

# VARIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE REDES DE DRENAGEM EM FUNÇÃO DA ESCALA DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS VERTICAIS

VALDEMAR ANTONIO DEMÉTRIO

Orientador: GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Maio, 1977

E R R A T A

<u>página</u>	<u>linha</u>	<u>Onde se lê</u>	<u>Leia-se</u>
1	19	pluviosidade	pluviosidade
3	3	Os pares de fotografias verticais	Os pares de fotografias aéreas verticais
11	19	fotoimagens	aeroimagens
14	10	revelo	relevo
16	1	PARVIS (34)	PARVIS (1950)
21	5	STRAHLER (1964) que afirma	STRAHLER (1964) afirma
35	5	pluviosidade	pluviosidade
47	2	estereoscópico	estereoscópio
52	última	homogeneidade de variân- cias, detratoamento	homogeneidade de variân- cias de tratamento
57	10	1 km	1,1018 km
57	10	0,5 km	0,4668 km
71	2	0,9 km	0,9386 km
71	3	17%	15%
71	4	0,3 km	0,2819 km
71	5	66%	40%
81	12	0,7 km	0,6983 km
81	13	35%	26%
81	14	58%	37%
81	16	0,2	0,2266
81	17	23%	20%
81	18	106%	51%
93	Tabela 12	... aplicação do Teste de Fridman	... aplicação do Teste de Friedman
97	13	... variam crescentemen- te ...	... tendem a crescer.

A

*Jorge e Luiza, meus pais*

*Clarice, minha esposa*

*Daniela, minha filha*

D E D I C O

Ao Prof. Dr. *GERALDO VICTORINO DE FRANÇA*  
do Departamento de Solos e Geologia da  
Escola Superior de Agricultura "Luiz  
de Queiroz", mestre idealista e amigo,  
cujos ensinamentos se constituíram em va-  
liosos subsídios para a nossa formação  
universitária.

## AGRADECIMENTOS

- Ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, por permitir a realização do Curso de Mestrado e conseqüentemente a realização desta Dissertação. E, em especial aos Senhores Professores Dr. Justo Moretti Filho, Dr. Antonio Petta e Dr. Hélio Almeida Manfrinato.
- Ao Engenheiro Agrônomo Jorge Vicente Chiarini, Chefe da Seção de Fotointerpretação do Instituto Agronômico de Campinas, pela disponibilidade das fotografias aéreas e material necessário.
- Ao Engenheiro Agrônomo Mestre em Geografia Arnaldo Guido de Souza Coelho do Instituto Agronômico de Campinas, Seção de Foto interpretação pela valiosa colaboração.
- Ao Prof. Adj. Dr. Humberto de Campos do Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, pela ajuda prestada.
- Ao Prof. Dr. Dêcio Barbin do Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, pela colaboração.
- A Engenheiro Agrônomo Clarice Garcia Borges Demétrio, bolsista do CNPq junto ao Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, pela colaboração na análise estatística do presente trabalho.
- Ao Acadêmico Rubens Angulo da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, pela ajuda prestada.
- Ao Acadêmico Sergio Hideiti Shimuzu da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, pela valiosa colaboração.
- Ao Sr. Wanderley Brajão pelos préstimos nos serviços de datilografia.
- A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## Í N D I C E

	Página
1. RESUMO .....	1
2. INTRODUÇÃO .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1. Imagens aerofotográficas na interpretação e mapeamento de solos .....	5
3.2. O padrão de drenagem superficial: tipos, características e significado .....	14
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
4.1. Material .....	30
4.1.1. Descrição geral da área de estudo .....	30
4.1.2. Solos .....	38
4.1.3. Fotografias aéreas - escala 1:60.000 .....	45
4.1.4. Fotografias aéreas - escala 1:25.000 .....	45
4.1.5. Fotografias aéreas - escala 1:8.000 .....	46
4.1.6. Cartas de solos .....	46
4.1.7. Mosaicos aerofotográficos e fotoíndices ....	46
4.1.8. Estereoscópios .....	47
4.1.9. Equipamento de medição e desenho .....	47
4.2. Métodos .....	47
4.2.1. Escolha das áreas de estudo .....	47
4.2.2. Obtenção dos mapas básicos de drenagem .....	48
4.2.3. Análise das redes de drenagem .....	48
4.2.3.1. Características descritivas dos padrões de drenagem .....	48
4.2.3.2. Características quantitativas dos padrões de drenagem .....	49
4.2.3.3. Variação das características quantitativas com as diferentes escalas .....	52

4.2.3.4.	Análise estatística .....	52
4.2.3.4.1.	Teste de Friedman .....	52
4.2.3.4.2.	Comparações múltiplas..	55
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
5.1.	Análise das fotografias aéreas em escala 1:60.000 ...	56
5.1.1.	Características das amostras circulares .....	56
5.1.2.	Características descritivas dos padrões de drenagem .....	61
5.1.3.	Características quantitativas dos padrões de drenagem .....	62
5.2.	Análise das fotografias aéreas em escala 1:25.000 ...	64
5.2.1.	Características das amostras circulares .....	64
5.2.2.	Características descritivas dos padrões de drenagem .....	71
5.2.3.	Características quantitativas dos padrões de drenagem .....	73
5.3.	Análise das fotografias aéreas em escala 1:8.000 ....	73
5.3.1.	Características das amostras circulares .....	73
5.3.2.	Características descritivas dos padrões de drenagem .....	83
5.3.3.	Características quantitativas dos padrões de drenagem .....	83
5.4.	Variação das características quantitativas com as diferentes escalas .....	85
5.5.	Análise estatística .....	90
5.5.1.	Teste de Friedman .....	91
6.	CONCLUSÕES .....	96
6.1.	Características dos padrões de drenagem .....	96
6.2.	Conclusões gerais .....	98
6.3.	Sugestões para futuras pesquisas .....	99
7.	SUMMARY .....	100
8.	LITERATURA CITADA,.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Título	Página
1	Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de textura média. (FRANÇA, 1968) .....	24
2	Principais características dos solos das duas áreas de estudo (RANZANI et alii, 1966, e COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. PESQ. AGRON. (1960a))	44
3	Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:60.000, representativas das unidades de solo estudadas. (Área = 20 km <sup>2</sup> ; perímetro 15,85 km) .....	60
4	Características descritivas dos padrões de drenagem das unidades de solo estudadas .....	61
5	Características quantitativas do padrão de drenagem e classe de textura topográfica das amostras circulares na escala 1:60.000, representativas das unidades de solo estudadas. ....	63
6	Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:25.000, representativas das unidades de solo estudadas. (Área = 10 km <sup>2</sup> ; perímetro = 11,21 km) .....	72
7	Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das amostras circulares na escala 1:25.000, representativas das unidades de solo estudadas .....	74
8	Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:8.000, representativas das unidades de solo estudadas. (Área = 3 km <sup>2</sup> ; perímetro = 6,14 km) .....	82
9	Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das amostras circulares na escala 1:8.000, representativas das unidades de solo estudadas .....	84



Tabela	Título	Página
10	Médias das características quantitativas das amostras circulares nas unidades de solo estudadas, nas escalas 1:8.000; 1:25.000 e 1:60.000 .....	86
11	Classificação dos índices de densidade de drenagem das amostras circulares (Dc) para a aplicação do Teste de Friedman .....	92
12	Classificação dos índices de frequência de rios das amostras circulares (Fc) para a aplicação do Teste de Friedman .....	93
13	Classificação dos índices de razão de textura das amostras circulares (Tc) para a aplicação do Teste de Friedman .....	94
14	Resultados obtidos para o Teste de Friedman .....	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Bacias hipotéticas A e B com iguais densidades de drenagem e diferentes frequências de rios; bacias C e D com densidades de drenagem diferentes e iguais frequências de rios (STRAHLER, 1964) .....	22
2	Localização do Município de Piracicaba no Estado de São Paulo .....	31
3	Divisão Regional do Estado de São Paulo .....	32
4	Mapa Geológico esquemático do Est. de S. Paulo.	34
5	Mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo .....	36
6	Rede de drenagem do Município de Piracicaba. (RANZANI, 1976) .....	37
7	Mapa esquemático mostrando a localização do Latossolo Roxo no Estado de São Paulo. (COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. PESQ. AGRON., 1960a)...	39
8	Mapa esquemático mostrando a localização do Latossolo Vermelho-Escuro no Estado de São Paulo. (COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. PESQ. AGRON., 1960a).....	40
9	Mapa esquemático mostrando a localização da Terra Roxa Estruturada no Estado de São Paulo (COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. PESQ. AGRON., 1960a).....	41
10	Mapa esquemático mostrando a localização dos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos no Estado de São Paulo (COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. PESQ. AGRON., 1960a).....	43
11	Amostras circulares A, B e C (20 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:60.000 .....	58

Figura	Título	Página
12	Amostras circulares A, B e C (20 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:60.000 .....	59
13	Amostra circular A (10 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:25.000 .....	65
14	Amostra circular B (10 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:25.000 .....	66
15	Amostra circular C (10 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:25.000 .....	67
16	Amostra circular A (10 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:25.000 .....	68
17	Amostra circular B (10 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:25.000 .....	69
18	Amostra circular C (10 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:25.000 .....	70
19	Amostra circular A (3 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:8.000 .....	75
20	Amostra circular B (3 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:8.000 .....	76
21	Amostra circular C (3 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:8.000 .....	77
22	Amostra circular A (3 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:8.000 .....	78
23	Amostra circular B (3 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:8.000 .....	79

Figura	Título	Página
24	Amostra circular C (3 km <sup>2</sup> ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:8.000 .....	80
25	Variação dos Índices de densidade de drenagem (Dc) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas escalas 1:8.000; 1:25.000 e 1:60.000 .....	87
26	Variação dos Índices de frequência de rios (Fc) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas escalas 1:8.000; 1:25.000 e 1:60.000 .....	88
27	Variação dos Índices de razão de textura (Tc) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas escalas 1:8.000; 1:25.000 e 1:60.000 .....	89

## 1. RESUMO

Neste trabalho, procurou-se verificar a variação das características das redes de drenagem superficial de fotografias aéreas verticais em escalas diferentes.

Foram utilizados três conjuntos de fotografias aéreas nas escalas 1:60.000, 1:25.000, 1:8.000 a partir dos quais foram feitos os decalques das redes de drenagem de duas áreas, denominadas A e B, do Município de Piracicaba (SP), possuindo condições de relevo e solos diferentes e, portanto, comportamento hidrológico diferente. A Área A apresenta relevo plano e suavemente ondulado e com predominância de solos com horizonte B latossólico (Latossol Roxo e Latossol Vermelho-Escuro orto, com inclusões de Terra Roxa Estruturada). A Área B possui relevo ondulado com predominância de Solos com horizonte B textural (Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos das variações Laras e Piracicaba, com inclusões de Litossol fase substrato argilito/folhelho).

Estas áreas localizam-se na Depressão Periférica, sub-região médio Tietê. A geologia é constituída principalmente por rochas sedimentares, ocorrendo intrusões de rochas básicas. O clima é do tipo Cwa; isto é, temperado quente com estiagem de inverno. A pluviosidade anual é da ordem de 1.200-1.300 mm.

Os elementos descritivos e quantitativos das redes de drenagem foram estudados pelo método de fotointerpretação por análise de elementos. Os índices quantitativos foram calculados a partir de amostras circulares representativas com áreas de 3 km<sup>2</sup>, 10 km<sup>2</sup> e 20 km<sup>2</sup>, respectivamente para as escalas 1:8.000, 1:25.000 e 1:60.000. Para a

análise estatística dos dados, aplicou-se o Teste não-paramétrico de Friedman.

Observou-se que as Áreas A e B possuem padrões de drenagem suficientemente distintos e identificáveis nas fotografias aéreas, em qualquer das três escalas analisadas.

Os solos da Área A (Solos com B latossólico) apresentaram valores mais baixos, para todos os índices de drenagem analisados, que os solos da área B (Solos com B textural). As características dos padrões de drenagem foram condicionados pela natureza e propriedades dos solos, pela natureza e profundidade do substrato rochoso e pela posição que ocupam no relevo regional.

O sistema de amostragem circular mostrou-se eficiente e prático para a análise quantitativa dos padrões de drenagem, nas três escalas de fotografias aéreas consideradas. A utilização de amostras circulares de 3 km<sup>2</sup> para as fotografias aéreas na escala 1:8.000 e de 20 km<sup>2</sup> para as fotografias aéreas na escala 1:60.000, foi satisfatória para os objetivos visados.

A análise e interpretação dos resultados permitiram a seguinte conclusão principal:

- Existe uma tendência de aproximação dos valores de cada característica quantitativa, à medida que a escala das fotografias diminui, mas os índices de drenagem (densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura), diferem entre si, nas escalas extremas, isto é, 1:8.000 e 1:60.000, como demonstra o teste de Friedman.

## 2. INTRODUÇÃO

A Fotointerpretação tem-se revelado do mais alto valor como processo de coleta de dados numa ampla variedade de trabalhos. Os pares de fotografias verticais substituíram, quase que completamente, as outras bases cartográficas no mapeamento de solos, apresentando como principal vantagem a riqueza de detalhes do terreno, que permite ao técnico, no campo, localizar-se corretamente, a qualquer momento e traçar os limites dos solos com precisão. Para isto, utilizam-se correlações entre determinados aspectos do terreno (forma de relevo, uso da terra, padrão de vegetação, rede de drenagem) e as características de sua imagem fotográfica. Procura-se nesta busca, obter índices numéricos, pois, na maioria das vezes, as descrições de padrões fotográficos tornam-se subjetivas, propiciando muitas vezes conclusões diferentes com a mudança de fotointerprete.

O padrão de drenagem superficial, pela quantidade de informações que fornece, tem sido utilizado em diversos trabalhos, encontrando-se os índices ou parâmetros fotoanalíticos representativos dos solos em estudo.

Acontece, porém, que algumas regiões já apresentam em disponibilidade diversas coberturas aerofotogramétricas em escalas gráficas diferentes e obviamente a habilidade do fotointérprete para localizar os pequenos canais de drenagem superficial, decresce quanto menores forem as escalas. Assim sendo, os índices de drenagem serão diferentes para as diferentes escalas, considerando-se a mesma região, conforme estudos de RAY e FISCHER (1960).

O Município de Piracicaba, SP., dispõe de fotografias aéreas nas escalas 1:60.000; 1:25.000; 1:8.000.

Neste trabalho, pretendeu-se, através do uso dessas fotografias em diferentes escalas, estudar as características quantitativas dos padrões de drenagem desenvolvidos sobre solos com horizonte B latossólico e sobre solos com horizonte B textural, comparar estatisticamente os índices de drenagem, para verificar se existem diferenças dos referidos índices numa ou noutra escala.



### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Imagens aerofotográficas na interpretação e mapeamento de solos

As fotografias aéreas têm sido utilizadas há várias décadas no estudo da superfície da Terra.

Segundo SIMONSON (1950), ROURKE e AUSTIN (1951), a primeira utilização de fotografias aéreas como base para o trabalho de levantamento de solos foi efetuado por Bushnell e seus colaboradores em 1929. A nitidez com que as fotografias aéreas mostram os detalhes do terreno, permitiu que cientistas de solo as usassem como fonte adicional de informações.

Para SIMONSON (1950), o maior avanço em levantamento de solos nas duas décadas anteriores a 1950, foi a utilização de fo-

tografias aéreas.

Segundo QUACKENBUSH (1960), a evolução da fotografia aérea foi simultânea ao desenvolvimento do material e equipamento fotográfico, com uso diversificado em todo o mundo, na guerra e na paz, desde os primórdios de 1840; somente no século XX, ao encontrar apoio na aeronáutica, evoluiu até o ponto de permitir a obtenção de imagens da superfície terrestre, por meio de fotografias tomadas de aeronaves.

Para GOOSEN (1968), a visão panorâmica que as fotografias aéreas proporcionam, como um meio de documentação e pesquisa dos fenômenos da paisagem, não tem rival a um custo comparável. Admite ainda que, embora o trabalho de campo não seja substituído completamente pela fotografia aérea, o rendimento e a exatidão dos trabalhos são altamente favorecidos. O autor também aceita que a utilização da fotointerpretação é mais importante em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

O U.S. Soil Conservation Service, segundo LUNEY e DILL (1970), faz alusão de que antes de 1930 os levantamentos de solos nos Estados Unidos tomavam muito tempo e requeriam vários cientistas treinados, para trabalhar no campo. Pela maior rapidez e eficiência, tornou imediato o uso de fotografias aéreas para trabalhos de levantamento no campo.

Para AMARAL e AUDI (1972), a fotografia aérea apresenta-se como material de trabalho indispensável no levantamento de solos, oferecendo ganho de tempo, precisão de limites e visão global da paisagem com riqueza de detalhes. Serve como base cartográfica preliminar, auxiliando os trabalhos de campo no traçado de roteiros mais interessantes, possibilitando ainda a separação das unidades de solos diretamente sobre as fotografias.

LUEDER (1959), concluiu que em mapeamentos de reconhecimento, o esforço de trabalho, usando a fotointerpretação, corresponde a um décimo do que seria necessário sem sua utilização; e para os levantamentos semidetalhados a economia varia de dez a noventa por cento.

BASTOS (1966) comenta um trabalho descrito por VERA (1964), referente ao Projeto OEA-Chile, no qual 120.000 Km<sup>2</sup> de terras agrícolas tiveram os seus solos levantados a nível detalhado num período de 18 meses. O autor faz a observação que as informações obtidas neste curto período de tempo, sem uso de técnicas aerofotogramétricas e fotointerpretativas, levaria um tempo superior ao de uma vida humana.

COLWELL (1952) define fotointerpretação como o ato de examinar imagens fotográficas de objetos com a finalidade de identificá-los e avaliá-los quanto a sua significância, enquanto que para SUMMERSON (1954), de uma maneira ampla, define-a como sendo

a previsão do que não pode ser visto. Esta afirmativa possui maior afinidade com a interpretação fotográfica de solos, pois a fotografia aérea mostra somente a superfície do terreno e não as variações que ocorrem em profundidade, caracterizando uma unidade de solo. Mas os variados aspectos de ocorrência na superfície, tais como vegetação, formas topográficas, drenagem, erosão, tonalidade fotográfica e uso da terra, podem indicar a presença de solos diferentes.

RABBEN (1960) explica a larga utilização da fotografia aérea baseado em três fatos fundamentais:

- a. A grande superfície terrestre que é representada em cada fotografia, mais de  $20 \text{ Km}^2$  na escala de 1:20.000 e aproximadamente  $33 \text{ Km}^2$  na escala de 1:25.000.
- b. As imagens tridimensionais da superfície terrestre e dos objetos sobre ela localizados, proporcionada pelos pares estereoscópicos.
- c. O caráter permanente das imagens dos objetos, a possibilidade de medições destes objetos e as condições favoráveis de trabalho.

Segundo RABBEN (1960), há duas maneiras para se estudar imagens aerofotográficas. Uma totalmente empírica, que consiste no exame minucioso de todo material fotográfico existente, sem se omitir nada. Outra maneira, é utilizar-se de probabilidades, is-

to é, o intérprete pesquisa somente as áreas nas quais os objetos de interesse podem ser encontrados, desprezando grande número de fotografias que não tem probabilidades de conter as informações de se<sup>1</sup>gadas. Isto é "pesquisa lógica", uma combinação de visão geral e estudo intensivo, que exige maior experiência, já que o intérprete deve decidir onde os estudos intensivos terão melhores resultados, mas é mais produtiva em relação ao tempo e esforços dispendidos. Comenta ainda que, para identificar objetos nunca vistos anteriormente, ou para entender o significado de objetos já identificados, o intérprete utiliza o "princípio da convergência de evidências", desenvolvido por Colwell: podem existir vários indícios sobre a identidade de um objeto desconhecido; nenhum destes indícios é infalível, mas se todos, ou a maioria dos indícios apontar para a mesma conclusão, esta será provavelmente correta. Assim RABBEN (1960) acredita que fotointerpretação é na realidade uma arte de probabilidades, e refere-se ao termo "chave de interpretação", como auxiliar do intérprete, no sentido de organizar as informações presentes em imagens fotogrâficas aéreas, guiando-o para a identificação correta de objetos desconhecidos.

Para FROST (1960), solos podem ser interpretados em fotografias aéreas através do estudo dos padrões criados pela natureza da rocha matriz, o modo de deposição e os ambientes: climático, biótico e fisiogrâfico. Estes padrões podem ser interpretados utilizando três princípios importantes:

- a) solos semelhantes ocorrem com padrões semelhantes;
- b) solos diferentes apresentam padrões diferentes;
- c) assim que as características da imagem tenham sido correlacionadas com as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, várias propriedades de solos semelhantes podem ser inferidas por fotointerpretação.

Ainda FROST (1960), salienta a importância do estudo de aspectos regionais mostrados em mosaicos fotográficos, antes de examinar o detalhe, a fim de que grandes feições regionais possam ser relacionadas aos fatores ambientais como fisiografia, geologia e clima. Acredita que o estudo de solos no contexto regional habilita o cientista do solo a posterior interpretação de fotografias de regiões desconhecidas.

Segundo RABBEN (1960), RAY (1963), RICCI e PETRI (1965), a fotointerpretação consta de duas etapas: na primeira é efetuada a observação, coleta de dados, medição e identificação dos objetos registrados nas fotografias aéreas. A segunda envolve indução e ou dedução de informações, que são aplicadas na solução de um problema.

Shultz e Cleaves, citados por RAY (1963), afirmam ser a forma fisiográfica o elemento mais importante da fotopedologia; contudo, a drenagem e o relevo podem fornecer informações de mesma importância.

Para LUEDER (1959), com exceção da forma fisiográfica, o mais seguro indicador das condições do terreno é a drenagem superficial, sendo porém imprescindível a experiência do fotointérprete no estabelecimento das correlações entre imagem fotográfica e aspectos do terreno.

DUNBAR (1959), ao discutir alguns aspectos de fotointerpretação em solos de regiões tropicais, referiu-se particularmente à certas áreas brasileiras onde alguns latossolos argilosos, nas fotografias aéreas, têm aparência de solos com textura areno-barrenta, apresentando: porosidade relativamente elevada, ângulo de repouso moderadamente íngreme e padrão de drenagem esparso, pouco integrado. E associou este fato à ação severa do intemperismo e erosão.

Segundo BURINGH (1960), em levantamentos de solos sem fotointerpretação, aproximadamente vinte por cento das observações de campo são gastas para identificação e classificação de solos e o restante do tempo para localizar os limites dos solos. Com auxílio de fotointerpretação, grande parte destes limites seriam demarcados nas fotoimagens, sendo necessárias apenas algumas verificações de limites, no campo.

Segundo GOOSEN (1968), existem três métodos principais de fotointerpretação para levantamento de solos. O primeiro é o da "análise de padrões" de FROST (1960), no qual são estudados os padrões indicativos de condições superficiais e de subsuperfície

comô: forma da terra, drenagem, aspectos de erosão, vegetação, to nalidade fotogrãfica e características culturais. O ponto de par-tida é a identificação de grandes padrões regionais, que servem pa-ra dividir a área em unidades maiores da paisagem. Tendo entendi-do as condições ambientais dos solos estudados, o intêrprete divi-de as unidades principais da paisagem em unidades menores e exami-na os padrões locais com auxílio do estereoscópio. O segundo mêto do, denominado de "anãlise fisiogrãfica" e mencionado por BURINGH (1960), baseia-se em profundos conhecimentos fisiogrãficos. Proce-de-se à classificacão das unidades fisiogrãficas do terreno, as quais correspondem a uma associacão única de solos. Embora o mêto do seja eficiente, há necessidade de que o pedólogo possua conheci-mento relativamente profundo de geomorfologia. O terceiro e o úl-timo mêtodo, "anãlise de elementos", desenvolvido por BURING(1960), possui sobre os demais a vantagem de facultar seu uso a pedólogos com pouca experiência em fotointerpretação, visto que é uma anãli-se sistemãtica dos elementos relacionados com a ocorrência do solo em uma região. Os elementos sugerem determinadas condições de so-lo e podem ser estudados isoladamente. Utilizando o princípio da "convergência de evidências", os solos podem ser identificados pe-la concordãncia das deduções, analisando-se diferentes elementos do padrão.

GOOSEN (1968) explica que o objetivo da anãlise de foto-grafias aéreas em levantamento de solos, é chegar a uma classificaçã



ção da superfície do terreno que, através de trabalhos de campo subsequentes e análises de laboratório, possa ser traduzida em unidades de mapeamento. Reconhece que a interpretação de fotografias aéreas tem valor limitado para levantamentos detalhados de solos, o que também foi afirmado por BURINGH (1960).

GOOSEN (1968) observa que solos são constituídos por paisagens e perfis, sendo que o perfil não pode ser descrito quantitativamente através de fotografias aéreas, exclusivamente. Analogamente, BOMBERGER e DILL (1960) comentam que fotografias aéreas não representam o solo totalmente, mas somente sua superfície, e frequentemente, nem esta é visível. Todavia, diversas feições físicas da superfície terrestre, como padrões de relevo, drenagem e erosão, além da própria vegetação, podem revelar ou sugerir a distribuição dos solos e de seu material de origem.

GOOSEN (1968) comenta que a diferenciação entre os métodos e sua utilização é relativamente artificial; na prática pode ocorrer uma combinação dos três métodos, dependendo da maneira como é feito o levantamento. Em um trabalho generalizado pode ser necessária uma ampla análise fisiográfica preliminar para determinar a divisão fisiográfica da paisagem. Feito isto, pode-se estudar em detalhe áreas de amostragem, através da análise dos elementos. Isto resulta no estabelecimento de chaves para mapear as demais partes da área por meio da análise de padrões. Assim, nenhum procedimento sistemático pode ser prescrito no estado atual

das técnicas de fotointerpretação.

Os princípios propostos pelo método da "análise de elementos" foram utilizados por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADDEL (1972), LEÃO (1972), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a), sobre fotografias aéreas verticais, estabelecendo-se parâmetros para a identificação de algumas unidades de solo nas condições brasileiras.

### 3.2. O padrão de drenagem superficial: tipos, características e significado

LUEDER (1959) acredita que, com exceção do revelo, o padrão de drenagem superficial é o mais consistente e confiável indicador das condições do terreno, disponível ao fotointérprete. Mostra que, utilizando-se somente o padrão de drenagem e sem recorrer ao uso do estereoscópio, é possível delinear áreas com diferenças evidentes.

Segundo PARVIS (1950), a relativa facilidade com que os sistemas de drenagem podem ser observados em fotografias aéreas, facilita o reconhecimento de padrões de drenagem, o estudo analítico de seus elementos e a avaliação de sua significância na interpretação de solos e de substratos rochosos.

SOUZA (1975) comenta que algumas regiões apresentam dificuldades para delimitar as unidades de solo no campo, devido às

condições de vias de acesso, relevo e vegetação; então utilizam-se aspectos visíveis nas fotografias aéreas, como: forma de relevo, rede de drenagem, uso da terra e padrão de vegetação. Dentre os padrões que permitem a diferenciação de solos, as redes de drenagem, juntamente com o relevo, são os que se destacam, com vantagem para as redes de drenagem, que são mais facilmente registradas e medidas em fotografias aéreas.

WEG (1966) subdividiu os padrões de drenagem em: (1) Padrões erosionais, que são os formados por algum processo degradante de erosão, e cujos modelos se repetem com frequência; (2) Padrões deposicionais, os desenvolvidos por processos construcionais de deposição, estando muito relacionados ao padrão do canal; (3) Padrões especiais, todos aqueles que não são classificados pelos critérios anteriores.

Para BLOOM (1970), padrão de drenagem diz respeito aos aspectos específicos do arranjo bidimensional e casualizado assumido pela imagem fotográfica da rede de drenagem e estabelece cinco tipos de arranjo: caótico, dendrítico, retangular, treliça, radial.

PARVIS (1950) considera que, da atuação de forças naturais sobre a superfície da terra, resultam seis padrões de drenagem básicos: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Utilizando algumas modificações destes seis padrões básicos, classificou e descreveu trinta tipos ou modelos.

WEG (1966) critica os padrões descritos por PARVIS (34), considerando-os confusos e algumas vezes incorretos e com pouco valor prático.

Para HORTON (1945), o desenvolvimento de bacias hidrográficas e de suas bacias de drenagem deve ser discutida em termos de infiltração, deflúvio e erosão, em terrenos recentemente expostos. Admite porêm, que pode haver interferência de estruturas geológicas ou distúrbios geológicos, posteriormente. Deste modo, quando ocorrem afastamento das leis dos números e dos comprimentos de rios em condições normais de topografia, clima, geologia, solo, etc., esses afastamentos podem estar condicionados a controle de estruturas geológicas.

Segundo FRANÇA (1968), o termo padrão de drenagem tem sido usado na literatura para expressar a maneira pela qual os cursos d'água se arranjam ou se distribuem numa determinada área de drenagem, sugerindo um modelo ou a configuração de um objeto familiar, que empresta o nome para a classificação do padrão. Se os rios se distribuem ã semelhança de tronco, galhos e ramos de uma ãrvore, o padrão ê chamado dendrítico ou arborescente; se pode ser comparado aos ramos de uma videira ê denominado padrão em treliça, e assim por diante.

Para LUEDER (1959), a diferenciação dos padrões de drenagem com base exclusiva em termos designativos, terá valor limitado se a classificação do padrão não for completada com a descrição de

certas características, variáveis dentro de cada padrão, e que podem indicar aspectos significativos. Assim, sugere as seguintes características para descrever o padrão de drenagem:

- 1) Grau de integração;
- 2) Densidade;
- 3) Grau de uniformidade;
- 4) Orientação;
- 5) Grau de controle;
- 6) Ângulos de confluência;
- 7) Angularidade;
- 8) Tipo ou modelo.

A essas características, RICCI e PETRI (1965) acrescentam o termo *anomalia*, aplicável à configuração de um ou mais rios que não se adaptam àquela dominante, apresentada por todos os outros rios da área. LUEDER (1959) recomenda que os termos descritivos sejam aplicados somente à drenagem destrutiva, isto é, cujo padrão é criado por erosão hídrica.

Segundo LUEDER (1959), a justificativa principal da análise da drenagem superficial é que fornece indicações sobre a razão infiltração/deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais que ocorrem em uma área. Em geral, um padrão de drenagem bem desenvolvido indica a ocorrência de baixa infiltração e materiais relativamente impermeáveis, enquanto que uma drenagem superficial escassa indica infiltração e permeabilidade altas.

Como sempre, existem exceções e casos especiais, mas como regra geral é muito eficiente. Esclarece também que o padrão de drenagem não é influenciado apenas pela composição do material, havendo outros fatores, como a topografia do terreno.

RAY (1963) considera os padrões de drenagem como elementos importantes na interpretação geológica; nas áreas onde a resistência à erosão é mais ou menos uniforme, como em muitos depósitos sedimentares ou mantos de intemperismo sobre embasamentos sem estrutura pronunciada, o padrão de drenagem é comumente dendrítico ou dendrítico modificado. Onde existe maior controle estrutural, desenvolvem-se padrões em treliça, anular, retangular, etc. Também comenta que, sendo pronunciada a sensibilidade da drenagem à direção geral e direções de mergulho, as mudanças num padrão de drenagem, os desvios de uma norma estabelecida, podem fornecer informações muito importantes.

RANZANI (1969) explica que o escoamento das águas superficiais de uma região promove incisões na superfície do terreno; quando o solo é relativamente impermeável (argilas, folhelhos, etc.), o deflúvio erode os caminhos d'água criando um padrão de drenagem denso; por outro lado, quando os solos são relativamente permeáveis (areia), o padrão de drenagem é pouco denso.

Para RAY (1963), a densidade de drenagem em um dado ambiente climático está relacionada principalmente com a resistência

ã erosão dos materiais presentes, aumentando a densidade ã medida que diminui a resistência ã erosão. Comenta que folhelhos e outras rochas similares de granulação fina, tendem a apresentar drenagem de textura fina, enquanto que rochas sedimentares de granulação grossa, como arenitos, tendem a apresentar drenagem de textura grosseira. Entretanto, admite que podem existir muitas exceções. FRANÇA (1968) afirma que muitas das exceções são devidas ã natureza dos solos que se desenvolvem sobre essas rochas.

ZINKE (1960) considera plausível que o solo derivado de um tipo de rocha relativamente impermeável, conduzirá a maiores proporções de deflúvio e, conseqüentemente, a um maior desenvolvimento de sua rede de drenagem superficial.

DUNBAR (1959), ao discutir os problemas de interpretação fotogrãfica em regiões tropicais e subtropicais, alertou para o fato que solos latossõlicos, com elevado teor de argila, apresentavam redes de drenagem com características semelhantes às que ocorrem em solo de classe textural areia barrenta.

RAY (1963), citando trabalho de Jenkis et alii, esclarece que as fotografias aëreas mostram a drenagem efetiva do perfil, independente da textura ou composição granulométrica do solo. Ainda se reportando a esses autores, lembra que o calcãrio origina solos de partículas finas, porã agregadas, resultando perfis permeãveis e bem drenados internamente e, conseqüentemente, as fotos

aéreas mostram uma rede de drenagem superficial de textura grosseira.

FRANÇA (1968) e FADEL (1972) confirmam as afirmativas de DUNBAR (1959) e RAY (1963), ao verificarem que solos argilosos dos grandes grupos Latossol Roxo e Latossol Vermelho Escuro, graças a sua estrutura porosa, apresentam-se mais permeáveis que solos arenosos do grande grupo Podzólico Vermelho-Amarelo variação Laras.

Para HORTON (1945), além de outros fatores como precipitação e relevo, dois fatores importantes nos processos de erosão hídrica responsáveis pela gênese de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, são a resistência dos solos à erosão e sua capacidade de infiltração; sendo que, se considerado um longo período de tempo, em qualquer área sujeita à erosão por água corrente, acabará prevalecendo a resistência do solo e da rocha subjacente, à erosão.

Segundo STRAHLER (1957), a densidade de drenagem deve ser vista como uma expressão do espaçamento entre os canais. Em geral, baixa densidade de drenagem ocorre em regiões com densa cobertura vegetativa e onde o relevo é pouco pronunciado; em outras condições ocorrerá, provavelmente, alta densidade de drenagem.

Para RAY e FISCHER (1960) as informações quantitativas obtidas de fotografias aéreas proporcionam medidas relativas ou ab



solutas, úteis para caracterizar formas do terreno em termos objetivos, mais consistentes do que os termos subjetivos comumente utilizados (suavemente ondulado, por exemplo), que podem levar a erros de interpretação.

STRAHLER (1964) que afirma que a densidade de drenagem, como um importante indicador da escala linear de elementos fisiográficos em topografia de erosão fluvial, foi introduzida na literatura hidrológica americana por Horton em 1932. A *densidade de drenagem* (D) foi definida como a razão entre o comprimento total de rios dentro de uma bacia de drenagem e a área dessa bacia, sendo expressa pela equação:

$$D = \frac{L_t}{A}$$

onde  $L_t$  é o comprimento total de rios e  $A$  é a área da bacia.

Segundo STRAHLER (1964), Horton introduziu também o termo *frequência de rios* (F), para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica. A frequência de rios foi definida pela equação:

$$F = \frac{N}{A}$$

onde  $N$  é o número total de rios e  $A$  é a área da bacia.

Melton, citado por STRAHLER (1964), analisou detalhadamente as relações entre densidade de drenagem e frequência de rios, sendo que ambas medem a textura da drenagem, mas cada uma tratando de aspectos distintos. Assim, como mostra a Figura 1, é possível construir duas bacias de drenagem hipotéticas, apresentando os mesmos valores de densidade de drenagem mas diferentes frequências de rios e, por outro lado, é possível existir duas bacias com mesma frequência mas diferentes densidades.

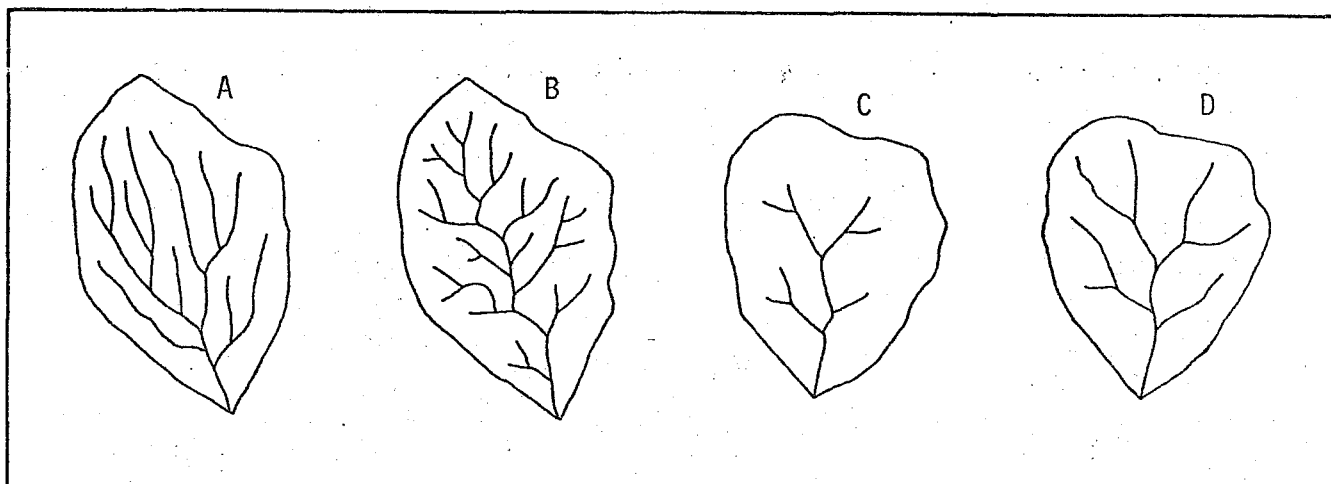


Figura 1 - Bacias hipotéticas A e B com iguais densidades de drenagem e diferentes frequências de rios; bacias C e D com densidades de drenagem diferentes e iguais frequências de rios (STRAHLER, 1964).

SMITH (1950), estudando a topografia de regiões dissecadas por rios, utilizou um índice semelhante ao da frequência de rios de Horton, ao qual denominou *razão de textura*, a fim de expressar o espaçamento entre os canais de drenagem. Este índice é calculado pela equação:

$$T = \frac{N}{P}$$

onde N é o número de crênulas na curva de nível escolhida e P é o comprimento do perímetro da bacia, expresso em milhas. Como trabalhava com mapas topográficos e considerando que os canais menores geralmente não são representados mesmo em bons mapas, mas apenas indicados por crênulas ou inflexões das curvas de nível, recomendou escolher a curva de nível com o maior número de crênulas, dentro da bacia de drenagem.

Além da determinação das razões de textura de bacias de drenagem individuais, SMITH (1950) estabeleceu um valor médio ponderado, para caracterizar a textura topográfica de uma determinada área como um todo, tomando em consideração o tamanho de cada bacia. Assim, utilizou a equação:

$$T_m = \frac{\sum(A \times T)}{\sum A}$$

onde  $T_m$  é o valor médio ponderado da razão de textura, A é a área e T a razão de textura de cada bacia. Propôs também o estabeleci-

mento de limites para os valores da textura média, para classificar a textura topográfica em classes - grosseira, média e fina - sendo respectivamente: menos de 4,0; entre 4,0 e 10,0; e mais de 10,0. Além disso, estudou comparativamente razão de textura e densidade de drenagem concluindo que existe um relacionamento em função logarítmica entre essas duas características quantitativas.

FRANÇA (1968), observando que os sistemas de drenagem podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos de fotografias aéreas, estudou as características de razão de textura (T) e razão de textura ponderada (T<sub>m</sub>), considerando o valor N das equações, como sendo o número total de rios da bacia. Além disso, adaptou a classificação de Smith ao sistema métrico, transformando o perímetro para quilômetros, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de textura média (FRANÇA, 1968).

CLASSE DE TEXTURA TOPOGRÁFICA	T <sub>m</sub> (SMITH, 1950) PERÍMETRO EM MILHAS	T <sub>m</sub> (FRANÇA, 1968) PERÍMETRO EM km
Grosseira	abaixo de 4	abaixo de 2,5
Média	4 a 10	2,5 a 6,2
Fina	acima de 10	acima de 6,2

STRAHLER (1957) propõe como requisito para que duas bacias de drenagem sejam comparáveis, que elas devem ser geometricamente semelhantes. Se existir a similaridade geométrica, todos os correspondentes números adimensionais, como ângulos e razões entre medidas de comprimento, serão iguais; ainda assim existirão várias diferenças significativas entre elas. Após apresentar uma série de exemplos de métodos quantitativos aplicados ao estudo de drenagem, conclui que, por mais complexa que possa ser uma paisagem, ela pode ser entendida por meio de características quantitativas se for sistematicamente decomposta nos elementos que a compõem.

Seguindo os princípios da análise quantitativa de Strahler, e aplicando-a a Solos, FRANÇA (1968) chegou a várias conclusões significativas, entre as quais:

- 1) Uma descrição de características do padrão, por mais detalhada que seja, sempre permanecerá um tanto vaga para permitir a identificação e delimitação de solos por fotointerpretação, a não ser em trabalhos conduzidos a um nível de generalização muito grande;
- 2) A utilização de características quantitativas baseadas em medições simples, exatas e reproduzíveis, torna mais objetiva a descrição do padrão de drenagem, permitindo comparações e interpretações em bases mais concretas, desde que sejam superadas certas dificuldades na amostragem;

- 3) A relação entre razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares demonstrou ser a mais consistente e de grande utilidade na fotointerpretação de solos. Pode-se dizer que, sendo fácil determinar a densidade de drenagem em amostras circulares, as fotografias aéreas serão úteis no estudo da textura topográfica de solos;
- 4) A análise e a interpretação do padrão de drenagem permitiram a distinção entre os solos estudados, entretanto, os outros padrões também devem ser considerados;
- 5) A composição e as características do padrão de drenagem variaram, em primeiro lugar, com a natureza do solo e, depois, com a posição topográfica e com a natureza e profundidade do substrato rochoso.

RAY e FISCHER (1960) estudaram a significância da densidade de drenagem com respeito à litologia, utilizando fotografias aéreas. Os comprimentos dos rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de  $10 \text{ Km}^2$ . Concluíram que amostras circulares fornecem determinações de densidade de drenagem mais consistentes, para qualquer tipo de rocha, do que as amostras representadas por pequenas bacias. Quanto à significância geológica da densidade de drenagem, consideraram os dados ainda insuficientes, tendo porém ficado claro que a permeabilidade do solo e da rocha subjacente tem influência fundamental; quanto mais alta

for a permeabilidade, tanto mais baixa será a densidade de drenagem.

Segundo FRANÇA (1968), a utilização do método de Ray e Fischer na determinação da densidade de drenagem, apresenta as seguintes vantagens:

- 1) Elimina a influência da área, uma vez que todas as medidas de comprimentos de rios são referidas à mesma área circular de  $10 \text{ Km}^2$ ;
- 2) A área circular de amostragem pode ser deslocada, dentro da área de ocorrência de uma unidade do solo sem considerar os limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

O trabalho de FRANÇA (1968) foi comprovado por diversos pesquisadores, como MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1972), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975), que estabeleceram índices caracterizando diversos solos brasileiros. Todos esses autores utilizaram o método de amostragem circular de  $10 \text{ Km}^2$  apenas para densidade de drenagem, sendo que SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a) estenderam esse método para os outros índices relacionados com área e perímetro (densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e textura topográfica), tendo concluído que

podem ser utilizados para evidenciar diferenças entre solos. Os dados por eles obtidos sugeriram que a área das amostras circulares pode variar conforme a área de ocorrência dos solos estudados, não sendo fixo o valor de  $10 \text{ Km}^2$ . Anteriormente BURINGH (1960) já havia mencionado uma amplitude de 10 a  $100 \text{ Km}^2$  para estudar a ocorrência e densidade da rede de drenagem.

RAY e FISCHER (1960) demonstraram que as medidas de densidade de drenagem podem tornar-se inconsistentes se são comparadas fotografias de escalas diferentes. Isto se deve à perda gradativa na habilidade de se detectar pequenos cursos d'água quando a escala torna-se menor. Observaram que a relação entre a variação da escala e a diminuição na densidade de drenagem é uma função linear, sugerindo que um simples fator de conversão pode permitir a determinação da densidade de drenagem a partir de diferentes escalas.

KOFFLER (1976a), utilizando imagens aerofotográficas (escalas 1:25.000 e 1:60.000) e orbitais (SKYLAB e LANDSAT-1) no estudo de padrões de drenagem de três tipos de solo, verificou que estes concórdam com os obtidos por SOUZA (1975) concluindo que em imagens LANDSAT outros padrões de interpretação convencional podem assumir maior importância como feições tonais e texturais e que as características dos padrões de drenagem foram condicionados, principalmente, pela natureza e propriedade dos solos existindo uma tendência de aproximação dos valores de cada característica quantitativa.



va, reduzindo a separabilidade dos três tipos de solo, à medida que a escala das fotografias diminui.

Ainda KOFFLER (1976b), utilizando-se de amostras circulares com áreas que variam de 10 a 100 Km<sup>2</sup>, sobre fotografias aéreas verticais de escala 1:60.000, analisou o efeito do tamanho da amostra na caracterização quantitativa do padrão de drenagem superficial. Como uma das principais conclusões, afirma que a caracterização quantitativa de um padrão de drenagem e a sua comparação com outros, podem ser efetuadas através dos índices de densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio dos canais, independentemente do tamanho das amostras circulares, desde que sejam representativas.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Material

#### 4.1.1. Descrição geral da área de estudo

O Município de Piracicaba, localiza-se na região fisiográfica denominada Depressão Periférica paulista, sub-região Médio Tietê, entre os paralelos  $22^{\circ}30'$  e  $23^{\circ}$  S e entre os meridianos de  $47^{\circ}30'$  e  $48^{\circ}10'$  W.G., conforme ilustram as Figuras 2 e 3.

Segundo RANZANI (1976), isso significa que a área possui os atributos gerais dessa região, descrita por MORAES REGO (1932). A Figura 3 mostra a Divisão Regional do Estado de São Paulo.

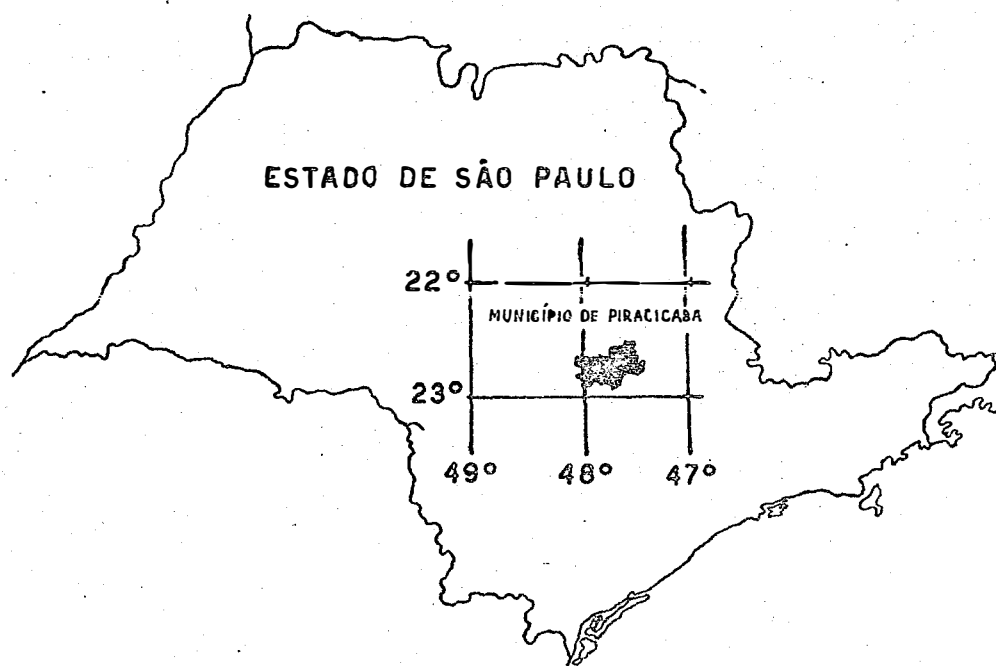


Fig. 2 — Localização do Município de Piracicaba no Estado de São Paulo

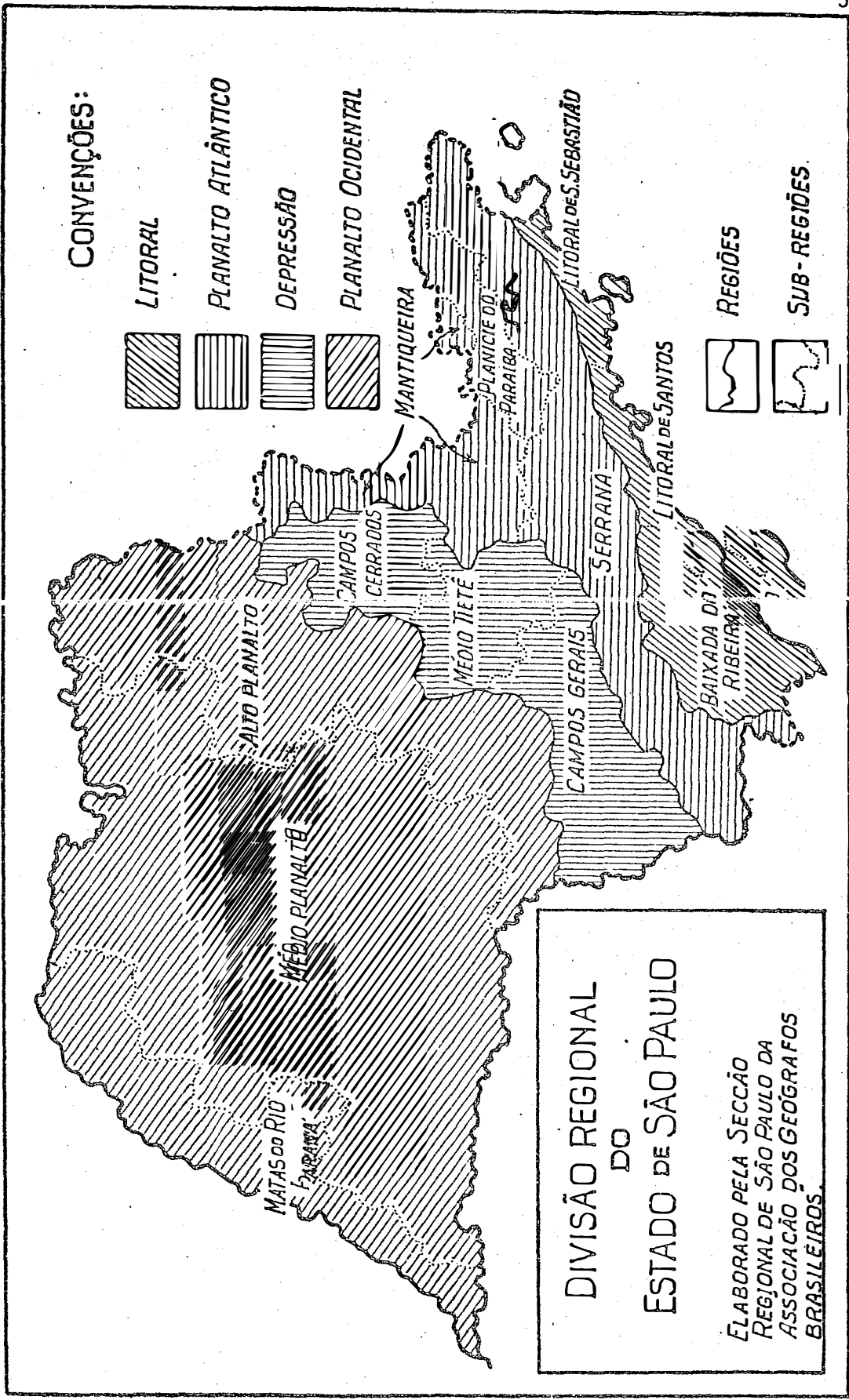


Figura 3 -Divisão Regional I do Estado de São Paulo.

É uma região deprimida, rebaixada por erosão e situada entre as terras altas do Planalto Atlântico e as escarpas elevadas das cuestas basálticas do Planalto Ocidental.

Segundo o mapa geológico do Estado de São Paulo, representado na Figura 4, a área do Município de Piracicaba é, em sua maior parte, constituída de sedimentos; e apresenta zonas de intrusão de rochas básicas que marcam acentuadamente a topografia e que desempenham importante papel na vida econômica regional, pelo fato de originarem terras muito adequadas para a agricultura.

As camadas rochosas mergulham em direção a noroeste, com inclinações maiores, cerca de 15-20 m/km nas do Grupo Tubarão (bairros Tupi, Taquaral e Quebra-Dente) e apenas 3 m/km nos arenitos da Formação Botucatu, sobre os quais repousam os derrames basálticos (bairros Anhumas, Giboia, Pinga e Paredão Vermelho).

Devido ao mergulho das camadas, as rochas mais resistentes à erosão destacam-se na topografia, constituindo pequenas cuestas que no Município de Piracicaba são mantidas por tilitos e drifts do Grupo Tubarão, calcários da Formação Irati e bancos de sílex da Formação Estrada Nova.

De um modo geral a topografia é pouco acidentada, com desniveis da ordem de 50-100 m entre interflúvios e os vales, sendo que a altimetria varia entre 450 m na várzea do Tietê a sudoeste, até 750 m nos topos mantidos pelos sills de diabásio, no divisor

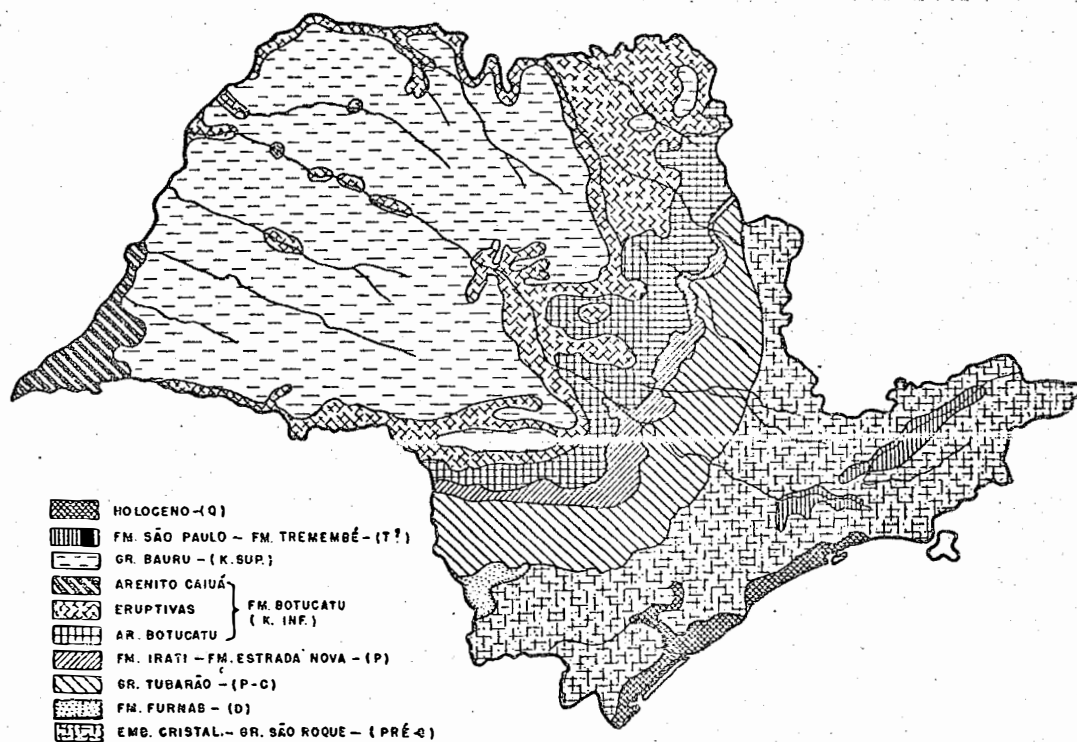


Figura 4 - Mapa Geológico Esquemático do Estado de São Paulo  
(ROTTA, 1972).

Tietê-Piracicaba (Morros São Joaquim, Monte Branco, Pau D'Alho, Boa Esperança e Pico Alto).

O clima da região, segundo o sistema Köppen, é do tipo Cwa, isto é, temperado quente com estiagem no inverno. A predominância de pluviosidade anual é de 1.200 a 1.300 mm, porém no alto da Serra de Itaqueri sobe a 1.400 mm e mesmo 1.450 mm, assim como desce a 1.100 mm, no canto SW da folha de Piracicaba (SETZER, 1946).

A temperatura média do mês mais quente oscila entre 23 e 24°C sô atingindo 22°C acima de uma altitude de 800 m.

Na Figura 5 é apresentado o mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo.

Segundo RANZANI (1976), a rede de drenagem do Município, representada pela Figura 6, é bem organizada, em sua maior parte de caráter dendrítico nas bacias de 3a. e 4a. ordem e em muitos casos, nitidamente controlada pelas estruturas geológicas, como revelado por segmentos retilíneos nos principais rios.

Na porção nordeste do Município, observa-se que a rede é menos densa e menos ramificada, tendendo para os tipos paralelo e sub-paralelo, características estas peculiares das áreas de ocorrência de Latossolos (FRANÇA, 1968).

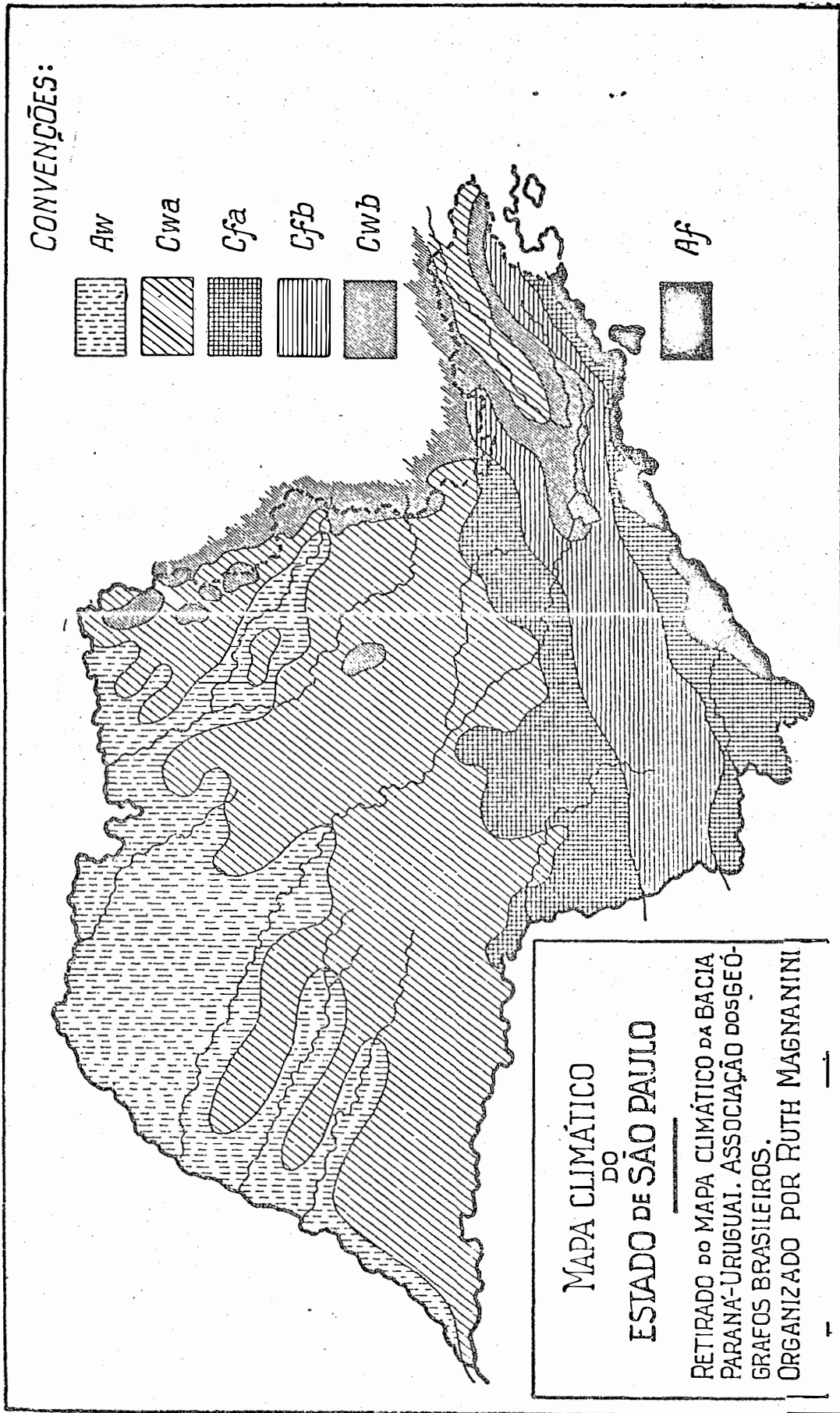


Figura 5 - Mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo.





Figura 6 - Rede de drenagem do Município de Piracicaba.  
(RANZANI, 1976).

#### 4.1.2. Solos

Para a realização deste estudo, foram escolhidas duas áreas apresentando solos com características morfogênicas diferentes e, portanto, com comportamentos hidrológicos diferentes, que se refletem em diferenças na composição e nas características das respectivas redes de drenagem.

A primeira área é constituída por solos profundos e permeáveis, com alta relação infiltração/deflúvio, ocorrendo predominância de solos que foram classificados por RANZANI et alii (1966) como pertencentes às séries Iracema e Guamium, ambos possuem o horizonte B latossólico, havendo inclusões de solos da série Luiz de Queiroz, estes com horizonte B textural.

No trabalho realizado pela COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON.(1960a), esses solos correspondem respectivamente, às unidades de mapeamento: Latossol Roxo, Latossol Vermelho-Escuro orto e Terra Roxa Estruturada. As Figuras 7, 8 e 9 mostram, respectivamente, a localização desses solos no Estado de São Paulo.

A segunda área é constituída por solos moderadamente profundos a rasos e menos permeáveis, com baixa relação infiltração/deflúvio, ocorrendo predominância de solos com horizonte B textural, os quais foram classificados por RANZANI et alii (1966) como

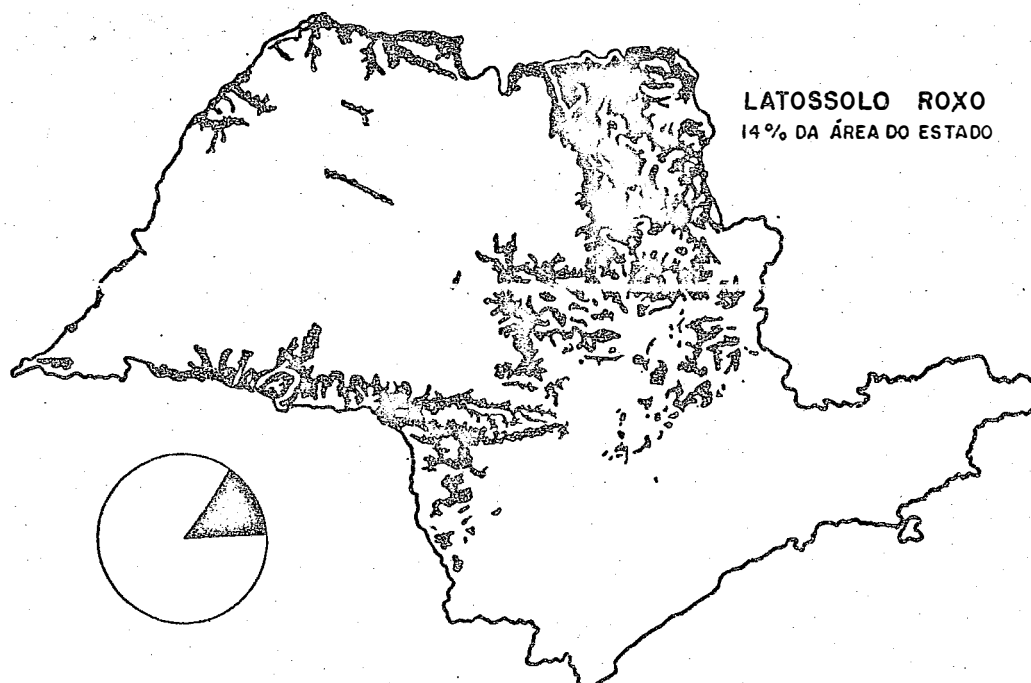


Figura 7 - Mapa esquemático mostrando a localização do Latossolo Roxo no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGR. (1960a).

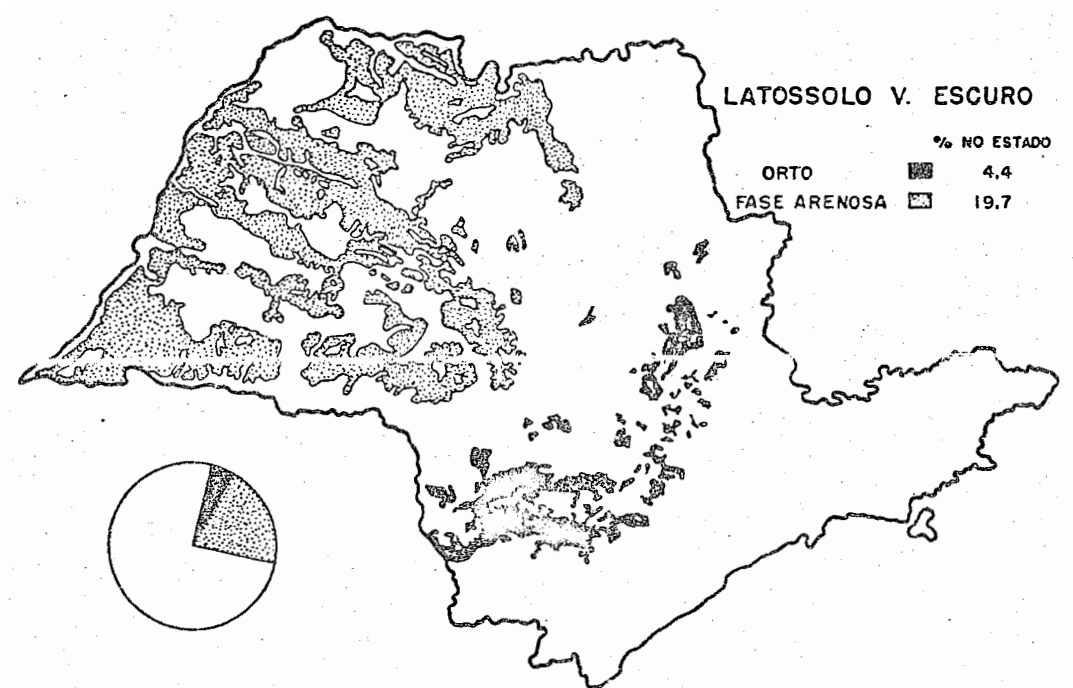


Figura 8 - Mapa esquemático mostrando a localização do Latossolo Vermelho Escuro no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGR. (1960a).

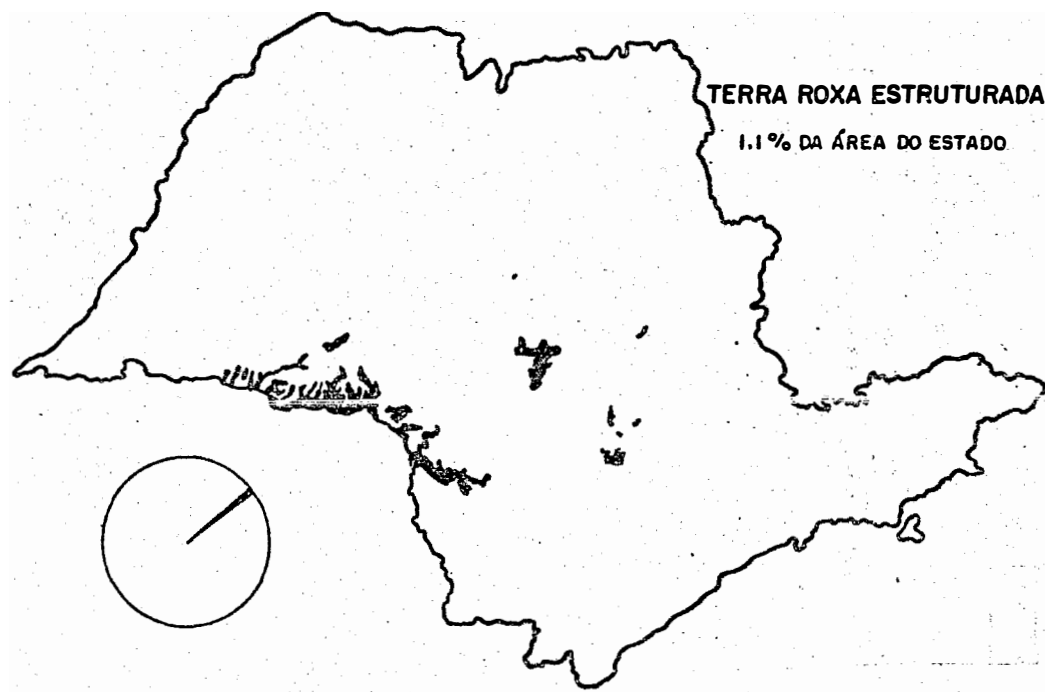


Figura 9 - Mapa esquemático mostrando a localização da Terra Roxa Estruturada no Estado de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960a).

pertencentes às séries Quebra-Dente, Godinhos e Lageadinho. Estes solos correspondem, no trabalho da COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON.(1960a), respectivamente às unidades de mapeamento: Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras, Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Piracicaba e Litossol fase substrato argiloso/Folhelho. A Figura 10 mostra a distribuição esquemática dos dois primeiros, no Estado de São Paulo; sendo que o último ocorre em áreas restritas, associado com os Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Piracicaba.

Na Tabela 2 estão descritas, de forma sucinta, as principais características dos solos estudados, segundo RANZANI et alii (1966) e COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960a).

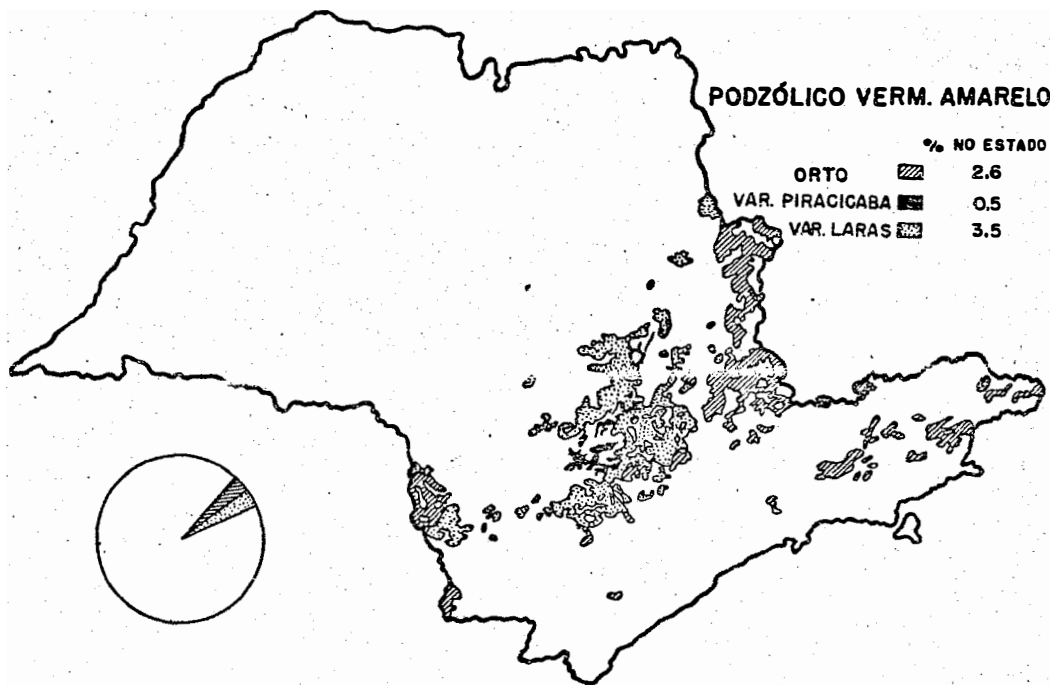


Figura 10 - Mapa esquemático mostrando a localização dos solos Podzólicos Vermelho Amarelos no Est. de São Paulo, segundo COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON., (1960a).

Tabela 2 - Principais características dos solos das duas áreas de estudo.

CARACTERÍSTICAS	ÁREA A			ÁREA B		
	Iracema	Guamium	L. de Queiroz	Quebra-Dente	Godinhos	Lageadinho
	Material de orig. Relevo	erupt. básicas	argilitos e siltitos	eruptivos bā-sicas	arenitos	argilitos e folhelhos
Profundidade	plano e suav. ondulado	plano a suav. ond.	suav. ond. a ondulado	ondulado	ondulado	ondulado e fort. ond.
Natureza do horizonte B	muito prof.	muito prof.	prof. a muito profundo	moderadamente profundo	moderadamente raso	profundo
Drenagem interna	latossólico	latossólico	textural	textural	textural	----
Relação inf./de-flúvio	boa	boa	boa	moderada	moderada	imperfeita
Textura do horizonte A	alta	alta	média	baixa	baixa	muito baixa
Textura do horizonte B	argila	argila	barro-argiloso	areia barrenta	barro sil-toso	barro sil-toso
Retenção de água (perfil)	argila	argila	argila	barro arenoso	argila	----
Resist. à erosão	alta	média	alta	baixa	média	muito baixa
Intens. de uso agrícola	alta	alta	muito alta	muito baixa	baixa	muito baixa
	muito alta	alta	muito alta	média	alta	baixa

FONTE: RANZANI et alii (1966) e COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON. (1960a).



#### 4.1.3. Fotografias aéreas - Escala 1:60.000

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais provenientes da cobertura realizada mediante o convênio entre a U.S.A.F. (United States Air Force) em cooperação com o governo brasileiro em 1965. Apresentam as seguintes características:

- a. Formato: 23 x 23 cm
- b. Área coberta por fotografia: cerca de 190 km<sup>2</sup>
- c. Base: papel fotográfico preto e branco
- d. Recobrimento longitudinal: 60% (na faixa de voo)
- e. Recobrimento lateral: 30% (entre faixas adjacentes)

#### 4.1.4. Fotografias aéreas - Escala 1:25.000

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais provenientes do levantamento aerofotográfico executado pela Força Aérea Brasileira em 1971 e 1972, para o Serviço de Fotointerpretação do Instituto Brasileiro do Café.

Apresentam as mesmas características descritas para as fotografias do item anterior, com exceção da escala e da área coberta por fotografia, que é aproximadamente 33 km<sup>2</sup>.

#### 4.1.5. Fotografias aéreas - Escala 1:8.000

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais provenientes do levantamento fotográfico do município de Piracicaba, executado pela Terra-Foto (ex-Vasp Aerofotogrametria) em 1973.

Apresentam as mesmas características descritas para as fotografias em escala 1:60.000 (item 4.1.3) com exceção da escala e da área coberta por fotografia, que é aproximadamente 3,38 km<sup>2</sup>.

#### 4.1.6. Cartas de solos

Para a identificação dos solos foram úteis a Carta dos Solos do Estado de São Paulo (COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. PESQ. AGRON., 1960b) e a Carta de Solos do Município de Piracicaba (RANZANI et alii, 1966) bem como os respectivos relatórios.

#### 4.1.7. Mosaicos aerofotográficos e fotoíndices

Para a escolha das fotografias aéreas utilizadas no presente estudo, foram examinados mosaicos aerofotográficos na escala 1:25.000, referentes ao levantamento aerofotográfico do Estado de São Paulo de 1962. A localização das fotografias foi facilitada pelos fotoíndices referentes às coberturas da U.S.A.F. em 1965.

#### 4.1.8. Estereoscópios

A visão estereoscópica, isto é, percepção da terceira dimensão, foi obtida através da utilização de um estereoscópico de bolso D.F. VASCONCELOS e um estereoscópico de espelho ZEISS com ocular de três aumentos.

#### 4.1.9. Equipamento de medição e desenho

Foram utilizados equipamentos simples de medição e desenho como escalímetro, curvímetro e compasso.

O traçado de informações das diversas imagens foi efetuado sobre folhas transparentes de poliéster estável.

### 4.2. Métodos

#### 4.2.1. Escolha das áreas de estudo

Após estudo dos mapas pedológicos e eleitas as unidades de solos que seriam estudadas, com auxílio de fotoíndices da região foram selecionadas as fotografias aéreas de ocorrência dessas unidades de solos e que deveriam, portanto, conter as informações desejadas, seguindo o método de pesquisa lógica sugerido por RABBEN (1960).

#### 4.2.2. Obtenção dos mapas básicos da drenagem

Por meio de exame estereoscópico de fotografias aéreas foram traçados, sobre papel transparente, os canais de drenagem bem definidos, quer fossem cursos d'água permanentes ou temporários, conforme sugerem STRAHLER (1957), LUEDER (1959) e RAY (1963), e as depressões úmidas, indicadoras do grau de integração segundo LUEDER (1959). Cada conjunto de fotografias foi montado de acordo com o método de "match lines", descrito pelo SOIL SURVEY STAFF (1962).

O traçado das redes de drenagem foi feito inicialmente no conjunto de fotografias de escala 1:60.000 e, por último no de escala 1:8.000.

Os descalques das redes de drenagem foram feitos conforme a sugestão de RAY (1963), para facilitar o estudo de certas características da drenagem, como tendências ou modificações do padrão, número e comprimento de rios e tributários, com a eliminação da exuberância de detalhes proporcionada pelas fotografias aéreas.

#### 4.2.3. Análise das redes de drenagem

De acordo com BURINGH (1960), o estudo realizado foi do tipo "análise de elementos". Os elementos analisados referem-se às características descritivas e quantitativas dos padrões de drenagem.

##### 4.2.3.1. Características descritivas dos padrões de drenagem

Os padrões de drenagem foram descritos

conforme LUEDER (1959), sendo incluído o tipo ou modelo segundo PARVIS (1950).

#### 4.2.3.2. Características quantitativas dos padrões de drenagem

A caracterização quantitativa dos padrões de drenagem foi restringida aos elementos disponíveis em amostras circulares, conforme método desenvolvido por RAY e FISCHER (1960) e ampliado por SOUZA (1975), a saber:

- 1) Densidade de drenagem: de cada amostra circular, segundo adaptação da fórmula de HORTON (1945) por RAY e FISCHER (1960); designada por  $D_c$ :

$$D_c = \frac{L_t}{A}$$

onde  $L_t$  é o comprimento total de rios e  $A$  é a área da amostra circular;

- 2) Frequência de rios: de cada amostra circular, segundo adaptação da fórmula de HORTON (1945) por SOUZA (1975); designada por  $F_c$ :

$$F_c = \frac{N}{A}$$

onde  $N$  é o número total de rios e  $A$  é a área da amostra circular;

- 3) Razão de textura: de cada amostra circular, segundo definição de SMITH (1950), modificação de FRANÇA (1968) e adaptação de SOUZA (1975); designada por  $T_c$ :

$$T_c = \frac{N}{P}$$

onde  $N$  é o número total de rios e  $P$  é o perímetro da amostra circular;

- 4) Textura topográfica: com base na razão de textura das amostras circulares, as unidades de solo estudadas foram classificadas quanto à textura topográfica, segundo a proposição de SMITH (1950), adaptada por FRANÇA (1968) e indicada na Tabela 1.

A amostragem das redes de drenagem foi executada utilizando-se círculos de áreas que variaram para as diferentes escalas das fotografias utilizadas. Para a escala 1:8.000 foram analisadas amostras de 3 km<sup>2</sup>; para a escala 1:25.000, amostras usuais de 10 km<sup>2</sup>; e para a escala 1:60.000, amostras de 20 km<sup>2</sup>, testadas por KOFFLER (1976a).

Esta variação na área das amostras circulares em função da escala é justificada pela inconveniência em manter-se constante a área de  $10 \text{ km}^2$ , que na escala de 1:60.000 seria um círculo de aproximadamente 6 cm de diâmetro. Por outro lado SOUZA (1975) já observara que a área das amostras circulares pode variar conforme a área de ocorrência dos solos estudados, não sendo fixo o valor de  $10 \text{ km}^2$ . Segundo KOFFLER (1976a) o sistema de amostragem circular mostrou-se eficiente e prático para a análise quantitativa dos padrões de drenagem nas escalas 1 : 25.000, 1:60.000 e 1:500.000; e a utilização de amostras circulares de  $20 \text{ km}^2$  para as fotografias aéreas de 1:60.000 e de  $100 \text{ km}^2$  para as imagens orbitais (SKYLAB) na escala 1:500.000, foi satisfatória para os propósitos visados. Ainda segundo KOFFLER (1976b), a escolha do tamanho da amostra circular está vinculada à densidade relativa da rede de drenagem a caracterizar. Assim, padrões de drenagem mais densos podem ser caracterizados por amostras menores, enquanto os menos densos necessitam de amostras de maiores dimensões para ser obtida uma representatividade satisfatória.

Neste trabalho, nas fotografias aéreas selecionadas, foram estudadas três amostras circulares de cada escala, representativas da rede de drenagem de cada unidade de solo.

Para estabelecer a integração das informações fornecidas pelas diferentes escalas de fotografias, como sugere KOFFLER (1976a), as amostras circulares foram localizadas

de modo que cada amostra na escala 1:60.000 (20 km<sup>2</sup>) contenha as três amostras na escala 1:25.000 (10 km<sup>2</sup>) referentes a cada unidade de solo a estas, por sua vez, contenham as correspondentes amostras circulares na escala 1:8.000 (3 km<sup>2</sup>).

#### 4.2.3.3. Variação das características quantitativas com as diferentes escalas

Estudaram-se também as tendências apresentadas pelas características quantitativas, levando-se em consideração a variação da escala de amostragem, como RAY e FISCHER (1960) o fizeram para densidade de drenagem.

#### 4.2.3.4. Análise estatística

##### 4.2.3.4.1. Teste de Friedman

Os resultados obtidos foram analisados segundo o teste de Friedman, não paramétrico, com a finalidade de comparar as escalas das fotografias aéreas utilizadas.

Este teste, segundo CAMPOS (1976) é um competidor direto da Análise de Variância para o delineamento em blocos casualizados, do campo paramétrico, onde o modelo matemático exige determinadas hipóteses como a normalidade dos dados, homogeneidade de variâncias, de tratamentos, erros independentes e



efeitos aditivos, que nem sempre são satisfeitas. Quando estas exigências forem satisfeitas os testes paramétricos serão mais eficientes que os não paramétricos.

O teste de Friedman é aplicado às ordens de  $k$  observações dentro de cada bloco onde se admite que os  $k$  tratamentos estão sujeitos às mesmas condições. Através deste teste pode-se verificar se  $k$  amostras (tratamentos) são provenientes de uma mesma população ou de populações análogas, ou se provêm de populações distintas.

As pressuposições deste teste são:

- os  $n$  grupos de  $k$  observações são independentes entre si.
- as  $k$  populações são aproximadamente da mesma forma e contínuas. No caso de populações não contínuas, o teste é apenas aproximado.

Os dados obtidos foram analisados segundo este teste, pois, satisfazem as duas pressuposições do mesmo.

As hipóteses consideradas foram:

$$H_0: E_1 = E_2 = E_3 \text{ sendo } \begin{aligned} E_1 &= 1:60.000 \\ E_2 &= 1:25.000 \\ E_3 &= 1:8.000 \end{aligned}$$

$H_a$ : pelo menos duas escalas diferem entre si quanto aos Índices de Drenagem considerados.

Em cada região considerada para cada característica procedeu-se à classificação conjunta das três observações, dando ordem 1 ao menor valor e ordem 3 ao maior deles.

Em seguida, para a aplicação do teste, calculou-se a Estatística.

$$\chi_r^2 = \frac{i^2}{n k (k + 1)} \sum_{i=1}^k R_i^2 - 3 n (k + 1)$$

onde:

$$n = 3$$

$$k = 3$$

$R_i$  = soma das ordens atribuídas aos dados do tratamento  $i$ , nos 3 blocos (regiões).

Se o valor  $\chi_r^2$  for maior ou igual a um valor  $\chi_0^2$  (valor tabelado, a um nível  $\alpha$  de significância) rejeita-se  $H_0$  em favor de  $H_a$ .

#### 4.2.3.4.2. Comparações múltiplas

No teste de Friedman, quando se rejeita a hipótese  $H_0$  em favor de  $H_a$ , admite-se que pelo menos dois tratamentos diferem entre si. A finalidade das comparações múltiplas é localizar quando existem, as diferenças significativas entre pares de tratamentos.

São considerados os  $\frac{k(k-1)}{2}$  pares de tratamentos e determinada para cada par a diferença:

$$|R_i - R_j| \quad (i = 1, 2, \dots, k-1) \\ (j = i+1, \dots, k)$$

onde,  $R_i$  e  $R_j$  representam as somas das ordens atribuídas, respectivamente, aos tratamentos  $i$  e  $j$  nos  $n$  blocos.

A uma taxa de erro experimental  $\alpha$ , admite-se

$$t_i \neq t_j \quad \text{se} \quad |R_i - R_j| \geq \Delta_1$$

ou seja, a diferença mínima significativa a uma taxa  $\alpha$  é  $\Delta_1$ , isto é:

$$P \{ |R_i - R_j| \geq \Delta_1 \} = \alpha$$

onde  $\Delta_1$  é um valor tabelado.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise das fotografias aéreas em escala 1:60.000

#### 5.1.1. Características das amostras circulares

As amostras circulares na escala 1:60.000, que representam as redes de drenagem nas unidades de solo estudados, estão reproduzidas nas Figuras 11 e 12 e suas características dimensionais, na Tabela 3.

Os trabalhos de FRANÇA (1968) e os que se seguiram até SOUZA (1975), desenvolveram-se sobre fotografias aéreas na escala de 1:25.000. KOFFLER (1976a) ampliou os estudos baseados na amostragem circular, verificando as ocorrências com os padrões de drenagem em fotografias aéreas nas escalas 1:25.000, 1:60.000, estendendo-se ao nível orbital - fotografias Skylab, na escala 1:500.000.

No presente trabalho procurou-se analisar estatisticamente tais diferenças e para a caracterização quantitativa dos padrões de drenagem foram aproveitadas as facilidades proporcionadas pela amostragem circular.

A análise da Tabela 3 mostra que existe uma marcante diferença entre os solos, no que tange aos comprimentos de rios: relativamente curtos nos solos da Área B (Solos com B textural) e relativamente longos nos solos da Área A (solos com B latossólico). As dimensões apresentadas na Tabela 3 permitiram calcular uma média de 1 km por rio para os solos da Área A e 0,5 km para os solos da Área B comprovando-se assim a observação visual.

Estes resultados concordam com os obtidos por KOFFLER (1976a), para solos com B textural e solos com B latossólico, originados do arenito Baurū.

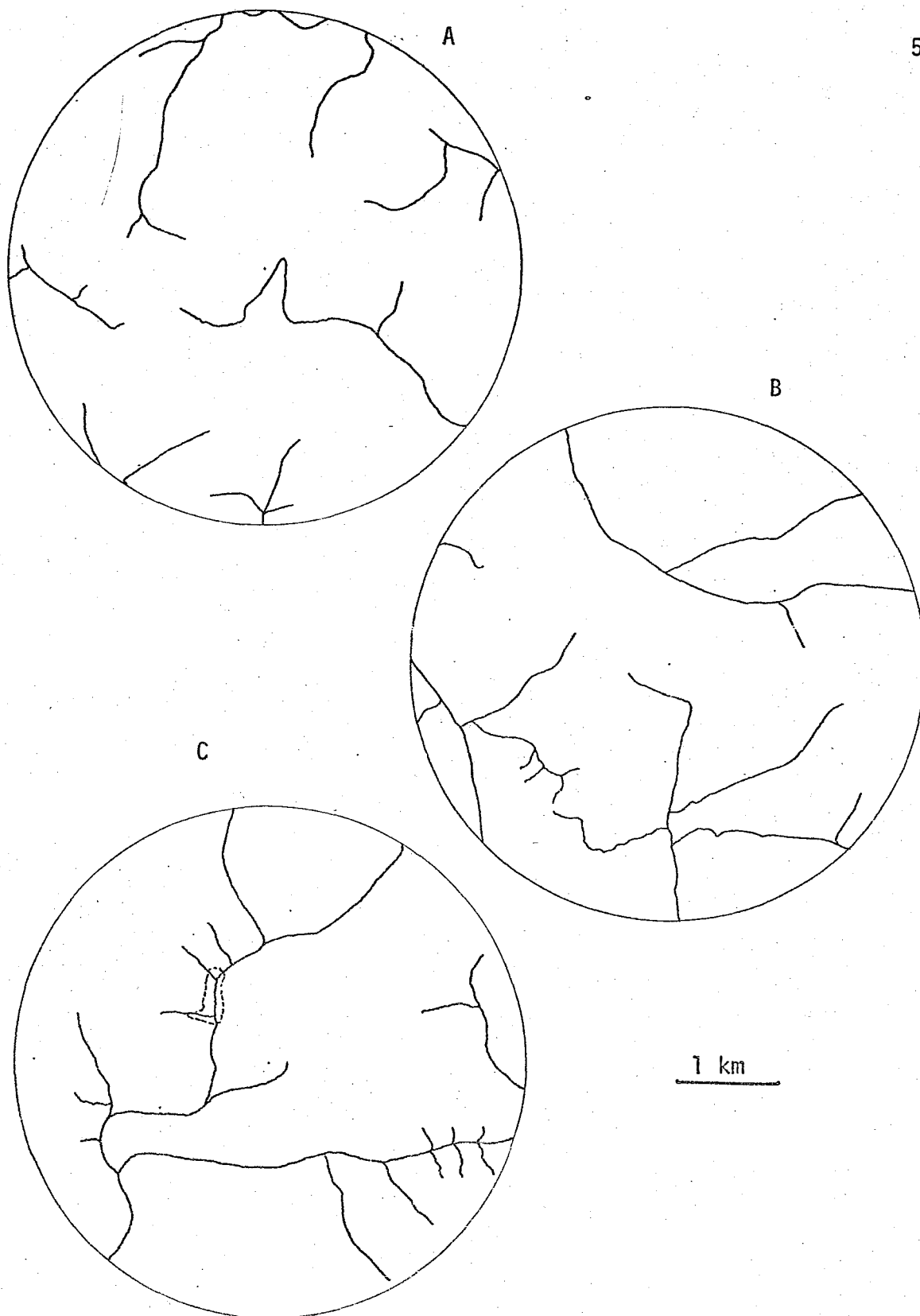


Figura 11 - Amostras circulares A, B e C ( $20 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:60.000.

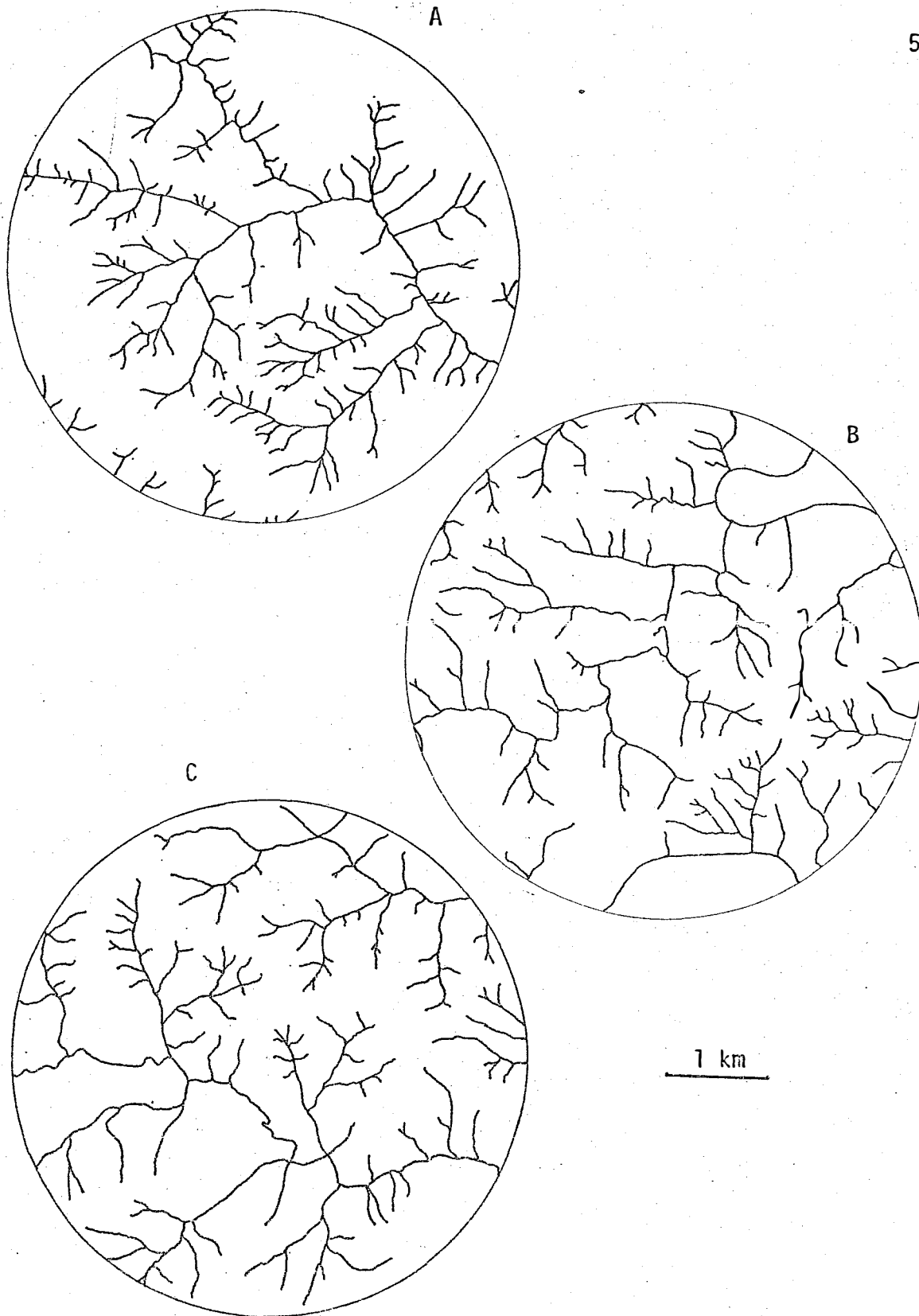


Figura 12 - Amostras circulares A, B e C ( $20 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:60.000.

Tabela 3 - Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:60.000, representativas das unidades de solo estudadas. (Área = 20 km<sup>2</sup>; perímetro = 15,85 km).

Unidade de solo	Amostras circulares	Nº de rios	Comprimento da rede (km)
Solos da	A	19	18,6
Área A	B	16	21,0
(B latossólico)	C	20	21,0
Solos da	A	148	61,5
Área B	B	128	64,5
(B textural)	C	116	57,0



### 5.1.2. Características descritivas dos padrões de drenagem

As características descritivas dos padrões de drenagem das unidades de solo estudadas estão resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características descritivas dos padrões de drenagem das unidades de solo estudadas.

Características descritivas	Solos da Área A (B latossólico)	Solos da Área B (B textural)
Grau de integração	médio, com ocorrência de baixadas úmidas	alto
Densidade	baixa	alta
Grau de uniformidade	pouco uniforme	uniforme
Orientação	pouco orientado	pouco orientado
Grau de controle	baixo	moderado
Ângulos de junção	aproximadamente retos	retos e localmente agudos
Angularidade	ausente	moderada
Tipo ou modelo	Subparalelo	dendrítico
Anomalias	variação na frequência de baixadas úmidas	variações locais na densidade

No presente caso, tanto o tipo ou modelo segundo PARVIS (1950) como as características descritivas do padrão, propostas por LUEDER (1959), evidenciou diferenças entre os solos estudados. Contudo, como já observaram HORTON (1945), SMITH (1950), STRAHLER (1957) e, nas condições brasileiras, FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a), essa caracterização é muito subjetiva, devendo ser complementado com índices numéricos, mais consistentes e reproduzíveis.

#### 5.1.3. Características quantitativas dos padrões de drenagem

A Tabela 5 apresenta as características quantitativas obtidas pelo relacionamento do número e comprimento total de rios à área das amostras circulares e do número de rios ao perímetro dessas amostras, em fotografias aéreas na escala 1:60.000.

Todos os índices numéricos determinados em amostras circulares, servem para diferenciar os solos estudados, concordando com os resultados obtidos por SOUZA (1975). Isto se aplica as três escalas utilizadas, confirmando as observações de KOFFLER (1976a).

Tabela 5 - Características quantitativas do padrão de drenagem e classe de textura topográfica das amostras circulares na escala 1:60.000, representativas das unidades de solo estudadas.

Características quantitativas	Amostras circulares					
	Solos da Área A			Solos da Área B		
	A	B	C	A	B	C
Dens. de drenagem (DC) média	$s^2 = 0,004800$			$s^2 = 0,034633$		
	0,93	1,05	1,05	3,07	3,22	2,85
	1,01	± 0,04		3,05	± 0,11	
Frequência de rios (Fc) média	$s^2 = 0,010833$			$s^2 = 0,653333$		
	0,95	0,80	1,00	7,4	6,4	5,8
	0,92	± 0,06		6,53	± 0,47	
Razão de textura (Tc) média	$s^2 = 0,017033$			$s^2 = 1,042633$		
	1,20	1,01	1,26	9,34	8,07	7,32
	1,16	± 0,08		8,24	± 0,59	
Classe de textura topográfica	grosseira			fina		

Por outro lado, não corroborou as afirmativas de HORTON (1945) e STRAHLER (1964), de que haveria necessidade de utilizar dois índices, a densidade de drenagem e a frequência de rios, conjuntamente; pois qualquer dessas características, tomada isoladamente, serve para diferenciar os solos estudados.

A razão de textura média também mostrou ser um bom índice, permitindo ainda classificar os solos estudados em classes de textura topográfica bem distinta, concordando com as observações de SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a), autores que estenderam a determinação deste índice às amostras circulares.

## 5.2. Análise das fotografias aéreas em escala 1:25.000

### 5.2.1. Características das amostras circulares

As amostras circulares na escala 1:25.000, que representam as redes de drenagem das unidades de solo estudadas, estão reproduzidas nas Figuras 13 a 18 e suas características dimensionais, na Tabela 6.

Analogamente às considerações feitas para as características dimensionais da Tabela 3, a análise da Tabela 6 permitiu confrontar as médias dos comprimentos de rios nas duas Áreas de estudo.

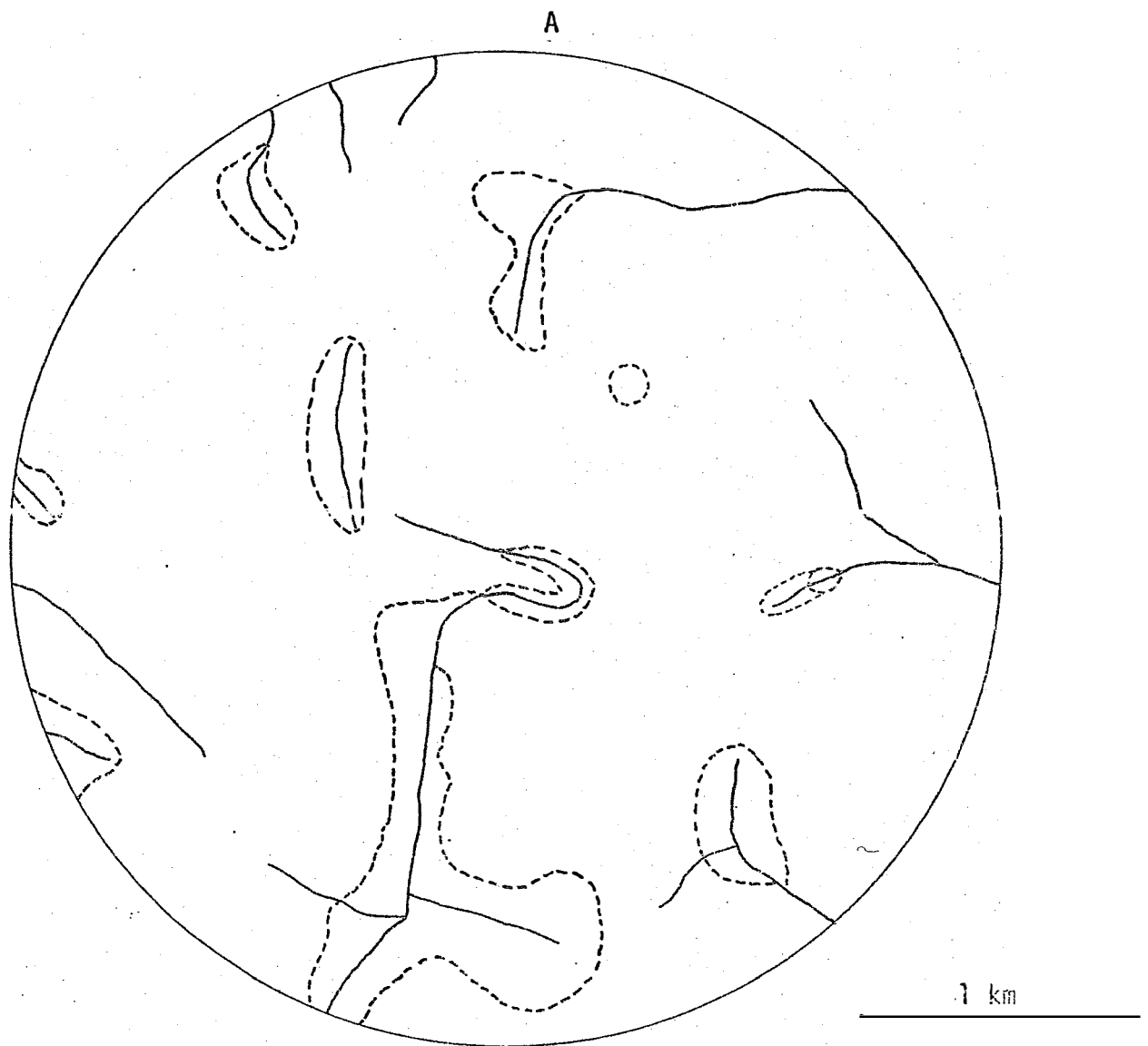


Figura 13 - Amostra circular A ( $10 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:25.000.

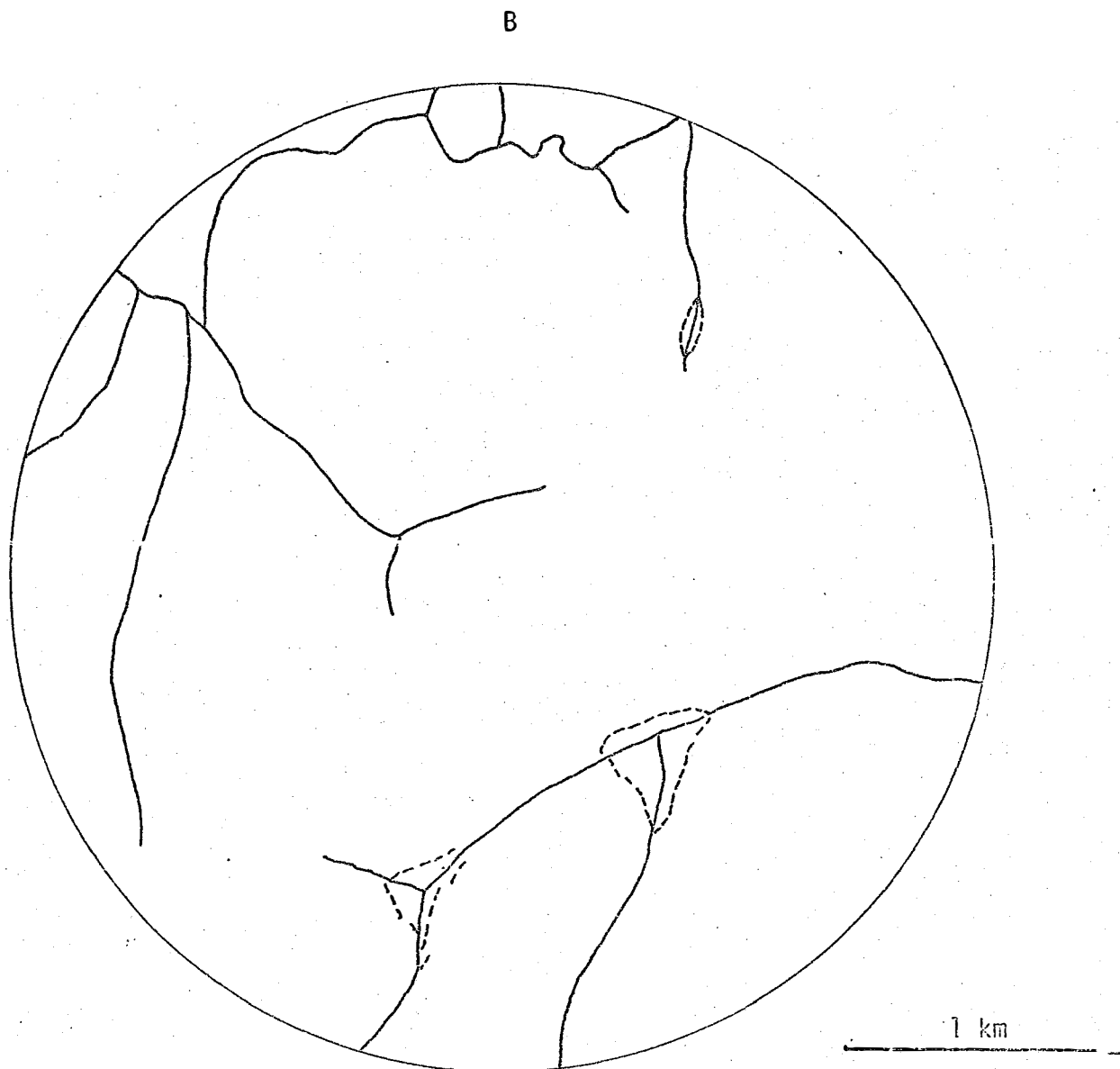


Figura 14 - Amostra circular B ( $10 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:25.000.

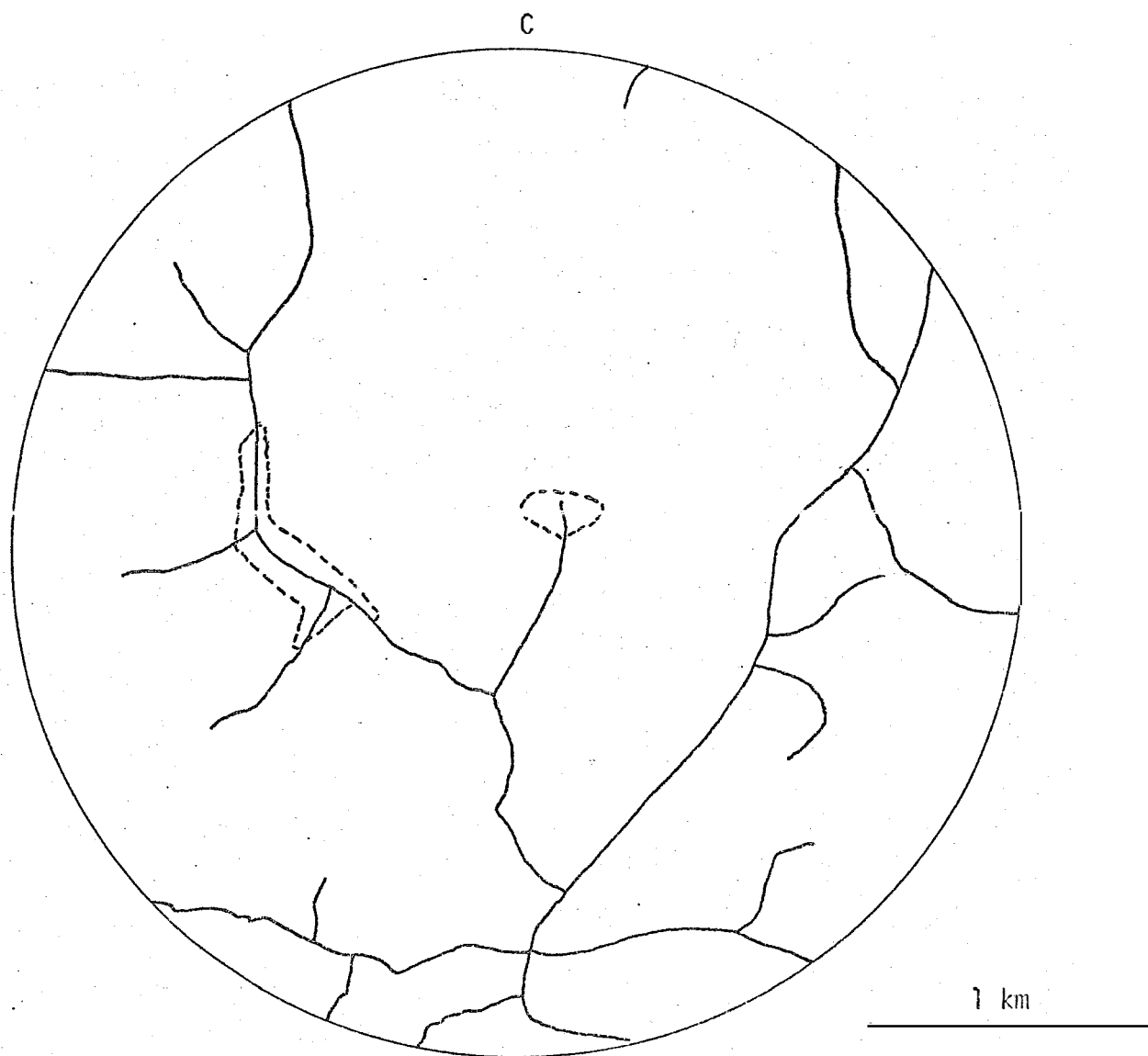


Figura 15 - Amostra circular C (10 km<sup>2</sup>) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:25.000.

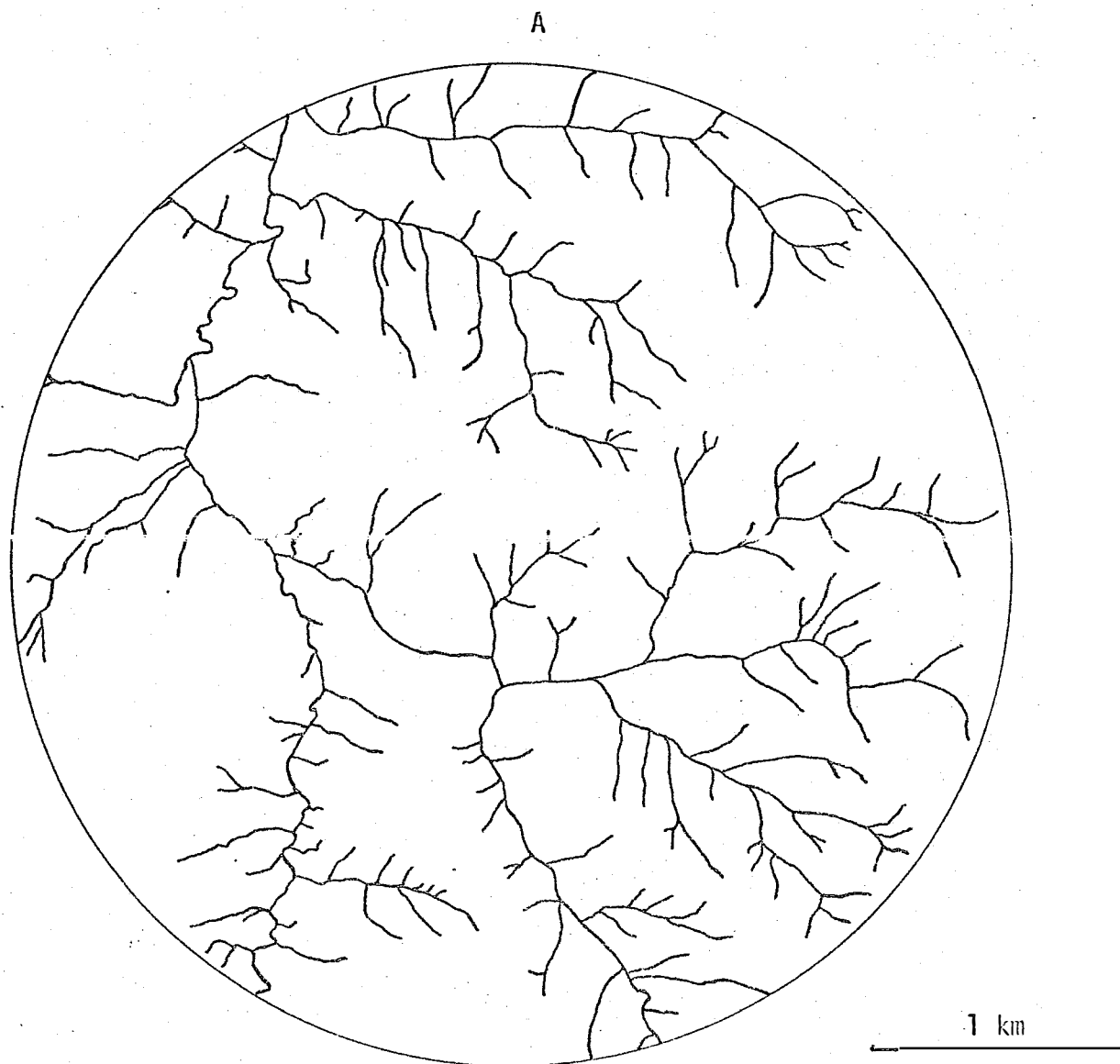


Figura 16 - Amostra circular A ( $10 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:25.000.



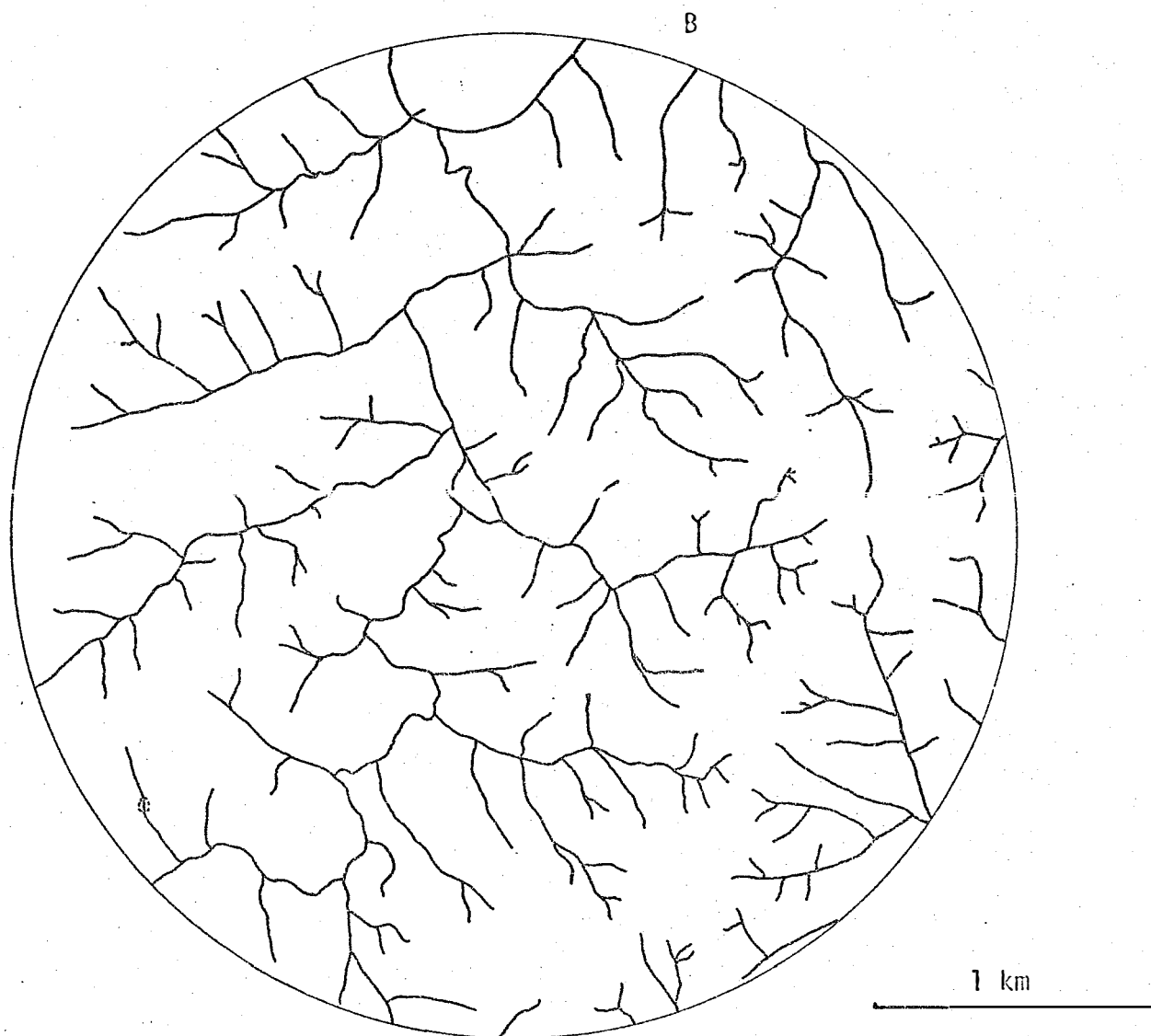


Figura 17 - Amostra circular B ( $10 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da área B (Solos com B textural). Escala 1:25.000.

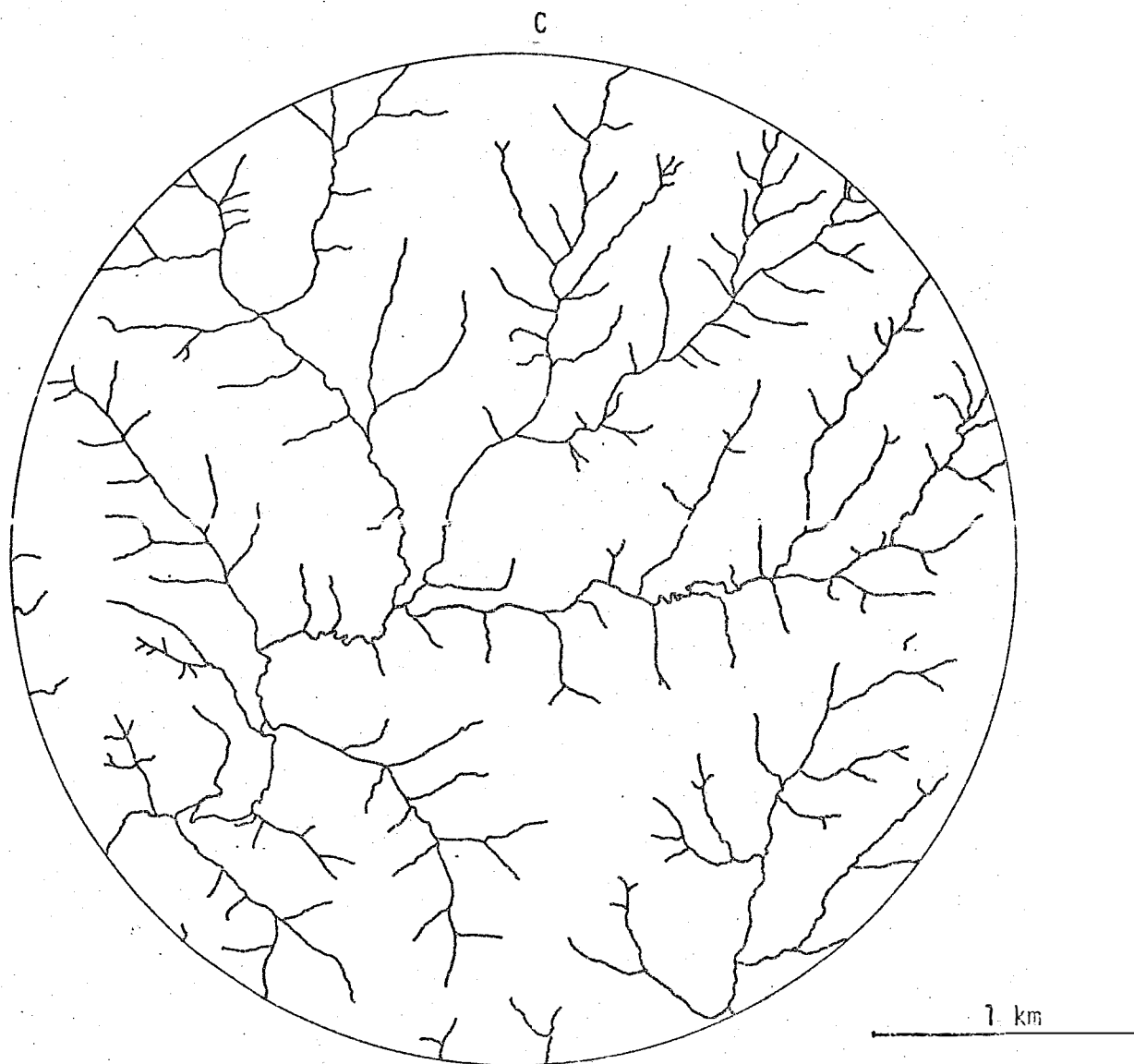


Figura 18 - Amostra circular C ( $10 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da área B (Solos com B textural). Escala 1:25.000.

Para os solos da Área A (solos com B latossólico) a média foi de 0,9 km por rio, havendo um decréscimo de cerca de 17% em relação à escala 1:60.000; e para os solos da Área B (solos com B textural) a média foi de 0,3 km por rio, havendo um decréscimo de cerca de 66% em relação à escala 1:60.000. Isto sugere um aumento na quantidade relativa de rios mais curtos à escala 1:25.000 e que não puderam ser observados na escala de 1:60.000, concordando com as observações de KOFFLER (1976a).

#### 5.2.2. Características descritivas dos padrões de drenagem

A observação das fotografias na escala 1:25.000 permite uma descrição do padrão de drenagem que não difere do estudo das fotografias na escala 1:60.000 (Tabela 3), a não ser no que tange à visão menos ampla das áreas proporcionada pela maior escala das fotografias. Constatação semelhante foi feita por KOFFLER (1976a).

Tabela 6 - Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:25.000, representativas das unidades de solo estudadas. (Área = 10 km<sup>2</sup>; perímetro = 11,21 km).

Unidade de solo	Amostras circulares	Número de rios	Comprimento da rede (km)
Solos da área A (B latossólico)	A	15	11,4
	B	12	13,5
	C	17	16,4
Solos da área B (B textural)	A	180	49,0
	B	170	51,0
	C	191	52,5

### 5.2.3. Características quantitativas dos padrões de drenagem

A Tabela 7 apresenta as características quantitativas da rede de drenagem de amostras circulares em fotografias aéreas na escala 1:25.000.

Os resultados obtidos mostram que qualquer desses índices, isoladamente, é suficiente para diferenciar os solos estudados, discordando de HORTON (1945) e STRAHLER (1964) e concordando com os autores brasileiros, principalmente SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a).

## 5.3. Análise das fotografias aéreas em escala 1:8.000

### 5.3.1. Características das amostras circulares

As amostras circulares na escala 1:8.000, representativas das unidades de solos estudadas, estão reproduzidas nas Figuras 19 a 24 e suas características dimensionais, na Tabela 8.

Tabela 7 - Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das amostras circulares na escala 1:25.000, representativas das unidades de solo estudadas.

Características quantitativas	Amostras circulares					
	Solos da Área A			Solos da Área B		
	A	B	C	A	B	C
Dens. de drenagem (Dc) média	$s^2 = 0,063034$			$s^2 = 0,030833$		
	1,14	1,35	1,64	4,90	5,10	5,25
	1,38	± 0,14		5,08	± 0,10	
Frequência de rios (Fc) média	$s^2 = 0,063333$			$s^2 = 1,103333$		
	1,5	1,2	1,7	18,0	17,0	19,1
	1,47	± 0,14		18,03	± 0,61	
Razão de textura (Tc) média	$s^2 = 0,051300$			$s^2 = 0,884133$		
	1,34	1,07	1,52	16,06	15,16	17,04
	1,31	± 0,13		16,10	± 0,54	
Classe de textura topográfica	grosseira			fina		

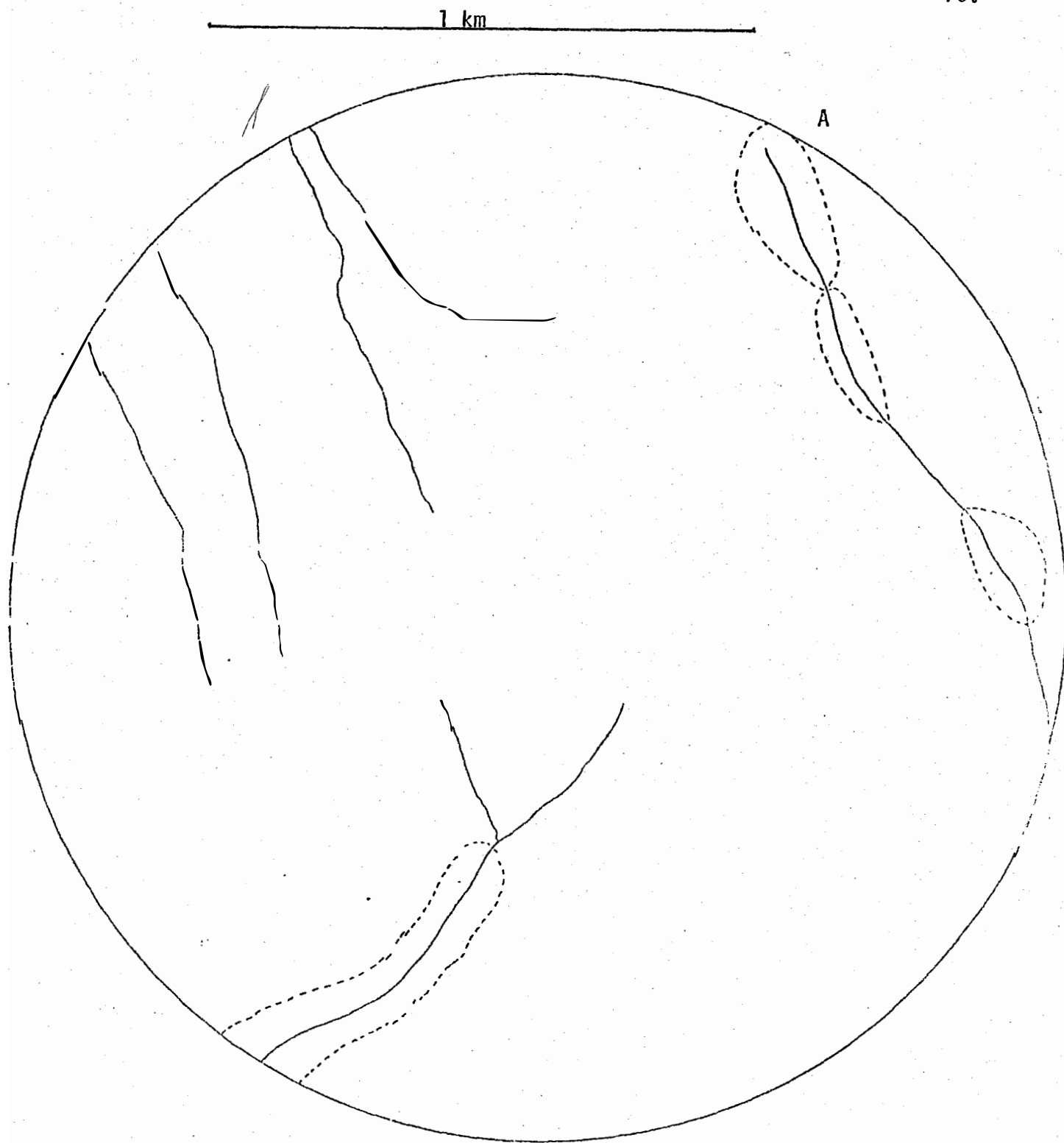


Figura 19 - Amostra circular A ( $3 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:8.000.

1 km

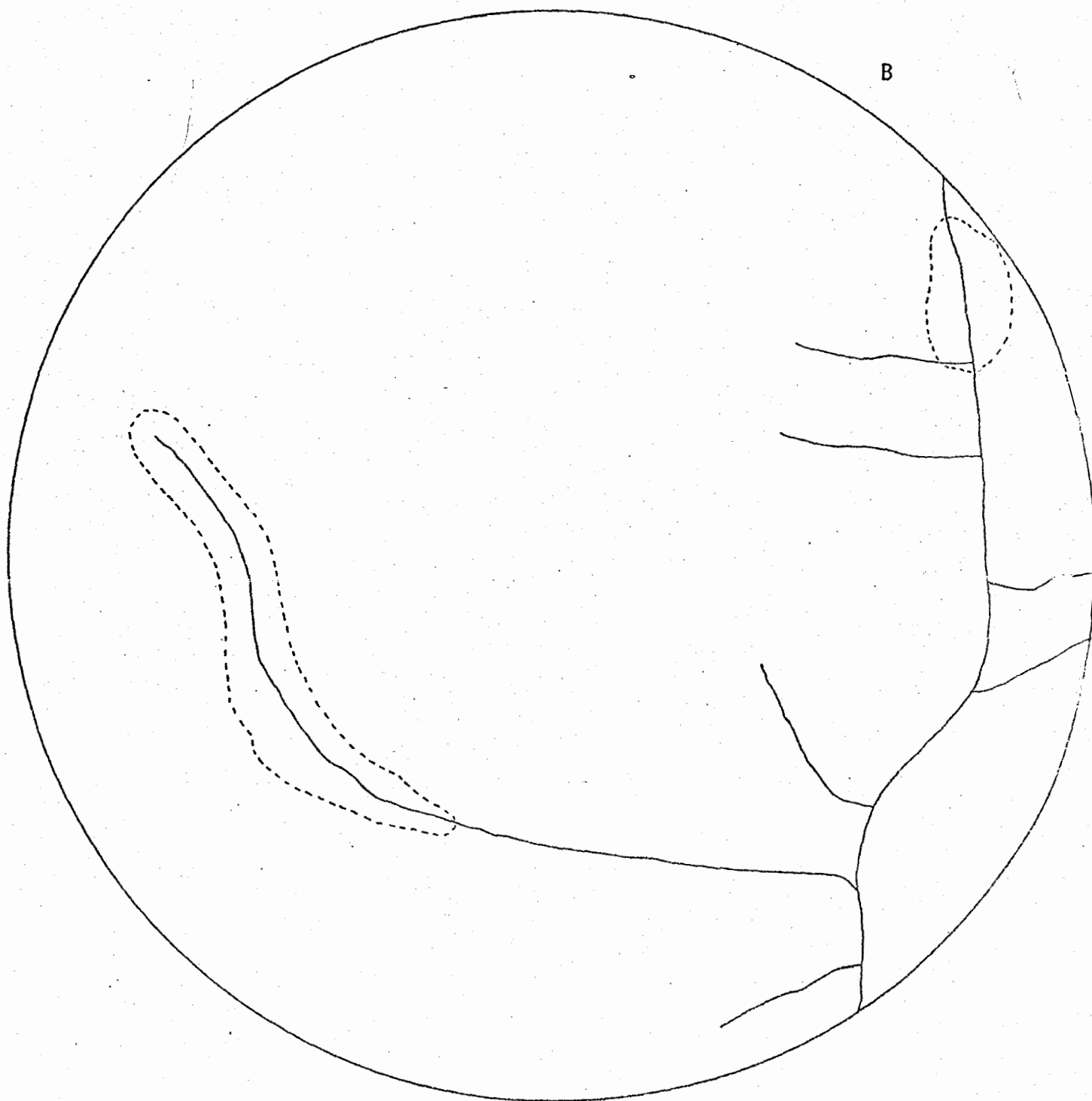


Figura 20 - Amostra circular B ( $3 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:8.000.



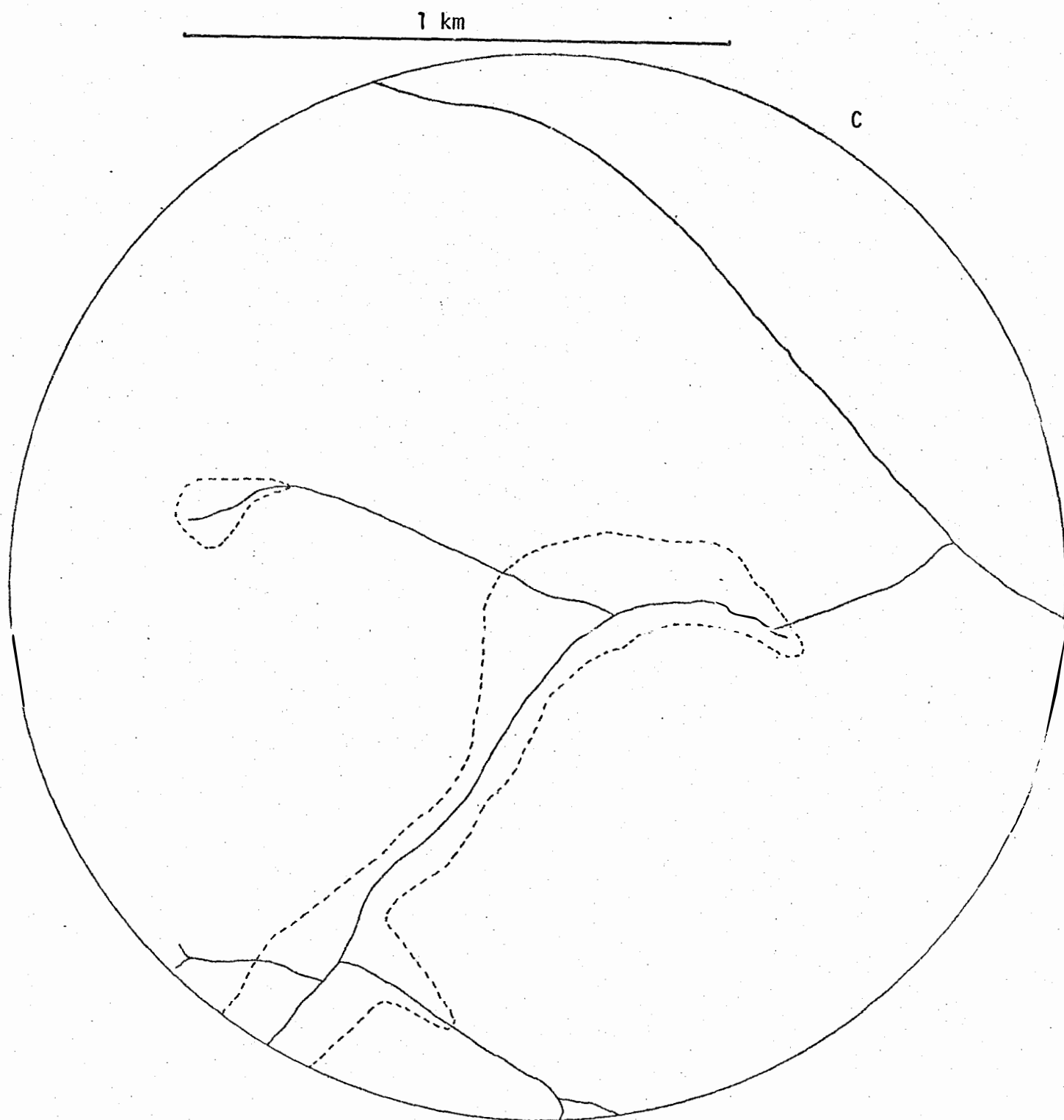


Figura 21 - Amostra circular C (3 km<sup>2</sup>) da rede de drenagem em solos da Área A (Solos com B latossólico). Escala 1:8.000.

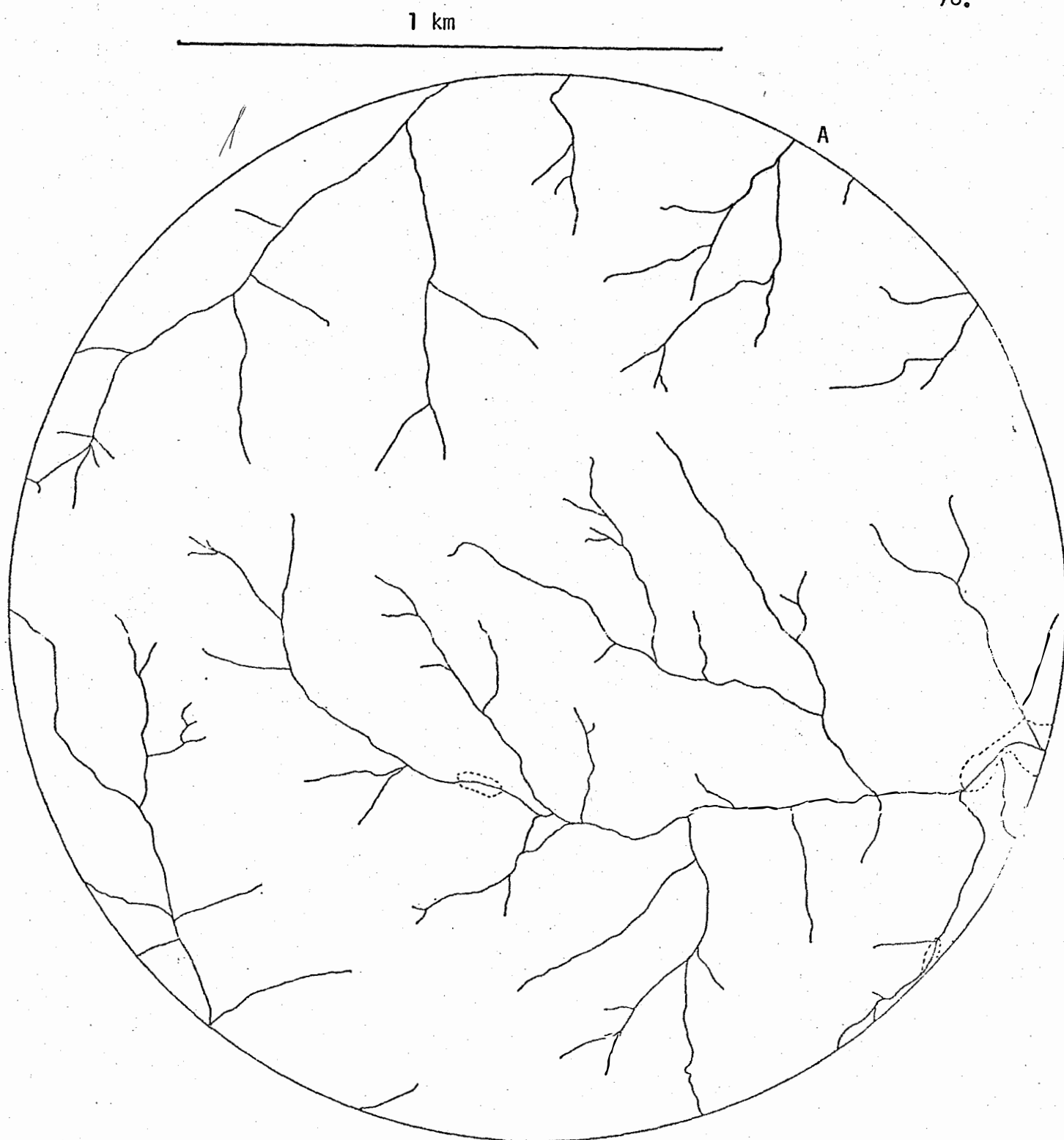


Figura 22 - Amostra circular A ( $3 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:8.000.

1 km

79.

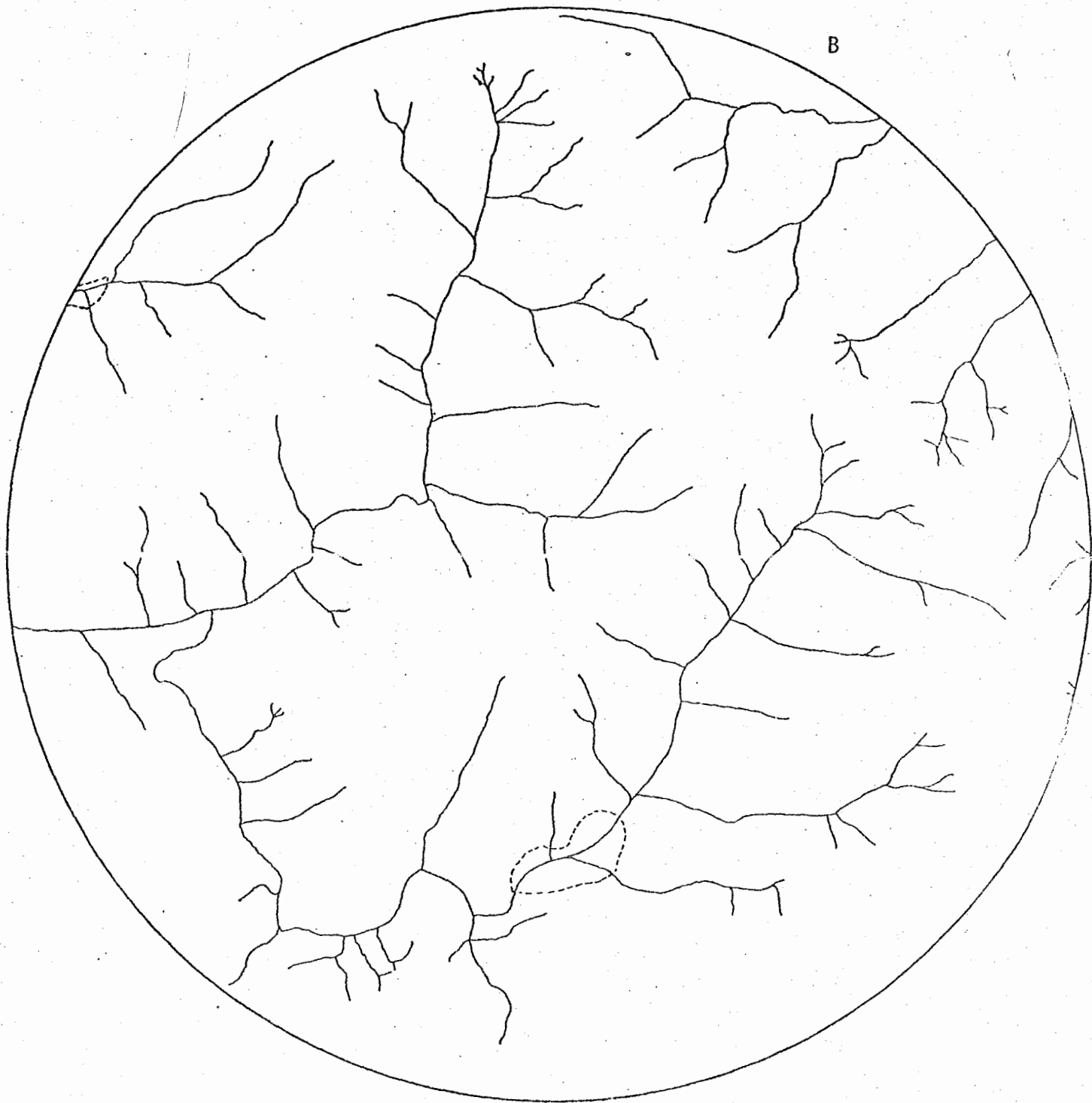


Figura 23 - Amostra circular B ( $3 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B textural). Escala 1:8.000.

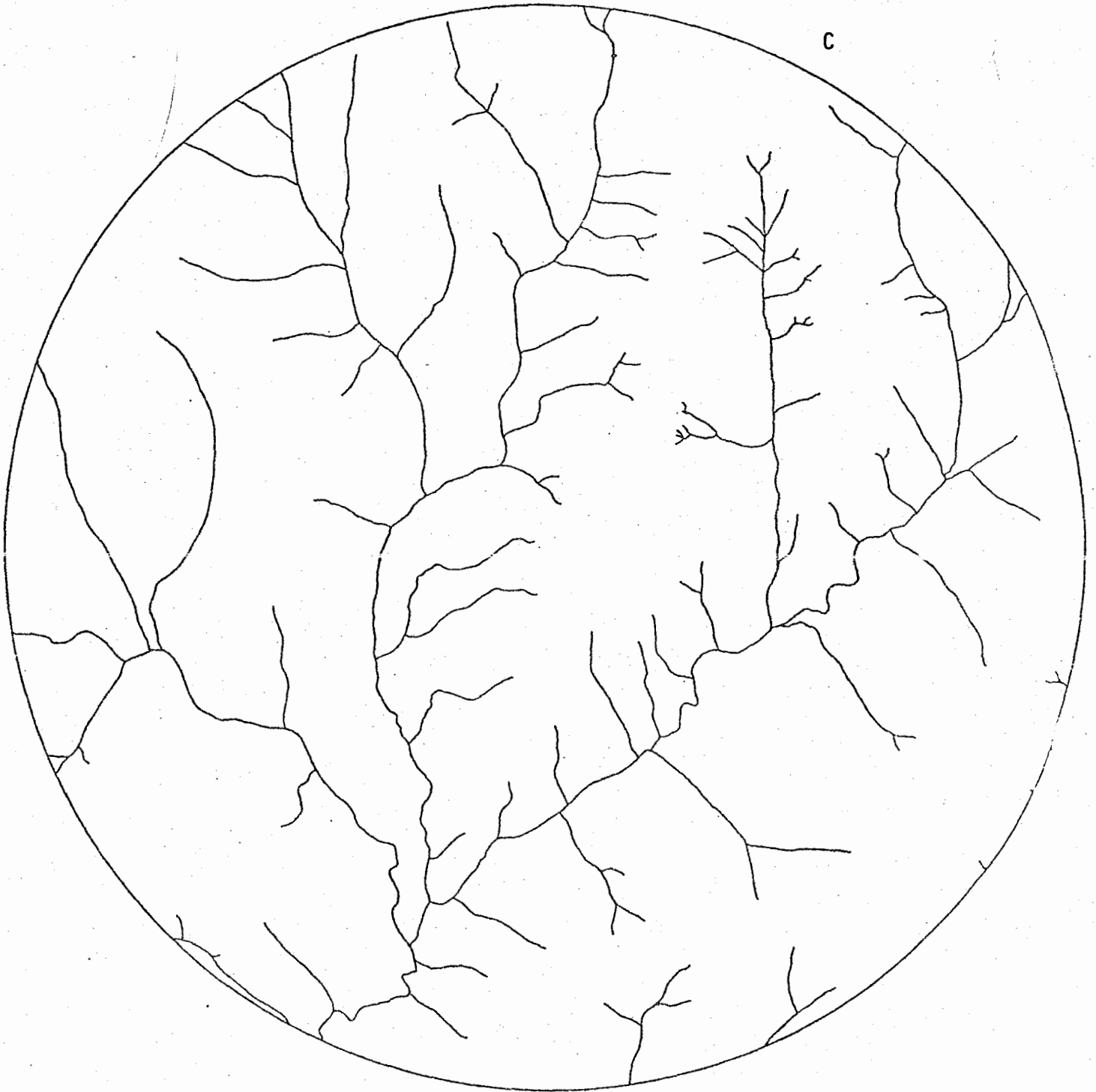


Figura 24 - Amostra circular C ( $3 \text{ km}^2$ ) da rede de drenagem em solos da Área B (Solos com B texturais). Escala 1:8.000.

As amostras circulares em escala maiores proporcionam maior detalhe, porém uma menor visão de conjunto, dos padrões de drenagem que ocorrem nas Áreas A e B, sendo mais útil no caso dos solos da Área B (solos com B textural) que apresentam redes de drenagem mais densa, com muitos rios curtos. Mas, no presente caso, estão abrangendo uma área de 3 km<sup>2</sup>, área esta contida nas de 10 km<sup>2</sup> (escala 1:25.000) e esta, por sua vez contida na de 20 km<sup>2</sup> (escala 1:60.000).

A análise da Tabela 8 permite as seguintes considerações:

- Para os solos da Área A (solos com B latossólico) a média foi de 0,7 km por rio havendo uma diminuição de 35% em relação à escala 1:25.000 e 58% em relação à escala 1:60.000.
- Para os solos da Área B (solos com B textural) a média foi de 0,2 km por rio havendo uma diminuição de 23% em relação à escala 1:25.000 e 106% em relação à escala 1:60.000, sugerindo que houve um aumento na quantidade relativa de rios mais curtos, principalmente nos solos da Área B, que não puderam ser observados nas escalas anteriores.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por KOFFLER (1976a), para solos originados do arenito Baurú.

Tabela 8 - Características dimensionais das amostras circulares na escala 1:8.000, representativas das unidades de solo estudadas. (Área = 3 km<sup>2</sup>; perímetro = 6,14 km).

Unidade de solo	Amostras circulares	Nº de rios	Comprimento da rede (km)
Solos da Área A (B latossólico)	A	7	5,56
	B	8	5,20
	C	8	5,30
Solos da Área B (B textural)	A	79	20,00
	B	108	20,20
	C	102	25,30

### 5.3.2. Características descritivas dos padrões de drenagem

À primeira vista, a observação das fotografias na escala 1:8.000 não difere, quanto à descrição do padrão de drenagem, do estudo das fotografias na escala 1:60.000 e 1:25.000 (Tabela 3), apesar de abrangerem estas amostras somente 3 km<sup>2</sup>.

### 5.3.3. Características quantitativas dos padrões de drenagem

A Tabela 9 apresenta as características quantitativas da rede de drenagem de amostras circulares em fotografias aéreas na escala 1:8.000.

A literatura consultada não menciona a utilização do método de amostragem circular em fotografias aéreas na escala de 1:8.000. Entretanto, os índices numéricos obtidos, apesar de possuírem valores ligeiramente superiores aos das escalas 1:25.000 e 1:60.000, apresentam comportamento semelhante. Todos os índices, mesmo quando tomados isoladamente, permitem a distinção dos solos estudados.

Tabela 9 - Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das amostras circulares na escala 1:8.000, representativas das unidades de solo estudadas.

Características quantitativas	Amostras circulares					
	Solos da Área A			Solos da Área B		
	A	B	C	A	B	C
Dens. de drenagem (Dc) média	1,85	1,73	1,77	6,70	6,73	8,43
	$s^2 = 0,003733$			$s^2 = 0,980633$		
	1,78 ± 0,140			7,29 ± 0,57		
Frequência de rios (Fc) média	2,33	2,67	2,67	26,33	36,00	34,00
	$s^2 = 0,038533$			$s^2 = 26,056300$		
	2,56 ± 0,11			32,11 ± 2,95		
Razão de textura (Tc) média	1,14	1,30	1,30	12,87	17,59	16,61
	$s^2 = 0,008533$			$s^2 = 6,204400$		
	1,25 ± 0,15			15,69 ± 1,44		
Classe de textura topográfica	grosseira			fina		



#### 5.4. Variação das características quantitativas com as diferentes escalas

Os valores médios das características quantitativas, obtidas em fotografias aéreas nas escalas 1:8.000, 1:25.000 e 1:60.000, estão reunidos na Tabela 10. Com auxílio desses valores, foram elaborados os gráficos das Figuras 25 a 27, que mostram a tendência da variação dos índices densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, com a diminuição de escala.

RAY e FISCHER (1960) já haviam observado que a densidade de drenagem mostra uma variação linear decrescente no sentido das escalas menores. A Figura 25 confirma as observações desses autores, porém, no presente estudo, os valores da densidade de drenagem foram mais influenciados no caso dos solos da Área B (Solos com B textural), enquanto os solos da Área A (Solos com B latossólico) praticamente não sofreram alteração. Estes resultados concordam com os obtidos por KOFFLÉR (1976a).

A frequência de rios teve uma variação semelhante à da densidade de drenagem; contudo, nota-se uma queda mais acentuada nos valores da frequência, entre as escalas 1:8.000 e 1:25.000. Ao que parece, na escala 1:8.000 são detectados pequenos canais de drenagem não visíveis na escala 1:25.000 os quais, entretanto, não contribuem significativamente para aumentar o comprimento da rede de drenagem e o valor da densidade.

Tabela 10 - Médias das características quantitativas das amostras circulares nas unidades de solo estudadas, nas escalas 1:8.000; 1:25.000 e 1:60.000

Escala	Solos da Área A			Solos da Área B		
	Dc	Fc	Tc	Dc	Fc	Tc
1:8.000	1,78	2,56	1,25	7,29	32,11	15,69
1:25.000	1,38	1,47	1,31	5,08	18,03	16,10
1:60.000	1,01	0,92	1,16	3,05	6,53	8,24

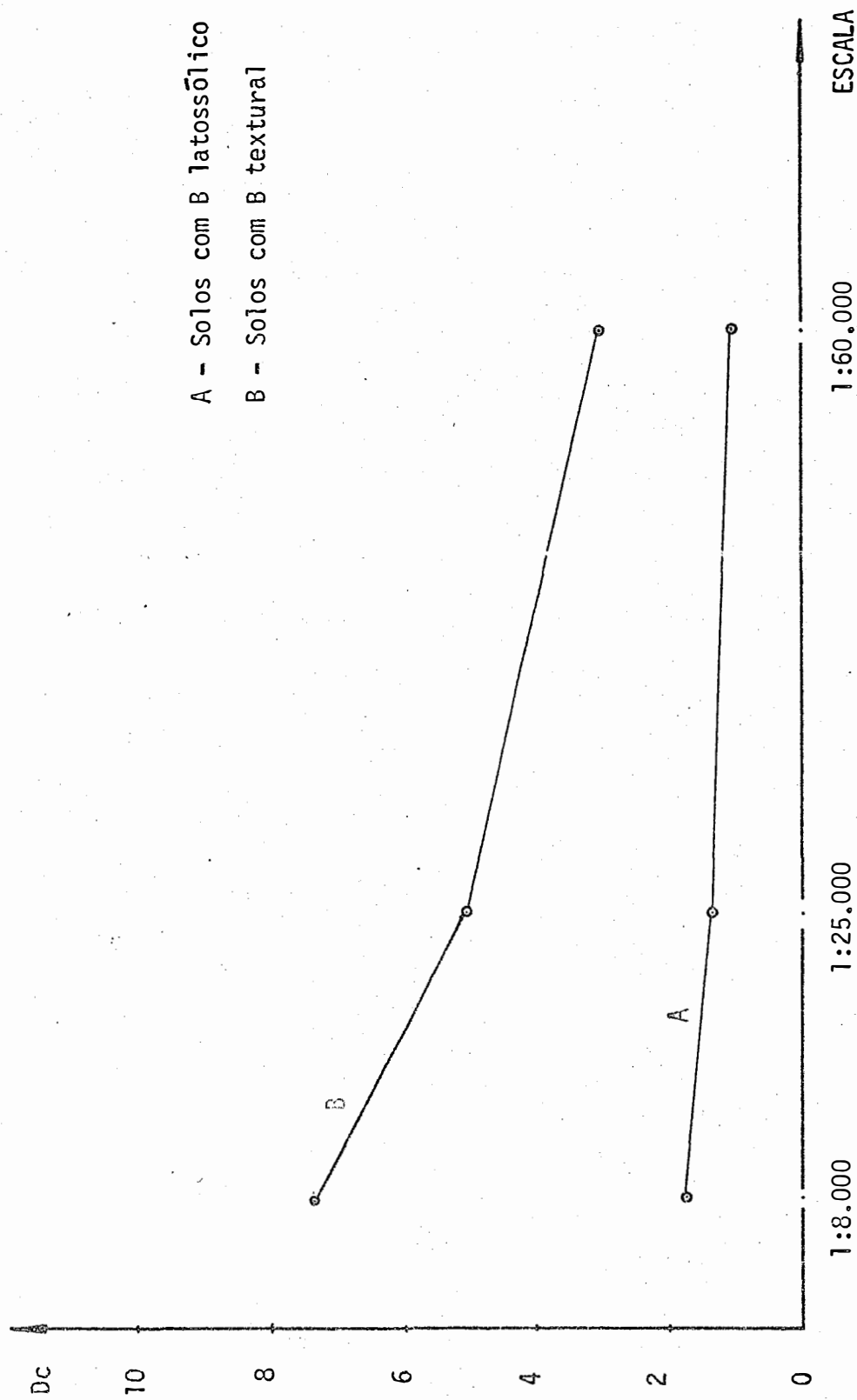


Figura 25 - Variação dos Índices de densidade de dreragem (Dc) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas escalas 1:8.000; 1:25.000; 1:60.000.

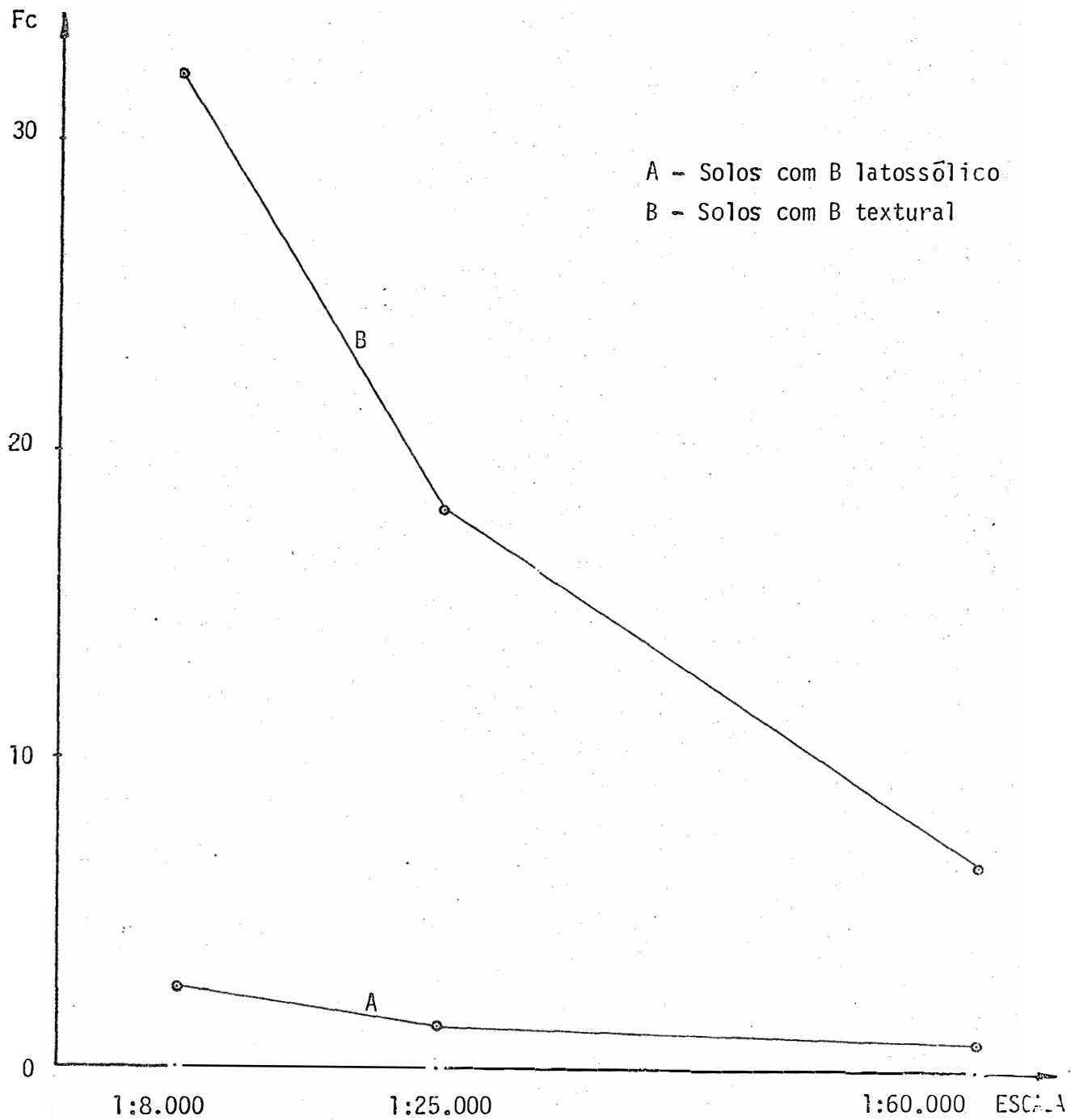


Figura 26 - Variação dos índices de frequência de rios (Fc) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas escalas 1:8.000; 1:25.000; 1:60.000.

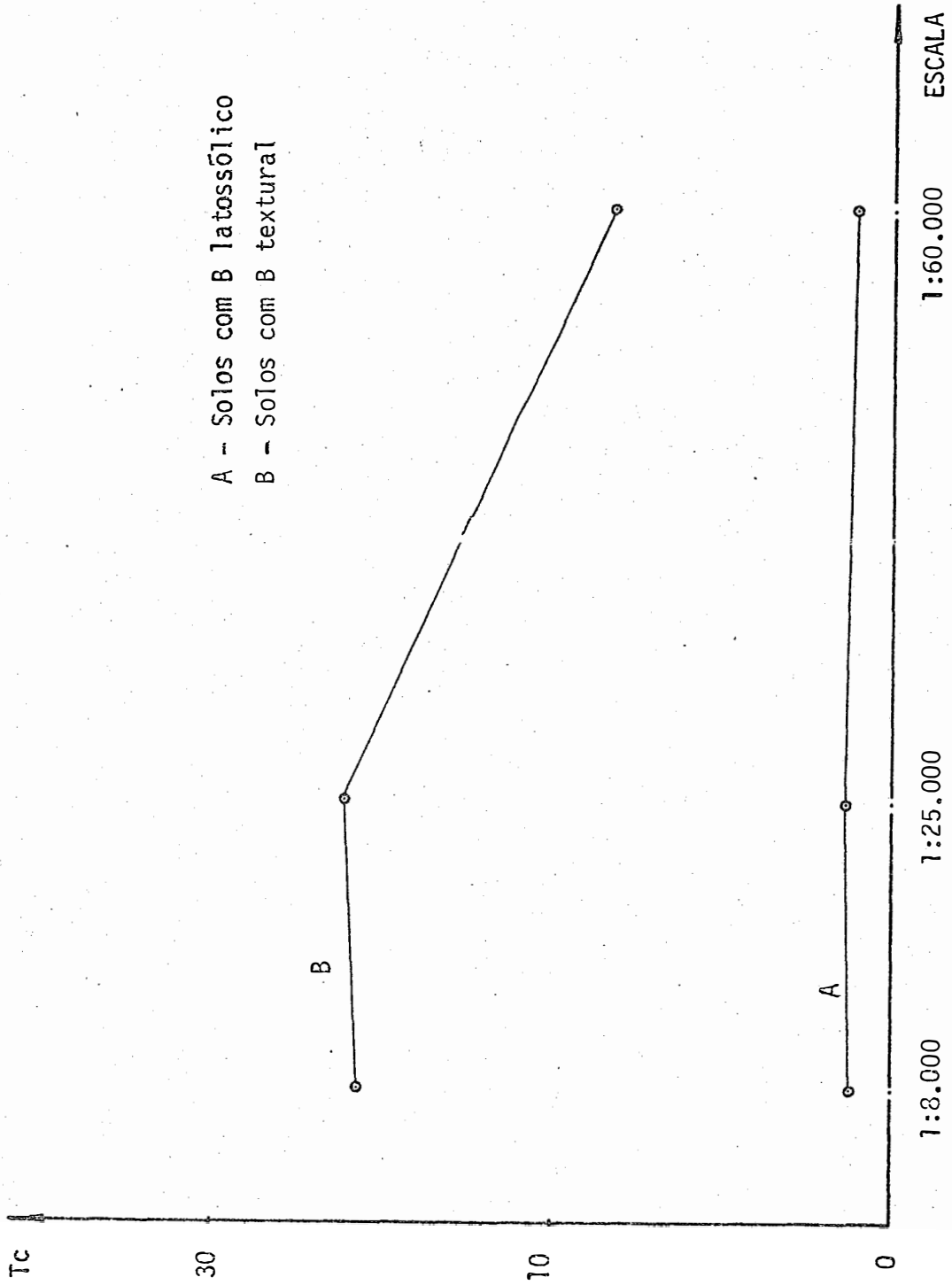


Figura 27 - Variação dos Índices de razão de textura (Tc) obtidos em amostras circulares representativas dos solos estudados, nas escalas 1:8.000; 1:25.000; 1:60.000.

Por outro lado, a razão de textura praticamente não mostrou variação para os solos da Área A (Solos com B latossólico); para os solos da Área B (Solos com B textural), ao contrário dos demais índices, a razão de textura aumentou ligeiramente da escala 1:8.000 para 1:25.000 e depois caiu acentuadamente da escala 1:25.000 para 1:60.000. Provavelmente, esta diferença na variação da razão de textura, encontra explicação no fato de não variar o perímetro na mesma proporção que as áreas das amostras circulares, conforme sugestão feita por KOFFLER (1976a), que encontrou comportamento semelhante para a razão de textura em solos com B textural provenientes do arenito Bauru.

## 5.5. Análise estatística

### 5.5.1. Teste de Friedman

Para a aplicação do teste de Friedman, os índices densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura foram ordenados de conformidade com as Tabelas 11, 12 e 13, respectivamente.

Os resultados obtidos para aquele teste constam da Tabela 14 onde  $\alpha = 0,028$  é o nível mínimo de significância em que se rejeitaria  $H_0$  em favor de  $H_a$ . Este nível está dentro da faixa em que usualmente se rejeita  $H_0$  e portanto pode-se dizer que existem pelo menos duas escalas que diferem entre si.

Pode-se verificar que, para todos os índices determinados para as duas áreas de solos, a menor ordem foi dada à escala 1:60.000, enquanto que a maior foi dada à escala 1:8.000.

### 5.5.2. Comparações múltiplas

Dada a significância do Teste de Friedman, e, portanto, a rejeição de  $H_0$ , necessário se fez aplicar as comparações múltiplas. As diferenças  $|R_i - R_j|$  para todos os índices de Drenagem foram as mesmas e são as que se seguem:

$$|R_1 - R_2| = 3$$

$$|R_1 - R_3| = 6$$

$$|R_2 - R_3| = 3$$

O valor  $\Delta_1$  obtido em tabela foi 6 a uma taxa de erro experimental  $\alpha = 0,028$ . Esses resultados mostram então que a um nível  $\alpha = 0,028$  apenas a escala 1 difere da escala 3, ou seja, um mesmo índice toma valores diferentes na escala 1:60.000 e na escala 1:8.000. As outras comparações não são estatisticamente significativas.

Pode-se verificar que isto ocorreu para todos os índices determinados para as duas áreas estudadas.

Tabela 11 - Classificação dos Índices de Densidade de Drenagem das amostras circulares ( $D_c$ ) para a aplicação do Teste de Friedman.

Área A (Solos com B latossólico)

Escalas Amostr. circulares	$E_1$	$E_2$	$E_3$
	1:60.000	1:25.000	1:8.000
$A_1$	0,93 (1)	1,14 (2)	1,85 (3)
$A_2$	1,05 (1)	1,35 (2)	1,73 (3)
$A_3$	1,05 (1)	1,64 (2)	1,77 (3)
	(3)	(6)	(9)

(\*) Os números entre parênteses representam as ordens, obedecendo-se a escala de classificação dentro de cada bloco.

Área B (Solos com B textural)

Escalas Amostr. circulares	$E_1$	$E_2$	$E_3$
	1:60.000	1:25.000	1:8.000
$A_1$	3,07 (1)	4,90 (2)	6,70 (3)
$A_2$	3,22 (1)	5,10 (2)	6,73 (3)
$A_3$	2,85 (1)	5,25 (2)	8,43 (3)
	(3)	(6)	(9)



Tabela 12- Classificação dos Índices de Frequência de Rios das amostras circulares (Fc) para a aplicação do Teste de Fridman.

Área A (Solos com B Latossólico)

Escalas Amostras	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
	1:60.000	1:25.000	1:8.000
A <sub>1</sub>	0,95 (1)	1,50 (2)	2,33 (3)
A <sub>2</sub>	0,80 (1)	1,20 (2)	2,67 (3)
A <sub>3</sub>	1,00 (1)	1,70 (2)	2,67 (3)
	(3)	(6)	(9)

Área B (Solos com B textural)

Escalas Amostras	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
	1:60.000	1:25.000	1:8.000
A <sub>1</sub>	7,40 (1)	18,00 (2)	26,33 (3)
A <sub>2</sub>	6,40 (1)	17,00 (2)	36,00 (3)
A <sub>3</sub>	5,80 (1)	19,10 (2)	34,00 (3)
	(3)	(6)	(9)

Tabela 13- Classificação dos Índices de Razão de Textura das amostras circulares (Tc) para a aplicação do Teste de Friedman.

Área A (Solos com B Latossólico)

Escalas Amostras	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
	1:60.000	1:25.000	1:8.000
A <sub>1</sub>	1,20 (1)	1,34 (2)	1,14 (3)
A <sub>2</sub>	1,01 (1)	1,07 (2)	1,30 (3)
A <sub>3</sub>	1,26 (1)	1,52 (2)	1,30 (3)
	(3)	(6)	(9)

Área B (Solos com B Textural)

Escalas Amostras	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
	1:60.000	1:25.000	1:8.000
A <sub>1</sub>	9,34 (1)	16,06 (2)	12,87 (3)
A <sub>2</sub>	8,07 (1)	15,16 (2)	17,59 (3)
A <sub>3</sub>	7,32 (1)	17,04 (2)	16,61 (3)
	(3)	(6)	(9)

Tabela 14 - Resultados obtidos para o teste de Friedman.

Característica	Área A (B latossólico)		Área B (B textural)	
	$X_r^2$	$\alpha$	$X_r^2$	$\alpha$
Densidade de Drenagem	6,00	0,028	6,00	0,028
Frequência de rios	6,00	0,028	6,00	0,028
Razão de Textura	6,00	0,028	6,00	0,028

## 6. CONCLUSÕES

Com o material e os métodos empregados, os resultados obtidos, analisados e interpretados permitiram tirar as conclusões a apresentadas a seguir.

### 6.1. Características dos padrões de drenagem

As Áreas A e B, objetos deste estudo, apresentam padrões de drenagem suficientemente distintos e identificáveis nas fotografias aéreas, em qualquer das três escalas analisadas (1 : 8.000, 1:25.000 e 1:60.000).

As redes de drenagem das Áreas analisadas apresentam as seguintes características:

#### 1) Solos da Área A (com B latossólico)

- a) Padrão de drenagem do tipo subparalelo, frequentemente associado com depressões e baixadas úmidas;

- b) Os valores de densidade de drenagem variam muito pouco nas diferentes escalas;
- c) Os valores de frequência de rios sofrem acréscimos consideráveis à medida que aumenta a escala;
- d) A razão de textura praticamente não sofre alteração como as diferentes escalas, classificando-se a textura topográfica como grosseira, nas três escalas utilizadas.

## 2) Solos da Área B (com B textural)

- a) Padrão de drenagem do tipo dendrítico, com angularidade moderada e com grau de controle moderado, evidenciando a proximidade do substrato rochoso.
- b) Os valores de densidade de drenagem variam crescentemente com o aumento das escalas, sendo mais acentuados quando se passa da escala 1:25.000 para 1:8.000.
- c) Os valores de frequência de rios sofrem grandes variações nas diferentes escalas, decrescendo rapidamente com a diminuição da escala;
- d) Os valores de razão de textura mostram pequena variação entre as escalas 1:8.000 e 1:25.000, decrescendo depois para a escala 1:60.000; incluindo-se na classe de textura topográfica fina, nas três escalas.

## 6.2. Conclusões Gerais

- a) As características dos padrões de drenagem foram condicionadas pela natureza e propriedades dos solos, pela natureza e profundidade do substrato rochoso e pela posição que ocupam no relevo regional;
- b) Os solos da Área A (Solos com B latossólico) apresentaram valores mais baixos, para todos os índices de drenagem analisados, que os solos da Área B (Solos com B textural);
- c) Existe uma tendência de aproximação dos valores de cada característica quantitativa, à medida que a escala das fotografias diminui; mas os índices de drenagem diferem entre si nas escalas extremas, isto é, 1:8.000 e 1:60.000, como demonstra o teste de Friedman.
- d) O sistema de amostragem circular mostrou-se eficiente e prático para a análise quantitativa dos padrões de drenagem, nas três escalas de fotografias aéreas consideradas;
- e) A utilização de amostras circulares de 3 km<sup>2</sup> para as fotografias aéreas na escala 1:8.000 e de 20 km<sup>2</sup> para as fotografias aéreas na escala 1:60.000, foi satisfatória para os objetivos visados.

### 6.3. Sugestões para futuras pesquisas

- a) Verificação estatística da influência do número de amostras circulares nas características quantitativas do padrão de drenagem.
- b) Estudos mais acurados com fotografias aéreas em diferentes escalas, quanto aos índices comprimento da rede de drenagem contida na amostra circular e número total de rios, que determinam o comprimento médio dos rios que ocorrem na área amostrada.

## 7. SUMMARY

This work is an attempt to verify the variation of surface drainage network characteristics, determined by means of vertical aerial photographs as affected by the photographic scales utilized. Three sets of vertical aerial photographs in the scales of 1:60.000; 1:25.000; 1:8.000, respectively, were used for the purpose of obtaining overlays of the drainage network of two areas, denominated A and B, of the Piracicaba Municipality, State of São Paulo.

They had different landscape and soil conditions and thus, different hydrological behavior: the "A" area presents a flat surface, slightly rolling and a predominance of soils with latosolic "B" horizon (Roxo Latosol e Ortho Dark-Red Latosol with inclusions of Textural B Terra Roxa); the "B" area has as rolling landscape and a majority of textural B horizon (Red-Yellow Podzolic Soil, Laras and Piracicaba variation, with Litosol inclusions argillite/shale substrate.

The studied areas are located in the "Depressão Periférica Paulista" at "médio Tietê" subregion, the parent material being mostly of sedimentary formation, with the intrusion of basic rocks. The climate is of the Cwa type, i.e., temperate, warm with no rain in the winter. Annual rainfall is about 1200-1300 mm. The descriptive and quantitative elements of the drainage network was studied by the photointerpretation method of analysis of elements. The quantitative indexes were calculated from representative circular samples covering



the areas of 3 km<sup>2</sup>, 10 km<sup>2</sup> e 20 km<sup>2</sup> for the scales of 1:8.000, 1:25.000, and 1:60.000, respectively.

Friedman's non-parametric test was used for the statistical analysis of the data.

It was observed that A and B areas have drainage standards sufficiently distinctive and easy to identify in areal photographs in any of the three scales considered.

The soils of "A" area (soils with latosolic B) presented lower values than "B" area soils (soils with textural B) for every drainage index studied. The characteristics of the drainage standards were conditioned by soil nature and properties, nature and depth to the rock substrate and by their position in the region's landscape.

The circular sampling system proved efficient and practical for the quantitative analyses of the drainage standards in the considered aerial photographic scales. The utilization of 3 km<sup>2</sup> circular samples for the areal photographs in the scale of 1:60.000 was satisfactory for the proposed objectives of this work.

The analysis and interpretation of the results led to the following salient conclusion:

- The difference between the values of the quantitative characteristics analysed tend to decrease with the photographic scale; this difference, however, was found to be significant only between the scales 1:8.000 and 1:60.000.

## 7. LITERATURA CITADA

AMARAL, A.Z. e AUDI, R., 1972. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., coord. Elementos de Pedologia. São Paulo, Editora da USP, p. 429-442.

BASTOS, S.A., 1966. Soils Mapping and Aerial Photography on Soils Conservation. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1., São Paulo, Atas. São Paulo, Secretaria da Agricultura, p. 383-388.

BLOOM, A.L., 1970. Superfície da Terra. Trad. e coment. por S. Petri e R. Ellert. São Paulo, Edgard Blücher Editora e Editora da USP, 184 p.

BOMBERGER, E.H.; DILL Jr., H.W., 1960. Photo Interpretation in Agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY - Manual of photographic interpretation. Washington, p. 561-632.

BURINGH, P. 1960. The Applications of Aerial Photographs in Soil Surveys. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington, Cap. 11, p.633-666.

- CAMPOS, H., 1976. Estatística Experimental Não-Paramétrica. Departamento de Matemática e Estatística. Piracicaba ESALQ / USP, p. 322.
- COLWELL, R.N., 1952. Photographic Interpretation for Civil Purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photogrammetry. 2ed. Washington, p. 535-602.
- COMISSÃO DE SOLOS DO SERV. NAC. DE PESQ. AGRON., 1960a. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 634p. (Boletim 12).
- \_\_\_\_\_ 1960b. Carta dos Solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura.
- DUNBAR, R.A., 1959. Problems of Interpretation in Tropical Regions. In: Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, McGraw-Hill, p. 426-427.
- FADEL, H., 1972. Fotointerpretação de Bacias e de Redes de Drenagem de Três Séries de Solos da Fazenda Ipanema, Município de Araçoiaba da Serra (SP). Piracicaba, ESALQ/USP. 92 p. (Dissertação de Mestrado).
- FRANÇA, G.V., 1968. Interpretação Fotográfica de Bacias e de Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP. 151p. (Tese de Doutorado).
- FROST, R.E., 1960. Photo Interpretation of Soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington. Cap. 5, p. 343-402.
- GEVAERD, I., 1974. Parâmetros fotoanalíticos de três unidades de solo da região nordeste paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP. 110p. (Dissertação de Mestrado).

- GOOSEN, D. 1968. Interpretation de Fotos Aereas y su Importancia en Levantamiento de Suelos. Roma, Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. 58 p. (Boletim sobre suelos, 6).
- HORTON, R.E., 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrolphysical Approach to Quantitative Morphology. Bul. Geol. Soc. Amer. 56:275-370.
- KOFFLER, N.F., 1976a. Utilização de Imagens Aerofotográficas e Orbitais no Estudo do Padrão de Drenagem em Solos Originados do Arenito Bauru. São José dos Campos, SP. INPE. 167p. (Dissertação de Mestrado).
- KOFFLER, N.F., 1976b. Análise Aerofotográfica da Influência da Área de Amostragem Circular na Caracterização Quantitativa do Padrão de Drenagem. São José dos Campos, S.P. INPE. 20p.
- LEÃO, S.R.F., 1972. Interpretação Fotográfica dos Padrões de Drenagem Desenvolvidos em Dois Solos do Distrito Federal. Piracicaba, ESALQ/USP. 110p. (Dissertação de Mestrado).
- LUEDER, D.R., 1959. Aerial Photographic Interpretation - Principles and Applications. New York, McGraw Hill Book. 462p.
- LUNEY, P.R.; DILL Jr., H.W., 1970. Uses, Potencialities, and Needs in Agriculture and Forestry. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry. Washington. p. 1-34.
- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de Atributos de Relevô Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP. 58p. (Tese de Doutorado).

- MORAES REGO, L.F.M., 1932. Notas Sobre a Geomorfologia de São Paulo e sua Gênese. Inst. Astr. Geogr. de São Paulo. São Paulo, São Paulo Editora Ltda.
- PARVIS, M., 1950. Drainage Pattern Significance in Airphoto Identification of Soils and Bedrocks. Photogrammetric Engineering, 16 (3): 387-408, Jun.
- QUACKENBUSH JR., R.S., 1960. Development of Photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington. Cap. 1, p. 1-18.
- RABEN, E.L., 1960. Fundamentals Of Photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington. Cap. 3, p. 99-186.
- RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos. Piracicaba, ESALQ/USP, 85p.
- RANZANI, G., 1969. Manual de levantamento de solos. 2 ed. São Paulo, Editora da USP, 167p.
- RANZANI, G., 1976. Subsídios à Geografia de Piracicaba. Instituto Histórico e Geográfico de Piracicaba/SP. Editora Franciscana. 79p.
- RAY, R.G., 1963. Fotografias Aéreas na Interpretação e Mapeamento Geológicos. Tradução de Jesuino Felicíssimo Jr. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo. 163p.

- RAY, R.G.; FISCHER, W.A. 1960. Quantitative Photography: a Geologic Research. Tool. Photogrammetric Engineering, 26(1): 143-150, Mar.
- RICCI, M.; PETRI, S., 1965. Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica. São Paulo, Editora Nacional. 226p.
- ROTTA, C.L., 1972. Noções gerais de Geologia. In: MONIZ, A.C. Elementos de Pedologia. São Paulo, Editora da USP. p. 289-303.
- ROURKE, J.D. e AUSTIN, M.E., 1951. The Use of Air-Photos for Soil Classification and Mapping in the Field. Photogrammetric Engineering 17: 738-745.
- SIMONSON, R.W., 1950. Use of Aerial Photographs in Soil Surveys. Photogrammetric Engineering. 16:308-315.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. Amer. J. Sci., 248-655-668.
- SOIL SURVEY STAFF, 1962. Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture. Washington. 503p. (Handbook 18).
- SOUZA, M.L.P., 1975. Fotointerpretação das Redes de Drenagem de Três solos com Horizonte B latossólico Ocorrentes no Município de Ponta Grossa - PR. Piracicaba, ESALQ/USP. 135p. (Dissertação de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions, American Geophysical Union, 38 (6): 913-920, Dec.

- STRAHLER, A.N. 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: CHOW, V.T. - Handbook of Applied Hydrology. New York, McGraw-Hill Book. Sec. 4, p. II.
- SUMMERSON, C.H., 1954. A Philosophy for Photo Interpreters. Photogrammetric Engineering. 20:412-417.
- VASQUES FILHO, J., 1972. Critérios Morfométricos Aplicados à Foto- interpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos no Município de Piracicaba (SP). Piracicaba, ESALQ/USP. 113p. (Tese de Doutorado).
- VERA, L., 1964. Técnicas de Inventario de la Tierra Agrícola: el Proyecto Aerofotogramétrico OEA/Chile. Washington, Union Panamericana. 136 p. (Manuales Técnicos, 10).
- WEG, R.F., 1966. Patrones de Drenaje. Bogotá, Centro Interamericano de Fotointerpretación. 25p.
- ZINKE, P.J., 1960. Photo Interpretation of Soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Photographic Interpretation. Washington. Cap. 10, p.539-560.