DIVISÃO 1 - SOLO NO ESPAÇO E NO TEMPO

Comissão 1.2 - Levantamento e classificação do solo

ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS NA DIFERENCIAÇÃO DE ARGISSOLOS[1]

César da Silva Chagas[2], Ademir Fontana[2], Waldir de Carvalho Junior[2] & Sandro Marcelo de Caires[3]

RESUMO

A topografia do terreno controla muitos processos hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos, influenciando a radiação solar, precipitação pluvial, escoamento superficial, evaporação, regime de umidade do solo e tipo de vegetação, entre outros. Desta maneira, atributos topográficos derivados de um modelo digital de elevação foram utilizados para explicar a diferenciação de solos com horizonte B textural da região de "Mar de Morros", no noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Foram estudados oito perfis de solo (quatro Argissolos Vermelhos e quatro Argissolos Vermelho-Amarelos), desenvolvidos de granulitos noríticos nos municípios de São José de Ubá e Itaperuna. Os dados dos atributos topográficos em cada perfil de solo (elevação, declividade, aspecto, plano e perfil de curvatura, radiação solar e índice topográfico combinado) foram extraídos, utilizando-se uma janela de 7 x 7 *pixels,* com os perfis ocupando o centro dessa janela. Os Argissolos que ocorrem nas encostas noroeste e nordeste recebem maior quantidade de radiação solar (mais quentes e secas) e por isto são vermelhos, eutróficos e não apresentam horizonte B latossólico, enquanto os solos das encostas sudeste (relativamente mais frias e úmidas) são vermelho-amarelados, distróficos e com horizonte B latossólico. A radiação solar, a declividade e o aspecto são os atributos topográficos relacionados com as diferenças entre os perfis de solos estudados. Os atributos topográficos analisados pelas técnicas multivariadas apresentaram-se efetivos para a distinção entre os Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e os Argissolos Vermelhos eutróficos, exceto o P7 (PVe). Estudos relacionando a influência da radiação solar na pedogênese são escassos em condições tropicais e, embora

[1] Recebido para publicação em 12 de março de 2013 e aprovado em 22 de agosto de 2013.

[2] Pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: cesar.chagas@embrapa.br, chagas.rj@gmail.com, ademir.fontana@embrapa.br, waldir.carvalho@embrapa.br

[3] Professor do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Araçuaí. Fazenda do Meio Pé da Serra, s/n. BR 367, km 278. CEP 36900-000 Araçuaí (MG). E-mail: sandrodecaires@yahoo.com.br

menos atuante em regiões tropicais, foi a radiação solar que determinou diretamente a diferenciação dos solos da área estudada.

Termos de indexação: B textural, pedogênese, modelo digital de elevação.

SUMMARY: *TOPOGRAPHIC PROPERTIES TO DIFFERENTIATE ARGISOLS*

The topographic conditions controls many hydrological, geomorphological and pedological processes, affectting the solar radiation, pluvial precipitation, superficial water flow, evaporation, soil moisture and vegetation types, among others. Topographic properties derived from a digital elevation model were used to explain the differentiation between soils with an argillic horizon in the region of "Mar de Morros" in the northwestern State of Rio de Janeiro. Eight soil profiles (four Red Argisols and four Red-Yellow Argisols) developed from noritic granulites, in the municipalities of São José de Ubá and Itaperuna, were studied. The topographic data of each soil profile (elevation, slope, aspect, curvature plan and profile, solar radiation and combined topographic index) were extracted using a 7 x 7 pixel window, with the profiles in the center. Argisols on slopes facing northwest and northeast receive most solar radiation (warmer and drier) and for this reason are red, eutrophic and have no oxic horizon, whereas soils on slopes facing southeast (relatively cold and wet) are yellowish-red, dystrophic and have an oxic horizon. The solar radiation, slope and aspect are the topographic attributes that differ between the soils profiles. The topographic properties analyzed by multivariate techniques were effective to distinguish eutrophic Red Argisols from dystrophic Red-Yellow Argisols, except for P7 (PVe). Studies on the influence of solar radiation on pedogenesis under tropical conditions are scarce, and although less active in tropical regions directly determined the soil differentiation of the studied area.

Index terms: argillic horizon, pedogenesis, digital elevation model.

INTRODUÇÃO

Os atributos utilizados para quantificar a influência da topografia sobre a redistribuição da água na paisagem e a quantidade de radiação solar recebida pela superfície do terreno são importantes nos estudos dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos em muitas paisagens, pois podem influenciar a distribuição e abundância da água no solo, a suscetibilidade da paisagem à erosão pela água, a distribuição da flora e da fauna e consequentemente as características dos solos (Wilson & Gallant, 2000).

A radiação solar é a fonte primária para muitos processos físicos e biológicos que ocorrem no planeta e a topografia é o principal fator que modifica sua distribuição em nível de paisagem. A variabilidade na elevação, na declividade, no aspecto e no sombreamento causado por feições topográficas cria gradientes locais, que causam elevada heterogeneidade espacial e temporal na energia local e no balanço de água, influenciando fatores como temperatura do ar e do solo, evapotranspiração, umidade do solo e energia disponível para fotossíntese. Esses fatores influenciam o padrão espacial dos processos naturais, entre eles a distribuição das propriedades do solo (Moore et al., 1993; Fu & Rich, 1999).

Vários estudos têm apresentado a influência do aspecto sobre a distribuição dos solos na paisagem (Lotspeich & Smith, 1953; Finney et al., 1962; Daniels et al., 1987; Birkeland, 1999; Thomas et al., 1999; Rech et al., 2001; Iqbal et al., 2005). De acordo com van Boxel (2002), essa influência é marcante sobre a pedogênese, em razão do controle que exerce sobre as condições microclimáticas locais e, consequentemente, no desenvolvimento da vegetação. Nesse sentido, as encostas que recebem menor radiação solar apresentam menores perdas por evapotranspiração; portanto, são retidas maiores quantidades de água disponível para as plantas e para o intemperismo do solo, por um tempo maior. Para Birkeland (1999), o aspecto interfere em muito a distribuição de carbono orgânico do solo em profundidade, a presença ou ausência de horizonte E, o pH e a porcentagem de bases trocáveis. Entretanto, estudos de Miller et al. (2004), Stensvold & Stiles (2005) e Thompson & Kolka (2005) indicam que os processos responsáveis pelas diferenças observadas nas propriedades químicas ou morfológicas dos solos são determinados em última análise pelos gradientes da radiação solar.

O aspecto é comumente usado como um substituto para a variação da radiação solar na paisagem; entretanto, essa é considerada uma medida bruta (Dubayah & Rich, 1995). Segundo Beaudette & O'Geen (2009), existem muitos problemas associados com a utilização direta do aspecto como uma variável preditora em modelos estatísticos. Um deles está relacionado com o fato de que o aspecto é uma variável circular que requer técnicas especiais para a aplicação de operações estatísticas comuns como comparação

de médias, teste de uniformidade ou análise de regressão (Jammalamadaka & SenGupta, 2001). Além disso, somente o aspecto não consegue capturar a influência do sombreamento local causado por feições adjacentes, que pode contribuir significativamente para variação do *status* da umidade superficial (Wilson & Gallant, 2000).

Ademais, valores de radiação solar não são usualmente medidos em posições da paisagem representativas por causa do elevado custo das estações meteorológicas. As estações existentes são úteis como registros históricos dos valores de radiação solar; contudo, essas estão limitadas a locais fixos e podem não ser representativas da complexidade do terreno (Beaudette & O'Geen, 2009).

Assim, a distribuição da radiação solar pode ser caracterizada usando índices de radiação obtidos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esses métodos podem fornecer os dados necessários para uma análise extensiva, com o objetivo de possibilitar a predição de propriedades físicas e químicas do solo (Moore et al., 1993). Além disso, os modelos de radiação solar espacial fornecem um meio eficiente e de baixo custo para o entendimento das variações espacial e temporal da radiação sobre a paisagem e podem ser convenientemente relacionados com outras informações digitais (Fu & Rich, 1999).

Técnicas de interpolação têm sido desenvolvidas para estimar a radiação solar, porém a utilidade delas, frequentemente, é limitada em áreas de topografia complexa, onde a orientação da superfície e a obstrução, em razão das elevações, causam grandes diferenças locais na radiação, que essas técnicas não conseguem detectar. Uma alternativa para áreas de topografia complexa é a utilização de modelos de radiação solar com base em SIG, que levam em conta a declividade, o aspecto e a elevação (Tovar-Pescador et al., 2006).

Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar a influência dos componentes do relevo na diferenciação de solos com horizonte B textural da região de "Mar de Morros", no noroeste do Estado do Rio de Janeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e meio físico da área de estudo

O estudo foi realizado em uma área na bacia hidrográfica do rio São Domingos (Figura 1), afluente do rio Muriaé. A bacia está situada entre as coordenadas UTM 7.620.700 e 7.647.200m N e 183.000 e 210.800m E, zona 24S, e engloba a totalidade do município de São José de Ubá e parte do município de Itaperuna, no noroeste do Estado do Rio de Janeiro.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, ou seja, tropical com inverno seco e apresentando estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C e as precipitações pluviais são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1.800 mm. O balanço hídrico de acordo com o método de Thornthwaite & Matter, para o município de Itaperuna, considerando-se a capacidade de armazenamento de água no solo, para fins climatológicos, de 100 mm (Figura 1) evidencia que a região é sujeita a um déficit hídrico considerável durante o ano.

A geologia da região está representada pela Unidade São José de Ubá e é composta basicamente por granulitos noríticos. Esses granulitos apresentam coloração marrom acinzentada escura, são maciços e de granulação fina, com mineralogia dominada por feldspatos potássicos, plagioclásios e quartzo, tendo como minerais menores: piroxênio, biotita, granada, hornblenda, apatita, zircão, magnetita, entre outros (DRM-RJ, 1980).

Determinação dos atributos topográficos

Um modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 30 m foi elaborado, utilizando-se a opção *Topo To Raster* do ArcGIS Desktop 10, a partir de curvas de nível, com equidistância vertical de 20 m, hidrografia e pontos cotados das cartas topográficas do IBGE, na escala de 1:50.000 (Folhas Miracema/SF-23-X-D-III-4 e São João do Paraíso/SF-24-G-I-3). Em seguida, esse MDE foi utilizado para derivar os seguintes atributos topográficos: elevação, declividade, aspecto, plano de curvatura, perfil de curvatura, radiação solar e índice topográfico composto (índice CTI), que atuam decisivamente nos processos de formação e distribuição espacial dos solos da área estudada. Com exceção da radiação solar, obtida no ArcView GIS, utilizando-se a extensão Solar Analyst 1.0 (Fu & Rich, 1999; HEMI, 2000), todos os demais foram derivados no ArcGIS Desktop 10.

O índice CTI é um atributo topográfico secundário desenvolvido para estudos de topossequências em áreas declivosas (Moore et al., 1993), sendo definido como uma função da declividade e da área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo, conforme a equação:

$$cti = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right)$$

em que *As* é a área de contribuição [(fluxo acumulado + 1) * tamanho da célula do grid em m^2] e β, a declividade expressa em radianos.

A extensão *Solar Analyst* foi usada para computar a radiação solar global para cada *pixel* do MDE dentro da área estudada. Esse programa calcula a insolação potencial como uma função da latitude, declividade, aspecto, sombreamento topográfico, mudanças diárias e sazonais no ângulo solar e atenuação atmosférica (HEMI, 2000; Wilson & Gallant, 2000).

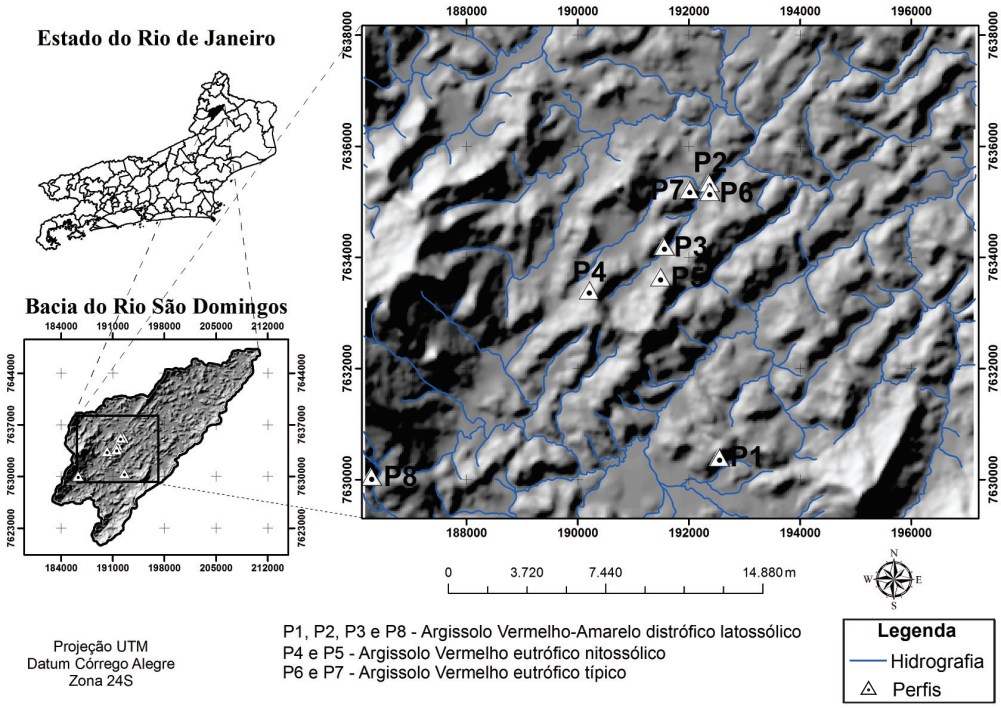


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado do Rio de Janeiro.

Os dados dos atributos topográficos nos perfis analisados foram extraídos no ArcGIS Desktop 10, utilizando-se inicialmente uma janela de 7 x 7 *pixels*, com os perfis ocupando o centro dessa janela. Para evitar que pontos com valores muito discrepantes (*outliers)* dos valores em que os perfis foram descritos comprometessem as análises, foram descartados, para cada atributo topográfico, aqueles cujos valores eram superiores a quatro vezes o desvio-padrão, evitando assim a utilização de valores que poderiam representar classes de solos que não são de interesse deste estudo. Dessa forma, para caracterizar suas condições topográficas, foram utilizados os seguintes números de pontos para cada perfil: P1 (n=22), P2 (n=27), P3 (n=24), P8 e P5 (n=30), P4 e P7 (n=29) e P6 (n=23). Em seguida, com base na análise descritiva, foi possível avaliar os valores mínimos e máximos, curtose e assimetria.

Amostragem e caracterização dos perfis de solo

Foram utilizados neste estudo os perfis de solo apresentados no quadro 1.

A composição granulométrica foi determinada na terra fina seca ao ar, utilizando-se NaOH 0,1 mol L^{-1} como dispersante químico. Determinou-se a fração argila por densimetria no sobrenadante; areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação; e o silte foi calculado por diferença. Para a determinação da argila dispersa em água (ADA), foi empregado o mesmo método, porém sem fazer uso do dispersante químico.

Os valores de pH em H_2O e em KCl 1 mol L^{-1} foram medidos por eletrodo de vidro em suspensão solo:H_2O ou solo:KCl, na proporção 1:2,5 (v/v). Os cátions Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos com solução de KCl 1 mol L^{-1}. Efetuou-se a extração de H+Al com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1}, a pH 7,0. Os teores de P, Na^+ e K^+ foram extraídos com solução de H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} + HCl 0,05 mol L^{-1}. Determinaram-se os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} por titulometria com solução de EDTA 0,0125 mol L^{-1}; Na^+ e K^+, por fotometria de chama; P, por colorimetria; e Al^{3+} e H+Al, por titulometria com NaOH 0,025 mol L^{-1}. O carbono orgânico foi obtido por oxidação via úmida com dicromato de potássio e os teores de SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 e TiO_2, pelo ataque sulfúrico. Todos os procedimentos acima foram feitos de acordo com Embrapa (1997).

Análise estatística dos dados

A influência dos atributos topográficos (elevação, declividade, aspecto, plano, perfil, radiação solar e índice CTI) na diferenciação dos solos foi avaliada por meio das análises de correlação simples, componentes principais e agrupamentos hierárquicos.

A análise de componentes principais consiste na ordenação dos solos pelo efeito simultâneo da variância dos atributos topográficos em gráfico bidimensional, em que quanto mais próximos forem os pontos, maior a tendência de semelhança entre os perfis. A análise de agrupamentos hierárquicos consiste em analisar as similaridades entre os perfis de solo, a partir da apresentação de um dendrograma com base nos atributos topográficos (Khattree & Naik, 2000). Para as análises multivariadas, os dados foram padronizados com média 0 (zero) e variância 1, visando

Quadro 1. Perfis de solos utilizados e respectiva classificação no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo

Perfil	Símbolo	Classificação[(1)]
P1	PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico, textura média/argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
P2	PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico, textura média/argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
P3	PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico, textura média/muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
P8	PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico, textura argilosa/muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
P4	PVe	Argissolo Vermelho eutrófico nitossólico, textura argilosa/muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
P5	PVe	Argissolo Vermelho eutrófico nitossólico, textura média/muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
P6	PVe	Argissolo Vermelho eutrófico típico, textura média/argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
P7	PVe	Argissolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa/muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado

(1) De acordo com Embrapa (2006).

eliminar o efeito da amplitude dos valores em razão das diferentes unidades de medida (Khattree & Naik, 2000). Todas as análises foram realizadas pelo programa Statistica 7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos topográficos

No quadro 2, é apresentada a estatística descritiva dos atributos topográficos nos perfis estudados. Os valores de elevação nos perfis de PVAd variaram de 166,97 a 333,88 m, enquanto nos perfis de PVe estão entre 146,90 e 231,37 m. De modo geral, esse atributo não variou muito entre os perfis, à exceção do perfil P8 que está localizado na feição de Alinhamentos Serranos (DRM-RJ, 1980), que apresentam elevada amplitude de relevo, diferentemente dos demais que se localizam no Domínio Colinoso de Mar de Morros, de baixa amplitude de relevo.

Os perfis de PVAd apresentaram declividade média de 37,4 %, ligeiramente superiores aos perfis de PVe com média de 31,4 %. A declividade tem importância especial nessas condições, uma vez que influencia o sombreamento topográfico, que pode levar a diferenças nos gradientes locais entre as encostas, causando heterogeneidades espacial e temporal na energia local e no balanço de água, influenciando inclusive o padrão de distribuição das propriedades dos solos (Fu & Rich, 1999). Dessa maneira, o efeito da declividade, aumentando o sombreamento topográfico, é maior nas encostas sudeste, como pode ser verificado nos perfis P3 e P8, que apresentaram as maiores declividades e as menores incidências de radiação solar (Quadro 2).

O aspecto, por influenciar diretamente a incidência de radiação solar, controla o regime de temperatura do ar e o do solo, a evapotranspiração e a umidade do solo e tem efeito relevante sobre os atributos do solo e sua distribuição na paisagem (Moore et al., 1993; Wilson & Gallant, 2000). A área estudada possui direção preferencial NE-SW e nas encostas convexas do terreno as condições microclimáticas variam em razão da incidência de radiação solar nas encostas, condicionadas pelo aspecto e pelo efeito do sombreamento topográfico causado pela elevada declividade. Assim, os perfis de PVAd (P1, P2, P3 e P8) ocorrem exclusivamente nas encostas sudeste, enquanto os perfis de PVe estão localizados nas encostas noroeste (P4, P5 e P6) e nordeste (P7).

A influência da curvatura do terreno sobre as propriedades dos solos tem sido relacionada, principalmente, ao controle que as formas côncava e convexa exercem sobre a distribuição de água e materiais solúveis das partes mais elevadas para as mais baixas. O plano de curvatura variou de 0,11 a 0,26 nos perfis de PVAd e de 0,08 a 0,17 nos de PVe, configurando, em todos, a curvatura retilínea-convexa (fluxo divergente). Por sua vez, o perfil de curvatura assumiu valores de -0,18 a 0,11 nos perfis de PVAd e de -0,12 a 0,07 nos de PVe, sendo todos classificados como tendo curvatura côncava-retilínea. Assim, tanto o plano quanto o perfil por apresentarem pouca diferença entre os perfis estudados, tiveram pouca influência sobre a diferenciação destes.

Há considerável variação na quantidade de radiação solar que chega às diferentes encostas (Quadro 2). Os valores estimados para os perfis de PVe localizados nas encostas noroeste e nordeste (1553,83 a 1631,72 MJ m^{-2} ano^{-1}) foram maiores do

Quadro 2. Estatística descritiva dos atributos topográficos dos perfis estudados

Perfil	Estatística	Elevação	Declividade	Aspecto	Curvatura		Radiação solar	Índice CTI
					Plano	Perfil		
		m	%	radiano			MJ m^{-2} ano^{-1}	
P1 (PVAd)	Média	200,60	41,40	2,45	0,08	-0,04	1141,50	5,36
	Desvio-padrão	25,30	10,36	0,19	0,15	0,21	148,09	0,39
P2 (PVAd)	Média	166,48	31,06	3,14	0,22	-0,08	1315,19	5,30
	Desvio-padrão	12,66	4,98	0,73	0,16	0,22	49,02	0,22
P3 (PVAd)	Média	187,78	47,52	2,34	0,10	0,11	1133,94	5,40
	Desvio-padrão	15,13	4,38	0,12	0,10	0,28	34,84	0,41
P8 (PVAd)	Média	333,88	39,21	2,10	0,11	-0,16	1213,14	5,62
	Desvio-padrão	15,61	7,04	0,21	0,09	0,15	34,21	0,20
P4 (PVe)	Média	231,48	36,05	5,56	0,10	0,00	1553,90	5,81
	Desvio-padrão	17,44	4,53	0,23	0,17	0,27	32,84	0,31
P5 (PVe)	Média	201,47	34,42	5,97	0,15	0,07	1589,24	5,88
	Desvio-padrão	16,07	5,51	0,26	0,15	0,13	54,89	0,54
P6 (PVe)	Média	147,90	24,32	5,70	0,15	-0,11	1634,65	5,88
	Desvio-padrão	7,74	3,20	0,24	0,08	0,09	21,19	0,42
P7 (PVe)	Média	177,21	30,68	0,61	0,16	-0,03	1597,34	5,52
	Desvio-padrão	13,30	3,53	0,25	0,14	0,17	50,08	0,20

que os estimados para os perfis de PVAd das encostas sudeste (1158,66 a 1315,20 MJ m^{-2} ano^{-1}), com os primeiros recebendo até 29 % a mais de radiação global. Portanto, a quantidade de radiação solar incidente sobre os perfis estudados pode explicar as diferenças observadas na distribuição e nas propriedades dos solos das encostas selecionadas.

Por fim, o índice CTI apresentou tendência muito similar dentro e entre os perfis estudados, variando de 5,28 a 5,62 nos de PVAd (média de 5,46) e de 5,49 a 6,14 nos de PVe (média de 5,83). Na área, o índice CTI variou de 3,84 (topo de elevação) a 19,69 (áreas de baixada); os valores típicos para áreas declivosas (>8 %) estiveram entre 5,0 e 10,0. Esses resultados indicam que os perfis ocupam posição de terço médio/superior de elevação, sendo, assim, esse atributo não teve influência direta na diferenciação dos solos estudados.

Análise estatística dos atributos topográficos

Na matriz de correlação de Pearson (Quadro 3) verifica-se que as principais correlações entre os atributos topográficos ocorrem entre a declividade e a radiação solar (-0,70) e entre o aspecto e a radiação solar (0,47), corroborando a influência que o aspecto e a declividade têm sobre a incidência da radiação solar nas encostas (Wilson & Gallant, 2000).

Essa correlação negativa indicou que quanto maior a declividade, menor será a radiação solar incidente sobre a encosta, comprovando mais uma vez que a influência do sombreamento topográfico local causado por feições adjacentes em áreas declivosas, como as verificadas neste estudo, pode contribuir significativamente para variação da radiação solar (Wilson & Gallant, 2000). Isso pode influenciar aspectos importantes como as temperaturas do ar e do solo, a evapotranspiração, a umidade do solo e a energia disponível para fotossíntese (Fu & Rich, 1999; Moore et al., 1993).

No entanto, essa relação tem significância apenas para as encostas voltadas para sul, visto que no Hemisfério Sul a trajetória leste-oeste aparente do Sol sofre declinação para o norte, que é máxima no solstício de inverno; com isso, os raios solares tendem a interceptar as superfícies voltadas para o norte e a tangenciar as voltadas para o sul, sendo tal efeito mais pronunciado quanto maior a latitude e, ou, mais declivoso for o relevo da área (Pereira et al., 2002).

Por sua vez, a menor correlação entre o aspecto e a radiação solar (0,47) corroborou as afirmações de que somente o aspecto não é suficiente para explicar todas as variações na radiação solar incidente sobre as encostas (Wilson & Gallant, 2000).

Na análise da matriz de variância dos atributos topográficos (Quadro 3), evidencia-se que a radiação solar e a elevação apresentam grande variância dos dados e, com menor expressão, a declividade. Nesse sentido, a radiação solar (43.656,02) (Quadro 3) parece ser o atributo topográfico entre os avaliados, o que mais influencia a diferenciação dos solos. Entretanto, embora também apresente variância elevada (3.330,62), a elevação parece não representar um atributo diferencial. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo valor de altitude do perfil P8 (333,8 m), localizado na feição de Alinhamentos Serranos de elevada amplitude de relevo, que se

diferencia dos demais, tanto para os perfis de PVAd quanto para os perfis de PVe.

Na análise da covariância (Quadro 3), confirmam-se os resultados obtidos pela análise de correlação de Pearson, inclusive com a mesma magnitude, apresentando relação positiva entre a radiação e o aspecto (190,40); e negativa entre a radiação e a declividade (-1.244,58) e entre a radiação solar e a elevação (-3.782,02). A covariância entre a radiação solar e a elevação confirma os resultados obtidos pela análise de variância. Nesse caso, a elevação não representa um atributo diferencial para distinção dos solos estudados.

Pela análise de componentes principais (ACP), observou-se que os atributos topográficos interferem de forma diferenciada na distribuição dos solos. Esses componentes explicam 34,49 % (CP1); 22,20 % (CP2); e 15,81 % (CP3) da variação dos dados, totalizando 72,50 %. No quadro 4, verifica-se, no primeiro componente principal (CP1), a maior influência da radiação solar (0,324) e da declividade (0,237). Já para o segundo componente principal (CP2), o plano (0,335) e perfil de curvatura (0,375) foram os que tiveram a maior influência, apesar de neste estudo esses atributos não representarem fatores determinantes para a formação dos solos. Para o terceiro componente principal (CP3), a elevação foi o atributo de maior peso (0,567).

Pela análise dos CP1 e CP2, observou-se a formação de grupos distintos, estando os pontos que representam os perfis PVAd separados dos PVe na sua maioria, exceto os perfis P2 (PVAd) e P7 (PVe), no centro do gráfico (Figura 2a). A maior parte dos pontos que representam os perfis de PVAd (P1, P3 e P8) estão relacionados à declividade e elevação, enquanto, para os perfis de PVe (P4 e P5), essa relação é com o aspecto e com o índice CTI. Já para o perfil P6 é a radiação solar, visto que esse apresenta a maior incidência de radiação solar entre os perfis analisados.

Pela análise dos CP1 e CP3 (Figura 2b), observa-se maior clareza na distribuição dos pontos que representam os perfis estudados, estando o perfil P8 (PVAd) relacionado com a elevação; os perfis P3 e P1

Quadro 3. Matrizes de correlação de Pearson e de variância e covariância dos atributos topográficos

Atributo	Elevação	Declividade	Aspecto	Curvatura		Radiação solar	Índice CTI
				Plano	Perfil		
			Correlação de Pearson				
Elevação	1,00	0,26*	-0,16*	-0,06	-0,28*	-0,31*	-0,03
Declividade		1,00	-0,23*	-0,23*	0,22*	-0,70*	-0,30*
Aspecto			1,00	0,01	0,09	0,47*	0,41*
Plano				1,00	-0,23*	0,07	-0,26*
Perfil					1,00	-0,02	0,25*
Radiação solar						1,00	0,42*
Índice CTI							1,00
			Variância e covariância				
Elevação	3.330,62[(1)]	126,51	-17,49	-0,490	-3,489	-3.782,02	-0,816
Declividade		72,77[(1)]	-3,82	-0,274	0,407	-1.244,58	-1,066
Aspecto			3,74[(1)]	0,002	0,038	190,40	0,326
Plano				0,012[(1)]	-0,007	2,05	-0,015
Perfil					0,045[(1)]	-0,92	0,021
Radiação solar						43.656,02[(1)]	36,227
Índice CTI							0,168[(1)]

[(1)] Variância dos atributos.*: significância (p<0,05).

Quadro 4. Atributos topográficos nos componentes principais (CP)

Atributo	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
	contribuição			correlação		
Elevação	0,082	0,006	0,567	0,45	-0,10	-0,79
Declividade	0,237	0,126	0,001	0,76	0,44	0,03
Aspecto	0,181	0,017	0,025	-0,66	0,16	-0,17
Plano	0,002	0,335	0,093	-0,06	-0,72	0,32
Perfil	0,004	0,375	0,175	-0,10	0,76	0,44
Radiação solar	0,324	0,014	0,001	-0,89	-0,15	-0,04
Índice CTI	0,168	0,128	0,136	-0,64	0,45	-0,39

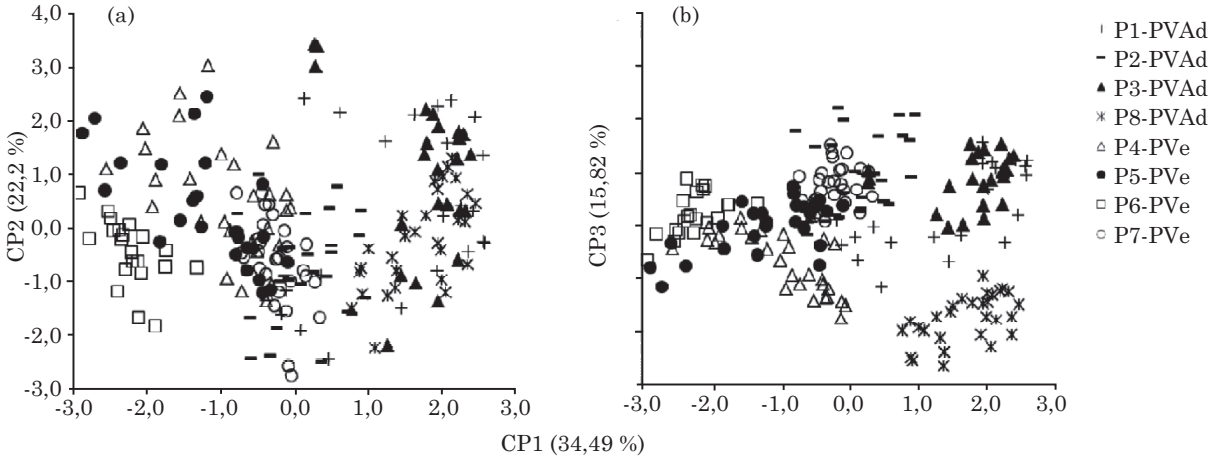


Figura 2. Distribuição dos perfis nos componentes principais CP1 e CP2 (a) e CP1 e CP3 (b).

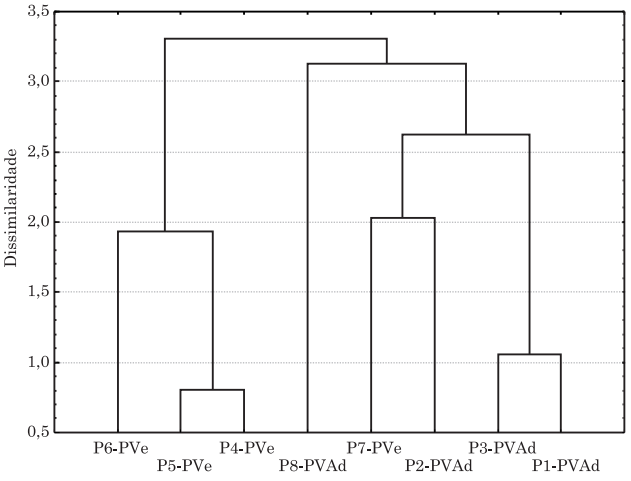


Figura 3. Dendrograma de dissimilaridade entre os perfis (valores médios dos atributos topográficos). Método do agrupamento pareado igualmente ponderado e dissimilaridade pela distância euclidiana.

(PVAd), com a declividade; e o perfil P6 (PVe) e parte dos pontos dos perfis P4 e P5 (PVe), ao aspecto, índice CTI e radiação solar.

Ainda, com a avaliação do dendrograma de dissimilaridade, observou-se quase total agrupamento em relação ao nível de classificação dos perfis de solos avaliados, com exceção do perfil P7 (PVe), que se agrupou ao P2 (PVAd) (Figura 3). Esse resultado inesperado provavelmente está relacionado com a maior similaridade dos dados dos perfis P7 e P2, com relação à elevação (166,48 e 177,21 m, respectivamente) e à declividade (31,06 e 30,68 %, respectivamente), quando comparado aos demais solos.

Influência dos atributos topográficos nas características dos solos

A análise estatística identificou como principais atributos topográficos responsáveis pelas diferenças entre os dois grupos de solos a radiação solar, a declividade e o aspecto. Dessa maneira, as discussões dos resultados com relação às características morfológicas, físicas e químicas dos perfis serão com base na influência que a interação entre esses atributos tem sobre a diferenciação dos solos. As principais características morfológicas, físicas e químicas dos perfis estudados são apresentadas nos quadros 5 e 6.

Basicamente, essas duas classes se diferenciam pela cor, profundidade do horizonte A, saturação por bases (V %) e presença ou ausência de horizonte B latossólico em profundidade. Os perfis que ocupam as encostas noroeste e nordeste (P4, P5, P6 e P7), com maior incidência de radiação, maior evapotranspiração e maior estresse hídrico (Iqbal et al., 2005), apresentam no horizonte B coloração avermelhada, nos matizes 2,5YR ou 10R, enquanto os perfis das encostas sudeste (P1, P2, P3 e P8), que apresentam menor demanda evaporativa, que leva a uma maior disponibilidade de água no solo por um período mais longo (Galicia et al., 1999), possuem horizonte B de cor amarelada ou vermelho-amarelada, nos matizes 7,5YR ou 5YR (Quadro 5).

No Hemisfério Sul, em razão da maior interceptação dos raios solares, as encostas com orientação norte apresentam maior evapotranspiração, que pode levar à diminuição da quantidade de água disponível para os processos pedogeoquímicos (Ferreira et al., 2005). Dessa maneira, a maior radiação solar incidente sobre as encostas noroeste e nordeste (Quadro 2) as tornam relativamente mais quentes e mais secas (> evapotranspiração) do que as encostas com orientação sudeste. Essas condições favorecem a formação de hematita em relação à goethita, em razão do maior potencial redox e da temperatura do solo mais elevada, a qual acelera a mineralização da matéria orgânica, originando maior disponibilidade de Fe^{3+} e favorecendo a desidratação da ferrihidrita à hematita (Kämpf & Schwertmann, 1983). Nas

Quadro 5. Características morfológicas e físicas dos perfis estudados

Perfil	Horizonte	Prof.	Cor (úmida)	AG	AF	Silte	Argila	ADA	GF	Silte/argila
		cm		g kg^{-1}					%	
P1 - PVAd latossólico	A1	0-8	5YR 3/3	545	115	117	223	182	18	0,52
	A2	-16	5YR 3/4	385	150	121	344	304	12	0,35
	BA	-30	5YR 4/6	268	128	97	507	467	8	0,19
	Bt1	-60	5YR 4/8	234	106	90	570	0	100	0,16
	Bt2	-97	5YR 4/8	224	93	94	589	0	100	0,16
	Bt3	-120	5YR 5/6	195	79	54	672	0	100	0,08
	Bw1	-150	5YR 5/8	221	87	62	630	0	100	0,10
P2 - PVAd latossólico	A	0-20	5YR 3/3	383	244	131	242	222	8	0,54
	AB	-29	5YR 4/4	336	186	134	344	344	0	0,39
	BA	-55	5YR 4/6	231	175	127	467	0	100	0,27
	Bt	-95	5YR 4/6	195	110	105	590	0	100	0,18
	Bw1	-150	5YR 5/6	235	146	92	527	0	100	0,17
	Bw2	-196	5YR 5/8	231	156	167	446	0	100	0,37
P3 - PVAd latossólico	Ap	0-17	7,5YR 3/4	344	227	105	324	203	37	0,32
	AB	-26	7,5YR 4/4	294	207	114	385	344	11	0,30
	BA	-36	5YR 4/4	223	195	115	467	244	48	0,25
	Bt	-78	5YR 5/5	191	138	81	590	0	100	0,14
	Bw1	-130	5YR 5/5	141	126	81	652	0	100	0,12
	Bw2	-168	7,5YR 5/6	155	112	81	652	0	100	0,12
P8 - PVAd latossólico	Ap	0-14	5YR 3/4	223	127	180	470	327	30	0,38
	AB	-39	4YR 4/4	139	106	162	593	0	100	0,27
	Bt1	-70	3,5YR 3/6	94	92	117	697	0	100	0,17
	Bt2	-91	5YR 4/6	98	51	93	758	0	100	0,12
	Bw1	-128	7,5YR 5/6	127	72	105	696	0	100	0,15
	Bw2	-200	7,5YR 5/8	135	72	98	695	0	100	0,14
P4 - PVe nitossólico	A	0-10	2,5YR 3/2	248	182	161	409	0	100	0,39
	BA	-20	2,5YR 3/3	257	161	153	429	347	19	0,36
	Bt1	-40	10R 3/4	203	137	128	532	102	81	0,24
	Bt2	-63	10R 3/4	158	119	127	596	0	100	0,21
	Bt3	-100	10R 3/6	109	88	104	699	0	100	0,15
	Bt4	-170	10R 3/5	121	76	104	699	0	100	0,15
P5 - PVe nitossólico	Ap	0-17	2,5YR 3/3	318	229	149	304	223	27	0,49
	BA	-35	10R 3/4	288	217	171	324	223	31	0,53
	Bt1	-56	10R 3/4	234	167	131	468	0	100	0,28
	Bt2	-100	10R 3/5	129	102	116	653	0	100	0,18
	Bt3	-170	10R 3/6	145	84	118	653	0	100	0,18
P6 - PVe típico	Ap	0-15	5YR 4/3	277	249	160	314	263	16	0,51
	BA	-24	5YR 4/4	199	170	125	506	0	100	0,25
	Bt1	-57	2,5YR 3/4	175	144	113	568	0	100	0,20
	Bt2	-86	2,5YR 3/6	176	152	124	548	0	100	0,23
	Bt3	-150	2,5YR 4/6	130	106	93	671	0	100	0,14
P7 - PVe típico	A	0-22	5YR 4/3	299	186	131	384	323	16	0,34
	BA	-35	5YR 4/4	329	222	106	343	302	12	0,31
	Bt1	-51	5YR 4/6	274	188	114	424	383	10	0,27
	Bt2	-67	2,5YR 4/6	140	89	103	668	0	100	0,15
	Bt3	-108	2,5YR 4/6	130	77	64	729	0	100	0,09
	Bt4	-160	2,5YR 4/7	152	79	121	648	0	100	0,19

PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico; PVe - Argissolo Vermelho eutrófico. AG: areia grossa; AF: areia fina; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação.

encostas sudeste, as condições relativamente menos quentes e menos secas favorecem a dissolução de hematita seguida da neoformação de goethita (xantização) e, consequentemente, os solos são mais amarelados.

A influência do aspecto sobre o desenvolvimento do horizonte A dos solos foi relatada por Walker et al. (1968), Daniels et al. (1987), Birkeland (1999) e Birkeland et al. (2003). Neste estudo, a espessura do horizonte A (Quadro 5) nos perfis de PVAd (média de 27,5 cm) é maior do que nos de PVe (média de 16 cm). Mais uma vez, a maior disponibilidade de água nas encostas sudeste parece favorecer o maior desenvolvimento do horizonte A nos primeiros, em razão, possivelmente, das menores perdas por erosão nessas encostas.

Entre os fatores que podem estar contribuindo para tal estão as diferenças no desenvolvimento da vegetação (Marqués & Mora, 1992; Kutiel et al., 1998; Chen et al., 2007) e na acumulação de carbono orgânico no solo (Franzmeier et al., 1969; Bredja et al., 2001; Miller et al., 2004; Thompson & Kolka, 2005) entre as encostas, que podem variar em razão da temperatura e disponibilidade de água condicionadas pelo aspecto. Resultados obtidos por Marqués & Mora (1992) confirmaram o contraste nas perdas de solo de acordo com o aspecto, com os solos das encostas sul (> evapotranspiração e < disponibilidade de água) apresentando perdas superiores aos das encostas norte, que foram associadas ao estado da vegetação e desenvolvimento do solo. Além disso, os teores de carbono orgânico relativamente maiores nos perfis de PVAd (Quadro 6) podem estar contribuindo para a maior estabilização dos agregados e, por conseguinte, a redução das perdas de solo.

A saturação por bases também foi influenciada pela radiação solar incidente nas encostas (Birkeland, 1999). Os perfis de PVe exibem elevada saturação por bases (eutróficos), com valor médio, no horizonte B, de 74,2 %, enquanto os perfis de PVAd são distróficos e apresentam média de saturação por bases no horizonte B de 27 %, significativamente inferiores (Quadro 6). Seguindo essa tendência, os valores de CTC também são relativamente menores nos perfis de PVAd (Quadro 6).

Os menores valores de saturação por bases e de CTC dos perfis de PVAd podem ser atribuídos à maior lixiviação nas encostas sudeste, em razão da maior quantidade de água disponível, condicionada pelo microclima mais úmido, que favorece o processo de intemperismo-lixiviação, levando a um empobrecimento relativo das bases trocáveis (Rech et al., 2001; van Boxel, 2002) e enriquecimento de Al^{3+} (Quadro 6).

Também, diferença marcante entre as classes de solos foi a presença de horizonte B latossólico nos perfis de PVAd e ausência nos perfis de PVe, evidenciando o maior grau de intemperismo nos primeiros. Além disso, os perfis de PVAd são mais profundos e possuem relação silte/argila ligeiramente menor (Quadro 5). Apesar disso, os índices Ki e Kr no horizonte B são semelhantes entre os perfis (Quadro 6), sem diferenças significativas entre as classes de solos. Nesse sentido, conforme destacado por Stensvold & Stiles (2005), embora a diferença nas condições que favorecem maior pedogênese, ao longo do ano, em cada encosta possa ser considerada apenas como fator secundário, em uma escala de tempo mais longa resultou em diferença significativa entre as encostas no desenvolvimento dos solos, com a formação de horizonte B latossólico nos perfis de PVAd.

Estudos realizados no Hemisfério Norte indicam diferentes manifestações da pedogênese induzida por condições microclimáticas distintas, causadas pelo aspecto/radiação solar incidente em encostas declivosas. Finney et al. (1962), Daniels et al. (1987), Carter & Ciolkosz (1991) e Birkeland et al. (2003) relacionaram a presença de solos mais intemperizados com a face norte (< radiação solar) e atribuíram esses resultados ao aumento das condições de umidade do solo. Já Losche et al. (1970), Birkeland (1999), Rech et al. (2001) e Stensvold & Stiles (2005) indicaram a presença de solos mais intemperizados nas encostas que recebem maior incidência de radiação solar (face sul). Nesses casos, a maior pedogênese foi atribuída ao aumento do intemperismo resultante de temperaturas mais elevadas, aumento dos ciclos de congelamento e descongelamento ou umedecimento e secagem.

Rech et al. (2001) destacaram várias razões para os resultados discordantes nesses estudos, envolvendo a relação entre o aspecto e, consequentemente, a radiação solar e o desenvolvimento do solo. Uma delas é o problema inerente de se tentar isolar apenas um fator em uma pedossequência e a outra é que a influência desses atributos topográficos sobre o intemperismo é específica de um dado local e, portanto, não pode ser generalizada para todo o Hemisfério Norte.

Estudos envolvendo a relação entre o aspecto/radiação solar e a pedogênese são quase inexistentes no Brasil (condições tropicais). Os resultados deste trabalho indicaram que o maior grau de intemperismo dos perfis de PVAd está relacionado com a menor radiação solar incidente nas encostas sudeste, que apresentam menor temperatura do solo, menor perda por evapotranspiração e maior quantidade de água disponível para a atuação do intemperismo (van Boxel, 2002). No entanto, acredita-se que tal como ocorre no Hemisfério Norte, resultados discordantes possam ser obtidos também no Hemisfério Sul, mesmo em condições tropicais, já que esses são influenciados pelas condições locais: clima, latitude, tipo de material de origem dos solos, geomorfologia, entre outras.

Quadro 6. Características químicas dos solos estudados

Horiz.	pH		Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	S	T	V	m	CO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	Ki	Kr
	H_2O	KCl															
			$cmol_c\ kg^{-1}$						%		$g\ kg^{-1}$						
								P1 - PVAd latossólico									
A1	5,1	4,2	2,5	1,1	0,17	0,03	3,8	9,0	42	5	19,4	92	78	49	9,4	2,01	1,43
A2	4,8	3,9	1,2		0,7	0,10	2,0	7,1	28	20	12,5	121	106	59	9,7	1,94	1,43
BA	5,0	4,1	0,9		1,1	0,07	2,1	5,6	37	12	8,0	165	159	70	11,8	1,76	1,38
Bt1	5,0	4,1	0,2		0,9	0,03	1,2	3,8	32	33	4,4	181	171	81	12,2	1,80	1,38
Bt2	4,9	4,0	0,4		0,08	0,02	0,5	3,6	14	64	3,3	195	193	80	10,7	1,72	1,36
Bt3	5,0	4,1	0,3		0,15	0,05	0,5	3,6	14	62	2,8	230	206	92	10,9	1,90	1,48
Bw1	5,0	4,1	0,3		0,13	0,05	0,5	3,6	14	62	2,4	207	195	85	10,9	1,80	1,41
								P2 - PVAd latossólico									
A	5,4	4,6	1,3	0,8	0,12	0,01	2,2	4,8	46	4	8,6	-	-	-	-	-	-
AB	5,6	4,8	1,2	0,9	0,06	0,01	2,2	4,2	52	4	5,8	-	-	-	-	-	-
BA	5,5	4,9	1,2	0,9	0,05	0,01	2,2	4,2	52	4	5,2	158	174	87	12,0	1,54	1,17
Bt	5,2	4,5	0,7	0,8	0,04	0,01	1,5	4,0	37	29	4,1	197	198	88	10,1	1,69	1,32
Bw1	5,2	4,5	0,1	0,9	0,02	0,01	1,0	3,1	32	23	2,0	172	190	88	10,4	1,54	1,19
Bw2	5,5	4,5	0,7		0,15	0,02	0,9	3,0	30	59	1,7	189	201	99	13,8	1,60	1,22
								P3 - PVAd latossólico									
Ap	5,1	4,5	1,1	0,9	0,11	0,01	2,1	5,1	41	5	10,4	-	-	-	-	-	-
AB	5,1	4,4	0,8	0,7	0,06	0,01	1,6	4,1	39	11	8,8	-	-	-	-	-	-
BA	5,3	4,6	1,1	0,7	0,04	0,01	1,8	3,9	46	5	7,4	148	162	81	16,8	1,55	1,18
Bt	5,2	4,7	1,0	0,7	0,03	0,01	1,7	4,0	42	6	6,9	183	200	91	12,7	1,56	1,20
Bw1	5,3	4,5	0,3	0,7	0,01	0,01	1,0	3,6	28	23	3,4	177	217	95	12,1	1,39	1,08
Bw2	5,1	4,5	0,9		0,01	0,01	0,9	3,7	24	25	2,3	206	216	96	13,5	1,62	1,26
								P8 - PVAd latossólico									
Ap	5,3	4,4	2,5	1,2	0,13	0,06	3,9	8.5	46	2	17,6	-	-	-	-	-	-
BA	4,9	4,1	1,0	0,6	0,04	0,02	1,7	5.9	29	23	10,4	153	221	107	18,8	1,18	0,90
Bt1	4,8	4,1	0,8		0,03	0,01	0,8	5,5	15	47	7,9	174	230	114	16,4	1,29	0,98
Bt2	4,9	4,3	0,8		0,01	0,01	0,8	4,7	17	33	5,3	195	250	115	13,3	1,33	1,02
Bw1	5,1	4,7	0,9		0,01	0,01	0,9	3,8	24	10	3,7	188	259	118	15,4	1,23	0,96
Bw2	5,2	4,7	0,6		0,01	0,01	0,6	4,8	12	0	3,5	184	251	114	15,8	1,25	0,97
								P4 - PVe nitossólico									
A	5,3	4,9	5,3	1,6	0,19	0,01	7,1	11,4	62	0	15,9	-	-	-	-	-	-
BA	5,3	4,8	3,7	1,1	0,09	0,01	4,9	7,5	65	0	9,8	131	139	81	10,4	1,60	1,17
Bt1	5,6	4,9	5,2	1,3	0,06	0,01	6,6	8,1	81	0	8,6	147	171	88	10,6	1,46	1,10
Bt2	6,0	5,3	4,3	1,4	0,05	0,02	5,8	6,6	88	0	6,6	191	197	96	13,5	1,65	1,26
Bt3	6,5	5,7	3,9	1,5	0,05	0,01	5,5	6,2	89	0	5,6	214	220	97	14,7	1,65	1,29
Bt4	6,8	6,1	3,4	1,6	0,05	0,01	5,1	5,1	100	0	3,8	189	238	99	15,4	1,35	1,07
								P5 - PVe nitossólico									
Ap	5,5	4,9	2,8	0,8	0,09	0,01	3,7	5,0	74	0	9,1	-	-	-	-	-	-
BA	5,8	5,0	2,5	0,3	0,03	0,01	2,8	3,1	90	0	4,4	106	106	59	9,3	1,70	1,25
Bt1	6,0	5,2	3,3	0,4	0,03	0,02	3,7	3,9	95	0	4,0	146	155	68	8,7	1,60	1,25
Bt2	6,3	5,6	3,7	0,5	0,03	0,02	4,2	4,5	93	0	3,5	224	212	84	10,3	1,80	1,43
Bt3	6,3	5,6	4,3	0,6	0,03	0,01	4,9	5,2	94	0	3,0	204	214	84	12,0	1,62	1,30
								P6 - PVe típico									
Ap	5,2	4,6	2,5	1,1	0,09	0,01	3,7	6,2	60	3	8,6	-	-	-	-	-	-
BA	5,6	4,8	2,6	1,1	0,05	0,02	3,8	5,8	66	0	5,2	160	165	77	14,6	1,65	1,27
Bt1	5,6	4,9	2,7	1,4	0,04	0,02	4,2	7,8	54	0	4,1	185	188	80	13,2	1,67	1,31
Bt2	5,4	4,5	1,6	1,4	0,03	0,04	3,1	5,6	55	3	3,2	166	182	79	13,2	1,55	1,21
Bt3	5,3	4,3	1,0	1,4	0,03	0,05	2,5	5,2	48	11	3,1	205	215	92	11,4	1,62	1,27
								P7 - PVe típico									
A	5,8	5,1	2,5	1,4	0,38	0,01	4,3	6,9	62	0	12,1	-	-	-	-	-	-
BA	6,1	5,2	1,5	0,7	0,26	0,01	2,5	4,1	61	0	6,5	-	-	-	-	-	-
Bt1	6,3	5,3	1,5	0,8	0,20	0,01	2,5	4,1	61	0	5,0	137	147	70	12,4	1,58	1,21
Bt2	6,3	5,7	1,7	1,3	0,11	0,01	3,1	4,9	63	0	5,4	213	212	96	12,5	1,71	1,32
Bt3	6,4	6,0	1,1	1,6	0,05	0,01	2,8	4,3	65	0	3,5	223	223	102	14,0	1,70	1,31
Bt4	5,9	5,6	0,3	1,7	0,08	0,02	2,1	3,9	54	0	3,4	210	222	100	15,9	1,61	1,25

Ki = SiO_2/Al_2O_3; Kr = SiO_2/R_2O_3; - Análise não determinada.

CONCLUSÕES

1. A radiação solar, a declividade e o aspecto foram os atributos topográficos mais relacionados com as diferenças entre os perfis de solos.

2. Os atributos topográficos estudados e analisados pelas técnicas multivariadas apresentaram-se efetivos para a distinção entre os perfis de Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e os de Argissolos Vermelhos eutróficos, exceto o perfil P7 (PVe).

3. Estudos envolvendo a influência da radiação solar na pedogênese são escassos em condições tropicais. Assim, embora menos atuante em regiões tropicais, a radiação solar determinou diretamente na diferenciação dos solos da área estudada.

LITERATURA CITADA

BEAUDETTE, D.E. & O'GEEN, A.T. Quantifying the aspect effect: an application of solar radiation modeling for soil survey. Soil Sci. Soc. Am. J., 73:1345-1352, 2009.

BIRKELAND, P.W. Soils and geomorphology. 3.ed. New York, Oxford University Press, 1999. 430p.

BIRKELAND, P.W.; SHROBA, R.R.; BURNS, S.F.; PRICE, A.B. & TONKIN, P.J. Integrating soils and geomorphology in mountains - an example from the Front Range of Colorado. Geomorphology, 55:329-344, 2003.

BREDJA, J.J.; MAUSBACH, M.J.; GOEBEL, J.J.; ALLAN, D.L.; DAO, T.H.; KARLEN, D.L.; MOORMAN, T.B. & SMITH, J.L. Estimating surface soil organic carbon content at a regional scale using the national resource inventory. Soil Sci. Soc. Am. J., 65:842-849, 2001.

CARTER, B.J. & CIOLKOSZ, E.J. Slope gradient and aspect effects on soils developed from sandstone in Pennsylvania. Geoderma, 49:199-213, 1991.

CHEN, X.F.; CHEN, J.M.; AN, S.Q. & JU, W.M. Effects of topography on simulated net primary productivity at landscape scale. J. Environ. Manage., 85:585-596, 2007.

DANIELS, W.L.; EVERETT, C.J. & ZELAZNY, L.W. Virgin hardwood forest soils of the Southern Appalachian Mountains: I. Weathering, mineralogy, and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:730-738, 1987.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS - DRM-RJ. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro na Escala 1:50.000. Folhas: Miracema e São João do Paraíso. 1980.

DUBAYAH, R. & RICH, P.M. Topographic solar radiation models for GIS. Intern. J. Geogr. Inf. Syst., 9:405-413, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERREIRA, F.P.; AZEVEDO, A.C.; WAPPLER, D.; KANIESKI, A.J.; GIRELLI, D. & PEDROTTI, J. Exposição solar e propriedades do solo em Santa Maria - RS. R. Bras. Agroci., 11:377-381, 2005.

FINNEY, H.R.; HOLOWAYCHUK, N. & HEDDLESON, M.R. The influence of microclimate on the morphology of certain soils of the Allegheny plateau of Ohio. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26:287-292, 1962.

FRANZMEIER, D.P.; PEDERSEN, E.J.; LONGWELL, T.J.; BYRNE, J.G. & LOSCHE, C.K. Properties of some soils in the Cumberland Plateau as related to slope, aspect, and position. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33:755-761, 1969.

FU, P. & RICH, P.M. Design and implementation of the solar analyst: An arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales. In: ANNUAL ESRI USER CONFERENCE, 19., San Diego, 1999. Proceedings... San Diego, 1999. Disponível em: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>. Acesso em 8 mar. 2012.

GALICIA, L.; LÓPEZ-BLANCO, J.; ZARCO-ARISTA, A.E.; FILIPS, V. & GARCÍA-OLIVA, F. The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forest in Mexico. Catena, 36:153-164, 1999.

HELIOS ENVIRONMENTAL MODELING INSTITUTE - HEMI. The Solar Analyst 1.0: User Manual, 2000. Disponível em: <http://www.hemisoft.com>. Acesso em 12 abr. 2006.

IQBAL, J.; READ, J.J.; THOMASSON, A.J. & JENKINS, J.N. Relationships between soil-landscape and dryland cotton lint yield. Soil Sci. Soc. Am. J., 69:872-882, 2005.

JAMMALAMADAKA, S.R. & SENGUPTA, A. Topics in circular statistics. Singapore, World Scientific Press, 2001. 322p.

KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. Geoderma, 29:27-39, 1983.

KHATTREE, R. & NAIK, D.N. Multivariate data reduction and discrimination with SAS software. Cary, SAS Institute, 2000. 558p.

KUTIEL, P.; LAVEE, H. & ACKERMANN, O. Spatial distribution of soil surface coverage on north and south facing hillslopes along a Mediterranean to extreme arid climatic gradient. Geomorphology, 23:245-256, 1998.

LOSCHE, C.K.; McCRACKEN, R.J. & DAVEY, C.B. Soils on steeply sloping landscapes in the Southern Appalachian Mountains. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34:473-478, 1970.

LOTSPEICH, F.B. & SMITH, H.W. Soils of the Palouse loess: I. The Palouse Catena. Soil Sci., 76:467-480, 1953.

MARQUÉS, M.A. & MORA, E. The Influence of aspect on runoff and soil loss in a mediterranean burnt forest (Spain). Catena, 19:333-344, 1992.

MILLER, J.O.; GALBRAITH, J.M. & DANIELS, W.L. Soil organic carbon content in frigid southern Appalachian Mountain soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:194-203, 2004.

MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A. & PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Sci. Soc. Am. J., 57:443-452, 1993.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba, Agropecuária, 2002. 478p.

RECH, J.R.; REEVES, R.W. & HENDRICKS, D.M. The influence of slope aspect on soil weathering processes in the Springerville volcanic field, Arizona. Catena, 43:49-62, 2001.

STENSVOLD, K.A. & STILES, C.A. Pedogenic development across a Wisconsin driftless area landscape. Geol. Soc. Am., 37:31-39, 2005.

THOMAS, A.L.; KING, D.; DAMBRINE, E.; COUTURIER, A. & ROQUE, J. Predicting soil classes with parameters derived from relief and geologic materials in a sandstone region of the Vosges Mountains (Northeastern France). Geoderma, 90:291-305, 1999.

THOMPSON, J.A. & KOLKA, R.K. Soil carbon storage estimation in a forested watershed using quantitative soil-landscape modeling. Soil Sci. Soc. Am. J., 69:1086-1093, 2005.

TOVAR-PESCADOR, J.; POZO-VÁZQUEZ, D.; RUIZ-ARIAS, J.A.; BATLLES, J.; LÓPEZ, G. & BOSCH, J.L. On the use of the digital elevation model to estimate the solar radiation in areas of complex topography. Meteorol. Appl., 13:279-287, 2006.

van BOXEL, J.H. Modelling global radiation for the Portofino area in Italy. Amsterdam, Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics - IBED, University of Amsterdam, 2002. 22p.

WALKER, P.H.; HALL, G.F. & PROTZ, R. Relation between landform parameters and soil properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32:101-104, 1968.

WILSON, J.P. & GALLANT, J.C. Digital terrain analysis. In: WILSON, J.P. & GALLANT, J.C., eds. Terrain analysis: Principles and applications. New York, John Wiley & Sons, 2000. p.1-27.