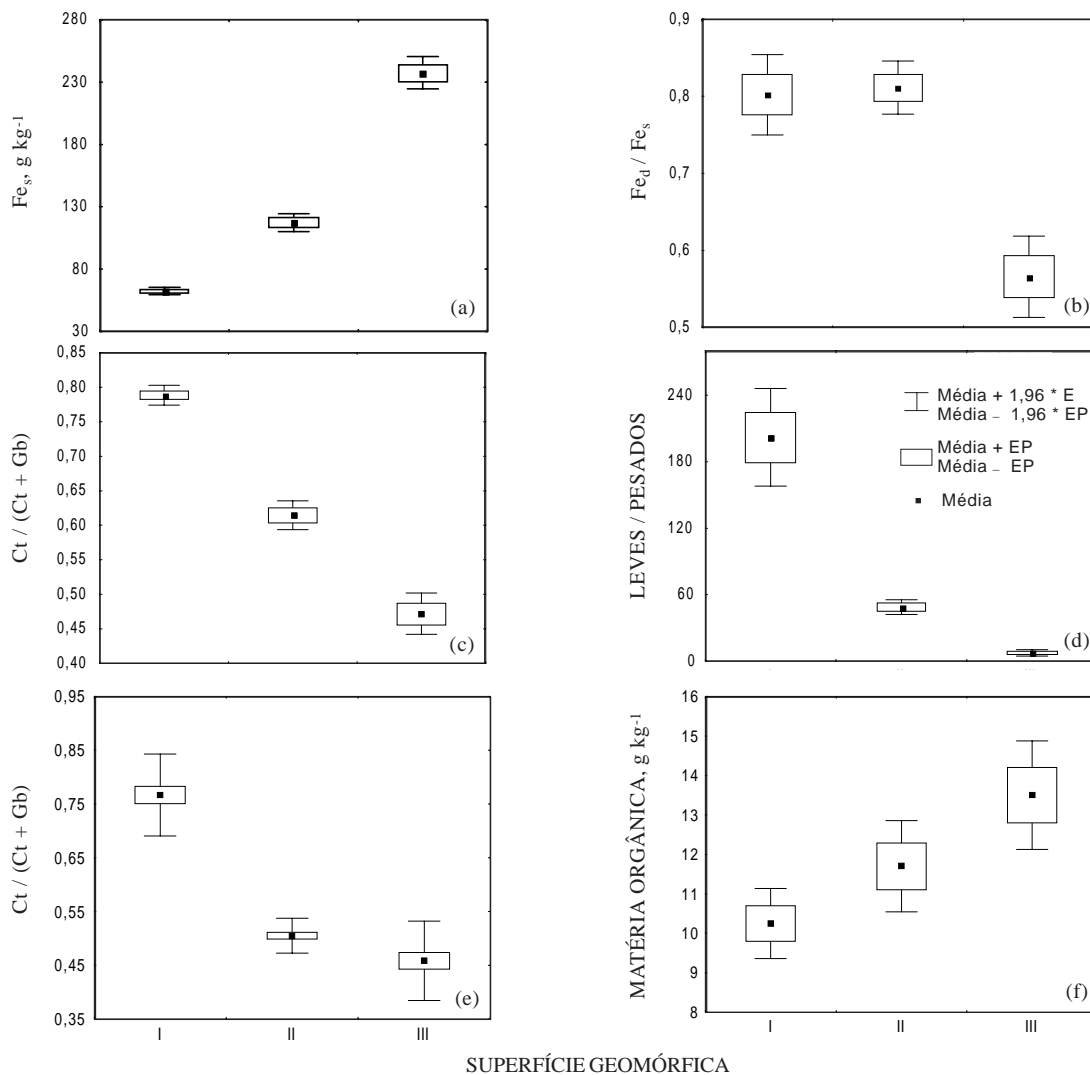


Figura 3. Médias, com respectivos intervalos de confiança, de atributos químicos e mineralógicos dos solos (profundidade de 0,6 a 0,8 m), de acordo com as respectivas superfícies geomórficas: (a) Fe_s ; (b) Fe_d/Fe_s ; (c) $Ct/(Ct + Gb)$; (d) razão minerais leves/pesados; (e) $Ct/(Ct + Gb)$ dos dados laterais; (f) matéria orgânica.

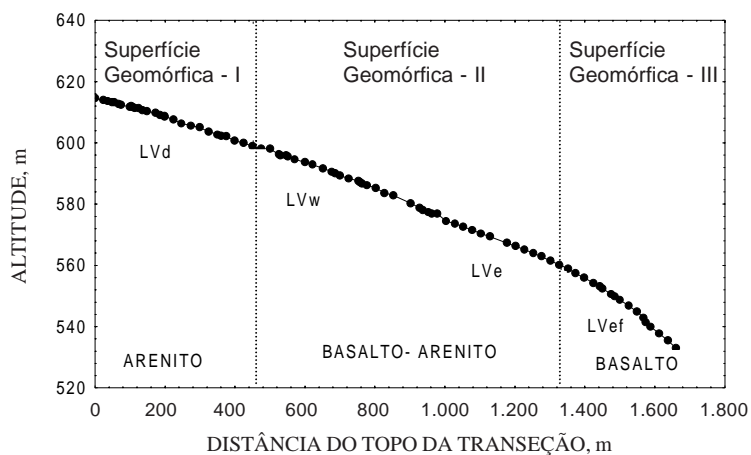


Figura 4. Perfil topográfico do segmento de vertente estudado, mostrando limites das três superfícies geomórficas, as respectivas unidades de mapeamento de solos e o substrato rochoso. (LVd = Latossolo Vermelho distrófico textura média; LVw = Latossolo Vermelho árcico argiloso; LVe = Latossolo Vermelho eutrófico muito argiloso; LVef = Latossolo Vermelho eutrófico muito argiloso).

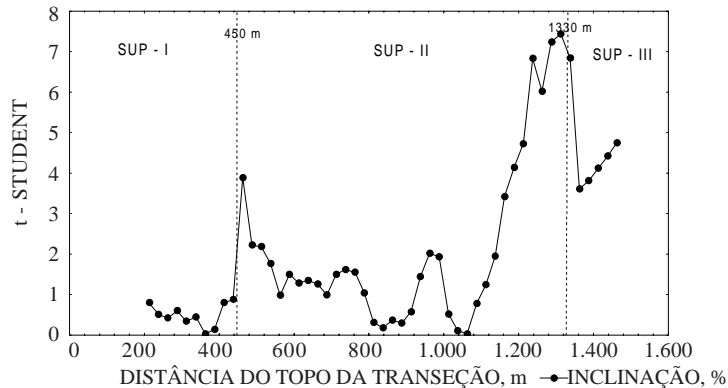


Figura 5. Resultados decorrentes do “Split Moving Windows Dissimilarity Analysis”. Os “picos” mais elevados indicam locais de mudanças mais notáveis da inclinação do terreno (“nick points”).

e corpos naturais de solo podem também ser delimitados por métodos geoestatísticos.

A relativa homogeneidade apresentada pela análise de atributos físicos, químicos e mineralógicos de amostras de solos agrupados segundo os segmentos entre limites das superfícies confirma as vantagens da aplicação do conceito de superfícies geomórficas para identificação e separação de áreas naturais e relativamente homogêneas. Isto se deve, provavelmente, ao fato de tais superfícies coincidirem com regiões fisiograficamente distintas e relacionadas com um importante fator de formação do solo: o tempo.

CONCLUSÕES

1. A análise sistemática, usando-se o método geoestatístico SMWDA (“Split Moving Windows Dissimilarity Analysis”), permitiu confirmar numericamente os limites das superfícies geomórficas, antes detectados com trabalho de campo.

2. As diferentes taxas Fe_d/Fe_s dos solos das três superfícies reforçam o fato de que a superfície mais velha tem solos mais intemperizados e que os óxidos de Fe são bons indicadores das condições dos diferentes pedoambientes, sob os quais se formaram.

3. As variações dos solos na transeção estudada mostraram-se, em maior parte, logicamente relacionadas com a idade da superfície, com o material de origem e com a inclinação do terreno. A compreensão da sucessão de eventos geomórficos foi de grande importância para a compreensão da variação dos atributos dos solos da vertente.

AGRADECIMENTOS

À Reitoria da UNESP pelo auxílio financeiro para realização deste trabalho. Ao Prof. Nestor Kämpf (UFRGS), pela ajuda nas análises de difração de raios X e sugestões. À Prof. Ivana Quintão de Andrade pelas correções do vernáculo.

LITERATURA CITADA

- ALOISI, R.R. & DEMATTÊ, J.L.I. Levantamento de solos da Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal. Científica, 2:123-136, 1974.
- BENNEMA, J. & CAMARGO, M. N. Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros; subsidio à VI Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, DPEA/DPFS, 1964. 45p.
- BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, J.O. Contribution to the studies of the Brazilian Quaternary. Sp. Paper. Geol. Soc. Am., 64:433-451, 1965.
- BLAKE, G.R. Particle density. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, v.1, p.371-373, 1965.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. & MITSUO, F. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. J. Comp. Graphics, 20:395-403, 1996.

- CENTURION, J.F. Caracterização e classificação dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo, 1998, 272p. (Tese – Livre Docência)
- COELHO, R.M.; LEPSCH, I.F. & MENK, J.R.F. Relação solo-relevo em um encosta com transição arenito-basalto em Jaú (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 18:125-33, 1994.
- CUNHA, P. Superfícies geomórficas e variabilidade de Latossolos em uma vertente sobre arenito-basalto em Jaboticabal (SP). Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo, 2000. 149p. (Tese de Doutorado)
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:153-358, 1987.
- DANIELS, R.B. & HAMMER, R.D. *Soil geomorphology*. New York, John Wiley & Sons Inc., 1992. 236p.
- DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.E. & CADY, J.G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. *Adv. Agron.*, 23:51-87, 1971.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle - size analysis. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1997. 2ed. 212p.
- GERRARD, J. Soil geomorphology - present dilemmas and future challenges. *Geomorphology*, 7:61-84, 1993.
- HUDSON, B.D. The soil survey as a paradigm-based science. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:836-841, 1992.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981. Mapa, escala 1:500.000.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis: advanced course*. 2.ed. Madison, 1979. 498p.
- KÄMPF, N. & CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.107-138.
- LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W. & DANIELS, R.B. Soil-landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:104-9,1977.
- MARQUES JÚNIOR, J. Distribuição e atributos dos solos em relação à forma e evolução de uma vertente em Monte Alto - SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", 1995. 226p. (Tese de Doutorado)
- MARQUES JÚNIOR, J. & LEPSCH, I.F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. *Geociências*, 19:90-106, 2000.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: *NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAY MINERALS*, 7., Washington, 1958. *Proceedings*. Washington, 1960. p.317-327.
- PENTEADO, M.M. & RANZANI, G. Aspectos geomorfológicos e os solos do município de Jaboticabal. *Geographica*, 25:42-61, 1971.
- PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I.F. & BARBOSA, J.C. JEM 1.0: programa computacional para localização de limites de superfícies geomórficas de solos através de dados de uma transeção; caso univariado. In: *CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 13., 1996. Águas de Lindóia, 1996. CD-ROOM
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. & CANTARELLA, H. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987.107p.
- RAIJ, B. van & ZULLO, M.A.T. *Métodos de análises de solo*. Campinas, Instituto Agronômico, 1977. 16p. (Circular, 63)
- RUHE, R.V. *Quaternary landscape in Iowa*. Ames, State University Press, 1969. 255p.
- WEBSTER, R. Automatic soil-boundary location from transect data. *Math. Geol.*, 5:27-37, 1973.
- YOUNG, F.J. & HAMMER, R.D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy and cluster analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:989-998, 2000.