

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS NA RELAÇÃO SOLO-SUPERFÍCIE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO, JABOTICABAL (SP)⁽¹⁾

T. C. T. PISSARRA⁽²⁾, W. POLITANO⁽³⁾ & A. S. FERRAUDO⁽⁴⁾

RESUMO

Com a análise das características morfométricas procura-se entender a relação solo-superfície, em decorrência dos processos erosivos sobre estruturas e litologias variadas. Neste trabalho, objetivou-se avaliar as características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude, em Latossolo Vermelho-Escuro e Argissolo Vermelho-Amarelo, com vistas ao planejamento agroambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, município de Jaboticabal, SP. O estudo foi baseado em fotografias aéreas, pancromáticas, verticais na escala 1:35.000 da região administrativa de Ribeirão Preto. Com técnicas de fotointerpretação, foram traçadas a rede de drenagem e respectivas microbacias hidrográficas, onde as variáveis selecionadas foram determinadas. As classes de risco de degradação, resultando no uso potencial do solo, foram determinadas de acordo com o coeficiente de rugosidade. As características do padrão de drenagem e do relevo repercutiram no comportamento hidrológico e litológico das microbacias hidrográficas, possibilitando a diferenciação entre as unidades de solos. A densidade de drenagem e a amplitude altimétrica foram as características que mais contribuíram para o poder discriminatório na relação solo-superfície. Na análise conjunta do potencial de uso do solo, verificou-se, principalmente, adequação para agricultura nos Latossolos e pecuária e, ou, reflorestamento nos Argissolos.

Termos de indexação: fotointerpretação, análise ambiental.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Produção Vegetal da Universidade Estadual Paulista – UNESP. Recebido para publicação em dezembro de 2002 e aprovado em dezembro de 2003.

⁽²⁾ Engenheira-Agrônoma, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP. Câmpus de Jaboticabal, CEP 14884-900 Jaboticabal (SP). Bolsista da CAPES. E-mail: pissarra@fcav.unesp.br

⁽³⁾ Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural, FCAV/UNESP. E-mail: walter.politano@itelefonica.com.br

⁽⁴⁾ Professor Assistente, Departamento de Ciências Exatas, FCAV/UNESP. E-mail: ferraudofcav@fcav.unesp.br

SUMMARY: *EVALUATION OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE SOIL-LANDSCAPE RELATIONSHIP AT CÓRREGO RICO WATERSHED, JABOTICABAL (SP), BRAZIL*

The analysis of quantitative geomorphologic characteristics is concerned with understanding the soil-landscape relationships, resultant of erosive processes on diverse structures and lithologies. The main objective of this study was to evaluate the morphometric characteristics of the drainage pattern and relief in second order watersheds of the Córrego Rico Watershed in Jaboticabal County, São Paulo State, Brazil, covered by Oxisols and Ultisols. The study was based on vertical aerial photographs in a 1:35.000 scale. Photointerpretation techniques were used to draw the drainage network and respective hydrographic basins, where selected variables were evaluated. Classes of degradation risk, which determined the potential soil were established according to the roughness coefficient. The drainage pattern and relief characteristics strongly influenced the hydrology and geology of the hydrographic basins, and allowed the differentiation between soil units. Drainage density and relief were the characteristics that most contributed to the discrimination of the watersheds regarding soil-landscape relationship. A joint analysis of the potential soil use for microbasins indicated Oxisols for agricultural use and Ultisols for pasture and forestation.

Index terms: drainage basin, photointerpretation, landscape.

INTRODUÇÃO

A interpretação geomorfológica em pesquisas realizadas sobre a aplicabilidade dos índices e, ou, características morfométricas, tanto na abordagem linear como adimensional, traz informações relevantes na relação solo-superfície. Este estudo aborda pedologia, relevo e rede hidrográfica, com os consequentes processos ambientais, normalmente multivariados, e descreve a dinâmica das drenagens superficiais e as formas topográficas, analisando diversas questões geomorfológicas. Desta forma, tem sido realizada para retratar as condições do ambiente (Politano, 1992; Marques Jr., 1995) e formular novas abordagens, que apontem alternativas para a intervenção do homem na paisagem (Christofolletti, 1974).

A bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade geomorfológica fundamental, porque suas características governam, no seu interior, todo o fluxo superficial da água. Assim, vem sendo considerada uma unidade territorial ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais (Christofolletti, 1978; Politano, 1992; Pissarra, 1998).

Primeiramente, é necessária uma análise morfológica da bacia hidrográfica, para que as formas possam ser separadas, descritas quantitativamente e comparadas de região para região. Em seguida, estuda-se a formação da bacia hidrográfica, que depende da natureza dos processos de escoamento e infiltração da água das chuvas, porque a relação infiltração/deflúvio influencia, de modo determinante, a ação de escavamento do vale e elucida a relação entre a rede de drenagem e a bacia por ela drenada. O material de origem e os detritos das rochas intemperizadas associados ao escoamento da água na superfície terrestre são os principais agentes na

formação de encostas, e todo esse processo é modificado por erosão e deposição, estabelecendo o equilíbrio entre a energia e resistência, formando a paisagem (Toy, 1988).

Neste contexto, as características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre. Portanto, estão entre as classes de informações morfológicas que determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens, como relatam estudos clássicos desenvolvidos por Horton (1945), Strahler (1957), França (1968), Christofolletti (1978).

As características do padrão de drenagem repercutem no comportamento hidrológico e litológico de cada unidade de solo. Em locais onde a infiltração é mais dificultada, ocorre maior escoamento superficial, sendo possível maior esculturação da rede hidrográfica, tendo como consequência uma densidade de drenagem mais alta. Demattê & Demétrio (1996a,b) analisaram estas características na discriminação de unidades de solos e concluíram que há estreita correlação entre a densidade de drenagem e determinados atributos morfológicos, químicos e mineralógicos, ligados à intensidade de intemperismo dos solos estudados.

As características do relevo caracterizam diferentes compartimentos da paisagem, onde ocorrem diversos processos superficiais e subsuperficiais, como o fluxo de materiais na superfície (erosão) e em profundidade (infiltração, lixiviação e translocação) (Abrahão & Mello, 1988).

O risco de degradação ambiental em bacias hidrográficas pode ser estimado pelo coeficiente de

rugosidade (CR), obtido do produto entre a densidade de drenagem e a declividade média da microbacia (Campos, 1997; Rocha, 1997). Comparando resultados de CR, Campos (1997) determinou classes de risco de degradação resultando no uso potencial do solo para a agricultura, pecuária ou reflorestamento, e observou que quanto maior CR, maior será o risco de degradação na microbacia.

O emprego de fotografias aéreas tem sido de grande valia, principalmente pela redução do tempo do trabalho de campo e custos. A fotointerpretação da paisagem terrestre indica os elementos ligados à topografia e solo, os quais podem ser avaliados no âmbito da bacia hidrográfica por suas características morfométricas, como descrevem trabalhos de Palla (1994) e Silva (1999) e Pissarra (2002).

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo e suas relações com a distribuição do solo em microbacias hidrográficas do Córrego Rico, Jaboticabal, SP. Procurou-se, também, detectar as possibilidades e limitações quanto ao uso potencial do solo, definido de acordo com o coeficiente de rugosidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, afluente do rio Mogi Guaçu, município de Jaboticabal, São Paulo, por sua alta representatividade na região, destacando-se por ser a principal fonte de água superficial para o abastecimento de água para a cidade de Jaboticabal. Apresenta extensão de aproximadamente 541 km², situada entre as latitudes 21° 10' S e 21° 28' S e longitude 48° 10' WGr e 48° 35' WGr. O clima é classificado, segundo o sistema de Köppen, em Cwa, clima mesotérmico de inverno seco, com precipitação média entre 1.100 e 1.700 mm anuais e temperaturas médias do mês mais quente de 22 °C e do mês mais frio 18 °C.

A área está localizada no Planalto Ocidental Paulista, representado pelo reverso da *cuesta* interna, marcado pelas escarpas arenítico-basálticas, que delimitam a borda do Planalto de Cravinhos, São Simão e Jataí. Esta parte do planalto apresenta relevo na forma subtabular mantido por basaltos capeados de arenito Bauru, denominado planalto de Jaboticabal, onde se podem distinguir duas áreas morfológicas distintas: as *cuestas* de Monte Alto e o planalto colinoso (São Paulo, 1974). Os principais solos foram classificados, segundo Oliveira et al. (1999), em Latossolos Vermelhos distróficos A moderado textura média relevo plano e suave ondulado (LV); Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos textura arenosa/média e média relevo

suave ondulado (PVA3), e Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos abruptos textura arenosa/média relevo suave ondulado e ondulado (PVA4). A vegetação natural original é do tipo Floresta Latifoliada Tropical e, atualmente, a cobertura vegetal se manifesta com capoeiras e campos de pastoreio e culturas anuais e permanentes, destacando-se a cana-de-açúcar e pomares de citrus.

As fotografias aéreas verticais, com escala aproximada 1:35.000, do levantamento de cobertura aerofotogramétrica realizado na região em 1983, foram empregadas como material básico. O mapa da rede de drenagem, com os canais temporários e permanentes, foi decalcado com a utilização de estereoscópios de espelhos, enquanto as cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia de 1971, escala 1:50.000, foram utilizadas como material auxiliar para a tomada de cotas.

A classificação dos canais de drenagem e respectivas microbacias hidrográficas foi estabelecida pelo sistema de Horton, modificado por Strahler (1957). A linha de divisores topográficos, limites da microbacia e respectivos canais de drenagem foram identificados mediante a observação estereoscópica. Para a coleta de dados foram amostradas todas as microbacias de 2ª ordem, sendo 16 microbacias no Latossolo Vermelho (LV), 23 microbacias no Argissolo Vermelho-Amarelo relevo suave ondulado (PVA3) e 46 microbacias no Argissolo Vermelho-Amarelo relevo ondulado (PVA4), totalizando 85 microbacias.

Primeiramente, foram determinadas as características: área da bacia (A), comprimento da rede de drenagem (Cr), perímetro da bacia (P) e maior comprimento da bacia (C) utilizando-se o planímetro, curvímetro e escalímetro para a coleta de dados. Posteriormente, as bacias foram avaliadas por meio de características morfométricas (Quadro 1).

Dentre as características morfométricas avaliadas, o coeficiente de rugosidade (CR), de acordo com Sicco Smit (Rocha, 1997), direciona o uso potencial do solo em microbacias hidrográficas. Neste trabalho, foram definidas quatro classes (A, B, C e D), considerando o cálculo da amplitude e o intervalo de domínio entre os valores de CR obtidos em todas as microbacias avaliadas. Determinou-se para a Classe A (solos apropriados para a agricultura) CR < 23; para a Classe B (solos apropriados para pastagens/pecuária) CR entre 23 e 43, inclusive; para a Classe C (solos apropriados para pastagem/reflorestamento) CR entre 44 e 63, e para a Classe D (solos apropriados para reflorestamento) CR > 63.

Os resultados foram submetidos à análise estatística univariada com o propósito de avaliar os diversos aspectos relacionados com a variabilidade das características morfométricas nas microbacias hidrográficas de 2ª ordem, em cada unidade de solo

Quadro 1. Características morfométricas avaliadas nas microbacias de 2ª ordem da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal, SP

Característica morfométrica	Símbolo	Descrição	Fórmula	Fonte
Características do padrão de drenagem				
Densidade de drenagem	Dd	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A)	$Dd = Cr / A$ (km/km ²):	Horton (1945)
Frequência de rios	F	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e a área da bacia (A)	$F = Nt/A$ (Nt/km ²)	Horton (1945)
Razão de textura	T	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e o perímetro da bacia (P)	$T = Nt/P$ (Nt/km)	França (1968); Smith (1950)
Extensão de percurso superficial	Eps	Função da densidade de drenagem	$Eps = 1/(2Dd)$ (km)	Horton (1945)
Coefficiente de manutenção	Cm	Função da densidade de drenagem proporciona uma estimativa da área mínima que é exigida para que o canal de drenagem possa se implementar e desenvolver	$Cm = (1/Dd) \times 1.000$ (m ²)	Schumm (1956)
Características do relevo ⁽¹⁾				
Amplitude altimétrica	H	Diferença de altitudes entre o ponto mais baixo da bacia (fóz) e o ponto de maior altitude	(m)	Strahler (1952)
Razão de relevo	Rr	Relação entre a amplitude altimétrica e o maior comprimento da bacia	$Rr = H/C$ (m/m)	Schumm (1956)
Razão de relevo relativo	Rrl	Relação entre a amplitude altimétrica e o perímetro da bacia	$Rrl = H/P$ (m/m)	Strahler (1958)
Índice de rugosidade	HD	Produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem	$HD = H \times Dd$	Strahler (1958)
Declividade média da encosta	DME	Inicialmente, são obtidos os valores das tangentes utilizando-se o índice de rugosidade. Em seguida, esses valores são transformados para declividade média da encosta, em percentagem	$tg \theta = 2HD$ (%)	Strahler (1958)
Coefficiente de Rugosidade	CR	Produto entre a densidade de drenagem e a declividade média da microbacia		Rocha (1997)

⁽¹⁾ No cálculo destas características, foram utilizadas as cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo - IGGSP (1971).

(Manly, 1997). Análises multivariadas de agrupamento (*Cluster* e Componentes Principais) e de fatores foram aplicadas para agrupar bacias similares e compreender a estrutura das características das bacias. Para isto, foi utilizado o programa STATÍSTICA (Versão 6.0), desenvolvido pela SAS INSTITUTE (2001). A análise de variância foi empregada usando o teste de Tukey a 5 %, além do programa SAS (Versão 6.11) (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A rede de drenagem e os principais solos de ocorrência na Bacia Hidrográfica do Córrego Rico foram analisados e, de acordo com o mapa elaborado, observa-se que, na parte oeste, a mais alta da paisagem, a montante desta bacia, predominam os Argissolos (PVA3 e PVA4) com áreas de relevo ondulado. Nas partes mais baixas da paisagem, apresentam-se os Latossolos (LV), com áreas de relevo suave ondulado.

Os valores da média, erro-padrão e coeficiente de variação (CV) das características do padrão de drenagem e do relevo das microbacias de 2ª ordem de magnitude da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, nas unidades de solos LV, PVA3 e PVA4, são apresentados nos quadros 2 e 3.

A característica morfométrica dimensional “área das microbacias hidrográficas de 2ª ordem” apresentou variabilidade alta (superior a 65 %), mas foi eficiente na diferenciação das unidades de solos. Nos Latossolos, as microbacias mostraram valores médios de 10 km² e, nos Argissolos, valores de 2,1 e 0,8 km², respectivamente para as unidades PVA3 e PVA4; isto indica, de modo geral, menor escoamento total da água nos Latossolos, confirmando-se constatações de Strahler (1957).

As características do padrão de drenagem refletiram o processo morfogenético do terreno na escultura da paisagem (Christofolletti, 1974), revelando uma frequência, ou quantidade de cursos de água, maior nas partes mais elevadas da bacia

estudada (Quadro 2). As características do padrão de drenagem diferenciaram-se significativamente ($P < 0,05$) entre as unidades de solos, o mesmo verificado por Manzoli Jr. (1990) e Demattê & Demétrio (1996a,b). Isto se deve ao fato de que, nos Latossolos, o intemperismo é mais avançado, sendo a superfície desenvolvida sob condição de maior permeabilidade, manifestando-se, portanto, uma drenagem menos dissecada nas partes mais baixas da bacia hidrográfica (Demattê & Demétrio, 1996a).

À medida que o relevo passa de suave ondulado para ondulado, os valores médios da densidade de drenagem (Dd), frequência de rios (F) e razão de textura (T) aumentam (Quadro 2), refletindo, num mesmo ambiente climático, condições em que a infiltração da água encontra maior dificuldade. O escoamento superficial é mais intenso e provoca, conseqüentemente, maior dissecção hídrica do terreno. Os valores destas características, sendo menores nos Latossolos (LV) que nos Argissolos (PVA3 e PVA4), refletem condições de maior permeabilidade e são considerados de importância primária na análise da geomorfologia da paisagem das bacias hidrográficas (Rocha, 1997). O aumento dos valores de Dd nos Argissolos indica mudança morfológica que é esperada quando a resistência ao escavamento vertical dos vales é baixa; isto é um bom indicativo da necessidade de maiores cuidados no uso da terra.

Os valores médios da extensão do percurso superficial (Eps) e do coeficiente de manutenção (Cm), ao contrário das demais características, diminuem à medida que o relevo torna-se mais movimentado (Quadro 2). Este fato revela que, nos Argissolos, a área mínima necessária para a manutenção de um metro do canal de drenagem e o comprimento médio do percurso das águas da chuva são menores; o que contribui para o aumento do escavamento vertical dos vales, criando, conseqüentemente superfícies mais inclinadas.

As características do relevo indicam a proporção na qual o processo erosivo se desencadeia, visto que descrevem os processos relacionados com o desenvolvimento da topografia e da conformação das bacias hidrográficas. Este processo é medido pela quantidade de material removido do solo, por unidade de tempo e área, e é governado pela força de transporte que tem a água de escoamento superficial, quando o escoamento excede o limite de infiltração. Iniciam-se, assim, os processos de transporte, deposição e sedimentação das partículas do solo. Desta maneira, num terreno naturalmente exposto, este processo ocorre de maneira mais intensa, degradando mais a paisagem.

Analisando os valores médios das características do relevo (Quadro 3), pode-se observar que a inclinação dos interflúvios nos Argissolos é mais

Quadro 2. Valores da média, erro-padrão e coeficiente de variação (CV) das características do padrão de drenagem das microbacias de 2ª ordem de magnitude da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal, SP, nas três unidades de solos: LV, PVA3 e PVA4

Característica	Valor	Solo		
		LV	PVA3	PVA4
Área (A) (km ²)	Média	10,3 a ⁽¹⁾	2,1 b	0,8 b
	Erro-padrão	1,7	0,5	0,1
	C.V. (%)	66,4	120,4	65,4
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km ²)	Média	0,8 a	1,7 b	2,2 c
	Erro-padrão	0,1	0,1	0,1
	C.V. (%)	32,6	40,6	27,6
Frequência de Rios (F) (Nt/km ²)	Média	0,6 a	4,1 b	7,1 c
	Erro-padrão	0,1	0,8	0,7
	C.V. (%)	48,7	98,9	63,2
Razão de Textura (T) (Nt/km)	Média	0,4 a	0,9 b	1,2 c
	Erro-padrão	0	0,1	0,1
	C.V. (%)	29,3	44,9	26,9
Extensão do Percurso Superficial (Eps) (km)	Média	0,7 a	0,3 b	0,3 c
	Erro-padrão	0,1	0	0
	C.V. (%)	32,6	40,6	27,6
Coeficiente de Manutenção (Cm) (m ²)	Média	1341,5 a	682,3 b	494,5 c
	Erro-padrão	93,6	49,4	20,0
	C.V. (%)	27,9	34,7	27,5

⁽¹⁾ Médias com mesma letra não diferem estatisticamente a 5 % pelo teste de Tukey entre microbacias hidrográficas dentro de cada unidade de solo.

Quadro 3. Valores da média, erro-padrão e coeficiente de variação (CV) das características do relevo das microbacias de 2ª ordem de magnitude da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal, SP, nas três unidades de solos: LV, PVA3 e PVA4

Característica	Valor	Solo		
		LV	PVA3	PVA4
Amplitude Altimétrica (H) (m)	Média	96,7 a ⁽¹⁾	75,7 b	77,5 b
	Erro-padrão	5,9	3,4	2,9
	C.V. (%)	24,4	21,7	25,7
Razão de Relevo (Rr) (m/m)	Média	0,02 a	0,05 ab	0,08 b
	Erro-padrão	0,001	0,005	0,006
	C.V. (%)	18,8	50,6	57,7
Razão de Relevo Relativo (Rrl) (m/m)	Média	0,008 a	0,016 b	0,022 c
	Erro-padrão	0,001	0,002	0,001
	C.V. (%)	41,4	41,8	26,4
Declividade Média da Encosta (%)	Média	15,0 a	24,9 b	42,6 c
	Erro-padrão	0,9	2,0	2,1
	C.V. (%)	23,3	38,6	42,6
Coeficiente de Rugosidade (CR)	Média	5,7 a	21,3 ab	35,6 b
	Erro-padrão	0,8	3,5	3,9
	C.V. (%)	54,7	77,9	74,5

⁽¹⁾ Médias com mesma letra não diferem estatisticamente a 5 % pelo teste de Tukey entre microbacias hidrográficas dentro de cada unidade de solo.

acentuada, pois, embora apresentem menor amplitude altimétrica, revelam maior declividade média, graças à menor extensão das encostas. Como resultante, ocorre maior velocidade do escoamento superficial da água das chuvas, desencadeando o fenômeno de maior esculturação da paisagem, o mesmo observado por Zimback & Carvalho (1996).

A classificação do uso potencial do solo nas microbacias hidrográficas de 2ª ordem, considerando o cálculo da amplitude e intervalo de domínio entre os valores de coeficiente de rugosidade (CR), é apresentada no quadro 4.

Constata-se que os Latossolos são mais adequados às atividades agrícolas e urbanas. Nos Argissolos, devem predominar as atividades pecuárias e de reflorestamento, mas não dispensando a adoção de práticas conservacionistas mais restritivas, especialmente no PVA4.

O fenograma apresentado na figura 1 refere-se à análise do efeito das características do padrão de drenagem e do relevo sobre a formação dos agrupamentos das microbacias de 2ª ordem nas unidades de solos (LV, PVA3 e PVA4).

Neste fenograma, pela distância euclidiana apresentada na escala de 0 a 14, observa-se a definição de dois grupos distintos de microbacias hidrográficas, Grupo 1 e Grupo 2. O grupo 1 é caracterizado, principalmente, pelas bacias nos Latossolos. Este agrupamento é mais definido que o Grupo 2, pois expressa bem a similaridade das

microbacias quanto às características do padrão de drenagem e do relevo nesta unidade.

O grupo 2 é caracterizado, principalmente, pelas microbacias hidrográficas na unidade Argissolos. Verifica-se, assim, o poder discriminatório das características avaliadas. Essas microbacias apresentam menor área e densidade de drenagem mais elevada, e, embora em áreas morfológicas diferentes, as bacias LV6, LV15 e LV14 encontram-se neste grupo, visto que estão localizadas na área de transição (Figura 1).

As microbacias PVA33 (nascente do Córrego Rico) e PVA44 formam um agrupamento bem distinto, indicando que as bacias do grupo 2 (esquerda no fenograma), localizadas a oeste na bacia hidrográfica do Córrego Rico, tendem a sofrer processo erosivo mais intenso, pois se encontram nas partes altas da bacia, em áreas de declive acentuado (Figura 1).

Na análise de fatores, os autovalores superiores à unidade foram selecionados: 5,53 para o fator 1 e 1,61 para o fator 2. Os dois fatores (F1 e F2) retêm 79,34 % da variabilidade contida nas variáveis originais. No quadro 5, constam os modelos das variáveis em função destes fatores.

Os coeficientes de F₁ e F₂ em cada modelo indicam a quanto cada variável está relacionada com cada fator. O fator 1 tem correlação positiva e forte com Dd, F, T e Rrl e negativa e forte com Eps (r > 0,80), enquanto o fator 2 tem alta correlação negativa com H (Quadro 5).

Quadro 4. Classificação do uso potencial do solo nas microbacias hidrográficas de 2ª ordem da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico

Classificação do uso potencial do solo ⁽¹⁾							
Latossolo				Argissolo			
Microbacia n°	CR LV	Microbacia n°	CR PVA3	Microbacia n°	CR PVA4	Microbacia n°	CR PVA4
L1	4,2 A	P10	7,8 A	P29	49,8 C	P59	12,0 A
L2	5,2 A	P11	5,4 A	P30	37,1 B	P60	39,5 B
L3	3,6 A	P12	11,8 A	P31	48,0 C	P61	31,1 B
L4	5,6 A	P16	10,4 A	P32	47,4 C	P62	27,4 B
L5	9,3 A	P17	6,7 A	P33	149,5 D	P63	42,9 B
L6	10,8 A	P18	10,2 A	P34	17,4 A	P64	24,9 B
L7	4,9 A	P19	9,0 A	P35	49,2 C	P65	10,4 A
L8	2,5 A	P20	10,0 A	P36	37,9 B	P66	42,6 B
L9	3,6 A	P21	27,3 B	P37	50,5 C	P67	13,8 A
L13	7,7 A	P22	29,2 B	P41	20,8 A	P68	41,6 B
L14	5,2 A	P23	70,5 D	P42	37,9 B	P69	20,3 A
L15	13,8 A	P24	28,4 B	P43	39,0 B	P70	61,5 C
L82	4,8 A	P25	46,7 C	P44	83,6 D	P71	25,7 B
L83	3,3 A	P26	34,4 B	P45	20,9 A	P72	33,4 B
L84	4,8 A	P27	44,9 C	P46	52,1 C	P73	25,9 B
L85	2,6 A	P28	35,3 B	P47	32,8 B	P74	36,5 B
		P38	22,3 A	P48	20,7 A	P75	43,6 C
		P39	24,3 B	P49	16,0 A	P76	37,9 B
		P40	17,0 A	P50	28,2 B	P77	16,8 A
		P54	13,6 A	P51	22,2 A	P78	16,8 A
		P55	4,7 A	P52	29,5 B	P79	11,7 A
		P56	8,6 A	P53	31,2 B	P80	7,6 A
		P57	10,7 A	P58	29,2 B	P81	11,1 A

⁽¹⁾ A - solos apropriados para a agricultura; B - solos apropriados para pastagens (pecuária); C - solos apropriados para pastagem/reflorestamento; D - solos apropriados para reflorestamento; CR - Coeficiente de rugosidade (Rocha, 1997).

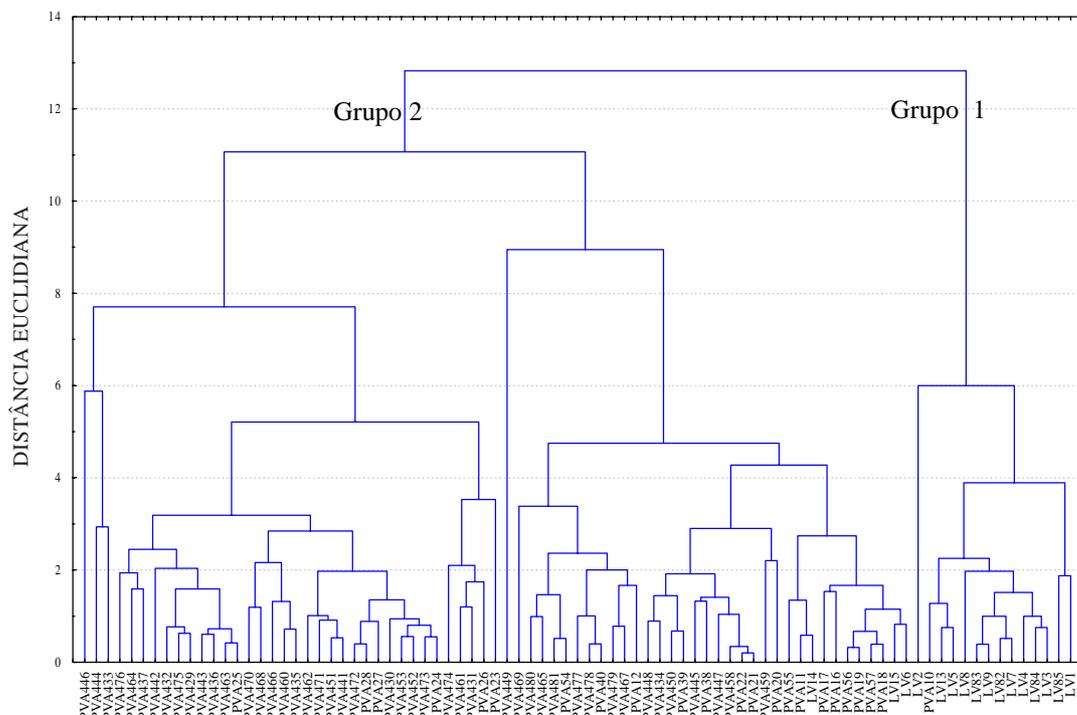


Figura 1. Fenograma da análise de cluster das características morfológicas das microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, SP.

Os valores entre parênteses são as comunalidades (Quadro 5), isto é, a variabilidade de cada variável contida nos dois fatores. As variáveis que mais contribuem para a formação dos fatores F1 e F2 são: Dd, T, Eps, H e CR, apresentando comunalidades com valores relativamente elevados ($> 0,80$). O fator 1 expressa as características do padrão de drenagem, com maior peso na densidade de drenagem (Dd), enquanto o fator 2 reflete as características do relevo, com maior peso para a amplitude altimétrica (H) (Quadro 5).

A quantificação morfométrica, verificada na análise de fatores, estabelece que as características do padrão de drenagem e do relevo diferem entre as unidades Latossolos (L) e Argissolos (P3 e P4) no

âmbito das bacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude, agrupando-as de acordo com a similaridade de suas características, razão por que define melhor a relação solo-superfície (Figura 2).

Os resultados indicam que as microbacias hidrográficas nas unidades Argissolos (P3 e P4), isto é, a montante da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, estão sujeitas a um processo erosivo mais intenso. Recomenda-se, portanto, um planejamento conservacionista ligado ao desenvolvimento agropecuário e à adoção de tecnologias e práticas agrícolas. O estabelecimento de áreas de preservação permanente ao longo da rede de drenagem da bacia hidrográfica é também necessária.

Quadro 5. Modelos das variáveis em função dos Fatores F1 e F2

Variável ⁽¹⁾	Modelo	
A	= $-0,7684 F_1 - 0,2645 F_2$	(0,66)
Dd	= $0,9395 F_1 - 0,0067 F_2$	(0,88)
F	= $0,8050 F_1 - 0,2748 F_2$	(0,72)
T	= $0,8939 F_1 - 0,1249 F_2$	(0,81)
Eps	= $-0,9169 F_1 + 0,1111 F_2$	(0,85)
H	= $-0,3605 F_1 - 0,8913 F_2$	(0,92)
Rr	= $0,6336 F_1 + 0,4890 F_2$	(0,64)
Rrl	= $0,8268 F_1 + 0,2778 F_2$	(0,76)
HD	= $0,7428 F_1 + 0,5737 F_2$	(0,88)

⁽¹⁾ A = área; Dd = densidade de drenagem; F = frequência de rios; T = razão de textura; Eps = extensão do percurso superficial; H = amplitude altimétrica; Rr = razão de relevo; Rrl = razão de relevo relativo; HD = índice de rugosidade.

CONCLUSÕES

1. A análise quantitativa das características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo possibilitou a diferenciação das áreas de Latossolos e Argissolos.

2. O uso potencial do solo, definido de acordo com o coeficiente de rugosidade, mostrou-se distinto entre unidades de solos. Na análise conjunta, verificou-se, principalmente, adequação das microbacias hidrográficas do Córrego Rico para agricultura nos Latossolos e pecuária e, ou, reflorestamento nos Argissolos.

3. Dentre as diversas características, a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica foram as mais consistentes na diferenciação das microbacias entre as unidades de solos.

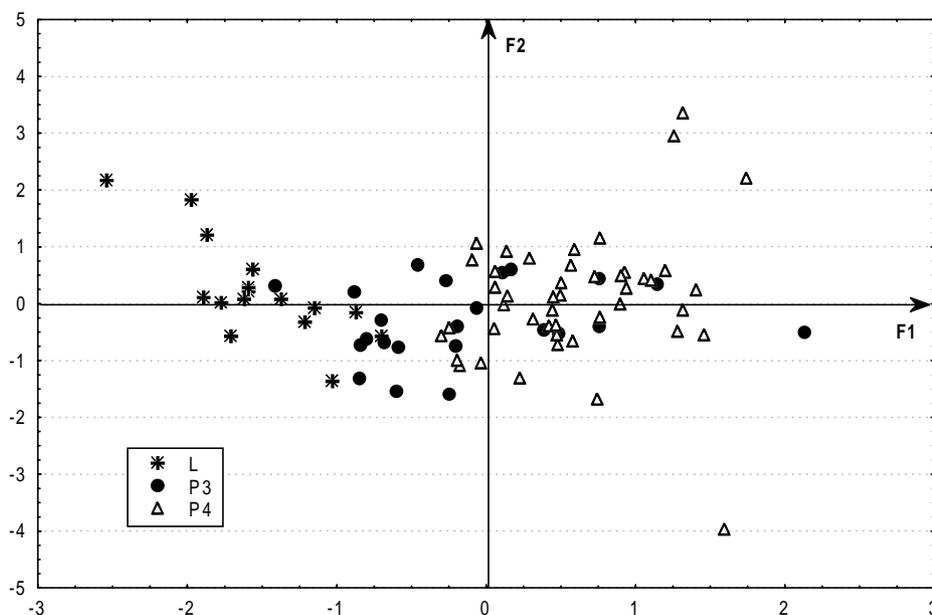


Figura 2. Agrupamento das bacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude, de acordo com a análise de fatores. L: Latossolo Vermelho, P3: Argissolo Vermelho-Amarelo relevo suave ondulado e P4: Argissolo Vermelho-Amarelo relevo ondulado.

LITERATURA CITADA

- ABRAHÃO, W.A.P. & MELLO, J.W.V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, SBRAD, 1988. 251p.
- CAMPOS, S. Diagnóstico físico-conservacionista da Bacia do Rio Lavapés-Botucatu (SP). Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 1997. 140p. (Tese de Livre-Docência)
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1974. 149p.
- CHRISTOFOLETTI, A. Morfologia de bacias de drenagem. *Not. Geomorfol.*, 18:130-132, 1978.
- DEMATTE, J.A.M. & DEMÉTRIO, V.A. Fotointerpretação de padrões de drenagem em amostras circulares na caracterização de solos basálticos do estado do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:109-115, 1996a.
- DEMATTE, J.A.M. & DEMÉTRIO, V.A. Padrões de drenagem em áreas de solos desenvolvidos de rochas vulcânicas ácidas na região de Guarapuava (PR). *R. Bras. Ci. Solo*, 20:305-311, 1996b.
- FRANÇA, G.V. Interpretação fotográfica de bacias e de rede de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba, SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1968. 151p. (Tese de Doutorado)
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56:275-370, 1945.
- MANLY, B.F.J. *Multivariate statistical methods*. 2.ed. Londres, Chapman & Hall, 1997. 215p.
- MANZOLI Jr., W. Unidades de solos caracterizadas por ocupação, rede de drenagem e relevo de bacias hidrográficas no município de Sud-Mennucci, SP. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 1990. 127p. (Tese de Doutorado)
- MARQUES Jr., J. Características dos solos em relação à forma e evolução de uma vertente em Monte Alto, SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995, 187p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil.. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999.
- PALLA, V.L. Estudo morfométrico por fotointerpretação sobre a similaridade das microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude da região de Jales - SP. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1994. 113p. (Tese de Mestrado)
- POLITANO, W. Estudo da adequabilidade do emprego de bacias hidrográficas de 3ª, 2ª, 1ª ordem de magnitude na análise morfométrica aplicada a solos. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1992. 331p. (Tese de Livre-Docência)
- PISSARRA, T.C.T. Avaliação quantitativa das características geomorfológicas de microbacias hidrográficas 1ª ordem de magnitude em quatro posições do sistema natural de drenagem. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1998. 124p. (Tese de Mestrado)
- PISSARRA, T.C.T. Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-Landsat e fotografias aéreas verticais. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2002. 132p. (Tese de Doutorado)
- ROCHA, J.S.M. *Manual de projetos ambientais*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 423p.
- SÃO PAULO. Instituto Geográfico e Geológico. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1974. (Coletânea de Cartas)
- SAS INSTITUTE. *User Guide (Release 6.11)*. Cary, 1995. 430p.
- SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in bedlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 67:597-646, 1956.
- SMITH, K.G. Standars for grading texture of erosional topography. *Am. J. Sci.*, 248:655-668, 1950.
- SILVA, H.R. Influência da posição da microbacia hidrográfica de 2ª ordem de magnitude no sistema natural de drenagem sobre a variabilidade das suas características morfométricas. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1999. 186p. (Tese de Doutorado)
- STATSOFT INC. *STATISTICA (data analysis software system)*, version 6.0, 2001 www.statsoft.com.
- STRAHLER, A.N. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 69:279-300, 1958.
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys. Un.*, 38:913-920, 1957.
- STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 63:111-1141, 1952.
- TOY, T.J. Topographic reconstruction: the foundation of reclamation. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, SBRAD, 1988. 251p.
- ZIMBACK, C.R.L. & CARVALHO, A.M. Caracterização hídrica dos solos de três bacias hidrográficas na região de Marília (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 20:459-466, 1996.

