

CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM E FORMAS DE RELEVO EM TRÊS UNIDADES DE SOLO DE PIRACICABA, SP¹

DELMAR ANTONIO BANDEIRA MARCHETTI²

RESUMO - Estudou-se, através do uso de fotografias aéreas e controle de campo, a significância de atributos do relevo (razão de relevo, declive máximo de encosta e razão do declive). Tomou-se por base o levantamento detalhado de solos, tendo sido escolhidas três séries de solo, compostas de perfis com morfologia e propriedades distintas. Os solos foram provenientes de sedimentos arenosos do grupo "Tubarão" e de sedimentos finos do grupo "Estrada Nova", formação "Corumbataí". Representando cada série de solo, foram escolhidas duas bacias hidrográficas de terceira ordem, relativamente homogêneas e geometricamente semelhantes, nas quais analisaram-se as características do padrão de drenagem e atributos do relevo. As características das bacias hidrográficas e das redes de drenagem, bem como as do relevo, variam com a natureza do solo; dentre as características quantitativas das redes de drenagem que melhor evidenciaram as diferenças entre os três solos, incluem-se a frequência de rios, a razão de textura e a densidade de drenagem determinada em amostras circulares; os três índices de relevo representados pela razão de relevo, declive máximo da encosta e razão de declive mostraram-se dignos de confiança para a distinção entre solos.

Termos para indexação: fotointerpretação, bacias hidrográficas, rede de drenagem, relevo, solos, relação solo/paisagem.

CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF THE DRAINAGE NETWORK AND FORMS OF RELIEF IN THREE SOILS

ABSTRACT - Through the use of aerial photographs and ground truthing, the significance of the attributes of relief (ratio of relief, maximum slope of the hillside, and ratio of slope) was studied. The study was based on a detailed soil survey. Three units of soil were chosen. They are composed of profiles with distinct morphology and properties. The soils are from sandy sediments of the group "Tubarão" and from clayey sediments of group "Estrada Nova", "Corumbataí" formation to characterize each soil unit. Two third-order watersheds, relatively homogeneous and geometrically similar, were chosen. They were analysed for their drainage patterns and attributes of relief. The characteristics of the watersheds, and of the drainage networks, as well as the ones of relief, vary with the nature of the soil. Within the quantitative characteristics of the drainage networks, the ones that better emphasized the differences between the three soils are: the frequency of the rivers, the ratio of the average texture, and the density of the drainage determined in circular samples. The three indices of relief, represented by the ratio of relief, maximum slope of the hillside, and the ratio of slope, showed to be reliable, in order to distinguish soils.

Index terms: photo-interpretation, watersheds, drainage network, relief, soils, soil geomorphic relationships.

INTRODUÇÃO

É indiscutível a necessidade e a importância do mapeamento de solos de uma região. Atualmente, a maioria dos levantamentos de solos é realizada por meio da fotointerpretação e controle de campo.

O estudo de bacias hidrográficas e das redes de drenagem há muitos anos desperta o interesse de pesquisadores em ciências do solo. Atualmente, esses estudos vêm se intensificando cada vez mais, principalmente por parte de engenheiros, geólogos

e hidrólogos.

Engel (1942) observou que todo rio consiste em um tronco principal alimentado por vários ramos, formando em conjunto um sistema de vales comunicantes. Horton (1945) designou os tributários menores, não ramificados, como sendo de primeira ordem e atribuindo ao rio principal a ordem mais elevada. Para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, o mesmo propôs duas relações: a densidade de drenagem e a frequência de rios. A densidade de drenagem (D_d), definida como o comprimento médio dos rios, por unidade de área, e expressa pela equação: $D_t = L_t/A$, onde L_t é o comprimento total de rios das diversas ordens e A é a área da bacia, ambos expressos em unidades do

¹ Aceito para publicação em 19 de abril de 1980.

² Eng.º Agr.º, Ph.D., Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) - EMBRAPA, Caixa Postal 70.0023, CEP 70.000 - Brasília, DF.

mesmo sistema. A frequência de rios (Fr) é expressa pela equação: $Fr = N/A$, onde N é o número total de rios das diversas ordens e A , a área da bacia de drenagem.

Com o propósito de expressar o espaçamento entre os canais de drenagem, Smith (1950) propôs a razão de textura topográfica T , expressa pela equação: $T = N/P$, onde N é o número de canais de drenagem permanentes, ou temporâneos, e P o comprimento do perímetro da bacia. Para caracterizar a textura topográfica de uma dada área como um todo, levando em consideração o tamanho de cada bacia, propôs o uso do valor médio ponderado, através da seguinte equação: $T_m = \sum (A \times T)/A$ onde T_m é o valor médio ponderado da razão de textura topográfica, A a área e T a razão de textura topográfica de cada bacia. A fim de classificar a textura topográfica em classes, Smith (1950) propôs: grosseira (menos de 4,0), média (entre 4,0 e 10,0) e fina (mais de 10,0). A análise do relevo (Ray 1963) constitui a base da fotogeologia, porém, ela não pode representar, por si só, toda a interpretação fotogeológica, pois existem outras informações de primeira ordem, como padrão de drenagem e vegetação.

Ray & Fischer (1960) fizeram medições de comprimentos de rios e de áreas de drenagem, sobre mapas básicos de drenagem, decalcados de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 km². Concluíram que as amostras circulares fornecem determinações de densidade de drenagem mais consistentes. Segundo observações de Smith (1950) e Ray (1963), quanto mais elevados os valores de frequência de rios (Fr), densidade de drenagem (Dd) e textura média (T_m), tanto mais acentuado é o relevo.

A conformação do terreno, segundo Ranzani (1969), constitui um componente muito importante do sistema natural que cada solo representa. Apesar de normalmente ocorrerem diferentes solos para diferentes conformações de terreno, essa característica só é tomada como base de diferenciação entre solos quando associada a outras. As unidades de solo, segundo Smith & Aandahl (1957), têm um padrão de distribuição que se repete e está associado ao relevo. Relações entre solos e ambien-

tes existem, realmente, embora diversificadas de uma região para outra. As delimitações entre solos se fazem em correlações pré-estabelecidas entre as unidades de mapeamento e os aspectos visíveis da paisagem, com controle de campo.

Quando existe similaridade entre duas bacias hidrográficas (Strahler 1952 e 1957), as mesmas possuem uma relação fixa quanto ao relevo, comprimento ou largura da bacia e perímetro da mesma. Um indicador importante de elementos do relevo em uma bacia hidrográfica é a densidade de drenagem, definida por Horton (1945).

Schumm (1956) aplicou uma estatística simples da razão de relevo, definida como a razão entre o relevo total da bacia (diferença em elevação da foz da bacia e o começo dela) e o comprimento da bacia, medido na mais longa dimensão da bacia de drenagem. De uma maneira geral, a razão de relevo indica, segundo Strahler (1950 e 1956), todo o declive da superfície hidrográfica. É um número sem dimensão, prontamente correlacionado com outras medições que não dependem das dimensões do total da bacia de drenagem. A razão de relevo é simples de se computar e pode ser obtida mesmo onde falham informações detalhadas de topografia. Segundo o mesmo autor, somente a parte mais íngreme de uma linha do perfil do declive deveria ser medida; além do mais, afirma que a linha do perfil tem que seguir a linha verdadeira do declive, a partir do divisor para a base. Na amostragem de campo, Strahler (1956) usou somente os declives das encostas, dirigindo-se para os lados de um canal. Especificamente, foram usadas bacias de drenagem de primeira, segunda e terceira ordens. O abandono de ordens mais altas dos rios principais eliminou a leitura de declives íngremes e anormais. O declive máximo da encosta tem sido analisado por inúmeros pesquisadores, em uma grande variedade de condições geológicas e climáticas; a variância dentro da área é relativamente pequena, quando comparada com diferentes áreas.

Os perfis do declive, segundo Strahler (1956), estão em equilíbrio com os perfis do canal, para o qual os declives contribuem com seus detritos. Para uma dada área, livre dos controles estruturais sistemáticos, mas sujeita aos fatores que controlam uniformemente o clima, a vegetação, o solo e o estágio de desenvolvimento, todas as características

morfológicas tendem a atingir uma forma que independe do tempo. Os gradientes do solo e do canal, bem como a densidade de drenagem, atingem uma forma melhor adaptada à manutenção de um estado permanente na remoção de detritos. Se o tipo de ajuste acima descrito realmente existir, poder-se-ia esperar que o ângulo de declive das paredes do vale variasse sistematicamente, com a gradiente do canal na base do declive. Declives de superfícies íngremes deveriam corresponder a gradientes de canais íngremes; e baixos declives de superfície, a baixos gradientes de canal. Esta relação foi assim definida: $Rd = Dc/Ds$, onde Rd é a razão de declive, Dc o declive do canal e Ds o declive da superfície.

O presente estudo tem por objetivo determinar, através de aerofotografia e controle de campo, as características quantitativas da rede de drenagem e os índices de relevo.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição geral da área estudada

A área que serviu de base para o presente trabalho pertence à Usina Costa Pinto, localizada no Município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. De acordo com a Comissão de Solos do Centro Nacional de Ensino e Pesquisa Agrônômica (1960), essa área se situa na região fisiográfica abrangida pela Depressão Paleozóica, sub-região médio-Tietê.

O clima é do tipo mesotérmico Cwa, com temperatura média, no mês mais frio, de 18°C, e no mês mais quente, superior a 22°C. O total anual de chuva está compreendido entre 1.200 e 1.300 mm. Este tipo de clima é denominado, por Camargo & Ortolani (1964), de "tropical de altitude".

Solos

Foram três as unidades de solos utilizadas, sendo, as mesmas, geneticamente diferentes entre si, com morfologia e propriedades distintas. Estas constam da carta de solos da Usina Costa Pinto, identificadas e descritas por Ranzani et al. (1968).³

Lfa - Latossolo Vermelho-Amarelo fase arenosa

São solos desenvolvidos sobre sedimentos arenosos "Tubarão", ocupando as posições mais altas do relevo regional. O relevo é suavemente ondulado, muito longo; declividade de 3 a 8%, muito uniforme. A drenagem é boa.

O perfil, morfológicamente, é desenvolvido, caracterizado pela presença de horizonte B latossólico. Solos pardo-avermelhados, arenosos e profundos (mais de 5 m). A fertilidade é baixa e a erosão é laminar, ligeira, com sulcos rasos ocasionais.

PVA - Podzólico - Série "quebra-dente"

São solos provenientes de sedimentos do grupo "Tubarão", ocupando posição mediana no relevo regional. O relevo é normal, ondulado a forte ondulado, curto, irregular, declividade de 10 a 20%. A drenagem é moderada a boa. O perfil é bem desenvolvido, com sub-horizontes A e apresentando B textural. Cor pardo-amarelada, textura arenosa, profundidade compreendida entre 1 m e 1,50 m.

A fertilidade é baixa e a erosão é laminar, moderada a severa e em sulcos médios frequentes.

Lic - Litossolo fase substrato folhelho

São solos provenientes de sedimentos finos do grupo "Estrada Nova", formação "Corumbataí", ocupando uma posição intermediária no relevo da região. O relevo é ondulado, curto a médio, irregular com declividade até 10%. A drenagem é pobre. O perfil é constituído de solos mal desenvolvidos, apresentando cores claras, textura argila e profundidade até 30 cm. A fertilidade é baixa a média e a erosão é laminar, severa, e sulcos médios frequentes.

Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Utilizaram-se fotografias aéreas verticais, provenientes da cobertura aerofotográfica efetuada pela PROSPEC, em agosto em 1962, na escala aproximada de 1:25.000, bem como uma planta topográfica na escala de 1:20.000, com levantamento plani-altimétrico, contendo curvas de nível de equidistância vertical de 10 m. Foram empregados dois tipos de estereoscópios: um de espelho, para os trabalhos de escritório, e outro de bolso, para exame de detalhes no campo.

Através de detalhado exame dos pares estereoscópios, foram delimitadas, para cada um dos solos estudados, pequenas bacias hidrográficas, de tamanhos variáveis, mas da mesma ordem de rios (terceira ordem). Para cada unidade de solo, foram escolhidas ao acaso duas bacias hidrográficas, relativamente homogêneas e geometricamente semelhantes. Após a demarcação dos divisores de água, foi traçada a rede de drenagem completa, englobando os canais permanentes e temporários.

Em seguida, procedeu-se à transferência das áreas dos solos das cartas de solo para as fotografias aéreas. E, por último, os limites das bacias hidrográficas foram decalçados das fotografias aéreas para papel transparente, bem como suas respectivas redes de drenagem e os limites das unidades de solo.

Análise das bacias hidrográficas

Dentre os vários aspectos ou elementos analisados, procurou-se dar ênfase àqueles que pudessem ser mensurá-

³ Carta de Solos da Usina Costa Pinto (1968), datilografado (não publicado). Refere-se ao levantamento semi-detalhado, com mapa na escala 1:25.000.

veis, e cujos dados pudessem ser dignos de confiança. Com base nesses procedimentos puderam ser analisados os seguintes elementos das bacias de drenagem:

1. Representatividade: expressão em termos de percentagem da área total da bacia, ocupada pelo solo predominante.

2. Propriedades dimensionais:

- maior comprimento: medido com escala, acompanhando aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas;
- maior largura: medida com escala, transversalmente ao vale principal;
- comprimento total dos rios das diversas ordens: medido com curvímeter, acompanhando a sinuosidade dos rios, da foz até a nascente;
- perímetro: expresso pelo comprimento da linha do divisor de águas, que circunda a bacia, medido com curvímeter;
- área medida com planímetro.

3. Propriedades não dimensionais

- forma aproximada: indicada pelo contorno da bacia e referida por designação apropriada (ovalada, elíptica, periforme, trapezoidal, etc.);
- ordem da bacia: determinada pela ordem do rio principal nela contido, e que vem a ser a do segmento de ordem mais elevada, de acordo com o sistema adotado. A importância deste item reside no fato de que os dados de bacias de ordens diferentes não são diretamente comparáveis entre si;
- semelhança geométrica: avaliada para cada grupo de duas bacias, representando uma unidade de solo. Este teste de semelhança geométrica entre bacias de mesma ordem foi empregado para dar maior segurança às comparações feitas e maior consistência aos resultados.

Características do padrão de drenagem

A caracterização do padrão de drenagem foi feita segundo critérios quantitativos:

1. Freqüência de rios, densidade de drenagem e razão de textura.

Essas três características quantitativas se referem a bacias hidrográficas individuais.

Para apresentar o padrão de drenagem como um todo, foram determinadas outras duas características, a saber:

2. Razão de textura média ponderada, obtida através da fórmula já mencionada anteriormente, sendo que a razão de textura topográfica foi classificada conforme recomendação dada por França (1968), de acordo com os parâmetros: grosseira (abaixo de 2,5), média (entre 2,5 e 6,2) e fina (acima de 6,2).

3. Amostras circulares para interpretação litológica, segundo Ray & Fischer (1960), consistindo na tomada de amostras circulares homogêneas, com área de 10 km². No presente trabalho, procurou-se selecionar amostras circulares, abrangendo a maior proporção possível de cada unidade

de de solo.

Descrição do relevo

Os atributos de forma exterior ou superfície externa do corpo do solo foram descritos segundo Ranzani (1969). A razão de relevo é definida por Schumm (1956) como sendo a razão entre o relevo total de bacia (diferença entre as altitudes extremas) e o comprimento da mesma, medido na sua mais longa dimensão. Segundo Strahler (1952), a razão de relevo indica o declive total da superfície da bacia hidrográfica. É um número sem dimensão, prontamente correlacionável com outras medições, independentemente do tamanho da bacia hidrográfica.

$$Rr = \frac{\text{Maior altitude} - \text{menor altitude}}{\text{maior comprimento da bacia}}$$

Um índice significativo (Strahler 1952) de uma bacia hidrográfica é o declive da superfície (Ds). Essa determinação foi feita na encosta mais íngreme, a partir do divisor até a confluência de dois vales de primeira ordem, formando um de segunda. Em bacias hidrográficas de textura fina, o espaçamento adotado para obtenção das leituras dos declives variou de 1,5 a 3 m e nas de textura média, adotou-se 8 a 10 m. Utilizou-se o valor médio obtido do total de cada linha, como representativo do declive.

Razão do declive

A razão de declive foi definida por Horton (1945) como sendo $Rd = Dc/Ds$, onde Rd é a razão de declive, Dc é o declive do canal e Ds o declive da superfície.

O declive da superfície (Ds) foi obtido pelo método já descrito, e o declive do canal (Dc) foi determinado ao longo dos vales de rios de segunda ordem, próximo do ponto onde eles são formados pela junção de dois rios tributários de primeira ordem. Estes dados tornam-se comparáveis entre si, porquanto são obtidos em posições equivalentes no sistema de drenagem das diversas bacias hidrográficas.

RESULTADOS

L_{ta}

Com base nos princípios da análise dimensional e da semelhança geométrica, constatou-se que as bacias hidrográficas são planimetricamente semelhantes, diferindo na largura e na forma (Tabelas 1 e 2). Com base no valor da razão de textura média (Tm), a textura topográfica foi classificada como grosseira.

A densidade de drenagem determinada em amostra circular de 10 km² de área, representativa dos solos dessa unidade Lfa, é de 0,8 (km/km²).

TABELA 1. Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas da unidade Lfa, PVA e Lic, respectivamente.

Bacia hidrográfica	Maior comprimento C (km)	Maior largura L (km)	Perímetro P (km)	Área A (km ²)
A	5,33	1,94	16,20	9,43
B	5,81	3,07	16,30	10,60
A	1,38	0,62	3,60	0,58
B	1,28	1,00	3,60	0,88
A	1,20	0,80	3,20	0,68
B	2,70	1,74	8,50	3,37

TABELA 2. Propriedades não-dimensionais das bacias hidrográficas representativas da unidade Lfa, PVA e Lic, respectivamente.

Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Ordem W	Número de segmentos de raios, N
A	uniforme	3ª	9
B	alongada trapezoidal	3ª	9
A	ovalada	3ª	13
B	ovalada	3ª	32
A	ameba	3ª	14
B	ovalada	3ª	19

As bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade Lfa, possuem um relevo suavemente ondulado, muito longo, com declividade predominante entre 3 e 8%, muito uniforme.

PVA

As bacias hidrográficas escolhidas são planimetricamente semelhantes, diferindo na forma e na maior largura (Tabelas 1 e 2). Com base no valor da textura média, a textura topográfica foi classificada como média. A densidade de drenagem, determinada em amostra circular de 10 km² de área, representativa de solos da unidade PVA, é de 4,29 (km/km²). As bacias hidrográficas, representativas de solos da unidade PVA, possuem o relevo ondulado a forte ondulado, curto, declividade predominante entre 10 e 20%, irregular.

Lic

As bacias hidrográficas escolhidas são geometri-

camente semelhantes, apesar de apresentarem tamanhos diferentes (Tabelas 1 e 2). Com base no valor da razão da textura média, a textura topográfica foi classificada como média. A densidade de drenagem determinada em amostra circular de 10 km² de área, representativa de solos da unidade, é de 3,99 (km/km²). As bacias hidrográficas representativas de solos da unidade 10 possuem relevo ondulado a forte ondulado, curto a médio, e declividade predominante entre 8 e 15%, irregular.

DISCUSSÃO

Representatividade dos solos nas bacias

Para bacias de terceira ordem, o Lfa é o solo mais representativo do grupo de solos que compõem a bacia hidrográfica A (Tabela 3). De vez que os solos hidromórficos se constituem em um grupo quase normal a todas as bacias hidrográficas, pode-se considerar o valor da cobertura de 80,6% da área como uma representatividade muito alta. Na bacia hidrográfica B, pelas mesmas razões já expostas e considerando a participação de um número de solos a ela associado, a unidade Lfa exibe uma representatividade alta.

Os resultados relativos à bacia hidrográfica A, de ocorrência na PVA (Tabela 3), sugerem tratar-se de uma representatividade alta, apesar de esses solos exibirem uma cobertura de área de 45, 16%; isto porque essa unidade é o único solo bem desenvolvido presente nessa bacia, sendo acompanhado por outra unidade que dela difere apenas quanto ao grau de desenvolvimento (fase rasa da unidade PVA). Pelas mesmas razões anteriores, também sugerem para a unidade PVA uma representatividade

TABELA 3. Distribuição das unidades de solos nas bacias hidrográficas, A e B de terceira ordem, representativas de solos da unidade Lfa, PVA e Lic, respectivamente.

Bacia hidrográfica	Unidade de solo	Área em hectares	Porcentagem da área total da bacia
A	Lfa	760,6	80,6
	PVA	79,3	8,4
B	Lfa	515,0	48,5
	PVA	164,7	15,5
A	Lfa	46,8	52,9
	LIQd	41,6	47,0
B	PVA	46,8	52,9
	LIQd	41,6	47,0
A	Lic	49,3	71,8
	LVE	13,7	20,0
	Hi	5,2	8,1
B	Lic	248,1	73,5
	LVE	37,5	11,1
	PV	17,5	5,1
	Hi	34,3	10,1

alta na bacia hidrográfica B.

Para as bacias hidrográficas A e B, representativas da unidade Lic (Tabela 4), os dados sugerem uma representatividade muito alta para essa unidade.

Com base nos resultados apresentados, e tendo em vista as limitações oferecidas pelas bacias hidrográficas discutidas por França (1968), pode-se considerar satisfatória a escolha das unidades Lfa, PVA e Lic, em termos de representatividade dos solos que ocorrem nas respectivas bacias.

Características das bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas escolhidas para representar a unidade são semelhantes (Tabelas 1 e 2), diferindo apenas quanto aos atributos de forma (Fig. 1 e 2). Com relação à unidade PVA, verifica-se uma razoável semelhança nas características das bacias hidrográficas representativas desta unidade, exceto quanto à forma (Fig. 3). No que se refere à unidade Lic, as bacias hidrográficas que a representam são de tamanhos diferentes, sendo, todavia, semelhantes nos outros atributos (Fig. 5). Estes resulta-

dos estão de acordo com os princípios de semelhança geométrica de Strahler (1952) e concordam com aqueles obtidos por França (1968).

Características das redes de drenagem

A composição das redes de drenagem nas bacias de terceira ordem é idêntica nas áreas de solo da unidade Lfa e muito semelhante na unidade PVA (Tabela 4). Na unidade Lic, é aparentemente diferente; contudo, deve-se levar em conta a diferença em área, com o que pode-se considerar que existe semelhança quanto à composição, segundo critérios propostos por Strahler (1952). A explicação para esta diferença em área para bacias de mesma ordem reside provavelmente, no fato de que na parte mais baixa da bacia ocorre a unidade I de solo, que oferece maior resistência à erosão pela água e, portanto, ao desenvolvimento da rede de drenagem. Este fato concorda com as observações de Horton (1945), Strahler (1952), Ray (1963), Ricci & Petri (1965) e França (1968).

As características quantitativas do padrão de drenagem (Tabela 5) mostram diferentes graus de dessecação do relevo, segundo os conceitos de Horton (1945), Smith (1950) e Strahler (1952). A unidade Lfa apresentou os valores numéricos mais baixos, indicando maior resistência à erosão e, portanto menor dessecação do relevo.

Com relação às unidades PVA e Lic, observa-se que a frequência de rios é maior na unidade PVA e a densidade de drenagem e a razão de textura são maiores nesta unidade. Essa tendência é também confirmada pelo maior valor da razão de textura média na unidade PVA. Isto sugere que os solos da unidade PVA são menos resistentes à erosão que os solos da unidade Lic. O exame das Fig. 3 e 5 apóia essa hipótese, uma vez que os segmentos de rios de mesma ordem apresentam maior comprimento na unidade Lic.

No que se refere aos valores da razão de textura média, os resultados obtidos permitem que se classifique a textura topográfica da unidade Lfa como grosseira e as unidades PVA e Lic como médias. Apesar disso, o maior valor da textura média na unidade PVA sugere que esses solos possuem menor resistência à erosão e um relevo mais dessecado.

Examinando as Fig. 2, 4, 6 e 7, observa-se que a

TABELA 4. Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de terceira ordem, representativas das unidades Lfá, PVA e Lic, respectivamente.

Bacia hidrográfica	Ordem W	Número de segmentos de rios		Comprimento total dos rios das diversas ordens (km)
		em cada ordem, Nw	total de bacia, N	
A	1ª	6	9	9,20
	2ª	2		
	3ª	1		
B	1ª	6	9	9,80
	2ª	2		
	3ª	1		
A	1ª	10	13	3,1
	2ª	2		
	3ª	1		
B	1ª	24	32	12,4
	2ª	7		
	3ª	1		
A	1ª	10	14	3,4
	2ª	3		
	3ª	1		
B	1ª	14	19	3,9
	2ª	4		
	3ª	1		

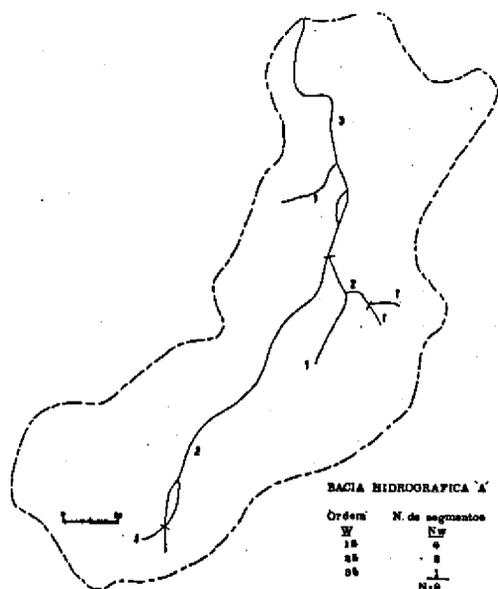


FIG. 1. Bacia hidrográfica de 3ª ordem representativa da unidade 3.

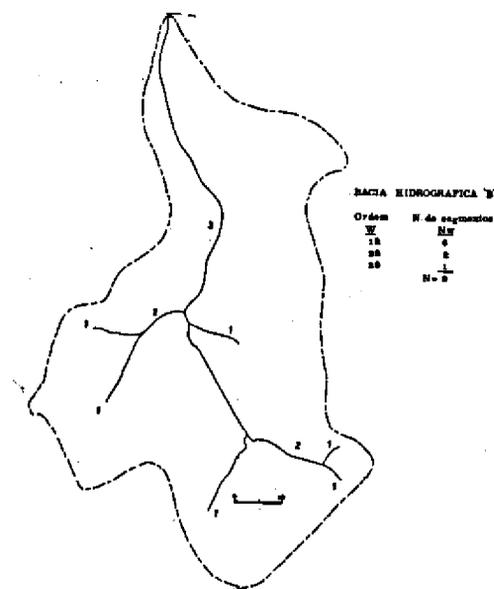


FIG. 2. Bacia hidrográfica de 3ª ordem representativa da unidade 3.

densidade de drenagem, determinada em amostra circular, apresenta valor muito baixo na unidade Lfa e valores relativamente altos nas unidades PVA e Lic, sendo ligeiramente superior na unidade PVA.

Características do relevo

Conforme se depreende da caracterização do relevo de cada unidade, a descrição das características do relevo, segundo Ranzani (1969), mostra que o relevo da unidade Lfa é diferente das unidades PVA e Lic, porém a simples descrição não é suficiente para fazer a distinção entre as duas últimas unidades.

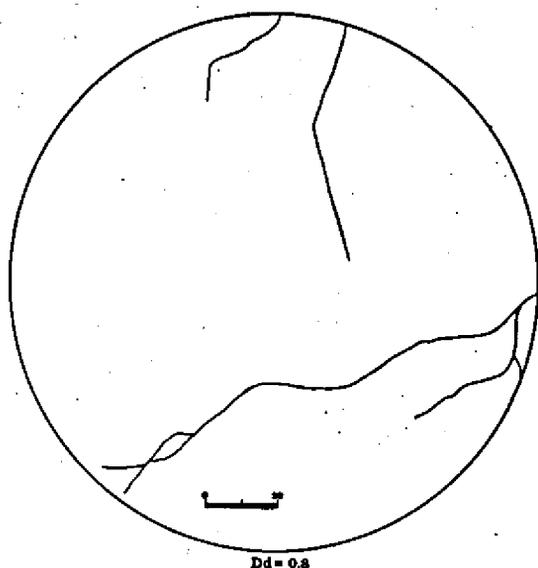


FIG. 3. Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 3.

Os valores mais baixos da razão do relevo (Tabela 5) correspondem à unidade Lfa, e os mais elevados, à unidade PVA. Isto significa que o relevo mais suave é o da unidade Lfa, e o mais íngreme, o da unidade PVA, mostrando-se esta característica como um indicador das diferenças de solos.

O declive máximo da encosta é mais suave na unidade Lfa e mais íngreme na unidade PVA, ficando a unidade Lic mais próxima desta última (Tabela 6). Esses dados se correlacionam com a



BACIA HIDROGRAFICA A

Ordem	N. de segmentos
$\frac{W}{1^a}$	$\frac{Nw}{10}$
2 ^a	3
3 ^a	$\frac{1}{1}$
	N = 14



BACIA HIDROGRAFICA B

Ordem	N. de segmentos
$\frac{W}{1^a}$	$\frac{Nw}{14}$
2 ^a	4
3 ^a	$\frac{1}{1}$
	N = 19

FIG. 4. Bacia hidrográfica de 3ª-ordem representativa da unidade 7.

TABELA 5. Característica quantitativa do padrão de drenagem de solos da unidade Lfa, PVA e Lic, respectivamente.

Bacia hidrográfica	Freqüência de rios Fr	Densidade de drenagem Dd	Razão de textura T	Razão de textura média Tm
A	0,95	0,98	0,56	0,43
B	0,85	0,92	0,31	
A	24,09	5,85	3,89	4,60
B	21,46	4,40	5,28	
A	19,0	4,51	4,06	3,81
B	9,4	3,67	3,76	

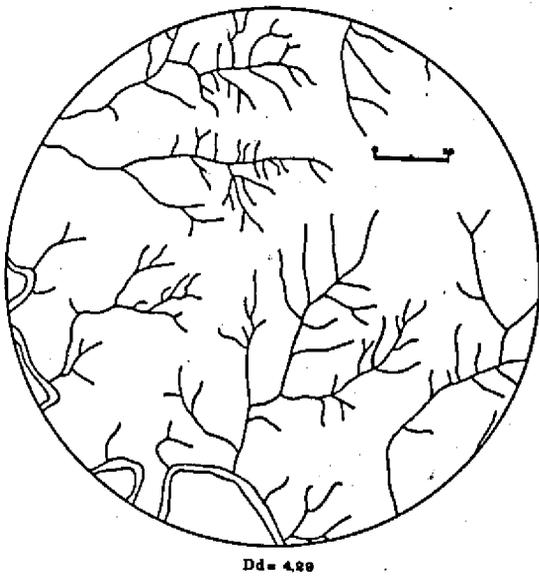


FIG. 5. Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 7.



BACIA HIDROGRÁFICA A

Ordem	N. de segmentos
1 ^a	10
2 ^a	2
3 ^a	1
N=13	



BACIA HIDROGRÁFICA B

Ordem	N. de segmentos
1 ^a	24
2 ^a	7
3 ^a	1
N=32	

FIG. 6. Bacias hidrográficas de 3^o ordem representativa da unidade 10.

TABELA 6. Razão de relevo das bacias hidrográficas representativas de solos de unidade I.a, PVA e Lic, respectivamente.

Bacia hidrográfica	Altitudes (m) Maior	Altitudes (m) Menor	Diferença de nível (m)	Maior comprimento da bacia (m)	Razão de relevo	Declive máximo da encosta (%)
A	650	570	80	5.340	0,015	8,6
B	660	580	80	5.350	0,015	9,0
A	640	520	120	1.380	0,087	22,7
B	640	490	150	1.240	0,120	27,4
A	580	490	90	1.200	0,075	19,7
B	580	480	100	2.700	0,037	17,7

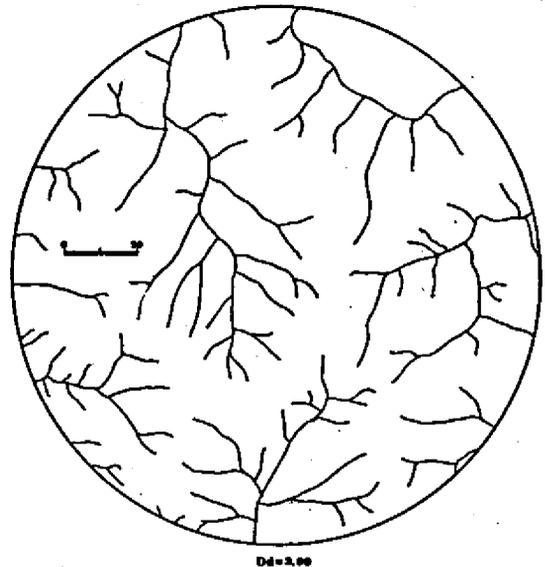


FIG. 7. Amostragem circular da densidade de drenagem de solos da unidade 10.

TABELA 7. Razão de declive das bacias hidrográficas representativas de solos de unidade Lfa, PVA e Lic, respectivamente.

Bacia hidrográfica	Declive máximo da encosta Ds (%)	Declive do canal Dc (%)	Razão de declive Rd
A	8,6	7,5	0,87
B	9,0	8,0	0,88
A	22,7	12,0	0,53
B	27,4	12,5	0,53
A	19,7	12,5	0,63
B	17,7	10,0	0,56

razão de relevo e com as características da rede de drenagem, constituindo-se em um índice significativo do relevo.

Os maiores valores da razão de declive correspondem à unidade Lfa, que é a do relevo mais suave, e os menores valores correspondem a solos da unidade PVA, que é a de relevo mais forte, correlacionando-se, desta maneira, com os índices anteriormente discutidos (Tabela 7).

CONCLUSÕES

1. As características das bacias hidrográficas e das redes de drenagem, bem como as características do relevo, variaram com a natureza do solo.

2. As características quantitativas das redes de drenagem, que melhor evidenciaram as diferenças entre solos, foram a frequência de rios, a razão de textura média e a densidade de drenagem determinada em amostras circulares.

3. Os três índices de relevo estudados, razão de relevo, declive máximo da encosta e razão de declive, mostraram-se dignos de confiança para a distinção entre as três unidades de solos.

REFERÊNCIAS

- CAMARGO, A.P. & ORTOLANI, A.A. Clima das zonas canavieiras do Brasil. In: _____, Cultura e adubação da cana de açúcar. São Paulo, Inst. Bras. de Potassa, 1964. p. 121-38.
- COMISSÃO DE SOLOS DO CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA AGRONÔMICAS, Rio de Janeiro, RJ. Levantamento de reconhecimento do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, 1960. 634 p. (Boletim, 21).
- ENGEL, O.D. Von. *Geomorphology; Systematical and regional*. New York McMillan, 1942. 655 p.
- FRANÇA, G.V. *Interpretação fotográfica e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba*. Piracicaba, ESALQ, 1968. 151 p. Tese Doutorado.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 56: 275-370, 1945.
- RANZANI, G. *Manual de levantamentos de solos*. 2. ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1969. 167 p.
- RAY, R.G. *Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológicos São Paulo*, Inst. Geológico e Geográfico, 1963. 88 p.
- _____. & FISCHER, W.A. Quantitative photography: a geologic research tool. *Photogram. Eng.*, 26: 143-50, 1960.
- RICCI, M. & PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. São Paulo, Ed. Nacional, 1965. 226 p.
- SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bull Geol. Soc. Amer.*, 67:597-646, 1956.
- SMITH, G.H. Standards for grading texture of erosional topography. *Amer. J. Sci.*, 248:655-68, 1950.
- SMITH, G.D. & AANDAHL, A.R. Soil classification and surveys. p. 396-400. (Yearbook of Agriculture).
- STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bull Geol. Soc. Amer.*, 63: 1117-42, 1950.
- _____. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 38: 913-20, 1956.