

**FOTOINTERPRETAÇÃO DE REDES DE DRENAGEM
DE TRÊS SOLOS DA REGIÃO DE ALPINÓPOLIS,
MINAS GERAIS**

JEZIEL CARDOSO FREIRE

Orientador: Prof. Dr. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

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

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo — Brasil
Abril de 1977

À Bernadete,

Pollyana e Andiará

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

- Prof. Geraldo Victorino de França.
- Prof. Valdemar Antonio Demétrio.
- Prof. Paulo César Lima.
- Prof. Alfredo Scheid Lopes.
- Prof. Nilton Curi.
- Prof. Victor Gonçalves Bahia.
- Eng^o Agr^o Roberto Gonçalves de Abreu.
- Sra. Bernadete Maria Franco da Rosa Freire.
- Acadêmico Sérgio Hideiti Shimizu.
- Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).
- Instituto Brasileiro do Café.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram na realização desta.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. RESUMO	01
2. INTRODUÇÃO	03
3. REVISÃO DE LITERATURA.	06
3.1. Fotográficas aéreas e levantamentos de solos.	06
3.2. Caracterização de bacias hidrográficas e composição de redes de drenagem.	10
3.3. Padrão de drenagem superficial.	15
3.4. Relações entre solos e características das redes de drenagem	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1. Material	29
4.1.1. Descrição geral da área.	29
4.1.2. Unidades de solos.	31
4.1.3. Bacias hidrográficas	34
4.1.4. Fotografias aéreas e fotoíndice.	34
4.1.5. Estereoscópios	34
4.1.6. Outros materiais	35
4.2. Métodos.	35
4.2.1. Escolha da região de estudo.	35
4.2.2. Seleção das fotografias aéreas	35
4.2.3. Obtenção dos mapas básicos de drenagem	36
4.2.4. Seleção das bacias hidrográficas	37
4.2.5. Análise das bacias hidrográficas	37
4.2.5.1. Localização e representatividade	37
4.2.5.2. Características dimensionais.	38
4.2.5.3. Características não dimensionais	39

	<u>Página</u>
4.2.6. Análise das redes de drenagem	39
4.2.6.1. Composição das redes de drenagem	40
4.2.6.2. Características das redes de drenagem	42
4.2.6.3. Análise de variância de características quantitativas das redes de drenagem	45
4.2.6.4. Relações entre características quantitativas.	46
5. RESULTADOS	48
5.1. Características das bacias hidrográficas.	48
5.1.1. Localização	48
5.1.2. Representatividade	50
5.1.3. Características dimensionais	50
5.1.4. Características não dimensionais	50
5.1.5. Análise dimensional e teste de semelhança geométrica	56
5.2. Características das amostras circulares	56
5.3. Composição das redes de drenagem	56
5.3.1. Análise do número de segmentos de rios	62
5.3.2. Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios	67
5.3.3. Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios	71
5.3.4. Análise associada dos elementos das redes de drenagem.	76
5.3.5. Análise da razão de ramificação.	79
5.3.6. Análise da razão de comprimentos totais	79
5.3.7. Análise da razão de comprimentos médios	79
5.3.8. Análise associada das razões de ramificação e de comprimentos totais e médios	83

Página

5.4.	Características das redes de drenagem	83
5.4.1.	Características descritivas.	83
5.4.2.	Características quantitativas.	86
5.4.2.1.	Bacias hidrográficas.	86
5.4.2.2.	Amostras circulares	88
5.5.	Análise de variância de características quantitativas das redes de drenagem.	88
5.6.	Relações entre características quantitativas das redes de drenagem	91
6.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	101
6.1.	Características das bacias hidrográficas.	101
6.2.	Características das amostras circulares	103
6.3.	Composição das redes de drenagem.	104
6.3.1.	Análise do número de segmentos de rios	104
6.3.2.	Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios	107
6.3.3.	Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios	109
6.3.4.	Análise associada dos elementos das redes de drenagem	110
6.3.5.	Análise da razão de ramificação	111
6.3.6.	Análise da razão de comprimentos totais	112
6.3.7.	Análise da razão de comprimentos médios	113
6.3.8.	Análise associada das razões de ramificação e de comprimentos totais e médios	114
6.4.	Características das redes de drenagem.	115
6.4.1.	Características descritivas	115
6.4.2.	Características quantitativas.	117
6.4.2.1.	Características quantitativas de bacias hidrográficas	117
6.4.2.2.	Características quantitativas de amostras circulares	119

	<u>Página</u>
6.5. Diferenças estatísticas entre características quantitativas de bacias hidrográficas e amostras circulares	120
6.6. Relações entre características quantitativas das redes de drenagem	122
7. CONCLUSÕES	126
8. SUMMARY	129
9. LITERATURA CITADA	131

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
01 - Unidades de solos com a correspondência entre a classificação adotada pelo Instituto Brasileiro do Café (1972) e 7a. Aproximação do Sbil Survey Staff (1967)	32
02 - Características das unidades de solos, descritas segundo o Instituto Brasileiro do Café (1972)	33
03 - Características descritivas das redes de drenagem e níveis estabelecidos segundo LUEDER (1959)	43
04 - Classificação da textura topográfica em função da razão de textura média, conforme adaptação de FRANÇA (1968)	45
05 - Características dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos	54
06 - Características não dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos	55
07 - Análise dimensional e teste de semelhança geométrica aplicados às bacias hidrográficas representativas das unidades de solos	57

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
08 - Características dimensionais das amostras circulares representativas das unidades de solos e comprimentos médios de rios (Área = 5 km ² ; Perímetro = 7,85 km)	58
09 - Número de segmentos de rios observados em cada ordem e número total, para cada bacia hidrográfica e a média ponderada em relação à área, das unidades de solos	63
10 - Número de segmentos de rios em cada ordem e número total calculados e a média ponderada observada, para bacias hidrográficas, nas unidades de solos	64
11 - Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada segundo MAXWELL (1955), para os números de segmentos de rios, nas unidades de solos	65
12 - Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem; comprimento total observado em cada bacia hidrográfica e as respectivas médias ponderadas, para as unidades de solos	68
13 - Comprimentos totais de segmentos de rios calculados para cada ordem, segundo a equação de FRANÇA (1968) e a lei de HORTON (1945), média ponderada em relação à área e comprimento total dos segmentos de rios das bacias hidrográficas, nas três unidades de solos.	69

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
14 - Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada segundo FRANÇA (1968), para os comprimentos totais de segmentos de rios, em cada uma das três unidades de solos.	70
15 - Comprimentos médios de segmentos de rios em cada ordem das bacias hidrográficas e a média ponderada dos comprimentos médios para as unidades de solos	73
16 - Valores médios calculados para os comprimentos médios de segmentos de rios (Lm) em cada ordem das bacias hidrográficas, para cada unidade de solo	74
17 - Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada para comprimentos médios de segmentos de rios por VASQUES FILHO (1972), para cada uma das três unidades de solos	75
18 - Número de segmentos de rios; comprimento total de segmentos de rios, comprimento médio de segmentos de rios, para cada ordem e valores totais calculados, das bacias hidrográficas, para cada unidade de solo.	78
19 - Valores observados e valores médios calculados para a razão de ramificação (Rb), das redes de drenagem, representativas das unidades de solos	80

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
20 - Valores observados e valores médios calculados para a razão de comprimentos totais (Rlw) de segmentos de rios, das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos	81
21 - Valores observados para a razão de comprimentos médios (Rl) de segmentos de rios das bacias hidrográficas e os valores médios calculados, em cada unidade de solo	82
22 - Valores médios calculados para as razões de ramificação (Rb), comprimentos totais (Rlw) e comprimentos médios (Rl) das redes de drenagem representativas das unidades de solos . .	84
23 - Características descritivas das redes de drenagem representativas das unidades de solos..	85
24 - Características quantitativas das redes de drenagem e a classe de textura topográfica, baseadas nas bacias hidrográficas representativas das unidades de solos	87
25 - Características quantitativas das redes de drenagem e a classe de textura topográfica, baseadas nas amostras circulares, representativas das unidades de solos	89
26 - Análise de variância da característica quantitativa "densidade de drenagem", de bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos	90

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
27 Análise de variância da característica quantitativa "frequência de rios", de bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos	92
28 Análise de variância da característica quantitativa "razão de textura", de bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos	93
29 - Desdobramento da interação solos/amostragem, na característica quantitativa "razão de textura", de bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos.	94
30 - Valores médios da densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura das bacias hidrográficas e amostras circulares, representativas das unidades de solos	95
31 - Relações entre características quantitativas da rede de drenagem, das bacias hidrográficas e amostras circulares	96

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
01 - Localização das bacias hidrográficas, representativas das unidades de solos, na região de Alpinópolis, Minas Gerais	49
02 - Bacias hidrográficas e respectivas redes de drenagem representativas da unidade de solo LEd ₄	51
03 - Bacias hidrográficas e respectivas redes de drenagem representativas da unidade de solo BLd ₃	52
04 - Bacias hidrográficas e respectivas redes de drenagem, representativas da unidade de solo Rd ₁	53
05 - Amostras circulares de 5 km ² e respectivas redes de drenagem da unidade de solo LEd ₄	59
06 - Amostras circulares de 5 km ² e respectivas redes de drenagem da unidade de solo BLd ₃	60
07 - Amostras circulares de 5 km ² e respectivas redes de drenagem da unidade de solo Rd ₁	61
08 - Regressão linear do número de segmentos de rios e ordem de ramificação das bacias hidrográficas, para as unidades de solos.	66

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
09 - Regressão linear dos comprimentos totais de segmentos de rios e ordem de ramificação das bacias hidrográficas, para as unidades de solos	72
10 - Regressão linear dos comprimentos médios de segmentos de rios e ordem de ramificação das bacias hidrográficas, para as unidades de solos	77
11 - Relação funcional entre valores médios de frequência de rios de amostras circulares, e frequência de rios de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos	97
12 - Relação funcional entre valores médios de frequência de rios e densidade de drenagem, de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos	97
13 - Relação funcional entre valores médios de frequência de rios de amostras circulares, e densidade de drenagem de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos.	98
14 - Relação funcional entre razão de textura média de amostras circulares e os valores médios de densidade de drenagem de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos.	98

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
15 - Relação funcional entre razão de textura média de amostras circulares e os valores médios de frequência de rios de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos	99
16 - Relação funcional entre valores médios de frequência de rios e densidade de drenagem, de amostras circulares, para as três unidades de solos	99
17 - Relação funcional entre razão de textura média e os valores médios de densidade de drenagem, de amostras circulares, para as três unidades de solos.	100

1. RESUMO

Esta pesquisa foi realizada utilizando fotografias aéreas verticais na escala de 1:25000, para obtenção de informações sobre a composição e características das redes de drenagem. As fotografias aéreas foram selecionadas pelo método de pesquisa lógica e a identificação de imagens feita pelo princípio de convergência de evidências. As informações obtidas foram empregadas como critérios para diferenciar unidades de solos. Para isto, escolheram-se três unidades de solos representativas da região de Alpinópolis, Minas Gerais, que serviram de base para a determinação dos respectivos elementos fotoanalíticos. As unidades de solos estudadas são: Latossol Vermelho Escuro Distrófico A fraco textura argilosa fase cerrado relevo suavemente ondulado; Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico A fraco textura argilosa com cascalho fase floresta subperenifólia relevo fortemente ondulado; Solos Litólicos Distróficos A fraco textura média cascalhenta fase campestre relevo montanhoso com afloramentos de quartzitos. Os elementos fotoanalíticos foram obtidos em decalques de redes de drenagem, de todos os cursos d'água, permanentes ou tempo-

rários, visíveis estereoscopicamente, a partir de nove bacias hidrográficas e nove amostras circulares, representativas das unidades de solos. Estes elementos das redes de drenagem, de bacias hidrográficas e de amostras circulares, passaram por uma análise do tipo analítica ou análise de elementos. Dentre os elementos analisados, os que mais se destacaram para diferenciar unidades de solos, foram: o número de segmentos de rios; o comprimento total de segmentos de rios; as razões de ramificação, de comprimentos totais e comprimentos médios de segmentos de rios. Dentre as características quantitativas de redes de drenagem, destacam-se a densidade de drenagem e a frequência de rios, que poderão ser usadas isoladamente ou em conjunto. Observou-se também que, para a determinação de densidade de drenagem ou da frequência de rios, os dados poderão ser coletados de redes de drenagem pertencentes a bacias hidrográficas ou amostras circulares, indiferentemente.

2. INTRODUÇÃO

O emprego de fotografias aéreas em levantamentos de solos é imprescindível, diante do grande número de informações que as mesmas oferecem. Além das informações contidas nas fotos, os fatores tempo e custo devem ser considerados, comparando-se aos levantamentos topográficos que seriam necessários como base para a realização de cartas de solos. Portanto, cabe ao fotointérprete, conhecer o maior número possível de padrões para caracterizar melhor os solos, baseado nas informações fotográficas. As redes de drenagem se destacam dentro dos padrões fotográficos, porque sua gênese está ligada a certas condições que determinam também unidades de solos, originando assim, padrões fotográficos semelhantes para as mesmas unidades.

Na maioria das vezes, os padrões fotográficos tornam-se bastante subjetivos, permitindo inferências diversas com a mudança de fotointérprete. Com o intuito de evitar o subjetivismo na fotointerpretação ligada a solos, índices

numéricos são determinados para os padrões de drenagem. O maior número de índices morfométricos de redes de drenagem, permitirá futuramente uma generalização, facilitando desta forma as delimitações das unidades de solos, em fotografias aéreas.

A inexistência de uma carta de solos completa para o Estado de Minas Gerais, permite apenas a determinação de índices fotoanalíticos nas áreas mapeadas que abrangem restritas regiões do Estado. Observa-se, pois, a importância de pesquisas desta natureza, nessas regiões, facilitando o conhecimento de índices de redes de drenagem, diante da ausência destes no Estado de Minas Gerais. Os primeiros índices fotoanalíticos de redes de drenagem que serão estabelecidos nesta pesquisa, virão facilitar a identificação e mapeamento de unidades de solo por fotointerpretação; contribuindo assim para a integralização da carta de solos do Estado de Minas Gerais, pois presume-se que um determinado padrão de drenagem apresenta índices fotoanalíticos semelhantes, para a mesma unidade de solos, nas suas diversas áreas de ocorrência.

Esta pesquisa do padrão rede de drenagem de três solos da região de Alpinópolis, Estado de Minas Gerais, tem como objetivos:

1- Estudar elementos pertinentes às características descritivas e quantitativas de redes de drenagem em fotografias aéreas e verificar os mais significativos para identificação e mapeamento de unidades semelhantes.

2- Verificar a possibilidade de utilização de apenas um sistema de amostragem na determinação de características quantitativas de redes de drenagem.

3- Iniciar o acervo de índices fotoanalíticos de redes de drenagem, no Estado de Minas Gerais.

.5.

4- Enriquecer o acervo de índices fotoanalíticos de redes de drenagem, utilizados na identificação e mapeamento de solos de outras regiões do País.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fotografias aéreas e levantamentos de solos

As fotografias aéreas constituem excelente ferramenta para o estudo de solos, principalmente quanto aos levantamentos de solos. A literatura especializada mostra grande número de trabalhos em que os autores evidenciam a utilização das fotografias aéreas, ressaltando as vantagens bem como as restrições a que estão sujeitas.

Segundo CRESWICK e ROCKWELL (1959), as fotografias aéreas apresentam as diversas informações que devem aparecer num mapa de solos, porém dependendo do nível de estudo, torna-se necessário um mínimo de verificação local.

A fotografia aérea, para AMARAL e AUDI (1972), apresenta-se como material de trabalho indispensável nos levantamentos de solos, oferecendo ganho de tempo, precisão de limites e real visão global da paisagem com riqueza de deta-

lhes. Ela serve não só como base cartográfica preliminar, auxiliando os trabalhos de campo no traçado de roteiros mais interessantes, como também possibilita a separação das unidades de solos diretamente sobre as fotografias.

Apesar das vantagens apresentadas pelas fotografias aéreas nos levantamentos de solos, o trabalho de campo não pode ser substituído completamente, conforme advertem BOMBERGER e DILL (1960). Segundo estes autores, as fotografias aéreas mostram apenas a superfície do solo, que muitas vezes não está visível. Salientam porém a presença de padrões, tais como os de relevo, drenagem, erosão, vegetação, que permitem ao fotointérprete tirar inferências sobre a distribuição dos solos e material de origem. GOOSEN (1968) observa ainda, que os perfís de solo não podem ser descritos unicamente através de fotografias aéreas. BURINGH (1960) já havia afirmado que a fotointerpretação é mais útil em levantamentos de reconhecimento, tendo valor limitado para levantamentos detalhados de solos. Contudo, as fotografias aéreas estão sendo usadas cada vez mais em diversos ramos da ciência e RABBEN (1960) explica que esta larga utilização se baseia em três fatos fundamentais:

1. Cada fotografia aérea representa uma grande área da superfície terrestre, sendo aproximadamente de 20 km² na escala 1:20000 e de 33 km² na escala 1:25000.

2. Os pares estereoscópicos proporcionam imagens tridimensionais da superfície terrestre e dos objetos sobre ela localizados.

3. As fotografias aéreas proporcionam um caráter permanente das imagens, possibilidade de medições e melhores condições de trabalho.

Para FROST (1960), a interpretação de solos em fotografias aéreas pode ser feita utilizando-se três importantes princípios:

1. solos semelhantes ocorrem com padrões semelhantes;
2. solos diferentes ocorrem com padrões diferentes;
3. correlações de características da imagem fotográfica com propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, podem ser inferidas por fotointerpretação.

O estudo de fotografias aéreas é geralmente feito em duas etapas, conforme sugere RABBEN (1960), RAY (1963), RICCI e PETRI (1965). A primeira consiste na observação, coleta de dados, medição e identificação das imagens tridimensionais das fotografias aéreas. A segunda consiste na indução e ou dedução de fenômenos ou de relações, incluindo a aplicação de informações obtidas na solução de problemas. No entanto, RABBEN (1960) afirma que, de modo geral, o estudo de fotografias aéreas pode ser efetuado de duas formas: a primeira, exaustiva, em todo o material existente; a segunda, usando-se apenas parte do material que pode conter as informações desejadas, consistindo a chamada "pesquisa lógica". A identificação de imagens desconhecidas pode ser feita pelo princípio de convergência de evidências desenvolvido por COLWELL (1952).

Para a fotointerpretação empregada em levantamentos de solos, existem três métodos preconizados por GOOSEN (1968):

1. "Análise de padrões" de FROST (1960), que consiste no estudo dos padrões indicativos das condições su-

perficiais e de subsuperfície, como forma da terra, drenagem, aspectos de erosão, vegetação, tonalidade fotográfica e uso da terra. Após conhecimento das condições ambientais dos solos estudados, o fotointérprete divide as unidades principais da paisagem em unidades menores e examina os padrões locais, em estereoscopia.

2. "Análise fisiográfica", mencionada por BURRINGH (1960), que necessita de conhecimento profundo de processos fisiográficos e seus reflexos na interpretação das fotografias aéreas. O terreno é classificado segundo unidades fisiográficas, as quais correspondem a uma associação única de solos.

3. "Análise de elementos", desenvolvida por BURRINGH (1960), que apresenta como vantagem, a utilização por pedólogos com pouca experiência em fotointerpretação. Consiste na análise sistemática dos elementos relacionados com as condições de solo de uma região, baseada na relação existente entre características da superfície do terreno e condições do solo. Utilizando-se a convergência de evidências, separaram-se as unidades de solos identificadas, pela mudança em um ou mais elementos.

Apesar da citação dos três métodos de fotointerpretação feita por GOOSEN (1968), de forma individual, o mesmo autor comenta que esta divisão é relativamente artificial. Dependendo da maneira como é conduzido o levantamento, os três métodos podem ser utilizados simultaneamente.

Utilizando os princípios propostos pelo método da "análise de elementos", FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADDEL (1972), LEÃO (1973), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a), estabeleceram, a partir de fotografias aéreas verticais, parâmetros para identificação de unidades de solos, previamente mapeadas nas regiões de estudo.

KOFFLER (1976a) utilizou também imagens orbitais (SKYLAB e LANDSAT-1), com a finalidade de comparar os parâmetros obtidos em materiais diferentes.

3.2. Caracterização de bacias hidrográficas e composição de redes de drenagem

A caracterização de bacias hidrográficas pode ser feita de duas formas, uma descritiva e outra quantitativa. Porém, sabe-se que somente a partir de 1945, é que alguns pesquisadores incentivados por Horton, verificaram as limitações da análise descritiva, mudando o rumo da linha de pesquisas, para a análise quantitativa de bacias hidrográficas e suas redes de drenagem. Até então, o que representa cerca de dois séculos atrás, conforme relata FRANÇA (1968), os pesquisadores trabalhavam quase que inteiramente em bases descritivas, pois tinham interesse nas formas do relevo atual, natureza dos solos, rochas subjacentes. Com isto muitos padrões de drenagem foram descritos, classificados e correlacionados a natureza dos solos, substratos rochosos e/ou à presença de estruturas geológicas.

Segundo ENGELN (1942), Playfair observou que todo rio consiste em um tronco principal alimentado por vários ramos, cada qual correndo em um vale proporcional ao seu tamanho, formando em conjunto, um sistema de vales comunicantes, de modo que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior.

Baseado na descrição de caráter qualitativo da composição da rede de drenagem feita por ENGELN (1942), HORTON (1945) imprimiu um caráter quantitativo a tais estudos, considerando as relações infiltração/deflúvio e os processos de erosão pelas águas correntes. HORTON (1945) ~~inverteu~~ inverteu a sequência de ordenação do rio principal e seus tributários de

Gravelius e propôs que os tributários menores, não ramificados, sejam considerados de primeira ordem, sendo o rio principal de ordem mais elevada. Esta inversão no sistema de numeração das ordens de ramificação de rios, segundo explica FRANÇA (1968), facilitou a análise e a comparação das redes de drenagem, uma vez que a comparação somente pode ser realizada entre elementos de mesma ordem de ramificação.

HORTON (1945) chamou de "composição da rede de drenagem", ao número e comprimento de rios e tributários de diferentes classes ou ordens, independente do padrão. O autor afirma que a composição da rede de drenagem tem alto grau de significância hidrológica, enquanto que o padrão isolado tem pouco ou nenhum significado hidrológico, embora seja um indicador de controle geológico.

Vários pesquisadores adotaram o sistema de HORTON (1945), dentre eles, MAXWELL (1955), SCHUMM (1956), STRALLER (1957), CURTIS et alii (1965), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a, 1976b).

Dando continuidade ao estudo da composição das redes de drenagem, HORTON (1945) enunciou a lei dos números de rios e a lei dos comprimentos de rios. A "lei dos números de rios" expressa a relação entre o número de rios de cada ordem e a ordem de ramificação em termos de uma série geométrica inversa, que tem como base a razão de ramificação. A "lei dos comprimentos de rios", expressa a relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica direta na qual o primeiro termo é o comprimento médio dos rios de primeira ordem.

Segundo MAXWELL (1955), existe uma relação linear entre o logaritmo dos números de segmentos de rios de cada ordem e as respectivas ordens de ramificação, com pequena

dispersão, ou seja, dando coeficientes de correlação com significância estatística em alto nível de probabilidade, que seria a forma de se medir a dispersão dos dados. A equação linear de MAXWELL (1955), na sua forma explícita é: $\log N_w = a - bw$, onde N_w é o número de segmentos em cada ordem e w é a ordem dos segmentos de rios. Com esta equação, o autor propôs a expressão $R_b = \text{antilog } b$, como sendo a melhor expressão empírica da razão de ramificação (R_b).

FRANÇA (1968) e VASQUES FILHO (1972) obtiveram resultados estudando a significância das diferenças na composição do padrão de drenagem em séries de solos da região de Piracicaba. Segundo FRANÇA (1968), para bacias de 4a. ordem os números de segmentos (N_w) variaram: para média ponderada de 48,21 a 1, pela equação de MAXWELL (1955) de 42,88 a 0,83 e por HORTON (1945) de 50,65 a 1. VASQUES FILHO (1972), encontrou os seguintes resultados trabalhando com bacias de 3a. ordem: número médio observado de 10,84 a 1, pela equação de MAXWELL (1955) de 11,12 a 1,01 e por HORTON (1945) de 10,82 a 1.

Em estudos semelhantes, FADEL (1972) e LEÃO (1973) obtiveram resultados significativos em séries de solos do Município de Araçoiaba da Serra (SP) e em grandes grupos de solos do Distrito Federal, respectivamente. GEVAERD (1974) e SOUZA (1975), encontraram também resultados significativos em solos do Estado do Paraná. FADEL (1972) encontrou número de segmentos de rios variando: média ponderada de 8,36 a 1, equação de MAXWELL (1955) de 7,77 a 0,93, e HORTON (1945) de 8,35 a 1,00. LEÃO (1973) encontrou os seguintes resultados para o número de segmentos de rios: média ponderada de 11,40 a 1,00, equação de MAXWELL (1955) de 11,58 a 0,76 e HORTON (1945) de 12,46 a 1,00. GEVAERD (1974) encontrou para número de segmentos de rios os seguintes resultados: média ponderada de 9,82 a 1,00, equação de MAXWELL (1955) de 11,56 a 0,92 e HORTON (1945) de 9,12 a 1,00. Para SOUZA (1975), o número de segmentos de rios foi: para média ponderada de 16,65 a 1,00,

equação de MAXWELL (1955) de 17,15 a 0,91 e HORTON (1945) de 16,00 a 1,00. SOUZA (1975) observou que o número de segmentos de rios é diretamente proporcional às suas declividades, visto que, as unidades de solos com declives mais acentuados, com menor relação infiltração/deflúvio, apresentaram um maior número de segmentos de rios.

Com relação aos comprimentos totais de segmentos de rios, STRAHLER (1957) relacionou os logarítmos dos comprimentos totais com as respectivas ordens de rios e obteve uma regressão exponencial, $L_w = a \cdot w^{-b}$, que foi expressa na forma logarítmica $\log L_w = \log a - b \log w$, onde L_w é o comprimento total de segmentos de rios, na ordem w . Este autor observou também que a variação dos dados de comprimentos de rios não é linear, concluindo que a semelhança geométrica não é preservada com o aumento da ordem de grandeza da bacia hidrográfica.

FRANÇA (1968), procurando além da semelhança geométrica, a homogeneidade de solos e de substratos rochosos, verificou que se ajusta melhor uma equação exponencial do tipo $L_w = a \cdot w^{-b}$, que expressa na forma logarítmica fica $\log L_w = \log a - b \log w$, onde L_w é o comprimento total de segmentos de rios, na ordem w . O antilog de b da equação de FRANÇA (1968), representa pois a razão de comprimentos totais (R_{1w}).

Os seguintes resultados para comprimentos totais foram encontrados: FRANÇA (1968), para média ponderada de 12,81 a 1,80, pela equação de 27,87 a 1,58. VASQUES FILHO (1972) encontrou para média de 3,39 a 0,93 e pela equação de 2,95 a 0,85. FADEL (1972), para média ponderada de 2,61 a 0,70 e pela equação de 2,40 a 0,64. LEÃO (1973), para média ponderada de 3,41 a 0,34 e pela equação de 2,75 a 0,33. GEVAERD (1974) para média de 5,50 a 1,79 e pela equação de 5,39 a 2,44. SOUZA (1975) para média ponderada de 5,09 a 0,57 e pela equação de 5,21 a 0,61.

Para os comprimentos médios de segmentos de rios, VASQUES FILHO (1972) ajustou a equação logarítmica $\log L_m = \log a - b \log w$, onde L_m é o comprimento médio de segmentos de rios na ordem w . Verificou também que a expressão $R_1 = \text{antilog } b$ representa a razão de comprimentos médios (R_1).

Os resultados para comprimentos médios são: VASQUES FILHO (1972), para média de 0,39 a 0,92, pela equação de 0,29 a 1,29, calculado L_w/N_w de 0,29 a 1,33 e HORTON (1945) de 0,16 a 1,68. GEVAERD (1974), para média de 0,39 a 4,12, pela equação de 0,47 a 2,52, calculado L_w/N_w de 0,26 a 4,19 e HORTON (1945) de 0,15 a 4,19. SOUZA (1975), para média de 0,20 a 0,98 pela equação de 0,18 a 0,85, calculado L_w/N_w de 0,17 a 0,94 e HORTON (1945) de 0,20 a 0,79.

A razão de ramificação, segundo STRAHLER (1957), é um número sem dimensão, que expressa a composição do sistema de drenagem, sendo altamente estável, com pequena amplitude de variação de uma região para outra, ou de um ambiente para outro, exceto onde domina poderoso controle geológico. Já a análise dos comprimentos de rios mostra que as relações não apresentam tanta significância como na lei dos números de rios.

HORTON (1945) encontrou valores da razão de ramificação variando de 2,22 para bacias suavemente onduladas, até 3,91 para bacias montanhosas ou altamente dissecadas.

STRAHLER (1957) apresenta os seguintes valores de razão de ramificação encontrados por Coates: entre rios de 1a. para 2a. ordem, variando de 4,0 a 5,1; entre rios de 2a. para 3a. ordem, variando de 2,8 a 4,9. O valor médio encontrado com base nos dados acumulados, foi de 3,52.

FRANÇA (1968) encontrou valores da razão de ramificação variando de 3,22 a 3,70 para bacias de 4a. ordem, em quatro séries de solos da região de Piracicaba, Estado de São Paulo.

Estudos realizados em bacias de 3a. ordem por FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975), em solos dos Estados de São Paulo, Distrito Federal e Paraná, mostraram que os valores médios da razão de ramificação (Rb) variam de 2,50 a 4,09 para alguns oxissois, de 2,63 a 3,30 para alguns alfissois, de 2,00 a 2,93 para alguns entissois.

A relação $R1/Rb$ foi considerada por HORTON (1945) como sendo um fator importante, relacionado tanto à composição da rede de drenagem como ao estágio de desenvolvimento da bacia hidrográfica. FRANÇA (1968), baseado nos resultados que obteve, sugeriu que o valor $R1$ se relaciona com as razões de ramificação e de comprimento total, segundo a equação: $Rb = R1 \times R1w^{-1}$.

FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975), encontraram valores da razão de comprimentos médios variando de 1,41 a 2,70 para oxissois; de 1,58 a 3,30 para alfissois e de 2,23 para entissois.

Estes mesmos autores encontraram para razão de comprimentos totais, valores de 1,07 a 2,44 para oxissois; de 1,02 a 1,47 para alfissois e de 1,41 para entissois.

3.3. Padrão de drenagem superficial

Os padrões de drenagem auxiliam na fotointerpretação porque podem ser usados como critérios na identificação de fenômenos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos, pois segundo LUEDER (1959), o padrão de drenagem é o mais consistente e confiável indicador das condições do terreno. O autor define o padrão de drenagem como a distribuição dos canais de drenagem, cobrindo uma área, com detalhes completos sobre: grau de integração, grau de controle, densidade, grau de uniformidade, orientação, angularidade, âng

gulos de confluência e tipo ou modelo. Estes termos descritivos devem ser aplicados somente à drenagem superficial criada por erosão hídrica.

Para LUEDER (1959), 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 alta infiltração e permeabilidade.

O termo anomalia foi acrescentado por RICCI e PETRI (1965), na lista de características descritivas, para representar qualquer configuração que não se adapta àquela dominante. Fornece informações sobre a textura superficial, permeabilidade do material exposto, grau de erodibilidade e condições estruturais presentes.

PARVIS (1950) classifica os padrões de drenagem em dois grupos: básicos e modificados. Apresenta seis padrões de drenagem básicos: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Acrescentando os padrões modificados, classificou e descreveu, ao todo, trinta tipos ou modelos. Estes padrões podem ser observados e estudados analiticamente em fotografias aéreas, facilitando a fotointerpretação de solos e substratos rochosos.

O tipo de drenagem arborescente, segundo AVERY (1969), implica que a área seja originalmente de relevo suave e composta de materiais uniformes. Diferenças na textura do tipo arborescente pode ser atribuído ao material superficial. Áreas graníticas, por exemplo, mostram padrão de drenagem com textura fina e tributários apresentando ângulos retos.

O padrão retangular, conforme AVERY (1969), é caracterizado por ligações abruptas na rede de drenagem, desenvolvida onde um padrão de drenagem de forma aproximada a arborescente, predomina numa extensa região, mas o padrão é local

mente influenciado por controle geológico. Rochas metamórficas superficiais, particularmente aquelas formadas de xistos e ardósias, comumente apresentam drenagem paralela. Ardósias possuem um sistema peculiar de textura fina. Este padrão é extremamente angular, de fácil reconhecimento por apresentar-se localmente paralelo.

Segundo SOUZA (1975), as dificuldades para delimitar unidades de solos no campo, devido à falta de acesso, podem ser perfeitamente contornadas, utilizando-se os aspectos visíveis nas fotografias aéreas. Dentre os padrões que permitem a diferenciação de solos, as redes de drenagem, juntamente com o relevo, são os que mais se destacam, com vantagem para as redes de drenagem, que são mais facilmente registradas e medidas em fotografias aéreas.

Os padrões de drenagem, segundo RAY (1963), podem ser aplicados na interpretação geológica. 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.

Segundo HORTON (1945), o desenvolvimento de bacias hidrográficas e de suas redes de drenagem deve ser discutido em termos de infiltração, deflúvio e erosão, em terrenos recentemente expostos. No entanto, 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 ao controle de estruturas geológicas.

Dentre as características quantitativas das redes de drenagem destacam-se: densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e textura topográfica.

HORTON (1945) explicou que o desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem por processos de erosão hídrica, dependem inicialmente da proporção entre infiltração e deflúvio, sendo que em cada terreno existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície, necessário para concentrar volume de deflúvio suficiente para iniciar a formação de canais. O declive superficial, a capacidade de infiltração e a resistência à erosão definem o "comprimento crítico" do terreno.

A densidade de drenagem, segundo ZINKE (1960), é uma expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração, podendo ser considerada como uma descrição física quantitativa da bacia hidrográfica.

Segundo RAY (1963), a densidade de drenagem está relacionada principalmente com a resistência à erosão dos materiais presentes. A densidade de drenagem aumenta à medida que diminui a resistência à erosão. Verificou que rochas sedimentares como folhelhos e similares, de granulação fina, tendem a apresentar drenagem de textura fina; sendo que os arenitos de granulação grosseira, tendem a apresentar drenagem de textura grosseira. Porém, admite que pode haver muitas exceções e FRANÇA (1968) afirma que muitas das exceções são devidas à natureza dos solos que se desenvolveram sobre essas rochas.

HORTON (1945) sugeriu duas relações, com a finalidade de imprimir um caráter quantitativo ao grau de desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica em relação à ordem de rios. A primeira, densidade de drenagem, que foi definida como o comprimento médio de rios por

unidade de área. Pode ser expressa como $O_d = L_t \times A^{-1}$, onde L_t é o comprimento total de rios das diversas ordens e A é a área da bacia hidrográfica. A segunda, frequência de rios, que representa o número de rios por unidade de área, expressa por $F = N \times A^{-1}$, onde N é o número total de rios e A é a área da bacia hidrográfica.

Devido às variações de áreas nas bacias hidrográficas, HORTON (1945) e SMITH (1950) afirmam que os valores de densidade de drenagem e frequência de rios não são diretamente comparáveis. Com o objetivo de se comparar estes valores entre bacias hidrográficas, STRAHLER (1957) propôs que as bacias tivessem a mesma ordem de ramificação e, utilizando o princípio de análise dimensional e semelhança geométrica, tentou elaborar um sistema de geomorfologia quantitativa, dizendo que se houver semelhança geométrica entre duas bacias, todas as medições de comprimento entre pontos correspondentes, manterão uma razão de escala fixa.

A importância da semelhança geométrica preconizada por STRAHLER (1957), pode ser reforçada pela sugestão de ANDERSON (1957), que considera a área como a variável mais importante de uma bacia hidrográfica, visto que quase todas as suas características estão com ela correlacionadas. Segundo SCHUMM (1956), a área da bacia de drenagem aumenta exponencialmente com a ordem de ramificação de rios, sendo que a distribuição das áreas de bacias em relação às ordens de rios mostra grandes desvios, que podem em parte serem corrigidos pelo uso de logarítmos. Para FRANÇA (1968), com o aumento da ordem de ramificação, ocorre aumento da área de drenagem e variação das características quantitativas do padrão. Observou também que um acréscimo na razão de textura, corresponde a um decréscimo na densidade de drenagem e frequência de rios, pois aumentando a área da bacia, o perímetro aumenta de um modo proporcionalmente menor.

FRANÇA (1968) aplicou os princípios da análise quantitativa de Strahler a solos, e chegou às seguintes conclusões:

1. 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;

2. a análise e a interpretação do padrão de drenagem permitiram a distinção entre os solos estudados; entretanto, os outros padrões devem ser considerados;

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;

4. as características quantitativas baseadas em medições simples, exatas e reproduzíveis, podem ser utilizadas na descrição do padrão de drenagem, permitindo comparações e interpretações mais concretas, desde que sejam superadas certas dificuldades na amostragem;

5. 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.

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, para expressar o espaçamento entre os canais de drenagem. A razão de textura (T), é expressa por $T = N \times P^{-1}$, onde N é o número de crênulas na curva de nível escolhida e P é o comprimento do perímetro da bacia, expresso em milhas.

O mesmo autor estabeleceu em valor médio ponderado para caracterizar a textura topográfica, tomando-se em consideração o tamanho de cada bacia. A razão de textura média pode ser determinada pela expressão: $T_m = \frac{\sum(T \times A)}{\sum A}^{-1}$, onde T_m é o valor médio ponderado da razão de textura, T a razão de textura e A a área, de cada bacia.

Segundo FRANÇA (1968), os sistemas de drenagem podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos de fotografias aéreas, e introduziu modificações na razão de textura (T) e razão de textura média (T_m). Considerou o valor N das equações, como sendo o número total de rios da bacia e adaptou a classificação de textura topográfica de Smith ao sistema métrico, transformando o perímetro para quilômetros. Os valores obtidos são: T_m menor que 2,5km, T_m entre 2,5 e 6,2 km e T_m maior que 6,2 km para as classes grosseira, média e fina, respectivamente.

A textura da topografia, conforme FREITAS (1952), depende de vários fatores que atuam na drenagem. Classificam-se estes, em duas classes: 1) fatores naturais, que compreendem o clima, a vegetação, a natureza da rocha ou do solo, intensidade das chuvas, capacidade de infiltração e estágio do perfil longitudinal do rio; 2) fatores acidentais, que abrangem o grau de perfeição do mapeamento e o valor da escala empregada. Em geral, as rochas pouco resistentes, solos desprotegidos pela vegetação, produzem texturas finas, isto é, quando as curvas de nível se aproximam, representando um relevo mais acentuado. Ao contrário, rochas resistentes causam uma textura grosseira, caracterizada pelo espaçamento das curvas de nível e rarefação das linhas de drenagem. Entretanto, esta dependência de tais fatores de controle é local e não regional.

GANDOLFI (1971), estudando três bacias de 5a. e 6a. ordem do rio Mogi-Guassu, encontrou densidade de drena-

gem variando de 0,63 a 0,80 km/km², frequência de rios de 0,25 a 0,53 canais/km² e um comprimento médio de 1,78 km/canal. A razão de textura foi inferior a 4,0, sendo considerada grosseira. O autor explica que a razão de textura encontrada, significa estágios iniciais ou recentes do ciclo de erosão. Os rios na região estão atualmente entalhando profundamente os seus cursos, em pleno processo erosivo.

O cálculo da densidade de drenagem é importante, na análise das bacias hidrográficas, porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade, há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem, conforme STRAHLER (1952). Segundo adaptação de Strahler, realizada por CRISTOFOLETTI (1969), a densidade de drenagem pode ser classificada nos seguintes dados médios expressos em quilômetros por quilômetros quadrados:

menor que 7,5 = baixa densidade de drenagem
entre 7,5 e 10,0 = média densidade de drenagem
maior que 10,0 = alta densidade de drenagem

Estudos realizados em solos dos Estados de São Paulo, Distrito Federal e Paraná, por FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975), mostraram os seguintes resultados obtidos em bacias hidrográficas: a densidade de drenagem variou de 0,47 a 3,65 em oxissolos; de 1,94 a 5,00 em alfissolos; de 2,71 a 3,55 em entissolos. A frequência de rios variou de 0,78 a 9,13 em oxissolos; de 7,61 a 30,95 em alfissolos e de 6,79 a 12,50 em entissolos. Para razão de textura, a variação foi de 1,22 a 3,25 para oxissolos, de 3,24 a 6,03 para alfissolos e de 2,20 a 3,25 para entissolos.

Em amostras circulares os mesmos autores obtiveram os seguintes resultados: para densidade de drenagem a

variação foi de 0,36 a 2,79 para oxissolos, de 3,05 a 6,32 para alfissolos e em torno de 3,4 para entissolos. Para frequência de rios SOUZA (1975) obteve em oxissolos o valor médio de 2,90 e de 2,54 para razão de textura média. GEVAERD (1974) encontrou um valor médio para razão de textura de 1,08 em oxissolos e de 1,63 em alfissolos.

Nas características das amostras circulares de 10 km², decalcadas de fotografias aéreas na escala 1:25000, KOFFLER (1976a), observou que existe uma diferença marcante entre os solos, sob todos os aspectos dimensionais estudados, embora as três unidades de solo, Podzolisados de Lins e Marília var. Lins, Podzolisados de Lins e Marília var. Marília e Latossol Vermelho Escuro fase arenosa, tenham sido desenvolvidas a partir de arenitos da mesma formação geológica.

KOFFLER (1976a) verificou nas amostras circulares que existe diferença quanto ao comprimento dos rios: relativamente curtos nos solos Podzolisados var. Marília (média de 0,3 km por rio), relativamente longos no Latossol Vermelho Escuro fase arenosa (2,4 km por rio) e de comprimentos intermediários nos solos Podzolisados var. Lins (0,9 km por rio).

KOFFLER (1976a) verificou também que as características, densidade de drenagem e frequência de rios, isoladamente, diferenciaram as unidades de solos, ao contrário do que preconizaram HORTON (1945) e STRAHLER (1964). Os valores da densidade de drenagem obtidos por KOFFLER (1976a), foram de 1,59 para o Podzolisado var. Lins, 3,47 para o var. Marília e 0,73 para o Latossol Vermelho Escuro fase arenosa.

SOUZA (1975) obteve em amostras circulares de 10 km², classe topográfica média para LVE-orto, e fina para LVA e LVE-dolomítico. Já KOFFLER (1976a), obteve a textura topográfica grosseira para os solos Podzolisados var. Lins e Latossol Vermelho Escuro, sendo a textura fina para o Podzolisado var. Marília.

A significância da densidade de drenagem em relação à litologia, foi estudada em fotografias aéreas por RAY e FISCHER (1960). Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 km². Concluíram que as amostras circulares fornecem determinações de densidade de drenagem mais consistentes, para qualquer tipo de rocha. Salientaram que os dados da densidade de drenagem foram insuficientes para representar uma significância geológica, porém ficou claro que a permeabilidade do solo e da rocha subjacente tem influência fundamental. O aumento da permeabilidade é acompanhado de decréscimo na densidade de drenagem.

FRANÇA (1968) aplicou a metodologia de Ray e Fischer em estudo de solos, obtendo resultados mais significativos para densidade de drenagem determinada em amostras circulares. As seguintes vantagens foram verificadas para as amostras circulares:

1. elimina a influência da área, uma vez que todas as medições de comprimentos de rios são referidas à mesma área circular de 10 km²;

2. a área circular de amostragem pode ser deslocada, dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem consideração dos 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 confirmado por diversos pesquisadores, como MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a). Estes autores, ao investigarem redes de drenagem em diferentes solos brasileiros, estabeleceram índices para caracterizá-los. A amostra circular em fotografias aéreas de 10 km² de área, foi utilizada por todos os autores na determinação da densidade de drenagem. SOUZA (1975), porém,

estendeu o método para determinar não somente a densidade de drenagem, mas também, frequência de rios, razão de textura e textura topográfica, verificando que os índices encontrados podem ser utilizados para diferenciar solos. SOUZA (1975) salientou que o valor fixo de 10 km^2 de área para a amostra circular, pode variar conforme a área de ocorrência dos solos, comprovando a afirmação de BURING (1960), que delimitou uma amplitude de 10 a 100 km^2 para estudar ocorrência e densidade de drenagem.

KOFFLER (1976b), utilizando amostras circulares com áreas variando de 10 a 100 km^2 , sobre fotografias aéreas verticais na escala de 1:60000, estudou a influência do tamanho da amostra na caracterização quantitativa do padrão de drenagem. Entre outras, chegou à conclusão de que a caracterização quantitativa de um padrão de drenagem e a sua comparação com outros, podem ser efetuadas através dos índices densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio, independentemente do tamanho das amostras circulares, desde que sejam representativas.

3.4. Relações entre solos e características das redes de drenagem

Segundo FRANÇA (1968), a literatura relacionada com a investigação e aplicação de técnicas de interpretação aerofotográfica aos múltiplos aspectos do terreno, mostra que a maior parte das pesquisas se preocupou com aspectos geológicos e geomorfológicos ou a solos considerados sob o ponto de vista da engenharia. Os poucos trabalhos existentes considerando o solo edafologicamente, são puramente descritivos. Além da falta de estudos quantitativos, é flagrante a deficiência destas pesquisas em solos tropicais e subtropicais.

BURINGH (1960) considerou o solo sob o ponto de vista pedológico e verificou que em muitos casos é impossí

vel deduzir de fotografias aéreas, a que grupo genético pertence o solo e que previsões sobre a textura dos solos, muitas vezes não são corretas.

Em regiões tropicais e subtropicais, DUNBAR (1959) observou que solos latossólicos, com elevado teor de argila, apresentavam redes de drenagem com características semelhantes às de solos com textura da classe barrenta. Estas afirmativas foram confirmadas por FRANÇA (1968) e FADEL (1972), ao verificarem que solos argilosos dos grandes grupos Latossol Roxo e Latossol Vermelho Escuro, devido à estrutura maciça porosa do horizonte B, são mais permeáveis que solos arenos do grande grupo Podzólico Vermelho Amarelo var. Laras.

SOUZA (1975) chama atenção para o caráter regional que deve ser atribuído às características descritivas da rede de drenagem. Os resultados obtidos para as unidades Latossol Vermelho Amarelo e Latossol Vermelho Escuro dolomítico, se comparados com os de trabalhos realizados por GEVAERD (1974) no nordeste paranaense, levariam à conclusão que solos do grande grupo Brunizem Avermelhado, são mais permeáveis que aqueles dois Latossóis, o que evidentemente não é verdade. O autor verificou também que a análise descritiva das redes de drenagem se mostrou um eficiente critério auxiliar, para distinguir as três unidades de solo que estudou.

Dentre as características que compõem as redes de drenagem, são mais importantes para SOUZA (1975), o número de segmentos de rios e os comprimentos totais de segmentos de rios, pois distinguiram as unidades de mapeamento estudadas.

PARR e BERTRAND (1960) observaram que a velocidade de infiltração da água no solo é comandada principalmente pelas condições de superfície e cobertura do solo e, depois, pelas características do perfil do solo.

HORTON (1945) verificou que, 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; mas, 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.

Solos com maior proporção de deflúvio e, conseqüentemente, um maior desenvolvimento de sua rede de drenagem superficial, são relativamente impermeáveis e, segundo ZINKE (1960), refletem um dado tipo de rocha.

FRANÇA (1968) aceita em parte as observações de vários autores, sobre capacidade de infiltração, resistência do solo à erosão e relação infiltração/deflúvio, na formação e no desenvolvimento das redes de drenagem. Contudo, afirma que os autores tiraram conclusões de caráter geral, sem se aprofundarem em maiores detalhes, uma vez que o material de estudo não era pedologicamente bem definido.

Os trabalhos realizados em unidades de solos levantadas ao nível de série, por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1973), com bacias de 3a. e 4a. ordem, mostraram a influência do fator solo no desenvolvimento das bacias hidrográficas e suas redes de drenagem. Esta influência foi confirmada posteriormente por LEÃO (1973), GEVAERO (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a), em unidades de solos levantadas ao nível de grandes grupos.

O padrão de drenagem reflete o controle exercido pela estrutura subjacente, e quando este controle estrutural atinge um mínimo, as características da rede de drenagem podem ser influenciadas pela espessura e natureza do material exposto, conforme argumenta RAY (1963).

Para FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) e LEÃO (1973), em bacias de 3a. ordem, as características da composição das redes de drenagem dependem em primeiro lugar da natureza do solo, podendo ser modificadas por influência de controle geológico.

SOUZA (1975) verificou ausência de controle geológico nos dados obtidos, principalmente razão de ramificação, visto que os solos estudados apresentam características morfogênicas semelhantes. As pequenas diferenças encontradas entre solos foram atribuídas às declividades.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Descrição geral da area

Os solos estudados ocorrem na região de Alpinópolis, situada na parte sudoeste do Leste Meridional do Brasil, no sul do Estado de Minas Gerais, localizando-se entre os meridianos de $46^{\circ}00'$ e $46^{\circ}30'$ a oeste de Greenwich e os paralelos de $20^{\circ}30'$ e $21^{\circ}00'$ de latitude sul, segundo descrição feita pelo Instituto Brasileiro do Café (1972).

Na coluna geológica da região acham-se representadas as eras proterozóica e arqueozóica, com os períodos pré-cambriano B e pré-cambriano C-D, respectivamente. Conforme descrição realizada pelo Instituto Brasileiro do Café (1972), as rochas do pré-cambriano B pertencem à série Canastra e são derivadas de sedimentos depositados através de uma ingressão marinha e que sofreram consideráveis dobramentos e cisalhamentos. São compostos principalmente por sericitaxistos por

vezes quartzosos, filitos, quartzitos impuros, calcários, itabiritos, talcomuscovita, cloritaxisto associado a quartzito mais ou menos micáceo com delgadas intercalações de veios de sílex. Às rochas deste período estão relacionados os seguintes solos, objetos deste estudo: Latossol Vermelho Escuro Distrófico (LEd₄) e Solos Litólicos Distróficos (Rd₁).

O pré-cambriano C-D compreende as formações Pré Minas de rochas bastante metamorfizadas e de estrutura milonítica, ocorrendo gnaisses ~~migmatíticos~~ milonitizados ou não, milonitos, além de rochas ígneas parcialmente metamorfizadas ou não, ou sejam, gnaisses graníticos e granitos metamorfizados. O solo Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico (BLd₃) está relacionado às rochas deste período.

O clima da região, conforme o Instituto Brasileiro do Café, é amenizado pela altitude (700 - 1200 m), com verões suaves, e durante o inverno o mês mais frio com temperatura média inferior a 18°C, representado por Köppen pelo símbolo C.

A existência de um verão chuvoso e inverno seco indica para o clima da região um regime tropical; entretanto, como existe uma diminuição de temperatura como efeito da altitude, pode-se dizer que na área vigora clima tropical de altitude.

Aplicando-se a classificação climática de Köppen, verifica-se que a área, em sua quase totalidade, enquadra-se no tipo Cwb, que é um clima mesotérmico com verões brandos e estação chuvosa no verão e com temperatura média mensal inferior a 18°C no mês mais frio e inferior a 22°C no mês mais quente.

Nos solos estudados foram encontradas os seguintes tipos de vegetação: formação de cerrado na unidade LEd₄, floresta tropical subperenifólia na unidade BLd₃ e for-

mação campestre na unidade Rd₁.

A formação de cerrado está constituída de comunidades abertas, com dois estratos distintos, um herbáceo e outro arbóreo. O estrato arbóreo é constituído por elementos de pequeno porte (2 a 3 metros), com galhos tortuosos, em geral apresentando o suber espessado. O estrato herbáceo é ralo, de altura não superior a 60cm e bastante rarefeito no final da estação seca.

Na floresta tropical subperenifólia encontra-se uma vegetação predominantemente sempre-verde, e somente decídua em parte. Muitas das espécies sempre-verdes compõem o estrato superior, apresentando entretanto, propensão a perder suas folhas em estação seca anormal: são espécies "facultativamente decíduas", formação mesófila.

Formações campestres são comunidades herbáceas com elementos arbustivos esparsos, encontradas em áreas de relevo ondulado até montanhoso, altitudes acima de 800m, em solos pouco desenvolvidos e de baixa saturação de bases.

4.1.2. Unidades de solos

Para o presente estudo escolheram-se três unidades de solos representativas da região de Alpinópolis, cartografadas no Levantamento de Reconhecimento Detalhado e Aptidão Agrícola dos Solos em Área Piloto no sul do Estado de Minas Gerais, realizado pelo Instituto Brasileiro de Café(1972). As unidades escolhidas são apresentadas na tabela 1.

Na tabela 2, encontram-se algumas características das unidades de solos.

Tabela 1. Unidades de Solos Com a Correspondência entre a Classificação Adotada Pelo Instituto Brasileiro Café (1972) e 7a. Aproximação do Soil Survey Staff (1967).

Unidades de Solos	
Instituto Brasileiro do Café	7a. Aproximação
Latossol Vermelho Escuro A fraco textura argilosa fase cerrado re levo suavemente ondulado (LEd ₄).	Acrorthox
Laterítico Bruno Avermelhado Dis trófico A fraco textura argilosa com cascalho fase floresta subpe renifólia relevo fortemente on-	Hapludults
Solos Litólicos Distróficos A fraco textura média cascalhenta fase campestre relevo montanhoso com afloramentos de quartzito (Rd ₁).	Quartzipsamments

Tabela 2. Características das unidades de solos, descritas segundo o Instituto Brasileiro do Café(1972).

Características	Unidades de Solos		
	LEd ₄	BLd ₃	Rd ₁
Litologia e material originário	filitos ou xistos argilosos associados ou não a quartzitos, da série Cambriana do Pré-Cambriano B.	gnaiesses graníticos, migmatíticos milonitizados ou não, do Pré-Cambriano CD.	quartzito e micaxisto em pequenas percentagens, do Pré-Cambriano B.
Relevo e altitude	suavemente ondulado, com topograficamente planos e pendentes longas, de centenas a milhares de metros, com declive variando de 2 a 4% e altitude de 700 a 800 metros.	fortemente ondulado, com pendentes curtas, altitude de 1100 metros.	montanhoso, com pendentes muito curtas e escarpadas, com altitude de 910 metros.
Drenagem	bem drenado	bem drenado	bem drenado
Erosão	laminar ligeira	laminar ligeira	laminar ligeira e sulcos frequentes
Extensão e percentagem	318 km ² , 11% de total	135 km ² , 4,7% do total	434 km ² , 15% do total
Clima (Köppen)	Cwb	Cwb	Cwb

4.1.3. Bacias hidrográficas

Foram selecionadas para estudo, três bacias hidrográficas por unidade de solo, dando um total de nove bacias, que são identificadas pelos algarismos romanos de I a IX. A localização das bacias hidrográficas dentro das respectivas unidades de solos se encontra representada na figura 1, que mostra a posição das mesmas na região.

4.1.4. Fotografias aéreas e fotoíndice

Foram utilizadas 160 fotografias aéreas verticais da região e 1 fotoíndice, para seleção das unidades de solos e respectivas bacias hidrográficas. As fotografias aéreas apresentam escala aproximada de 1:25000, pertencentes ao aerolevanteamento 44/71 do IBC - GERCA. No aerolevanteamento foi empregada câmara fotográfica Zeiss RMK - A15/23 com distância focal calibrada de 152,37mm e altitude média do terreno de 900 metros.

O recobrimento longitudinal das fotografias é de aproximadamente 60%, sendo o lateral de 30%, permitindo desta forma, visão estereoscópica nos pares estereoscópicos.

4.1.5. Estereoscópicos

A identificação dos elementos nos pares estereoscópicos, foi realizada com auxílio de estereoscópio de bolso (ou lente ou de refração) e estereoscópio de mesa (ou de espelho ou de reflexão), conforme RAY (1963). O estereoscópio de bolso empregado foi de marca Vasconcelos, enquanto que o de mesa foi Wild, com binocular de aumento 3x.

4.1.6. Outros materiais

Para obtenção das características dimensionais das bacias hidrográficas e de amostras circulares, foram utilizados os seguintes materiais: planímetro polar, curvímetro, compasso, escala graduada.

4.2. Métodos

Para esta pesquisa de fotointerpretação de redes de drenagem, adotou-se a metodologia descrita a seguir.

4.2.1. Escolha da região de estudo

O principal fator levado em conta foi a existência de levantamento de reconhecimento detalhado dos solos, permitindo confronto das características dimensionais das redes de drenagem, com suas respectivas unidades de solos, fornecendo índices morfométricos representativos.

Outros fatores considerados foram a importância que a região representa na agricultura do sul do Estado de Minas Gerais e a ocorrência generalizada das unidades de solos estudadas, na região.

4.2.2. Seleção das fotografias aéreas

Foi realizada após a escolha das unidades de solos no mapa pedológico, levando-se em consideração a ocorrência na região. Eleitas as unidades de solos, com auxílio de fotoíndice selecionaram-se as fotografias aéreas onde provavelmente seriam encontradas as informações desejadas.

O método empregado na seleção das fotografias aéreas foi o que RABBEN (1960) denominou de método de pesqui-

sa lógica; e a identificação de imagens foi feita pelo princípio de convergência de evidências, desenvolvido por COLWELL (1952).

4.2.3. Obtenção dos mapas básicos de drenagem

O decalque das redes de drenagem, conforme a sugestão de RAY (1963), foi realizado após exame prévio das fotografias aéreas, marcando as possíveis bacias hidrográficas das unidades de solos, sempre em número superior àquele planejado, permitindo desta forma uma melhor seleção das bacias mais representativas.

Devido ao tamanho das bacias hidrográficas representativas do solo LEd₄, que abrangem mais de uma faixa de voo, delimitou-se sobre os "overlays", conforme o método de RABBEN (1960), a área útil de cada fotografia alternada, a fim de facilitar as observações estereoscópicas. Por triangulação radial gráfica, conforme descrição de NAMI e SLEPETYS (1953 e 1954), foi possível o controle das posições relativas das fotografias. Nos demais solos adotou-se o mesmo sistema, porém com maior facilidade, pelo fato das bacias se situarem sempre na mesma faixa de voo.

A seguir, foram transferidos do mapa pedológico para as fotografias aéreas, os limites das unidades de solos, confrontados mediante auxílio de observação estereoscópica.

Em papel "ultraphan" afixado sobre os "overlays" das fotografias, foram decalcados, após exame detalhado dos pares estereoscópicos, as linhas de cumeadas das bacias hidrográficas, com as respectivas redes de drenagem. Na rede de drenagem foram incluídos todos os canais visíveis estereoscopicamente, quer fôssem de cursos d'água permanentes ou temporários, segundo as sugestões de STRAHLER (1957), LUEDER (1959), RAY (1963). Desta forma foram **obtidos os mapas de**

drenagem das unidades de solos, para maior facilidade de estudo das características da rede de drenagem, livre da exuberância da imagem fotográfica, conforme recomenda RAY (1963).

4.2.4. Seleção das bacias hidrográficas

Das bacias decalcadas com as respectivas redes de drenagem, foram selecionadas três de mesma ordem, representativas de cada unidade de solo. O critério adotado para a seleção foi o preconizado por STRAHLER (1952), de semelhança geométrica, denominado posteriormente por VASQUES FILHO (1972), de teste de semelhança geométrica. O estudo foi realizado em bacias de 3a. ordem, levando-se em consideração as observações efetuadas por FRANÇA (1968).

4.2.5. Análise das bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas, que em planta são áreas fechadas, delimitadas por divisores de água que circundam toda a área de drenagem consideradas, os quais convergem para o ponto no qual o canal principal desagua em outro maior, do qual é tributário, segundo descrição de FRANÇA (1968), foram analisadas de acordo com BURINGH (1960).

A análise feita é do tipo analítica ou análise de elementos, levando-se em consideração os elementos discriminados a seguir.

4.2.5.1. Localização e representatividade

a) Localização

Verificada em termos de sua posição dentro da região estudada, indicando a situação em relação ao curso d'água permanente. Foi representada em figura decalcada do

mapa de solos e plani-altimétrico, confrontados com as fotografias aéreas.

b) Representatividade

Determinada em relação à área total da bacia, ocupada pela respectiva unidade de solo. A representatividade foi expressa em percentagem.

4.2.5.2. Características dimensionais

a) Maior comprimento - foi medido com escala graduada e expresso em quilômetros, desde a foz até o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas, acompanhando o sentido do vale principal.

b) Maior largura - medida com escala graduada e expressa em quilômetros, transversalmente ao vale principal.

c) Comprimento do rio principal - medido com curvímetro e expresso em quilômetros, acompanhando as sinuosidades do rio principal, desde a foz até a nascente. O percurso foi determinado de acordo com a proposição feita por HORTON (1945).

d) Perímetro - medido com curvímetro e expresso em quilômetros, sobre a linha do divisor de águas que circunda a bacia.

e) Área - foi medida com planímetro e expressa em quilômetros quadrados.

f) Comprimento da rede de drenagem - medido com curvímetro e expresso em quilômetros, acompanhando todas as

sinuosidades dos segmentos de rios presentes na bacia.

4.2.5.3. Características não dimensionais

a) Forma aproximada - indicada pela conformação da bacia na planta topográfica, recebendo designações tais como, triângulo isósceles, triângulo retângulo, reniforme, trapezoidal, etc., conforme a semelhança apresentada.

b) Ordem da bacia - determinada pela ordem do rio principal nela contido, correspondente ao segmento de ordem mais elevada da bacia, seguindo a designação adotada por STRAHLER (1957).

c) Simetria das vertentes - indicada pela homogeneidade da dissecação das encostas em relação ao vale principal.

d) Semelhança geométrica - foi efetuada em todas as bacias decalcadas de cada unidade de solo, seguindo os princípios sugeridos por STRAHLER (1957). Com esta análise pôde-se selecionar três bacias representativas de cada unidade de solo.

4.2.6. Análise das redes de drenagem

Para esta análise seguiu-se a sistemática de BURINGH (1960), do tipo analítica, considerando os elementos isoladamente e ou em associação. De acordo com sua natureza, os elementos foram reunidos em dois grupos: quanto à composição das redes de drenagem e quanto às características das redes de drenagem, conforme a metodologia empregada por FRANÇA (1968).

Foram considerados todos os segmentos de rios

decalcados, quer fossem cursos d'água permanentes ou temporários, de acordo com STRAHLER (1957), LUEDER (1959), RAY(1963).

4.2.6.1. Composição das redes de drenagem

a) Ordem de ramificação - os canais de drenagem, também denominados segmentos de rios conforme sugerem FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO(1973), SOUZA (1975), foram classificados segundo o sistema de HORTON (1945), modificado por STRAHLER (1957). A ordem de ramificação dos segmentos de rios foi designada genericamente com a letra w.

b) Número de segmentos de rios - foram computados o número de segmentos de rios em cada ordem e o número total de segmentos da bacia, sendo designados respectivamente, por N_w e N.

O número de segmentos de rios em cada ordem e o número total, foram também calculados em cada unidade de solo: quanto à média ponderada em relação à área das bacias; segundo a equação ajustada por MAXWELL (1955), na forma $N_w = \log a - w \log b$; e segundo a lei do número de rios enunciada por HORTON (1945).

c) Comprimento de segmentos de rios - foram medidos com curvímeter, o comprimento dos segmentos de rios decalcados, em cada ordem e o comprimento total de rios de cada bacia hidrográfica, sendo representados por L_w e L_t, respectivamente.

Em cada unidade de solo, também foram calculados os comprimentos de rios por ordem de ramificação e total, quanto à média ponderada em relação à área das bacias; segundo a equação ajustada por FRANÇA (1968) na forma: $\log L_w = \log a - w \log b$; e segundo a lei dos comprimentos de rios enunciada por

HORTON (1945).

d) Comprimento médio de segmentos de rios - calculado para cada ordem de ramificação nas bacias hidrográficas, pela razão entre comprimentos de segmentos de rios (L_w) e número de segmentos de rios (N_w). O comprimento médio foi designado por L_m .

Foi calculado também, para cada unidade de solo o valor médio dos comprimentos médios de segmentos de rios em cada ordem, utilizando-se: média ponderada em relação à área das bacias; equação ajustada por VASQUES FILHO (1972) na forma $\log L_m = \log a - w \log b$; razão entre o comprimento (L_w) calculado segundo FRANÇA (1968) e o número de segmentos de rios (N_w) calculado segundo MAXWELL (1955); lei dos comprimentos de rios enunciada por HORTON (1945).

e) Razão de ramificação - segundo a definição de HORTON (1945), é a relação entre o número de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada.

A razão de ramificação, designada por R_b , foi determinada conforme STRAHLER (1957), relacionando-se o número de segmentos entre cada duas ordens consecutivas, nas bacias hidrográficas.

Com os dados obtidos para razão de ramificação, calcularam-se para cada unidade de solo, os valores médios de R_b pela média aritmética dos dados; bem como a razão de ramificação segundo MAXWELL (1955), onde $R_b = \text{antilog } b$; e segundo FRANÇA (1968), pela relação $R_l = R_b \cdot R_l w^{-1}$.

f) Razão de comprimentos totais - determinada segundo STRAHLER (1957), pela relação entre as somas dos comprimentos dos segmentos de rios de uma dada ordem e da ordem

imediatamente superior, de cada bacia hidrográfica, sendo identificada por R_{lw} .

Ainda foram calculados, para cada unidade de solo, os valores médios da razão de comprimentos totais: pela média aritmética dos dados observados; pela equação ajustada por FRANÇA (1968), onde $R_{lw} = \text{antilog } b$; e pela relação preconizada por FRANÇA (1968), em que $R_l = R_b \cdot R_{lw}^{-1}$.

g) Razão de comprimentos médios - foi calculada segundo HORTON (1945), que a definiu como sendo a relação entre o comprimento médio de segmento de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente inferior, sendo designada por R_l .

Calcularam-se também, para cada unidade de solo, os valores médios da razão de comprimentos médios de segmentos de rios, adotando-se a média aritmética dos dados observados nas bacias hidrográficas; a equação ajustada por VASQUES FILHO (1972), onde $R_l = \text{antilog } b$; e a relação de FRANÇA (1968) onde $R_l = R_b \cdot R_{lw}^{-1}$.

4.2.6.2. Características das redes de drenagem

Na caracterização das redes de drenagem, foram estudadas características descritivas e quantitativas.

a) Características descritivas das redes de drenagem - As seguintes características descritivas do padrão de drenagem foram estudadas segundo LUEDER (1959), sendo adotado níveis para expressá-las, conforme está indicado na tabela 3.

Tabela 3. Características Descritivas das Redes de Drenagem e Níveis Estabelecidos segundo LUEDER (1959).

Características	N í v e i s		
Grau de integração	Baixo	Médio	Alto
Densidade	Baixa	Média	Alta
Grau de Uniformidade	N/uniforme	P <u>co</u> uniforme	Uniforme
Orientação	N/orientada	P <u>co</u> orientada	Orientada
Grau de controle	Baixo	Médio	Alto
Ângulos de junção	Agudos	Retos	Obtusos
Angularidade	Baixa	Média	Alta
Anomalias	-	-	-

A característica tipo ou modelo, foi também observada, seguindo-se a classificação dada por PARVIS(1950).

b) Características quantitativas das redes de drenagem - As seguintes características quantitativas foram estudadas:

b.1. Densidade de drenagem - foi calculada para as bacias hidrográficas segundo HORTON (1945), e designada por Dd, que representa a relação entre o comprimento total de rios da rede e a área da bacia. Calculou-se a densidade de drenagem também em três amostras circulares de 5 km², selecionadas para cada unidade de solo, conforme método desenvolvido por RAY e FISCHER (1960), sendo designadas por Ddc.

Adotou-se a área de 5 km² nas amostras circulares, em vez de 10 km² tradicionalmente utilizada por RAY e

FISCHER (1960), FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a), para melhor representar a unidade de solo, abrangendo desta forma, a maior proporção possível de cada unidade de solo. A diminuição da área da amostra circular não veio prejudicar a sua representatividade como sistema de amostragem, nas unidades de solos, pois 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 km², fato comprovado posteriormente por KOFFLER (1976b).

b.2. Frequência de rios - foi calculada conforme HORTON (1945), através da relação entre o número total de rios da rede e a área da bacia, sendo designada por F. Calculou-se também nas amostras circulares segundo adaptação realizada por SOUZA (1975), sendo designada por F_c.

b.3. Razão de textura - foi determinada segundo a definição dada por SMITH (1950) e modificada por FRANÇA (1968) para ser aplicada a fotografias aéreas, representando a relação entre o número total de rios da rede e o perímetro da bacia, sendo designada por T. Para as amostras circulares, seguiu-se a adaptação de SOUZA (1975), designando-se por T_c.

b.4. Razão de textura média - foi determinada segundo FRANÇA (1968), pela expressão $T_m = \Sigma(AxT) \times \Sigma A^{-1}$, onde T_m é a razão de textura média e $\Sigma(AxT) \times \Sigma A^{-1}$ é o valor médio ponderado da razão de textura. Determinou-se também para amostras circulares, seguindo-se a adaptação de SOUZA (1975), sendo designada por T_{cm}.

b.5. Textura topográfica - a textura topográfica das bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos, foi determinada conforme preconiza SMITH (1950), porém seguindo-se a adaptação feita por FRANÇA (1968),

indicada na tabela 4, onde as classes de textura topográfica são estabelecidas em função da razão de textura média.

Tabela 4. Classificação da Textura Topográfica em Função da Razão de Textura Média, Conforme Adaptação de FRANÇA (1968).

Classe de textura topográfica	Razão de textura média	
	Perímetro expresso em milhas	Perímetro expresso em quilômetros
grosseira	< 4,0	< 2,5
média	4,0 a 10,0	2,5 a 6,2
fina	> 10,0	> 6,2

4.2.6.3. Análise de variância de características quantitativas das redes de drenagem

As características quantitativas, densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, das bacias hidrográficas e das amostras circulares, foram analisadas estatisticamente, considerando-se delineamento inteiramente casualizado, conforme método descrito por PIMENTEL GOMES(1966).

Pelo teste de F, tentou-se evidenciar as diferenças existentes para as características quantitativas, da seguinte forma:

- entre unidades de solos numa mesma característica.

- entre sistemas de amostragem (bacia hidrográfica e amostra circular) numa mesma característica.

- interações entre unidades de solos e sistemas de amostragem.

4.2.6.4. Relações entre características quantitativas

Foram verificadas mediante correlações efetuadas entre características quantitativas da rede de drenagem, das bacias hidrográficas e das amostras circulares, baseado na sugestão de SMITH (1950), modificada por FRANÇA (1968). As características correlacionadas foram:

a) densidade de drenagem média (Ddm) de bacias hidrográficas e densidade de drenagem média (Ddcm) de amostras circulares, conforme sugere SOUZA (1975).

b) frequência de rios média (Fm) de bacias hidrográficas e frequência de rios média (Fcm) de amostras circulares.

c) razão de textura média (Tm) de bacias hidrográficas e razão de textura média (Tcm) de amostras circulares segundo SOUZA (1975).

d) densidade de drenagem média (Ddm) e frequência de rios média (Fm), de bacias hidrográficas, segundo sugestões de VASQUES FILHO (1972).

e) densidade de drenagem média (Ddm) de bacias hidrográficas e frequência de rios média (Fcm) de amostras circulares.

f) densidade de drenagem média (Ddm) e razão de textura média (Tm), de bacias hidrográficas, conforme sugere FRANÇA (1968).

g) densidade de drenagem média (Ddm) de bacias hidrográficas e razão de textura média (Tcm) de amostras circulares, segundo SOUZA (1975).

h) frequência de rios média (Fm) e razão de textura média (Tm), de bacias hidrográficas.

i) frequência de rios média (Fm) de bacias hidrográficas e razão de textura média (Tcm) de amostras circulares.

j) densidade de drenagem média (Ddcm) de amostras circulares e frequência de rios média (Fm) de bacias hidrográficas.

k) densidade de drenagem média (Ddcm) e frequência de rios média (Fcm), de amostras circulares, segundo sugestão de SOUZA (1975).

l) densidade de drenagem média (Ddcm) de amostras circulares e razão de textura média (Tm) de bacias hidrográficas, segundo sugestão de FRANÇA (1968).

m) densidade de drenagem média (Ddcm) e razão de textura média (Tcm), de amostras circulares, conforme sugere SOUZA (1975).

n) frequência de rios média (Fcm) de amostras circulares e razão de textura média (Tm) de bacias hidrográficas.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos na presente pesquisa, são apresentados a seguir:

5.1. Características das bacias hidrográficas

As nove bacias hidrográficas e respectivas redes de drenagem, selecionadas para representar as três unidades de solos, se encontram nas Figs. 2, 3 e 4. As seguintes características foram identificadas nas bacias hidrográficas.

5.1.1. Localização

A localização das nove bacias hidrográficas, dentro das unidades de solos, acham-se plotadas na fig. 1. Nesta figura, verifica-se a posição relativa de cada bacia na região de Alpinópolis, como também a sua orientação na vertente do curso d'água permanente do qual é tributária.

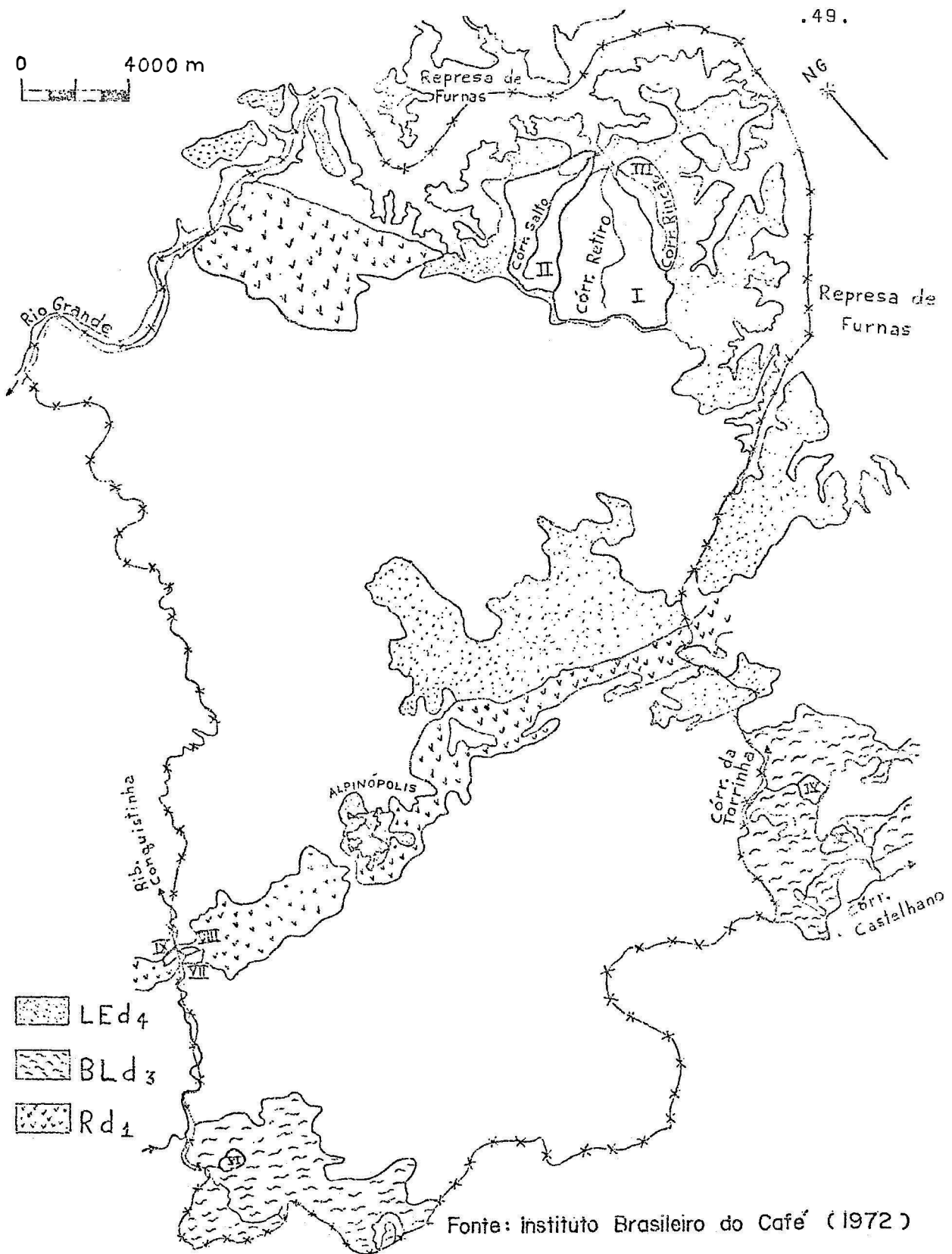


Fig. I — Localização das bacias hidrográficas, representativas das unidades de solos, na região de Alpinópolis, Minas Gerais.

5.1.2. Representatividade

Pode ser observada nas figs. 2, 3 e 4, em termos de inclusão de outras unidades de solos na unidade principal, que estão demarcadas nas bacias com linha tracejada.

Observa-se que somente a unidade de solo LEd₄, (fig. 2) apresentou inclusão. A presença de Solos Hidromórficos ao longo do vale dos cursos d'água permanentes, não foi considerada como inclusão, por estar ligada à unidade principal, devido às condições de relevo associado à presença de condições redutoras. A bacia hidrográfica II da unidade LEd₄ (fig. 2), apresenta inclusão na sua foz de 0,8 km² que corresponde a 8,03% da área da bacia da associação de "Solos Litólicos Distróficos A fraco textura média cascalhenta fase campestre relevo montanhoso com afloramentos de quartzitos + Cambissol Latossólico Distrófico A fraco textura argilosa cascalhenta fase cerrado relevo ondulado (Rd₄)", segundo classificação realizada pelo Instituto Brasileiro do Café (1972).

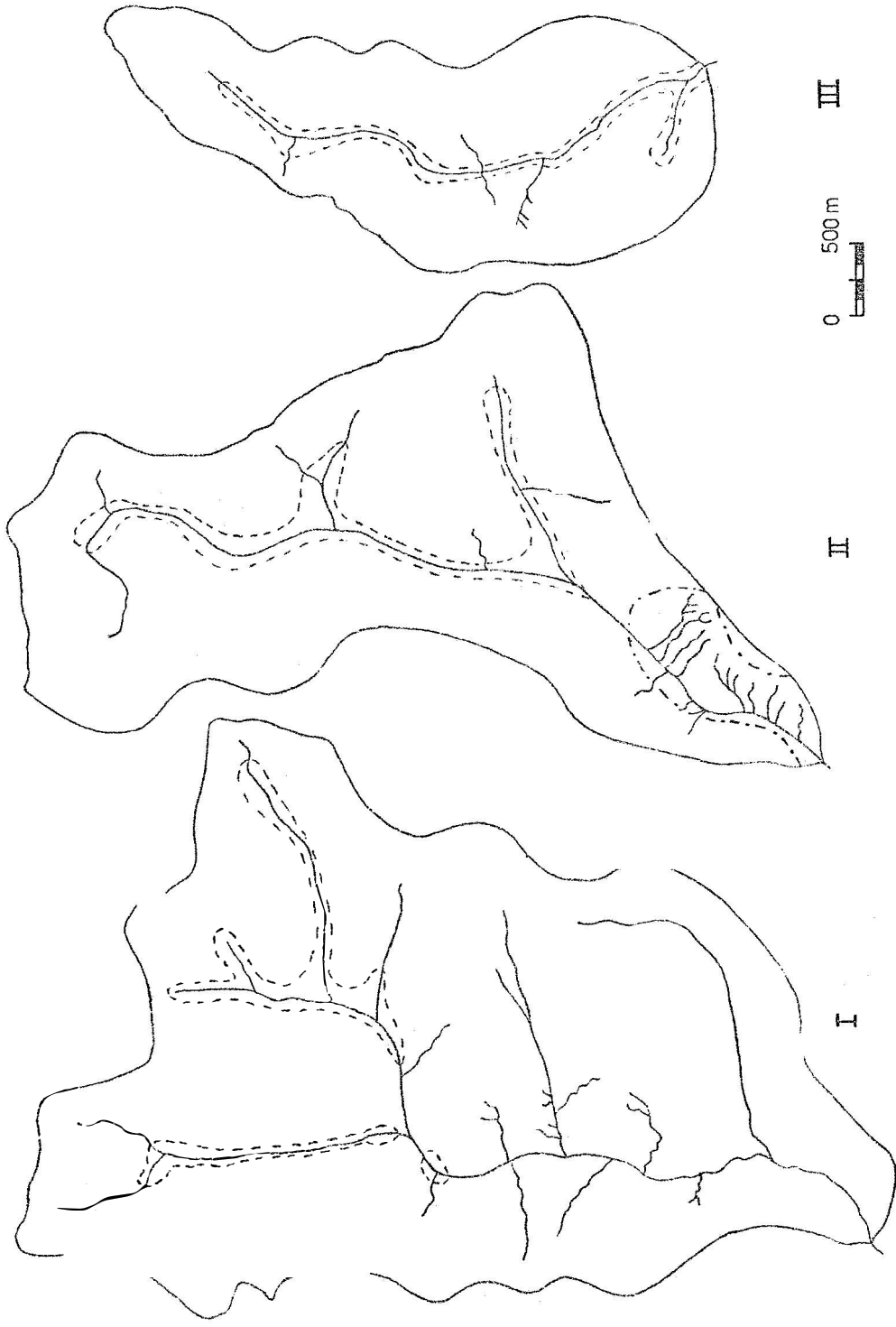
As bacias hidrográficas selecionadas apresentam, pois, alta representatividade das unidades de solos.

5.1.3. Características dimensionais

Na Tabela 5 são apresentadas as características dimensionais das bacias hidrográficas. De maneira geral, as características decrescem em valor numérico de LEd₄ para Rd₁. Os maiores valores estão na unidade LEd₄ e os menores, na Rd₁.

5.1.4. Características não dimensionais

As características não dimensionais, forma aproximada e simetria das vertentes, estão na tabela 6. As características das bacias mostram que, dentro de uma mesma uni



.51.

Fig 2 Bacias hidrográficas e respectivas redes de drenagem, representadas da unidade de solo LEd₄

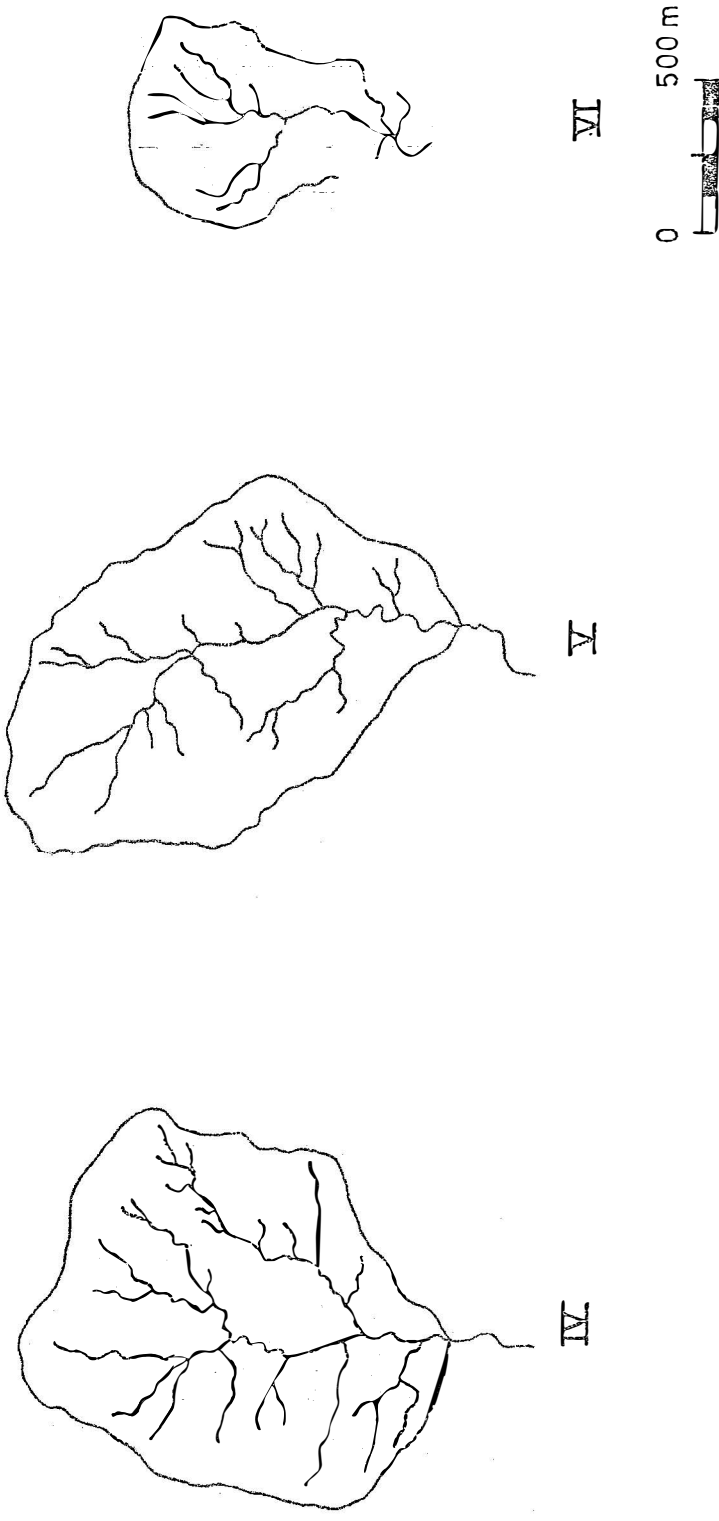


Fig.3--Bacias hidrográficas e respectivas redes de drenagem, representativas da unidade de solo BLD₃

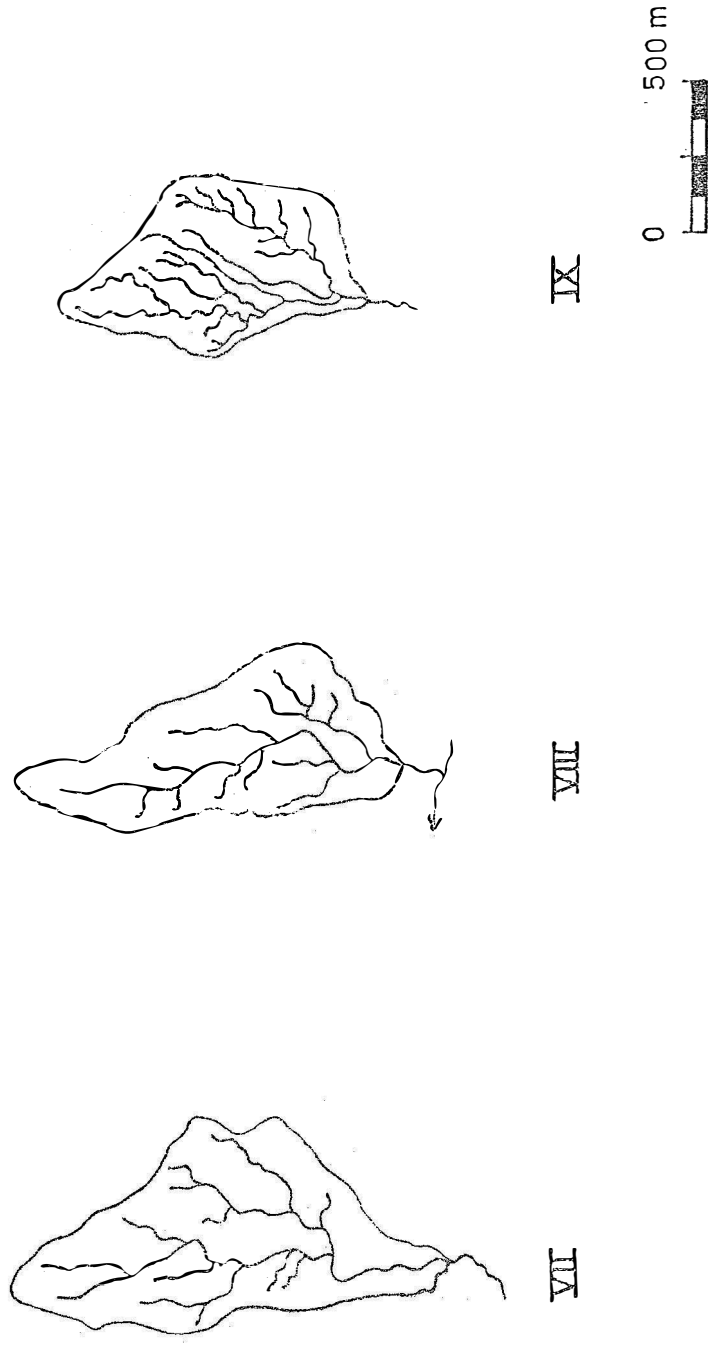


Fig. 4 — Bacias hidrográficas e respectivas redes de drenagem, representativas da unidade de solo Rd₁.⁵³

Tabela 5. Características dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos.

Unidade de solo	Bacia hidrográfica	Maior comprimento (C-km)	Maior largura (L-km)	Comprimento de rios			Área (A-km ²)
				Principal (Cp-km)	Rede (Cr-km)	Perímetro (P-km)	
LEd ₄	I	5,87	3,30	6,40	22,20	18,00	15,69
	II	5,77	2,52	6,70	15,05	15,65	9,96
	III	4,02	1,67	4,00	6,20	10,45	5,06
BLd ₃	IV	1,35	1,17	1,40	7,95	4,40	1,26
	V	1,57	0,92	2,60	6,60	4,40	1,19
	VI	0,87	0,65	1,00	2,55	2,50	0,41
Rd ₁	VII	1,42	0,67	1,50	4,10	3,40	0,56
	VIII	1,40	0,55	1,30	3,45	3,05	0,46
	IX	1,02	0,60	1,00	5,35	2,50	0,37

Tabela 6. Características não dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos.

Unidade de solo	Ordem (W)	Bacia hidrográfica	Forma Aproximada	Simetria das Vertentes
LEd ₄	3a.	I	Triângulo isósceles	Assimétrica
	3a.	II	Triângulo retângulo	Assimétrica
	3a.	III	Reniforme	Pouco-simétrica
BLd ₃	3a.	IV	Trapezoidal	Simétrica
	3a.	V	Trapezoidal	Assimétrica
	3a.	VI	Trapezoidal	Simétrica
Rd ₁	3a.	VII	Triângulo retângulo	Assimétrica
	3a.	VIII	Triângulo retângulo	Pouco-simétrica
	3a.	IX	Trapezoidal	Assimétrica

dade de solo, ocorrem formas e simetrias diversas.

5.1.5. Análise dimensional e teste de semelhança geométrica

Podem ser observados na tabela 7. Os resultados da razão de escala quadrática (Rm^2) estão bem próximos da razão entre áreas das bacias (A/A'), satisfazendo às exigências do teste de semelhança geométrica. Esta semelhança mostra que as bacias hidrográficas selecionadas, representam satisfatoriamente as unidades de solos.

5.2. Características das amostras circulares

As características dimensionais, número de rios, número total de segmentos de rios, comprimento da rede de drenagem e comprimento médio de rios, estão apresentadas na tabela 8. Os valores observados das características, são semelhantes nas amostras circulares representativas das unidades de solo, evidenciando a uniformidade da amostragem. Os valores de número de rios, número total de segmentos de rios, comprimento da rede, aumentam de LEd_4 para Rd_1 , ocorrendo o inverso para o comprimento médio de rios.

As amostras circulares de 5 km^2 com respectivas redes de drenagem, representativas das unidades de solos LEd_4 , BLd_3 e Rd_1 , encontram-se nas figs. 5, 6 e 7, respectivamente.

5.3. Composição das redes de drenagem

Os resultados da composição das redes de drenagem, identificados nas bacias hidrográficas, são descritos a seguir.

Tabela 7. Análise dimensional e teste de semelhança geométrica aplicados às bacias hidrográficas representativas das unidades de solos.

Unidade de solo	Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear (R)			Razão média (Rm)	Razão de escala quadrática (R ²)		
		C/C'	L/L'	Cp/Cp'		P/P'	A/A'	Rm ²
LEd ₄	I/II	1,02	1,31	0,95	1,15	1,11	1,57	1,23
	II/III	1,43	1,51	1,67	1,50	1,53	1,97	2,34
	I/III	1,46	1,98	1,60	1,72	1,69	3,10	2,86
BLd ₃	IV/V	0,86	1,27	0,54	1,00	0,92	1,06	0,85
	V/VI	1,80	1,41	2,60	1,76	1,89	2,90	3,57
	IV/VI	1,55	1,80	1,40	1,76	1,63	3,07	2,66
Rd ₁	VII/VIII	1,01	1,22	1,15	1,11	1,12	1,22	1,25
	VIII/IX	1,37	0,92	1,30	1,22	1,20	1,24	1,44
	VII/IX	1,39	1,12	1,50	1,36	1,34	1,51	1,79

Tabela 8. Características dimensionais das amostras circulares representativas das unidades de solos e comprimentos médios de rios. (Área = 5 km²; Perímetro = 7,85 km).

Características	LEd ₄			BLd ₃			Rd ₁		
	A m o s t r a s C i r c u l a r e s								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Número de rios (N)	8	7	9	61	59	65	77	104	98
Número total de segmentos de rios	11	10	10	84	75	82	97	134	125
Comprimento da rede (Crc-km)	7,85	7,30	6,60	24,85	23,65	24,30	25,10	34,25	27,20
Comprimento médio de rios (Lm)	0,98	1,04	0,73	0,41	0,40	0,37	0,32	0,33	0,28

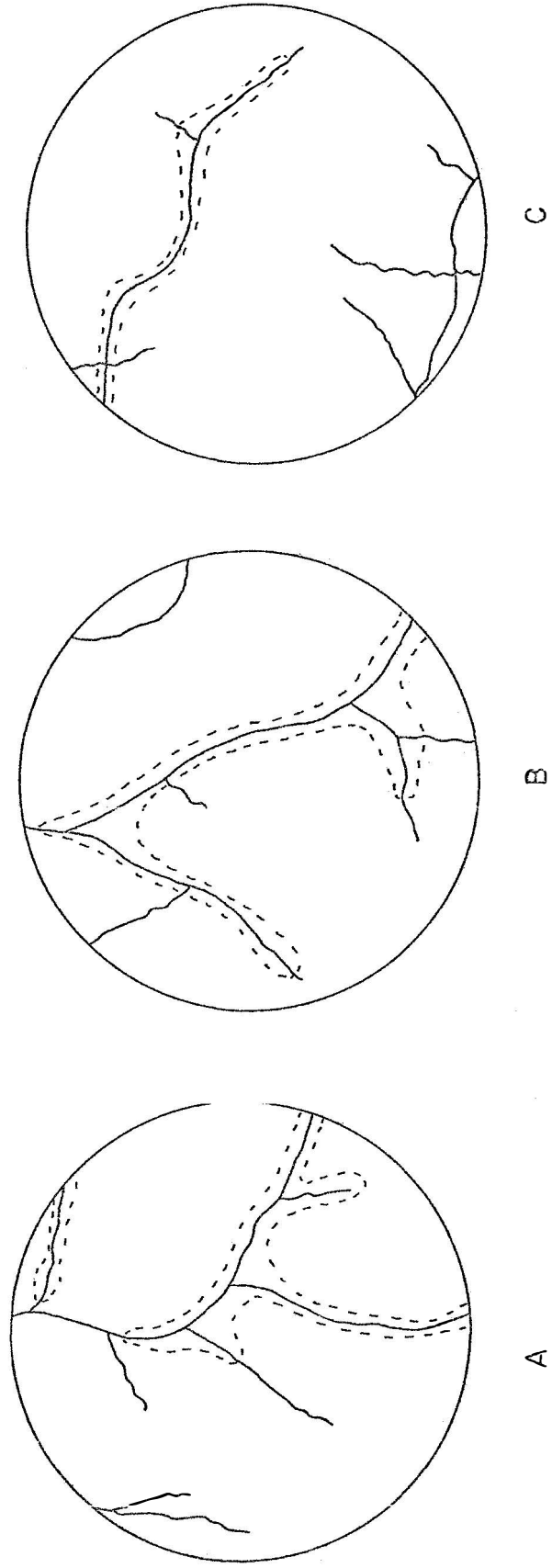
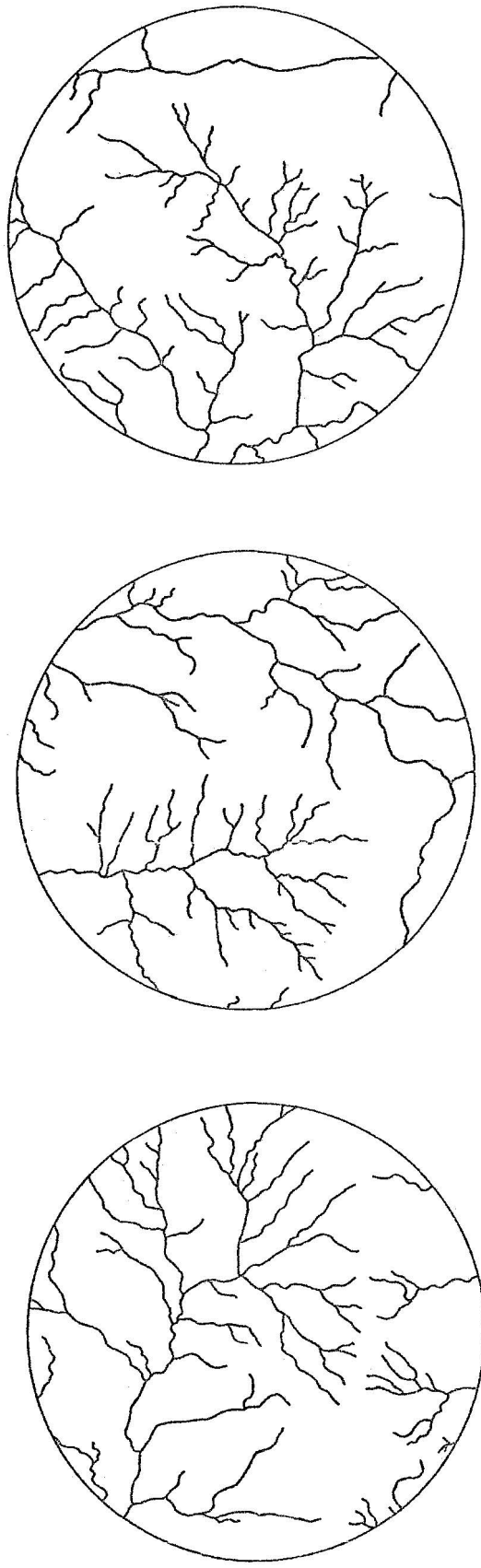


Fig.5—Amostras circulares de 5km² e respectivas redes de drenagem da unidade de solo LEd₄

0 500m



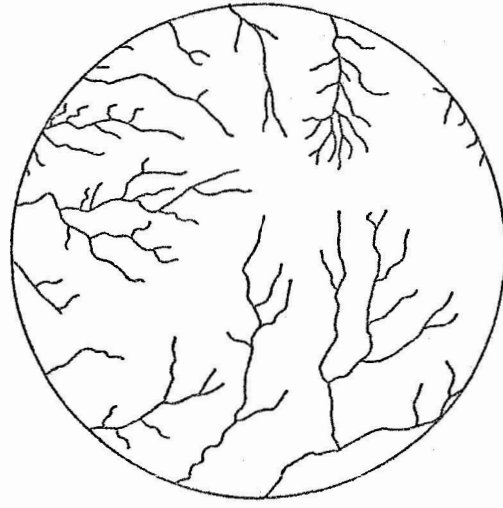
A

B

C

Fig.6 — Amostras circulares de 5km² e respectivas redes de drenagem da unidade de solo BLd₃

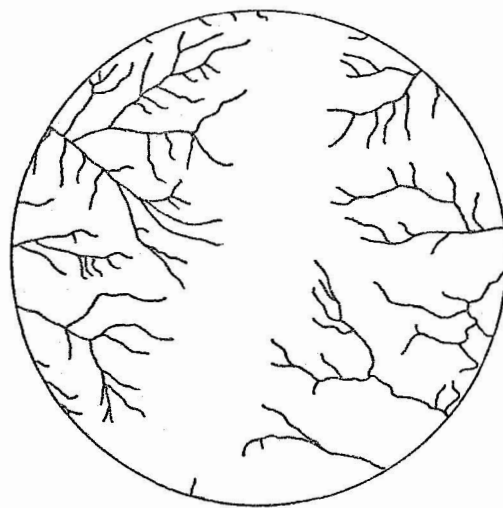
0 500 m



A



B



C

Fig.7-- Amostras circulares de 5km² e respectivas redes de drenagem da unidade de solo Rd₁ 61.

5.3.1. Análise do numero de segmentos de rios

Na tabela 9, estão apresentados os números de segmentos de rios observados em cada ordem e o número total, para as bacias hidrográficas e as médias ponderadas em relação à área, das unidades de solos.

A unidade de solo LEd₄ apresenta maior número total e de 1a. ordem, de segmentos de rios, enquanto que a Rd₁, o menor numero.

Os números de segmentos de rios em cada ordem e numero total, calculados pela equação de MAXWELL (1955) e lei de HORTON (1945), e a média ponderada em relação à área, estão na tabela 10. Os valores calculados e a média ponderada, são semelhantes em cada unidade de solo, com exceção dos segmentos de 2a. ordem. Os dados mostram também que o maior número de segmentos de rios permaneceu na unidade LEd₄ e o menor, na Rd₁. O número de segmentos calculados segundo HORTON (1945), estão mais próximos da média ponderada em relação à área, para segmentos de 1a. e 3a. ordem. Nos de 2a. ordem, HORTON (1945) está mais próximo de MAXWELL (1955).

As equações ajustadas segundo MAXWELL(1955) e seus coeficientes de correlação, para o número de segmentos de rios em dada ordem de ramificação, nas unidades de solos, encontram-se na tabela 11. Os coeficientes de correlação são todos negativos e apresentam significância pelo teste t, ao nível de 1%, 5% e 10% de probabilidade, para as unidades de solos LEd₄, BLd₃ e Rd₁, respectivamente.

A representação gráfica da equação de MAXWELL (1955), ajustada aos dados observados para o número de segmentos de rios em cada ordem, encontram-se na fig. 8.

Tabela 9. Número de segmentos de rios observados em cada ordem e número total, para cada bacia hidrográfica e a média ponderada em relação à área, das unidades de solos.

Ordem (W)	Número de segmentos de rios em cada ordem - N _w											
	LEd ₄			BLd ₃			Rd ₁					
	Bacias hidrográficas	Média ponderada		Bacias hidrográficas	Média ponderada		Bacias hidrográficas	Média ponderada		Bacias hidrográficas	Média ponderada	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
1a.	24	25	9	21,85	25	21	7	20,75	13	13	19	14,60
2a.	6	6	2	5,34	6	6	3	5,57	3	2	4	2,94
3a.	1	1	1	1,00	1	1	1	1,00	1	1	1	1,00
Nº total de segmentos (N)	31	32	12	28,19	32	28	11	27,32	17	16	24	18,54

Tabela 10. Número de segmentos de rios em cada ordem e número total calculados e a média ponderada observada, para bacias hidrográficas, nas unidades de solos.

Ordem (W)	Número de segmentos de rios em cada ordem - Nw								
	LEd ₄		BLd ₃		Rd ₁				
	Média ponderada	Calculados Equação Horton	Média ponderada	Calculados Equação Horton	Média ponderada	Calculados Equação Horton			
1a.	21,85	22,84	21,81	20,75	22,18	20,79	14,60	13,37	14,59
2a.	5,34	4,89	4,67	5,57	4,87	4,56	2,94	3,50	3,62
3a.	1,00	1,05	1,00	1,00	1,07	1,00	1,00	0,92	1,00
Nº total de segmentos (N)	28,19	28,78	27,48	27,32	28,12	26,35	18,54	17,79	19,41

Tabela 11. Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada segundo MAXWELL (1955), para os números de segmentos de rios, nas unidades de solos.

Unidade de solo	Equação	Coefficiente de correlação (r)
LEd ₄	$\log Nw = 2,028449 - 0,669726 \times W$	- 0,999 ⁺
BLd ₃	$\log Nw = 2,004643 - 0,658509 \times W$	- 0,997 ⁺⁺
Rd ₁	$\log Nw = 1,708586 - 0,582176 \times W$	- 0,994 ⁺⁺⁺

+ significativo ao nível de 1%

++ significativo ao nível de 5%

+++ significativo ao nível de 10%

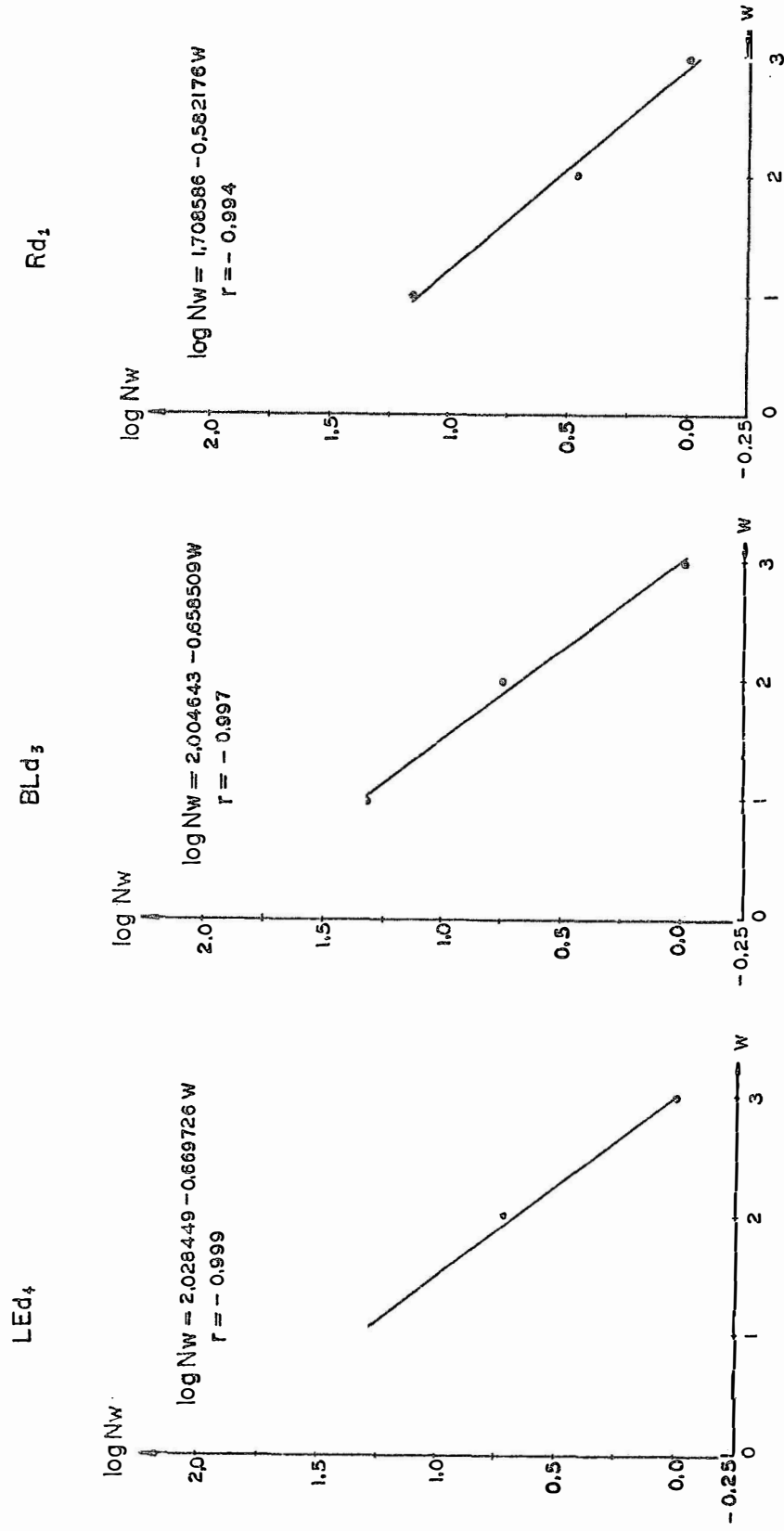


Fig. 8 - Regressão linear do número de segmentos de rios e ordem de ramificação das bacias hidrográficas, para as unidades de solos

5.3.2. Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios

Os comprimentos totais de segmentos de rios, observados em cada ordem e bacia hidrográfica, com respectivas médias ponderadas, são indicados na tabela 12. A média ponderada em relação à área mostra que os comprimentos totais de segmentos de rios decrescem da unidade LEd_4 para a Rd_1 . Os maiores comprimentos totais são observados para os segmentos de 1a. ordem em todas as unidades de solos, havendo decréscimo com o aumento da ordem de ramificação. Esta tendência ocorre em todas as bacias, independentemente da unidade de solo.

Os comprimentos totais de segmentos de rios calculados para cada ordem, segundo a equação de FRANÇA (1968) e a lei de HORTON (1945), média ponderada em relação à área e o comprimento total dos segmentos de rios das bacias, estão apresentados na tabela 13. Dentro da mesma unidade de solo, os comprimentos totais de segmentos de rios são, em geral, semelhantes nas três situações: média ponderada, equação de FRANÇA (1968) e lei de HORTON (1945). As maiores diferenças nos comprimentos estão nos segmentos de 2a. ordem, porém os valores calculados segundo FRANÇA (1968) e segundo HORTON (1945), estão bem próximos. Os valores dos comprimentos totais também decrescem da unidade LEd_4 para a Rd_1 . Os comprimentos são maiores para os segmentos de 1a. ordem, decrescendo com o aumento da ordem de ramificação.

As formas assumidas na equação de FRANÇA (1968), pelos dados deste estudo e respectivos coeficientes de correlação, para cada unidade de solo, encontram-se na tabela 14. Os coeficientes de correlação são todos negativos e apresentam significância pelo teste t, ao nível de 5% nas unidades de solo BLd_3 e Rd_1 . O coeficiente de correlação da unidade de solo LEd_4 não foi significativo. Verifica-se, pois, que a equação da reta não é o melhor ajustamento para os dados de

Tabela 12. Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem; comprimento total observado em cada bacia hidrográfica e as respectivas médias ponderadas, para as unidades de solos.

Ordem (W)	Comprimento de segmentos de rios em cada ordem, Lw (ém km)											
	LEd ₄			BLd ₃			Rd ₁					
	Bacias hidrográficas	Média ponderada	Bacias hidrográficas	Média ponderada	Bacias hidrográficas	Média ponderada	Bacias hidrográficas	Média ponderada	Bacias hidrográficas	Média ponderada		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX				
1a.	13,05	7,30	2,45	9,44	4,90	3,55	1,55	3,86	2,45	2,25	3,45	2,65
2a.	5,45	3,80	2,30	4,39	2,05	2,00	0,45	1,80	1,05	1,10	1,45	1,17
3a.	3,70	3,95	1,45	3,41	1,00	1,05	0,55	0,96	0,60	0,10	0,45	0,39
Comprimento total de segmentos (Lt)	22,20	15,05	6,20	17,24	7,95	6,60	2,55	6,62	4,10	3,45	5,35	4,21

Tabela 13. Comprimentos totais de segmentos de rios calculados para cada ordem, segundo a equação de FRANÇA (1968) e a lei de HORTON (1945), média ponderada em relação à área e comprimento total dos segmentos de rios das bacias hidrográficas, nas três unidades de solos.

Ordem (W)	Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem, Lw (km)								
	LEd ₄		BLd ₃		Rd ₁				
	Média ponderada	$\frac{\text{Calculados}}{\text{Equação Horton}}$	Média ponderada	$\frac{\text{Calculados}}{\text{Equação Horton}}$	Média ponderada	$\frac{\text{Calculados}}{\text{Equação Horton}}$			
1a.	9,44	8,67	9,44	3,86	3,77	3,86	2,65	2,78	2,65
2a.	4,39	5,21	5,69	1,80	1,88	1,93	1,17	1,07	1,02
3a.	3,41	3,13	3,42	0,96	0,94	0,96	0,39	0,41	0,39
Comprimento total de segmentos(Lt)	17,24	17,01	18,55	6,62	6,59	6,75	4,21	4,26	4,06

Tabela 14. Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada segundo FRANÇA (1968), para os comprimentos totais de segmentos de rios em cada uma das três unidades de solos.

Unidades de solo	Equação	Coefficiente de correlação (r)
LEd ₄	$\log Lw = 1,158948 - 0,221109 \times W$	- 0,960 ^{ns}
BLd ₃	$\log Lw = 0,879026 - 0,302158 \times W$	- 0,998 ⁺⁺
Rd ₁	$\log Lw = 0,859680 - 0,416091 \times W$	- 0,997 ⁺⁺

++ significativo ao nível de 5%

comprimentos totais de segmentos de rios desta unidade de solo.

Os dados observados e ajustados segundo a equação de FRANÇA (1968), para comprimentos totais de segmentos de rios, encontram-se plotados na fig. 9.

5.3.3. Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios

Os comprimentos médios de segmentos de rios em cada ordem das bacias hidrográficas e a média ponderada em relação à área, estão apresentados na tabela 15.

Os valores dos comprimentos médios de segmentos de rios crescem com o aumento da ordem de ramificação em todas as bacias, exceto na bacia VIII da unidade Rd_1 , cujo valor decresceu dos segmentos de 2a. para 3a. ordem.

Pela média ponderada, observa-se que os comprimentos médios de segmentos de rios são maiores na unidade de solo LEd_4 , estando próximos nos segmentos de 2a. e 3a. ordem e idênticos nos de 1a. ordem, nas unidades BLd_3 e Rd_1 .

Os valores médios calculados para os comprimentos médios de segmentos de rios, apresentados na tabela 16, evidenciam que os valores crescem com o aumento da ordem de ramificação, pelo ajustamento de VASQUES FILHO (1972), pela relação Lw segundo FRANÇA (1968)/ Nw segundo MAXWEEL (1955) e pela lei de HORTON (1945), nas três unidades de solos. Os valores encontrados estão bem próximos, ocorrendo maiores desvios nos segmentos de 2a. ordem.

As formas assumidas pelos comprimentos médios de segmentos de rios na equação de VASQUES FILHO (1972) e os coeficientes de correlação, nas três unidades de solos, encontram-se na tabela 17. Os coeficientes de correlação são to-

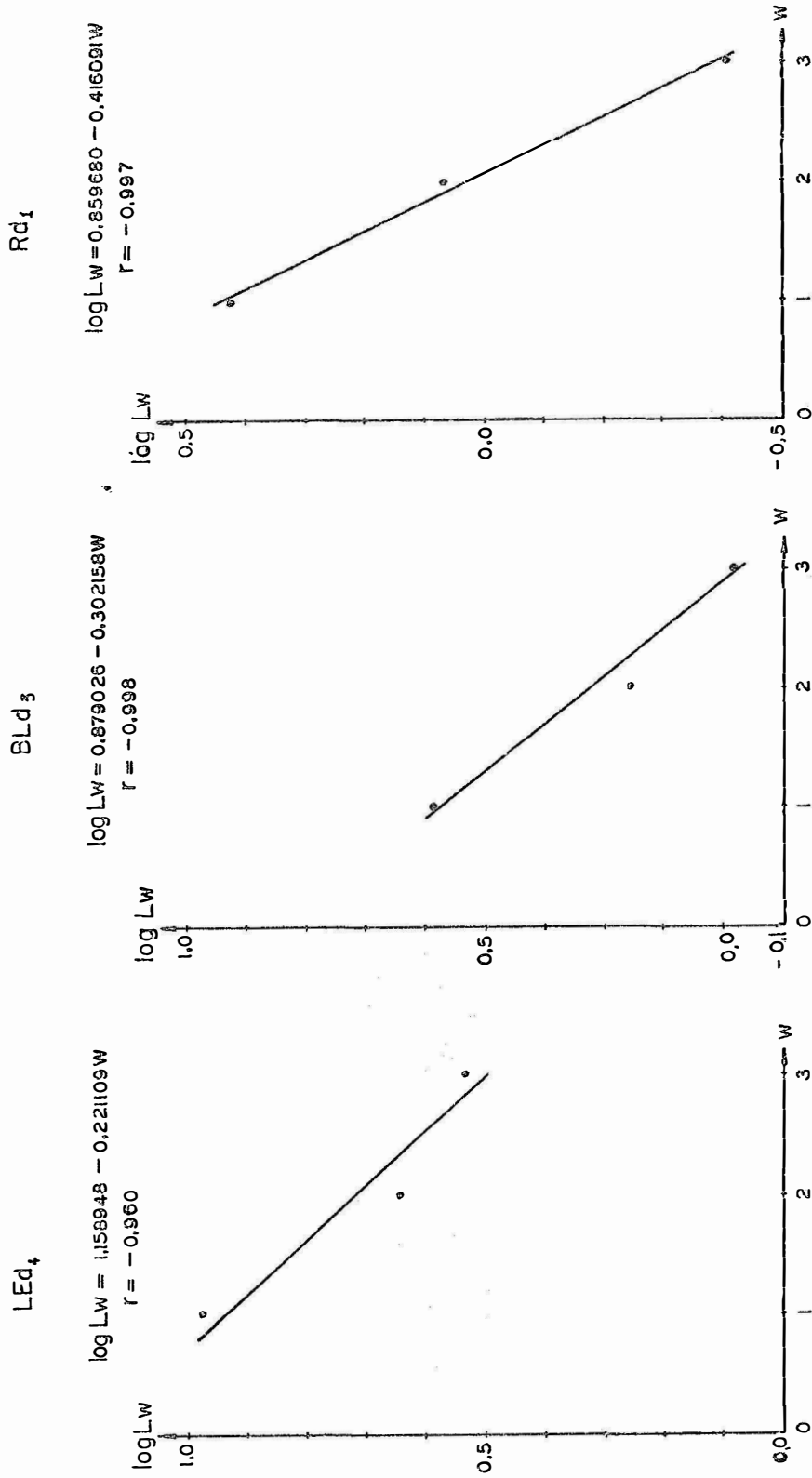


Fig. 9 -- Regressão linear dos comprimentos totais de segmentos de rios e ordem de ramificação das bacias hidrográficas, para as unidades de solos.

Tabela 15. Comprimentos médios de segmentos de rios em cada ordem das bacias hidrográficas e a média ponderada dos comprimentos médios para as unidades de solos.

Ordem (W)	Comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem, Lm (km)																	
	LEd ₄			BLd ₃			Rd ₁											
	Bacias hidrográficas	Média ponderada	IV	Bacias hidrográficas	Média ponderada	V	Bacias hidrográficas	Média ponderada	VI	Bacias hidrográficas	Média ponderada	VII	Bacias hidrográficas	Média ponderada	VIII	Bacias hidrográficas	Média ponderada	IX
1a.	0,54	0,29	0,27	0,41	0,19	0,17	0,22	0,18	0,19	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
2a.	0,91	0,63	1,15	0,53	0,34	0,33	0,15	0,31	0,35	0,55	0,36	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
3a.	3,70	3,95	1,45	3,41	1,00	1,05	0,55	0,97	0,60	0,10	0,45	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40

Tabela 16. Valores médios calculados para os comprimentos médios de segmentos de rios (Lm) em cada ordem das bacias hidrográficas, para cada unidade de solo.

Ordem (W)	Comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem, Lm (km)											
	LEd ₄			BLd ₃			Rd ₁					
	Média Equação	Lw/Nw calculados	Horton	Média Equação	Lw/Nw calculados	Horton	Média Equação	Lw/Nw calculados	Horton	Média Equação	Lw/Nw calculados	Horton
1a.	0,41	0,31	0,38	0,41	0,18	0,16	0,17	0,18	0,18	0,20	0,21	0,18
2a.	0,53	0,90	1,06	1,17	0,31	0,38	0,39	0,41	0,42	0,31	0,31	0,26
3a.	3,41	2,61	2,98	3,34	0,97	0,88	0,88	0,93	0,40	0,46	0,44	0,38

Tabela 17. Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada para comprimentos médios de segmentos de rios por VASQUES FILHO (1972), para cada uma das três unidades de solos.

Unidades de solo	Equação	Coefficiente de correlação (r)
LEd ₄	$\log L_m = - 0,963366 + 0,459985 \times W$	0,916 ^{ns}
BLd ₃	$\log L_m = - 1,153697 + 0,365749 \times W$	0,979 ^{ns}
Rd ₁	$\log L_m = - 0,853261 + 0,173394 \times W$	0,839 ^{ns}

dos positivos e não apresentam significância estatística nas três unidades de solos. Pela fig. 10, verifica-se que os dados observados estão muito dispersos em relação à equação da reta ajustada, evidenciando-se que este ajustamento não é o melhor para o comprimento médio de segmentos de rios, nestas unidades de solo.

5.3.4. Análise associada dos elementos das redes de drenagem

Os dados dos elementos das redes de drenagem, para análise associada, estão indicados na tabela 18. Estes dados se referem a número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios, nas três unidades de solos. Os mesmos foram calculados segundo a média ponderada em relação à área, equações ajustadas por MAXWELL (1955), FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) e segundo as leis de HORTON (1945).

Pela análise associada dos elementos, observa-se que as unidades de solos LEd₄ e BLd₃ apresentam dados semelhantes, independente do sistema de análise, para o número de segmentos de rios. No comprimento médio de segmentos de rios, as unidades de solos BLd₃ e Rd₁ mostram alguma semelhança nos dados, independente do sistema de análise. O comprimento total foi o elemento que apresentou as maiores diferenças nos dados entre as unidades de solos, nos sistemas de análise adotados.

Os dados dos elementos Nw, Lw, Lm, da tabela 18, evidenciam que os mesmos são importantes na separação de unidades de solos, devendo os dados serem analisados sempre nos sistemas de análise aqui empregados, para melhor critério de identificação.

Quanto aos sistemas de análise dos dados dos elementos, observa-se que os valores calculados estão bem pró

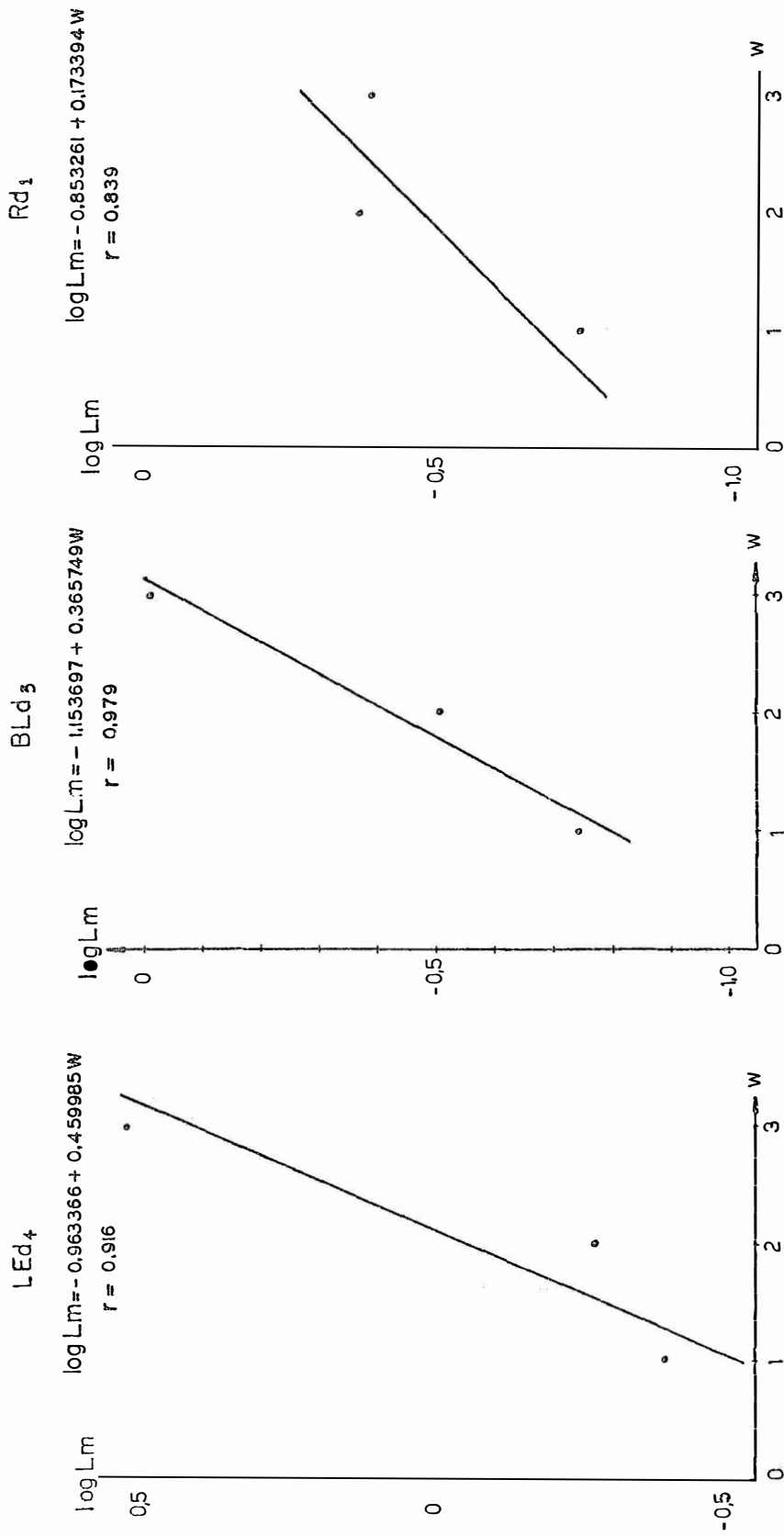


Fig.10—Regressão linear dos comprimentos médios de segmentos de rios e ordem de ramificação das bacias hidrográficas, para as unidades de solos.

Tabela 18. Número de segmentos de rios; comprimento total de segmentos de rios, comprimento médio de segmentos de rios, para cada ordem e valores totais calculados, das bacias hidrográficas, para cada unidade de solo.

Ordem (W)	LEd ₄			BLd ₃			Rd ₁		
	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm
Média Ponderada									
1a.	21,85	9,44	0,41	20,75	3,86	0,18	14,60	2,65	0,18
2a.	5,34	4,39	0,53	5,57	1,80	0,31	2,94	1,17	0,42
3a.	1,00	3,41	3,41	1,00	0,96	0,97	1,00	0,39	0,40
Total	28,19	17,24	-	27,32	6,62	-	18,54	4,21	-
Equação									
1a.	22,84	8,67	0,31	22,18	3,77	0,16	13,37	2,78	0,20
2a.	4,89	5,21	0,90	4,87	1,88	0,38	3,50	1,07	0,31
3a.	1,05	3,13	2,61	1,07	0,94	0,88	0,92	0,41	0,46
Total	28,78	17,01	-	28,12	6,59	-	17,79	4,26	-
Horton									
1a.	21,81	9,44	0,43	20,79	3,86	0,19	14,59	2,65	0,18
2a.	4,67	5,69	0,82	4,56	1,93	0,32	3,82	1,02	0,40
3a.	1,00	3,42	3,41	1,00	0,96	0,96	1,00	0,39	0,39
Total	27,48	18,55	-	26,35	6,75	-	19,41	4,06	-

ximos para cada elemento, nas unidades de solos.

5.3.5. Análise da razão de ramificação

Os valores observados e valores médios calculados para a razão de ramificação, pela média dos dados observados e pelo antilog de b da equação de MAXWELL (1955), encontram-se na tabela 19.

Essa tabela mostra que a razão de ramificação, calculada pela média dos dados observados e segundo MAXWELL (1955), apresenta valores bem próximos, na mesma unidade de solo. Observa-se a tendência da razão de ramificação decrescer da unidade LEd_4 para a Rd_1 .

5.3.6. Análise da razão de comprimentos totais

A tabela 20 mostra os valores observados e valores médios calculados para a razão de comprimentos totais, pela média dos dados observados e pelo antilog de b da equação de FRANÇA (1968).

Os valores da média calculada e da equação de FRANÇA (1968), estão próximos no caso das unidades LEd_4 e BLd_3 . Observa-se que também a razão de comprimentos totais, aumentou da unidade LEd_4 para Rd_1 .

5.3.7. Análise da razão de comprimentos médios

Os valores da razão de comprimentos médios dos dados observados e calculados pela média e antilog de b da equação de VASQUES FILHO (1972), acham-se na tabela 21.

Tabela 19. Valores observados e valores médios calculados para a razão de ramificação (Rb), das redes de drenagem representativas das unidades de solos.

Ordens rela- ciosa das	LEd ₄			BLd ₃			Rd ₁			
	Rb observada	Rb calculada	Rb observada	Rb calculada	Rb observada	Rb calculada	Rb observada	Rb calculada	Rb calculada	
	Bacias Hidrográficas	Média Maxwell	Bacias Hidrográficas	Média Maxwell	Bacias Hidrográficas	Média Maxwell	Bacias Hidrográficas	Média Maxwell	Média Maxwell	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
W ₁ /W ₂	4,00	4,17	4,50	4,17	3,50	2,33	4,33	6,50	4,75	
			4,44	4,67		4,17	4,56		4,10	3,82
W ₂ /W ₃	6,00	6,00	2,00	6,00	6,00	3,00	3,00	2,00	4,00	

Tabela 20. Valores observados e valores médios calculados para a razão de comprimentos totais (Rlw) de segmentos de rios, das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos.

Ordens relacionadas	LEd ₄				Bld ₃				Rd ₁		
	Rlw observada	Rlw calculada	Rlw observada	Rlw calculada	Rlw observada	Rlw calculada	Rlw observada	Rlw calculada			
	Bacias I II III	Mé- dia Equa- ção III	Bacias IV V VI	Mé- dia Equa- ção VI	Bacias VII VIII IX	Mé- dia Equa- ção IX	Bacias				
W ₁ /W ₂	2,39	1,92	1,06	2,39	1,77	3,44	2,33	2,04	2,36		
				1,56	1,66		2,06	2,00		3,79	2,61
W ₂ /W ₃	1,47	0,96	1,59	2,05	1,90	0,82	1,75	11,00	3,22		

Tabela 21. Valores observados para a razão de comprimentos médios (R1) de segmentos de rios das bacias hidrográficas e os valores médios calculados, em cada unidade de solo.

Ordens relacionadas	LEd ₄				BLd ₃				Rd ₁	
	R1 observadas	R1 calculadas	R1 observadas	R1 calculadas	R1 observadas	R1 calculadas	R1 observadas	R1 calculadas	R1 calculadas	
	Bacias hidrográficas	Média Equação	Bacias hidrográficas	Média Equação	Bacias hidrográficas	Média Equação	Bacias hidrográficas	Média Equação		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
w ₃ /w ₂	4,06	6,27	1,26	2,94	3,18	3,66	1,71	0,18	1,25	
		3,28	2,88		2,37	2,32		1,70	1,49	
w ₂ /w ₁	1,68	2,17	4,26	1,79	1,94	0,68	1,84	3,24	2,00	

Os valores da tabela 21 mostram que a média calculada está próxima da equação, nas três unidades de solos. Esses valores decrescem da unidade LEd₄ para Rd₁.

5.3.8. Análise associada das razões de ramificação e de comprimentos totais e médios

Na tabela 22, estão apresentados os valores médios das razões de ramificação, de comprimentos totais e comprimentos médios, determinados pela média dos dados observados em cada bacia hidrográfica, pelo antilog de b das equações de MAXWELL (1955), FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) e pela relação sugerida por FRANÇA (1968) onde $R1 = RbxR1w^{-1}$.

Os valores médios da tabela 22 mostram as seguintes tendências: para razão de ramificação, média < equação < relação, nas unidades de solos LEd₄ e BLd₃, e média > equação < relação na Rd₁; para razão de comprimentos totais, a média < equação > relação na unidade LEd₄ e média > equação > relação nas unidades BLd₃ e Rd₁; para razão de comprimentos médios, a média > equação > relação nas três unidades de solos.

5.4. Características das redes de drenagem

As características descritivas e quantitativas das redes de drenagem, determinadas nas nove bacias hidrográficas representativas das unidades de solos, são apresentadas a seguir.

5.4.1. Características descritivas

Estas características das redes de drenagem das unidades de solos, estão descritas na tabela 23. Estas características permitem as seguintes evidências:

Tabela 22. Valores médios calculados para as razões de ramificação (Rb), comprimentos totais (Rlw) e comprimentos médios (Rl) das redes de drenagem representativas das unidades de solo.

Características	LEd ₄		BLd ₃		Rd ₁				
	Média	Equação	Média	Equação	Média	Equação			
Razão de ramificação(Rb)	4,44	4,67	4,78	4,17	4,56	4,64	4,10	3,82	3,89
Razão de comprimentos totais (Rlw)	1,56	1,66	1,62	2,06	2,00	1,97	3,79	2,61	2,56
Razão de comprimentos médios (Rl)	3,28	2,88	2,81	2,37	2,32	2,28	1,70	1,49	1,46

Tabela 23. Características descritivas das redes de drenagem representativas das unidades de solos.

Características	LEd ₄	BLd ₃	Rd ₁
Grau de integração	Baixo	Alto	Alto
Densidade	Baixo	Média a alta	Alta
Grau de uniformidade	Pouco uniforme	Pouco uniforme	Não uniforme
Orientação	Orientada	Orientada	Orientada
Grau de controle	Baixo	Médio	Alto
Ângulos de junção	Retos	Agudos passando a retos	Agudos
Angularidade	Baixa	Média	Média
Tipo ou modelo	Sub-paralelo	Arborescente modificado	Arborescente
Anomalias	Aumento da densidade localmente	-	Variações locais da densidade e orientação

a) Unidade LEd_4 - apresenta rede de drenagem com baixo grau de integração, baixa densidade e modelo sub-paralelo, mostrando ser solo permeável, facilitando a infiltração das águas, promovendo pequeno deflúvio. Pelo grau de controle ser baixo, observa-se que a rede sofre influência somente de controle topográfico.

b) Unidade BLd_3 - a rede de drenagem apresenta alto grau de integração, densidade média a alta e modelo arborescente modificado, mostrando ser mais dissecada pelos canais devido à menor infiltração e um maior deflúvio. O grau de controle médio, ângulos agudos passando a retos e angularidade média, evidenciam a presença de controle estrutural.

c) Unidade Rd_1 - apresenta rede com alto grau de integração, alta densidade e modelo arborescente. Esta unidade apresenta a menor infiltração dentre as três unidades, com grande deflúvio. Daí a maior dissecção da unidade pelos canais de drenagem. O alto grau de controle e a angularidade média refletem o controle litológico a que a rede está sujeita.

5.4.2. Características quantitativas

As características quantitativas foram estudadas nas redes de drenagem contidas nas bacias hidrográficas e nas amostras circulares, representativas das três unidades de solos. Os dados obtidos são apresentados a seguir.

5.4.2.1. Bacias hidrográficas

As características quantitativas das redes de drenagem contidas nas bacias hidrográficas, para as três unidades de solos, encontram-se na tabela 24. Além dos dados re

Tabela 24. Características quantitativas das redes de drenagem e a classe de textura topográfica, baseadas nas bacias hidrográficas, representativas das unidades de solos.

Características quantitativas observadas	LED ₄				BLD ₃				RD ₁			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
Densidade de drenagem (Dd)	1,41	1,51	1,22	6,31	5,55	6,22	7,32	7,50	14,46			
Densidade de drenagem média (Ddm)		1,38 ⁺⁺			6,03 ⁺⁺			9,76 ⁺⁺				
Erro padrão da média		± 0,09			± 0,24			± 2,35				
Frequência de rios (F)	1,53	2,51	1,78	19,84	17,65	17,07	23,21	28,26	51,35			
Frequência de rios média (Fm)		1,94 ⁺⁺			18,19 ⁺⁺			34,27 ⁺⁺				
Erro padrão da média		± 0,29			± 0,84			± 8,66				
Razão de textura (T)	1,33	1,59	0,86	5,68	4,77	2,80	3,82	4,26	7,60			
Razão de textura média (Tm)		1,34 ⁺	1,26 ⁺⁺	4,89 ⁺	4,42 ⁺⁺		4,97 ⁺	5,23 ⁺⁺				
Erro padrão da média		± 0,21			± 0,85			± 1,19				
Classe de textura topográfica		grosseira				média						

+ média ponderada em relação à área.

++ média das três bacias.

ferentes às características quantitativas das nove bacias, são apresentados os dados médios e erro padrão da média. Todas as características quantitativas aumentam da unidade de solo LEd₄ para Rd₁. Quanto à classe de textura topográfica, a unidade de solo LEd₄ enquadra-se como grosseira e as demais unidades, média.

5.4.2.2. Amostras circulares

Na tabela 25 pode-se observar as características quantitativas das redes de drenagem contidas nas amostras circulares, representativas das unidades de solos. As características quantitativas aumentam da unidade LEd₄ para Rd₁, como pode ser verificado pelos valores médios. As classes de textura topográfica são: grosseira para a unidade de solo LEd₄, e fina para BLD₃ e Rd₁.

5.5. Análise de variância de características quantitativas das redes de drenagem

As diferenças existentes nos dados das características quantitativas, devido à variação da unidade de solo e sistema de amostragem, foram medidas por análise de variância dos dados.

Na tabela 26, encontra-se o resultado da análise de variância dos dados de densidade de drenagem de bacias hidrográficas e de amostras circulares, das unidades de solos. O resultado desta análise mostra que o teste F foi altamente significativo para solos e não significativos para sistema de amostragem e para interação soloxamostragem. O coeficiente de variação foi de 35,3% considerado muito alto segundo PIMENTEL GOMES (1966), indicando a heterogeneidade dos dados.

Tabela 25. Características quantitativas das redes de drenagem e a classe de textura topográfica, baseadas nas amostras circulares, representativas das unidades de solos.

Características quantitativas observadas	LED ₄			BLd ₃			Rd ₁		
	A m o s t r a s C i r c u l a r e s								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Densidade de drenagem (Ddc)	1,57	1,46	1,32	4,97	4,73	4,86	5,02	6,85	5,44
Densidade de drenagem média (Ddcm)		1,45 ⁺⁺			4,85 ⁺⁺			5,77 ⁺⁺	
Erro padrão da média		± 0,07			± 0,07			± 0,55	
Frequência de rios (Fc)	1,60	1,40	1,80	12,20	11,80	13,00	15,40	20,80	19,60
Frequência de rios média (Fcm)		1,60 ⁺⁺			12,33 ⁺⁺			18,60 ⁺⁺	
Erro padrão da média		± 0,11			± 0,35			± 1,64	
Razão de textura (Tc)	1,02	0,89	1,15	7,77	7,51	8,28	9,81	13,25	12,48
Razão de textura média (Tcm)		1,02 ⁺⁺			7,85 ⁺⁺			11,85 ⁺⁺	
Erro padrão da média		± 0,08			± 0,22			± 1,04	
Classe de textura topográfica		grosseira			fina			fina	

++ média das três amostras circulares.

Tabela 26. Análise de variância da característica quantitativa "densidade de drenagem", de bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (S)	(2)	(123,8575)	61,9288	20,97 ⁺⁺
Amostragem (A)	1	12,9710	12,9710	4,39 ^{ns}
S x A	2	12,9816	6,4908	2,20 ^{ns}
S ₃ x S ₂	1	16,2169	16,2169	5,49 ⁺⁺
S ₁ x (S ₃ + S ₂)	1	106,6406	106,6406	36,11 ⁺⁺
Tratamentos	(5)	(149,8101)	29,9620	10,15 ⁺⁺
Resíduo	12	35,4375	2,9531	
Total	17	185,2476		

C.V. = 35,3%

++ significativo ao nível de 1%; S₁ = LE_d₄; S₂ = BL_d₃; S₃ = Rd₁.

A análise de variância da frequência de rios de bacias hidrográficas e de amostras circulares, das unidades de solos, está indicada na tabela 27. A frequência de rios mostra diferença altamente significativa pelo teste F para solos, não havendo diferença para sistema de amostragem e para interação soloamostragem. O coeficiente de variação foi de 50,4% considerado muito alto segundo PIMENTEL GOMES (1966), indicando a heterogeneidade dos dados, também neste caso.

A análise de variância da razão de textura se encontra nas tabelas 28 e 29. Pelo teste F, verifica-se que houve diferença estatística altamente significativa para solos, amostragem e interação soloamostragem. Os resultados do teste F mostram que somente o desdobramento da interação amostragem/S₁ não apresentou diferença significativa, enquanto que os demais apresentaram diferenças altamente significativa. O coeficiente de variação foi de 24,5%, considerado alto segundo PIMENTEL GOMES (1966), indicando certa heterogeneidade dos dados.

5.6. Relações entre características quantitativas das redes de drenagem

Os valores médios da densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, utilizados para determinação das relações entre si, estão na tabela 30. As relações obtidas entre características quantitativas da rede de drenagem, juntamente com os coeficientes de correlação e respectivas significâncias estatísticas, encontram-se na tabela 31.

As relações que apresentaram significância estatística até 10% de probabilidade foram representadas em gráficos. A representação das relações funcionais pode ser observada nas figs. de 11 a 17.

Tabela 27. Análise de variância da característica quantitativa "frequência de rios", de bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (S)	(2)	(1830,6848)	915,3424	17,17 ⁺⁺
Amostragem (A)	1	239,0755	239,0755	4,48 ^{ns}
S x A	2	12,9816	6,4908	0,12 ^{ns}
S ₁ x S ₂	1	545,9403	545,9403	10,24 ⁺⁺
S ₃ x (S ₁ + S ₂)	1	1284,7445	1284,7445	24,09 ⁺⁺
Tratamentos	(5)	(2082,7419)	416,5484	7,81 ⁺⁺
Resíduo	12	639,8525	53,3210	
Total	17	2722,5944		

C.V. = 50,4%

++ significativo ao nível de 1%; S₁=LEd₄; S₂=BLd₃; S₃=Rd₁.

Tabela 28. Análise de variância da característica quantitativa "razão de textura", de bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (S)	2	170,8574	85,4287	51,22 ⁺⁺
Amostragem (A)	1	48,1835	48,1835	28,89 ⁺⁺
S x A	2	35,3555	17,6778	10,50 ⁺⁺
S ₁ x S ₂	1	96,0073	96,0073	57,57 ⁺⁺
S ₃ x (S ₁ + S ₂)	1	74,8501	74,8501	44,88 ⁺⁺
Amostragem/S ₁	1	0,0864	0,0864	0,05 ^{ns}
Amostragem/S ₂	1	17,7160	17,7160	10,62 ⁺⁺
Amostragem/S ₃	1	65,7366	65,7366	39,42 ⁺⁺
Solos/Amostragem 1	2	26,3551	13,1776	7,90 ⁺⁺
Solos/Amostragem 2	2	179,8579	89,9290	53,92 ⁺⁺
Tratamentos	(5)	(254,3964)	50,8793	30,51 ⁺⁺
Resíduo	12	20,0133	1,6678	
Total	17	274,4097		

C.V. = 24,5%

++ significativo ao nível de 1%; S₁=LEd₄; S₂=BLd₃; S₃ = Rd₁ ;
 Amostragem 1=bacias hidrográficas; Amostragem 2 = amostras circulares.

Tabela 29. Desdobramento da interação solos/amostragem, na característica quantitativa "razão de textura", de bacias hidrográficas e amostras circulares, das unidades de solos.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
$S_3 \times S_2$ /Amostragem 1	1	0,9842	0,9842	0,59 ^{ns}
$S_1 \times (S_3 + S_2)$ /Amostr. 1	1	25,3709	25,3709	15,21 ⁺⁺
Solos/Amostragem 1	(2)	(26,3551)	13,1776	7,90 ⁺⁺
$S_3 \times S_2$ /Amostragem 2	1	23,9201	23,9201	14,34 ⁺⁺
$S_1 \times (S_3 + S_2)$ /Amostr. 2	1	155,9378	155,9378	93,50 ⁺⁺
Solos/Amostragem 2	(2)	179,8579	89,9290	53,92 ⁺⁺
Amostragem	1	48,1835	48,1835	28,89 ⁺⁺
Tratamentos	(5)	(254,3964)	50,8793	30,51 ⁺⁺
Resíduo	12	20,0133	1,6678	
Total	17	274,4097		

++ significativo ao nível de 1%; $S_1 = LE d_4$; $S_2 = BL d_3$; $S_3 = Rd_1$; Amostragem 1 = bacias hidrográficas; Amostragem 2 = amostras circulares.

Tabela 30. Valores médios da densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura das bacias hidrográficas e amostras circulares, representativas das unidades de solos.

C a r a c t e r í s t i c a s	LEd ₄	BLd ₃	Rd ₁
Densidade de drenagem nas bacias (Ddm) ⁺	1,38	6,03	9,76
Densidade de drenagem nas amostras circulares (Ddcm) ⁺	1,45	4,85	5,77
Frequência de rios nas bacias (Fm) ⁺	1,94	18,19	34,27
Frequência de rios nas amostras circulares (Fcm) ⁺	1,60	12,33	18,60
Razão de textura nas bacias (Tm) ⁺⁺	1,34	4,89	4,97
Razão de textura nas amostras circulares (Tcm) ⁺⁺	1,02	7,85	11,85
Classe de textura topográfica nas bacias	grosseira	média	média
Classe de textura topográfica nas amostras circulares	grosseira	fina	fina

+ Média aritmética; ++ Média ponderada em relação à área.

Tabela 31. Relações entre características quantitativas da rede de drenagem, das bacias hidrográficas e amostras circulares.

Características relacionadas	E q u a ç ã o	Coefficiente de correlação (r)
Ddm x Ddcn	Ddcn = 1,0231 + 0,5242 x Ddm	0,967
Fm x Fcm	Fcm = 1,3052 + 0,5260 x Fm	0,989 ⁺⁺
Tm x Tcm	Tcm = - 2,3419 + 2,4773 x Tm	0,938
Ddm x Fm	Fm = - 3,8625 + 3,8432 x Ddm	0,998 ⁺
Ddm x Fcm	Fcm = - 0,8317 + 2,0339 x Ddm	0,997 ⁺
Ddm x Tm	Tm = - 1,1778 + 0,4465 x Ddm	0,904
Ddm x Tcm	Tcm = - 0,5308 + 1,2995 x Ddm	0,996 ⁺⁺
Fm x Tm	Tm = 1,6951 + 0,1124 x Fm	0,677
Fm x Tcm	Tcm = 0,8302 + 0,3351 x Fm	0,989 ⁺⁺
Ddcn x Fm	Fm = - 9,0233 + 6,7498 x Ddcn	0,950
Ddcn x Fcm	Fcm = - 4,1379 + 3,7236 x Ddcn	0,986 ⁺⁺
Ddcn x Tm	Tm = 0,1304 + 0,8955 x Ddcn	0,983
Ddcn x Tcm	Tcm = - 2,6354 + 2,3717 x Ddcn	0,986 ⁺⁺
Fcm x Tm	Tm = 1,2816 + 0,2261 x Fcm	0,938

+ significativo ao nível de 5%; ++ significativo ao nível de 10%.

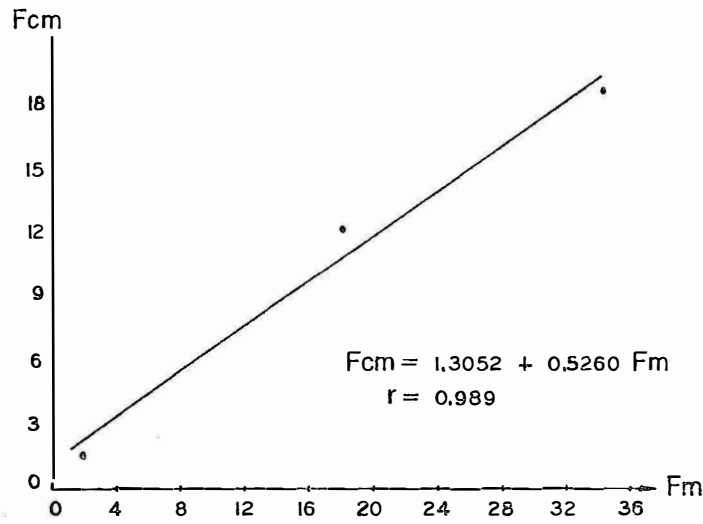


Fig.11—Relação funcional entre valores médios de frequência de rios de amostras circulares, e frequência de rios de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos

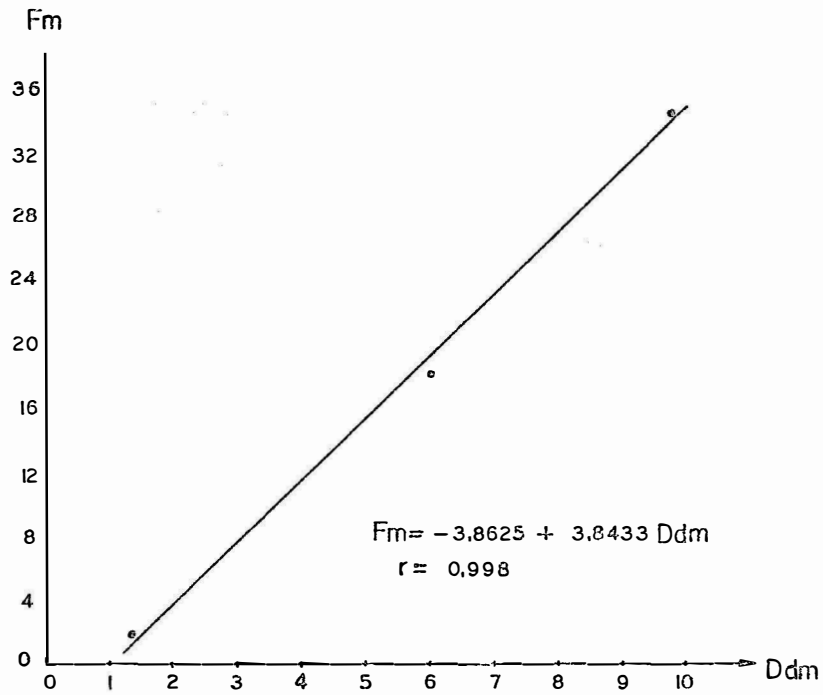


Fig.12- Relação funcional entre valores médios de frequência de rios e densidade de drenagem, de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos.

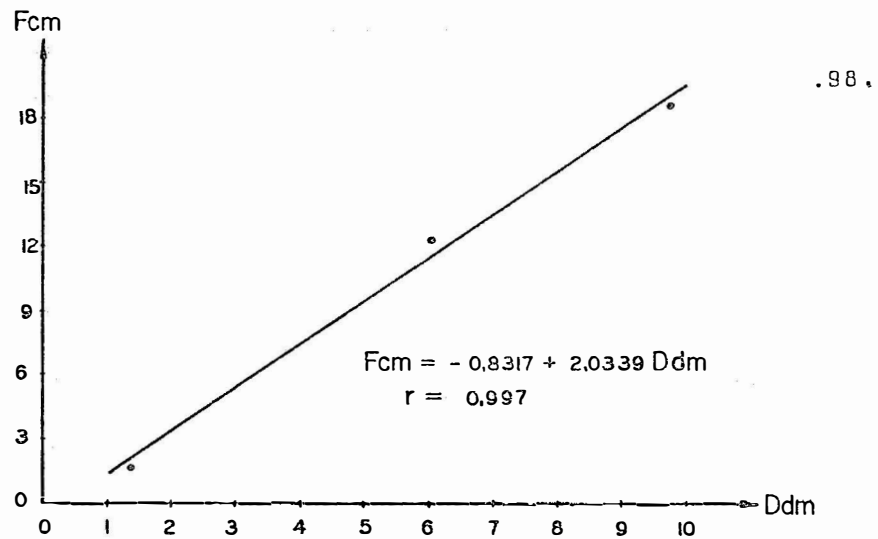


Fig.13-Relação funcional entre valores médios de frequência de rios de amostras circulares, e densidade de drenagem de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos.

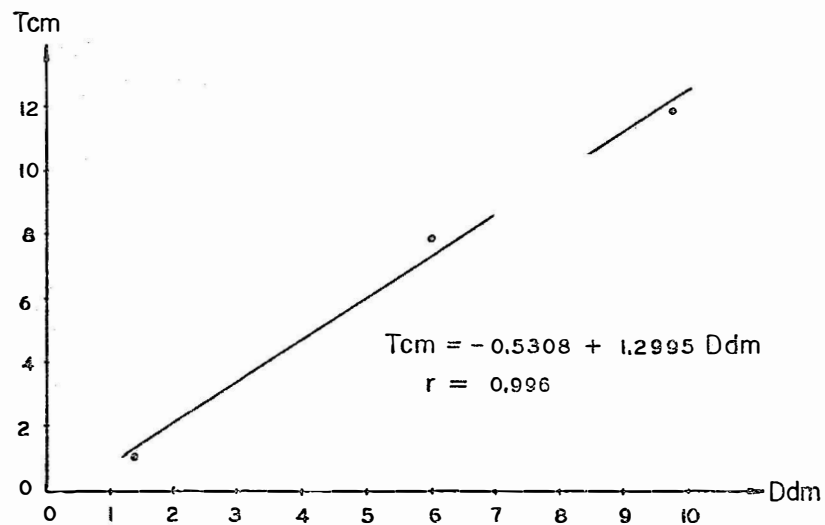


Fig.14-Relação funcional entre razão de textura média de amostras circulares e os valores médios de densidade de drenagem de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos.

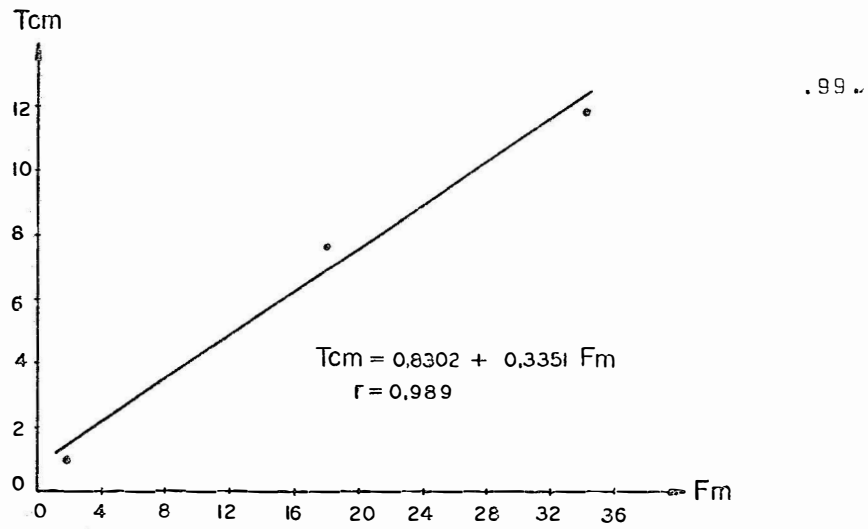


Fig.15—Relação funcional entre razão de textura média de amostras circulares e os valores médios de frequência de rios de bacias hidrográficas, para as três unidades de solos.

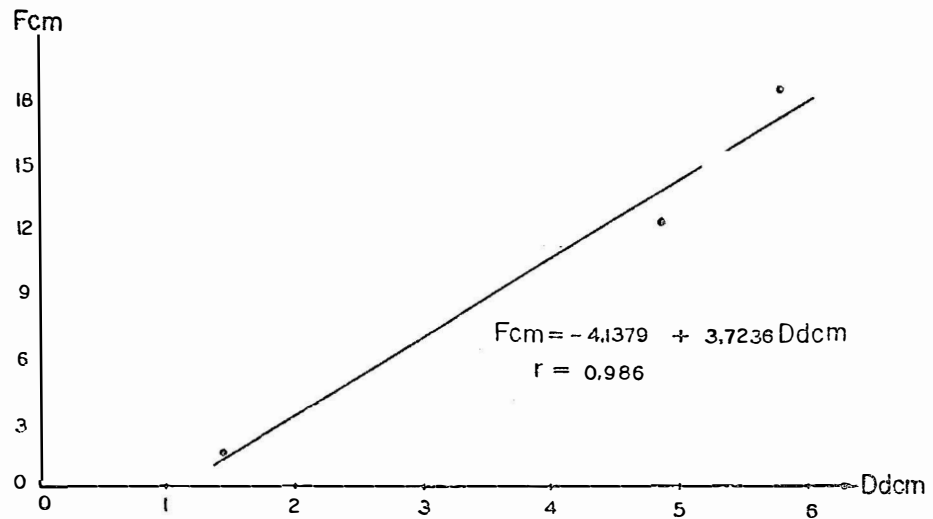


Fig.16—Relação funcional entre valores médios de frequência de rios e densidade de drenagem, de amostras circulares, para as três unidades de solos.

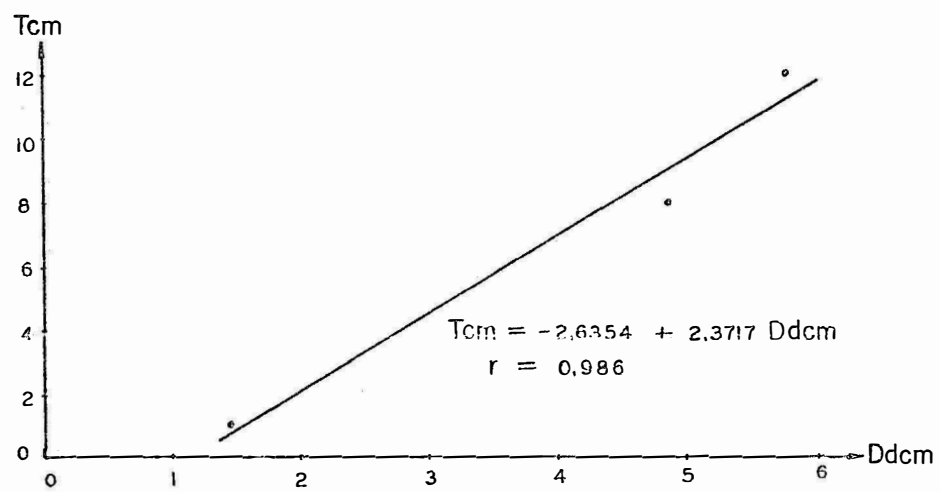


Fig.17-Relação funcional entre razão de textura média e os valores médios de densidade de drenagem, de amostras circulares, para as três unidades de solos.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. Características das bacias hidrográficas

Utilizando-se fotografias aéreas verticais e os princípios e métodos preconizados por vários autores, tais como, HORTON (1945), SMITH (1950), STRAHLER (1957), RABBEN (1960), BURINGH (1960), FROST (1960), RAY (1963), GOOSEN (1968), FRANÇA (1968), SOUZA (1975), foram coletadas características dimensionais e não dimensionais das bacias hidrográficas (tabelas 5 e 6).

Os maiores valores das características dimensionais (tabela 5) na unidade de solo LEd₄, mostram o efeito do relevo suave, alta capacidade de infiltração e resistência do solo à erosão, confirmando a explicação dada por HORTON (1945), formando maiores bacias hidrográficas. Observa-se influência do controle topográfico, uma vez que a velocidade de infiltração da água neste solo, foi afetada principalmente pelas condições de superfície e características do perfil de

solo, concordando com as observações de PARR e BERTRANO(1960). A maior relação infiltração/deflúvio, favoreceu o prolongamento dos canais de drenagem.

A menor resistência da unidade BLd_3 à erosão, associada ao relevo ondulado e menor infiltração, influenciou a gênese do sistema hidrográfico desta unidade, concordando com HORTON (1945). Observa-se pois, na tabela 5, que os valores obtidos são menores na unidade BLd_3 , em relação a LEd_4 , evidenciando-se também a participação de controle estrutural.

Os valores obtidos para a unidade Rd_1 (tabela 5) são em geral ligeiramente inferiores aos da BLd_3 . Nesta unidade o relevo, a capacidade de infiltração e a resistência à erosão, são os fatores principais, de acordo com HORTON(1945), que influenciaram a formação da rede de drenagem nas bacias hidrográficas. O controle geológico se faz presente nesta unidade de solo, influenciando as características das bacias hidrográficas, concordando com as observações feitas por FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) e LEÃO (1973).

As características não dimensionais apresentadas na tabela 6, mostram certa variação quanto à forma e simetria das vertentes. As variações observadas na unidade LEd_4 podem ser atribuídas a provável controle topográfico, conforme a argumentação de SOUZA (1975), uma vez que, dada a homogeneidade desta unidade de solo e de suas características morfogenéticas, dificilmente bacias de tais dimensões estariam sujeitas a controles geológicos. No caso das unidades BLd_3 e Rd_1 , estas variações parecem refletir a presença de controles estrutural e geológico, respectivamente.

Verifica-se na tabela 7, que as bacias hidrográficas representam satisfatoriamente as respectivas unidades de solos, tendo em conta os resultados obtidos pela análise dimensional e teste de semelhança geométrica preconizados

por STRAHLER (1957). Segundo este autor, todas as medições de comprimentos realizadas nas bacias hidrográficas, entre pontos correspondentes, manterão uma razão de escala fixa. Desta forma, os parâmetros medidos podem ser comparados entre bacias dentro da unidade de solo, satisfazendo assim as exigências apontadas por HORTON (1945), SMITH (1950), SCHUMM (1956), ANDERSON (1957), STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968).

Além da semelhança geométrica, observa-se nas figs. 2, 3 e 4, uma alta representatividade das bacias hidrográficas em relação às unidades de solos, proporcionando desta forma, condições de estudo que satisfazem os princípios recomendados por FROST (1960) e FRANÇA (1968).

6.2. Características das amostras circulares

As características dimensionais apresentadas na tabela 8, evidenciam claramente a influência dos fatores que governam a gênese do sistema de drenagem, conforme foi discutido para bacias hidrográficas no ítem anterior.

Observa-se que todas as características da tabela 8, para amostras circulares de 5 km^2 , salientam diferenças existentes entre as unidades de solos. Verifica-se que a presença de controle geológico associado ao relevo, permitiu uma maior ramificação da rede de drenagem nas unidades BLd_3 e Rd_1 .

As diferenças observadas nos valores das características entre as unidades de solos LEd_4 e BLd_3 são devidas ao relevo e resistência do solo à erosão, concordando com as afirmativas de HORTON (1945), PARR e BERTRAND (1960), RAY (1963).

Neste estudo, observa-se que a área não afetou as características determinadas em termos de diferenças mar-

cantes para separação das unidades de solos. Isto vem comprovar as afirmativas realizadas anteriormente por BURINGH(1960), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976b). Vale salientar que a diminuição da área de amostragem circular não prejudicou as vantagens da amostra circular, descritas por FRANÇA (1968).

As diferenças nas características entre as unidades de solos (tabela 8), podem ser visualizadas nas figs.5, 6 e 7. Estas diferenças marcantes foram também observadas por KOFFLER (1976a), em solos podzolizados e latossol do Estado de São Paulo. Segundo a classificação de KOFFLER (1976a) para comprimento médio de rios, a unidade LEd₄ possui rios de comprimentos intermediários (média de 0,9 km/rio), enquanto que as unidades Bld₃ e Rd₁ apresentam rios de comprimento relativamente curto (média de 0,3 km/rio).

Os dados encontrados para características dimensionais da tabela 8, permitem uma separação das unidades de solos, tendo em vista as diferenças existentes entre as mesmas, que são proporcionadas pelas condições morfogenéticas, concordando com as observações feitas por autores brasileiros que efetuaram estudos semelhantes sobre solos de outras regiões do País, como FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD(1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a).

6.3. Composição das redes de drenagem

6.3.1. Análise do número de segmentos de rios

O número de segmentos de rios segundo STRAHLER (1957) (tabela 9), no caso de bacias hidrográficas, mostra que a fixação de mesma ordem de ramificação, variando a área invertiu a sequência dos solos em relação às amostras circulares (tabela 8), onde as redes se apresentavam com ordens dife

rentes, sendo constantes a área, o que concorda com ANDERSON (1957), que destacou a importância do fator área.

Seguindo a diretriz de FRANÇA (1968), que afirma serem comparáveis as redes de drenagem com mesma ordem de ramificação, verifica-se certa dificuldade na separação das unidades de solos pelo número de segmentos de rios. Na tabela 9, os resultados são semelhantes nas unidades LEd_4 e BLd_3 , sendo diferentes da Rd_1 . Neste caso, observa-se que somente a Rd_1 poderia ser separada das demais unidades de solos. Os resultados obtidos para o número de segmentos de rios, vêm confirmar as observações de VASQUES FILHO (1972) e HORTON (1945), que afirmam ser ainda necessários, para a caracterização das redes de drenagem, os valores de densidade e frequência de rios, discordando das observações apresentadas por FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975).

Os números de segmentos de rios indicados na tabela 10 mostra que, dentro de cada unidade de solo, os valores obtidos pela equação de MAXWELL (1955) e segundo a lei dos números de rios de HORTON (1945), são aproximadamente semelhantes à média ponderada. Observa-se que não houve continuidade, nas três ordens de ramificação, quanto à superioridade do número de segmentos, para média ponderada ou equação de HORTON. Este fato foi verificado por SOUZA (1975), contestando assim FRANÇA (1968), FADEL (1972) e VASQUES FILHO (1972).

Os dados da tabela 10 se encontram dentro dos limites apresentados na literatura, nos trabalhos de FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975). As eventuais divergências podem ser atribuídas a diferenças na ordem de ramificação e nível de levantamento das unidades de solos.

Segundo SOUZA (1975), o número de segmentos de rios é diretamente proporcional às suas declividades, visto que as unidades de solos com declives mais acentuados, com me

nor relação infiltração/deflúvio, apresentam um maior número de segmentos de rios. Pelos dados de número de segmentos de rios, da tabela 10, verifica-se o inverso do observado por SOUZA (1975). Neste caso, o número de segmentos de rios não foi influenciado pela declividade, devendo-se considerar também, a resistência do solo à erosão, conforme postulado por HORTON (1945), condições de superfície e características do perfil de solo que afetam a velocidade de infiltração da água no solo, segundo PARR e BERTRAND (1960).

A relação linear entre o logarítmo dos números de segmentos de rios de cada ordem e as respectivas ordens de ramificação estabelecida por MAXWELL (1955), foi verificada nas três unidades de solos, conforme consta na tabela 11 e fig. 8. Os dados das três unidades de solos se ajustaram à equação de MAXWELL (1955), com significância estatística. Observa-se que o melhor ajustamento foi encontrado na unidade LEd₄ e as maiores dispersões, na Rd₁ (fig. 8).

Tudo indica que os resultados da tabela 11 foram influenciados pelos mesmos fatores que afetam o número de segmentos de rios. Os dados mostram que a ordem de ramificação permaneceu constante, havendo variação no número de segmentos de rios. Verifica-se pois, que aumentando o número de segmentos de rios tem-se uma tendência de não haver ajustamento à equação de MAXWELL (1955), a partir de certo limite, ou seja, a relação linear passará a não representar satisfatoriamente os dados. Este fato sugere que bacias hidrográficas com maior ordem de ramificação, apresentarão coeficientes de correlação sem significância estatística. Os valores encontrados pela lei dos números de rios de HORTON (1945) estão muito próximos da média ponderada, nas três unidades de solos, o que confirma a validade da lei para estas unidades de solos.

6.3.2. Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios

Os comprimentos totais de segmentos de rios, observados em cada ordem e bacia hidrográfica e suas médias ponderadas em relação à área, apresentados na tabela 12, salientam diferenças entre as unidades de solos. Estes comprimentos estão dentro da amplitude descrita nos trabalhos de FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975).

Os valores obtidos para comprimentos totais de segmentos de rios, permitem evidenciar a participação efetiva dos fatores que afetam a gênese do sistema de drenagem, citados por HORTON (1945), PARR e BERTRAND (1960), alterando desta forma a relação infiltração/deflúvio. Pelas diferenças na relação infiltração/deflúvio e participação de controles topográfico, estrutural e geológico, encontrou-se nesta pesquisa comprimentos diferentes de segmentos de rios. Tudo indica que solos com maior relação infiltração/deflúvio e presença de controle topográfico, apresentarão redes de drenagem mais extensas, conforme ocorreu com a unidade LEd₄. Uma menor relação infiltração/deflúvio, com maior participação de controle estrutural, tende a diminuir o comprimento dos canais de drenagem, podendo-se observar este fato na unidade Bld₃. A presença de controle geológico e uma baixa relação infiltração/deflúvio, permitirá a formação de canais de drenagem curtos. Esta tendência promoverá a formação de bacias hidrográficas de pequena área, na ordem de ramificação (3a. ordem) adotada nesta pesquisa. A unidade de solo Rd₁ apresenta todas estas observações, com a participação de controle geológico.

Os valores dos comprimentos totais de segmentos de rios da tabela 13, mostram que os dados observados seguem a lei dos comprimentos de rios de HORTON (1945), nas três

unidades de solos, pois os comprimentos de segmentos de rios da média ponderada e calculado segundo Horton são semelhantes. Porém tendem a ser ligeiramente maiores para comprimento total de rios das bacias, nas unidades LEd_4 e BLd_3 , o que discorda de SOUZA (1975); e ligeiramente menores na unidade Rd_1 , concordando com SOUZA (1975), apesar desta unidade de solo ser diferente das estudadas por aquele autor. Os valores calculados pela equação ajustada por FRANÇA (1968) estão bem próximos da média ponderada, nas três unidades de solos. No tocante aos comprimentos totais dos segmentos de rios das bacias, verifica-se que os valores calculados pela equação de FRANÇA (1968) foram os que menos se dispersam em relação à média ponderada, evidenciando-se um perfeito ajustamento desta equação aos dados de comprimentos totais de segmentos de rios, nas três unidades de solos. Este perfeito ajustamento vem confirmar os resultados obtidos por vários autores, como FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975).

As equações ajustadas para comprimentos totais de segmentos de rios, representadas na tabela 14 e fig.9, mostram que o coeficiente de correlação foi significativo ao nível de 5% somente para as unidades de solos BLd_3 e Rd_1 . A não significância estatística na unidade LEd_4 , naquele nível de probabilidade, vem confirmar os resultados de VASQUES FILHO (1972). Porém, o comprimento total de segmentos de rios (tabela 13), das bacias na unidade LEd_4 , foi o que mais se distanciou da média ponderada, estando ainda bem próximo deste valor, ou seja, em melhor situação do que o valor calculado pela lei dos comprimentos de rios de HORTON (1945). Estes fatos permitem inferir que a equação ajustada por FRANÇA (1968), não sendo o melhor ajustamento num certo nível de probabilidade, ainda pode representar os comprimentos totais dos segmentos de rios, mesmo com uma significância estatística menor para o coeficiente de correlação (significativo pelo teste t ao

nível de 18,9%), tendo em vista o baixo número de graus de liberdade.

6.3.3. Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios

Os comprimentos médios de segmentos de rios, apresentados na tabela 15, mostram diferenças nos valores da média ponderada em todas as ordens de ramificação, nas unidades LEd_4 e BLd_3 . Entre as unidades BLd_3 e Rd_1 , apenas a média ponderada dos segmentos de 3a. ordem apresentou diferença. A distinção das unidades BLd_3 e Rd_1 pelo comprimento médio de segmentos de rios, torna-se difícil, o que concorda com a interpretação dada por SOUZA (1975), discordando porém de SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973) e GEVAERD (1974).

Os dados apresentados na tabela 15, permitem evidenciar que o comprimento médio de segmentos de rios não deve ser usado isoladamente na separação de unidades de solos, principalmente porque solos com características morfogenéticas diferentes, apresentaram resultados semelhantes.

Os valores indicados na tabela 15, encontram-se dentro dos limites estabelecidos em outros trabalhos de pesquisas realizados por VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975).

Nos valores médios da tabela 16, observam-se variações nos resultados dos comprimentos médios calculados pela equação de VASQUES FILHO (1972), relação Lw/Nw calculados, lei dos comprimentos médios de rios de HORTON (1945), em relação à média ponderada. De forma geral, as menores variações encontram-se na unidade BLd_3 e as maiores, na LEd_4 . Estas variações nos valores médios dos comprimentos médios de segmentos de rios foram também observadas por SOUZA (1975).

Os ajustamentos realizados entre o comprimento médio de segmentos de rios e respectivas ordens de ramificação, seguindo o modelo proposto por VASQUES FILHO(1972), não foram significativos, conforme mostram a tabela 17 e fig.10. Isto indica que a equação da reta não se ajusta bem aos dados, o que foi comprovado pelos coeficientes de correlação, significativos pelo teste de t apenas ao nível de 29,4%, 14,8% e 38,1% de probabilidade, para as unidades de solos LEd₄, Bld₃ e Rd₁, respectivamente. Na fig. 10, observa-se que os valores coletados estão bem distantes do ajustamento linear, concordando com a afirmativa feita por STRAHLER (1957).

6.3.4. Análise associada dos elementos das redes de drenagem

Pela análise associada dos elementos, número de segmentos de rios, comprimento total e médio de segmentos de rios, apresentada na tabela 18, evidencia-se que os três elementos são importantes, na separação das unidades de solos. Segundo SOUZA (1975), a análise associada destes elementos deverá ser realizada, baseada num mesmo critério; ou pela média ponderada, ou segundo as equações ajustadas, ou segundo as leis dos números e comprimentos de rios de Horton. Nesta pesquisa, observou-se que a sugestão de SOUZA(1975) somente foi válida para os elementos, número e comprimento total de segmentos de rios, talvez pelo fato das unidades de solos serem morfogeneticamente distintas.

Devido às variações encontradas nos resultados de comprimentos médios de segmentos de rios, pelos diversos critérios adotados para cálculo, constatou-se que este elemento não oferece segurança na separação de unidades de solos. SOUZA (1975) já havia comentado que os comprimentos médios de rios podem eventualmente conduzir bacias hidrográficas com características diferentes a resultados semelhantes, pois repre

sentam a relação entre os comprimentos totais de segmentos de rios e o número de segmentos de rios.

Considerando que a finalidade da análise dos elementos das redes de drenagem é facilitar a separação de unidades de solos, verifica-se que, em termos de eficiência, o comprimento total de segmentos de rios foi o melhor elemento, seguido pelo número de segmentos de rios. A eficiência do número de segmentos de rios, para separação de unidades de solos, poderá ser mais consistente adotando-se os valores obtidos pela amostragem circular, conforme foi discutido no item 5.3.1.

6.3.5. Análise da razão de ramificação

A razão de ramificação constitui um dos parâmetros de grande importância, pois segundo STRAHLER (1957), ela expressa a composição do sistema de drenagem, sendo altamente estável com pequena amplitude de variação de uma região para outra, ou de um ambiente para outro, exceto onde domina poderoso controle geológico.

Nos valores da tabela 19, observa-se que, dentro da mesma região, apenas mudando o ambiente, se constata a relativa estabilidade da razão de ramificação apontada por STRAHLER (1957). Na unidade LEd_4 , os valores estão bem próximos nas três bacias hidrográficas, confirmando assim a ausência de controle geológico. Na unidade BLd_3 , somente a bacia de número VI apresenta razão de ramificação bem inferior à das outras duas bacias. Tudo indica conforme sugere STRAHLER (1957), que a bacia de número VI esteja sujeita a controle geológico. A influência do controle geológico pode ser perfeitamente visualizada na unidade Rd_1 , onde os valores da razão de ramificação estão bastante dispersos nas três bacias hidrográficas amostradas.

As variações observadas na razão de ramificação entre unidades de solos, podem ser atribuídas às declividades, para as unidades LEd_4 e BLd_3 , concordando com SOUZA (1975). As variações da unidade Rd_1 , em relação às demais, são atribuídas a controle geológico presente nesta unidade de solo, concordando com STRAHLER (1957).

Os valores da razão de ramificação da tabela 19 estão bem próximas dos encontrados por SOUZA (1975) e STRAHLER (1957), sendo ligeiramente superiores. Os valores encontrados para a unidade Rd_1 concordam com os obtidos por HORTON (1945), porém os valores da unidade LEd_4 são discordantes. As razões de ramificação da tabela 19 são maiores do que as determinadas por FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), para unidades de solos semelhantes às deste estudo.

Os resultados obtidos nesta pesquisa e os demais da literatura consultada, mostram que a estabilidade da razão de ramificação preconizada por STRAHLER (1957), somente é observada quando não existe controle geológico e as unidades de solos são morfogeneticamente semelhantes. Isto parece bastante razoável, visto que a gênese dos sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, é influenciada pelas condições de superfície e cobertura do solo segundo PARR e BERTRAND (1960) e pela resistência do solo à erosão e sua capacidade de infiltração segundo HORTON (1945).

6.3.6. Análise da razão de comprimentos totais

Na tabela 20 observa-se, pelos valores médios calculados que a razão de comprimentos totais apresenta diferenças entre as unidades de solos, permitindo distinção das mesmas. Os menores valores foram encontrados na unidade LEd_4 que apresenta relevo suavemente ondulado e os maiores valores,

na unidade Rd_1 com relevo montanhoso.

A unidade LEd_4 apresenta resultados semelhantes aos encontrados por FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975), enquanto que os resultados das unidades BLd_3 e Rd_1 , foram superiores aos desses autores. A distinção entre as unidades pela razão de comprimentos totais observada nesta pesquisa, parece não ser suficientemente consistente conforme o exposto na literatura.

Os valores calculados pela equação ajustada por FRANÇA (1968), podem ser considerados semelhantes à média. Apenas a unidade Rd_1 apresentou maior divergência nos resultados, causada pelo Rlw das ordens w_2/w_3 da bacia VIII, que pode ser considerada atípica. A Rlw média, calculada sem o respectivo valor, fornece um resultado de 2,34, que está bem próximo do valor determinado pela equação. Observa-se, pois, a consistência dos valores determinados pela equação ajustada por FRANÇA (1968). Pelo exposto, evidencia-se que a sugestão de STRAHLER (1957), empregada por FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975), funciona também para as três unidades de solos deste estudo.

6.3.7. Análise da razão de comprimentos médios

Os valores observados para a razão de comprimentos médios de segmentos de rios, que constam da tabela 21, mostram a consistência deste parâmetro para a separação das unidades de solos, o que discorda de SOUZA (1975). Os valores apresentados na tabela 19, para a unidade LEd_4 , são superiores aos da literatura, enquanto que os da unidade Rd_1 são inferiores, discordando de FRANÇA (1968), FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975). Por outro lado, os valores da unidade BLd_3 encontram-se dentro dos limites estabe-

lecidos por aqueles autores.

Os valores da razão de comprimentos médios, calculados pela equação ajustada por VASQUES FILHO (1972), estão próximo da média calculada, sendo inferiores nas três unidades de solos. Estas diferenças podem ser atribuídas à falta de significância estatística dos ajustamentos realizados, prejudicados pelo baixo número de amostras. Pelos valores obtidos com o antilog de b na equação de VASQUES FILHO (1972), evidencia-se que o aumento do número de bacias hidrográficas a serem amostradas por unidade de solos, permitirá um melhor julgamento da necessidade ou não de outro ajustamento estatístico para representar os dados, com a significância estatística adotada rotineiramente.

6.3.8. Análise associada das razões de ramificação, comprimentos totais e médios

Os valores médios calculados mostram que a relação preconizada por FRANÇA (1968) foi eficiente para representar razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios, nas três unidades de solos. Os resultados aqui obtidos também confirmam a eficiência da relação, encontrada por FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975).

A análise associada dos valores da tabela 22, evidencia a importância das três razões na distinção de unidades de solos. Porém, na presente pesquisa, somente a razão de comprimentos totais e a razão de comprimentos médios de segmentos de rios se destacaram como parâmetros eficientes para separação das unidades de solos.

As tendências de superioridade ou não, nas razões determinadas, entre os sistemas de cálculos, foram bas-

tante dispersas. As unidades LEd₄ e BLd₃ tiveram as mesmas tendências para razão de ramificação, porém contraditórias às de SOUZA (1975). Na razão de comprimentos médios as tendências foram semelhantes nas três unidades, concordando em parte com SOUZA (1975). Para a razão de comprimentos totais observou-se as maiores variações, não havendo um comportamento simétrico.

Pelo estudo destas tendências, observa-se que a razão de comprimentos médios foi o parâmetro mais consistente para separação de unidades de solos, permanecendo constante o sentido dos resultados em relação aos sistemas de cálculo.

6.4. Características das redes de drenagem

As características das redes de drenagem foram estudadas sob o aspecto qualitativo e quantitativo, para melhor identificação das unidades de solos. Aproveitou-se portanto as experiências de HORTON (1945), que imprimiu um caráter quantitativo no qualitativo de ENGELN (1942), baseado nas relações infiltração/deflúvio e nos processos de erosão pelas águas correntes, que atuam na formação da rede de drenagem.

6.4.1. Características descritivas

Das características descritivas apresentadas na tabela 23, observa-se que, com exceção da orientação, todas as demais auxiliam na distinção entre as unidades de solos. Em ordem de grandeza, mostraram-se mais consistentes as características: grau de controle, ângulos de junção, densidade.

A unidade de solo Rd₁ apresentou densidade alta enquanto que a LEd₄, densidade baixa. O maior desenvolvi-

mento da rede na unidade Rd_1 está ligada à presença de controle geológico, com baixa infiltração de água. A menor densidade da LEd_4 indica alta infiltração e permeabilidade desta unidade, com presença de controle apenas topográfico. Estas observações relacionadas com as unidades Rd_1 e LEd_4 , estão de acordo com LUEDER (1959). A densidade média a alta para a unidade BLd_3 , mostra uma posição intermediária com relação à infiltração de água. Neste caso, o controle estrutural se faz presente, o que pode ser comprovado pelo modelo de drenagem desenvolvido nesta unidade, conforme sugere RAY (1963) para interpretação geológica.

Pelo modelo de drenagem, o aumento do escoamento superficial promoveu maior densidade e o aparecimento do modelo arborescente modificado. O modelo sub-paralelo, ocorreu em relevo suavemente ondulado e o arborescente, em relevo fortemente ondulado a montanhoso, o que contradiz AVERY (1969).

Pelas características descritivas, evidencia-se que, mesmo utilizando unidades de solos perfeitamente distintas, ocorre semelhança de resultados em certos casos. Ressaltando a importância destas características na separação de unidades de solos, vale ressaltar que as mesmas deverão ser usadas como um complemento na separação, principalmente pelo caráter regional que estas características estão sujeitas, demonstrado por PARVIS (1950) e confirmado por SOUZA (1975).

As anomalias observadas nas unidades LEd_4 e Rd_1 mostram a influência de condições estruturais, permeabilidade do material exposto e grau de erodibilidade, segundo RICCI e PETRI (1965). Estas anomalias facilitam a separação das unidades estudadas, concordando com SOUZA (1975), por servir como critério auxiliar na distinção de unidades de solos.

6.4.2. Características quantitativas

As características quantitativas são estudadas devido ao maior significado, procurando eliminar o caráter subjetivo de termos como densidade de drenagem alta ou baixa, adotados por LUEDER (1959) e RAY (1963), e textura fina ou grosseira de PARVIS (1950), RAY (1963) e RICCI e PETRI (1965).

Estudos de características quantitativas de redes de drenagem, visando correlacionar índices morfométricos com o desenvolvimento das redes e natureza dos materiais subjacentes (rochas ou solos), evidenciaram fatores responsáveis pelo desenvolvimento das redes, tais como: permeabilidade e resistência à erosão, por HORTON (1945), SMITH (1950), RAY e FISCHER (1960); resistência à erosão, por RAY (1963), RICCI e PETRI (1965); relação infiltração/deflúvio, por LUEDER (1959), FROST (1960), ZINKE (1960). Segundo FRANÇA (1968) e SOUZA (1975), a falta de consistência nos dados obtidos por aqueles autores pode ser explicada pela heterogeneidade, sob o ponto de vista pedológico, do material com que trabalharam.

6.4.2.1. Características quantitativas de bacias hidrográficas

Os dados das características densidade de drenagem e frequência de rios, da tabela 24, permitem com facilidade separar as unidades de solos, concordando com FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975).

A necessidade das duas características, densidade de drenagem e frequência de rios, para diferenciar unidades de solos, preconizada por HORTON (1945) e STRAHLER (1964), não foi observada nesta pesquisa, uma vez que o uso isolado de qualquer uma delas permite a separação das unidades, o que

apoia os resultados obtidos por SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a). Observa-se, pois, a eficiência destas características, auxiliando o fotointérprete na separação de unidades de mapeamento.

Já para a razão de textura e razão de textura média, apenas o resultado da unidade LEd_4 permite separação das demais unidades, discordando dos resultados de SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a). Para a classe de textura topográfica, observou-se o mesmo comportamento verificado na razão de textura e razão de textura média. Os valores da tabela 24, para razão de textura e razão de textura média, vem contrariar FRANÇA (1968), que afirmou serem os sistemas de drenagem melhor estudados em mapas básicos de drenagem, por estas características. Segundo FREITAS (1952), a textura topográfica depende de vários fatores naturais e acidentais que exercem uma dependência local nos resultados. Tudo indica que um ou mais dos fatores sugeridos por FREITAS (1952), estejam afetando especificamente a unidade Rd_1 , tendo em vista a textura topográfica encontrada, onde era de se esperar uma classe de textura fina, conforme descrita pelo mesmo autor. A classe de textura grossa encontrada na unidade LEd_4 , segundo GANDOLFI (1971) representaria estágios iniciais ou recentes do ciclo de erosão; porém, verifica-se que a respectiva unidade é a mais intemperizada das três pesquisadas, o que vem discordar da explicação dada pelo autor. Esta unidade de solo apresenta estrutura maciça porosa no horizonte B, com grande permeabilidade e, portanto menor relação infiltração/deflúvio, condições estas semelhantes às descritas por DUNBAR (1959), FRANÇA (1968), e FADEL (1972) para solos latossólicos.

Os resultados da tabela 24, encontrados para densidade de drenagem, mostram a relação inversa com os comprimentos de rios descrita por STRAHLER (1952). De fato, o aumento numérico da densidade de drenagem corresponde ao de-

crêscimo do comprimento de rios (tabela 5). Segundo adaptação realizada por CHRISTOFOLETTI (1969), os valores da densidade de drenagem da tabela 24, podem ser classificados como baixa densidade de drenagem nas unidades LEd_4 e BLd_3 , e média densidade de drenagem na unidade Rd_1 . Por esta classificação, unidades morfogeneticamente diferentes são enquadradas numa mesma classe de densidade de drenagem, voltando ao caráter subjetivo adotado por PARVIS (1950), LUEDER (1959), RAY (1963), RICCI e PETRI (1965), prejudicando a finalidade de utilização de parâmetros fotoanalíticos na identificação e separação de unidades de solos.

6.4.2.2. Características quantitativas de amostras circulares

Os resultados apresentados na tabela 25, mostram que as características densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, individualmente, permitem diferenciar as unidades de solos, contrariando HORTON (1945) e STRAHLER (1964). Os dados de densidade de drenagem das unidades LEd_4 e BLd_3 estão nos limites encontrados por FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER (1976a). Os dados de densidade de drenagem da unidade Rd_1 encontram-se acima dos apresentados pela literatura.

Os resultados referentes à frequência de rios, razão de textura média e classe de textura topográfica, introduzidas por SOUZA (1975) em amostras circulares apresentaram resultados mais expressivos que os obtidos em bacias hidrográficas, concordando com esse autor. As classes de textura topográfica não permaneceram as mesmas nas unidades BLd_3 e Rd_1 , evidenciando a influência de se manter constante a área da amostra circular, conforme foi observado por SOUZA (1975).

Os valores da frequência de rios e razão de ~~tex~~ tura média da unidade LE₄ são menores do que os encontrados por SOUZA (1975), porém a razão de textura desta unidade foi semelhante à encontrada por GEVAERD (1974).

6.5. Diferenças estatísticas entre características quantitativas de bacias hidrográficas e amostras circulares

Com o intuito de se obter melhores informações sobre as características quantitativas do padrão de drenagem, empregam-se como sistemas de amostragem, pequenas bacias hidrográficas e amostras circulares, representativas das unidades de solos.

RAY e FISCHER (1960) empregaram a amostragem circular para verificação da significância da densidade de drenagem em relação à litologia e obtiveram resultados que foram mais consistentes do que em pequenas bacias. Posteriormente FRANÇA (1968), seguido por MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), e GEVAERD (1974), utilizaram com sucesso o mesmo método de amostragem para estudos pedológicos e comprovaram a sua eficiência nos estudos de solos. A frequência de rios, razão de textura média e classe de textura topográfica, introduzidas por SOUZA (1975) no estudo de amostras circulares, veio completar o número de características quantitativas, já estudadas em bacias hidrográficas.

Diante destes fatos, surge a possibilidade de utilização de um único sistema de amostragem, desde que os resultados, após confrontados, sejam semelhantes, sem prejuízo da precisão necessária à distinção das unidades de solos. KOFFLER (1976a) utilizou apenas o sistema de amostras circulares e concluiu que três unidades de solos originárias de arenito Bauru, apresentaram padrões de drenagem suficientemente distintos, tanto em fotografias aéreas de escala 1:25000, como 1:60000.

Na presente pesquisa, foram utilizados os dois sistemas de amostragem, bacias hidrográficas e amostras circulares. Os valores das características do padrão de drenagem dos dois sistemas de amostragem, foram manipulados estatisticamente por uma análise de variância. Os resultados desta análise estão apresentados nas tabelas 26, 27, 28 e 29.

Os resultados da análise de variância para densidade de drenagem, de bacias hidrográficas e amostras circulares, que constam na tabela 26, mostram que esta característica apresenta diferença altamente significativa entre solos, sendo um excelente parâmetro na separação de unidades de solos. Quanto ao sistema de amostragem, a falta de significância estatística evidenciou que a densidade de drenagem poderá ser medida tanto em bacias hidrográficas como em amostras circulares. Pela interação solo x amostragem, com F não significativo, comprova-se que a utilização de apenas um sistema de amostragem é suficiente para fornecer resultados de densidade de drenagem, que permitem a distinção das unidades de solos. O valor de F, altamente significativo nas interações entre solos, mostra também que a densidade de drenagem é um parâmetro que apresenta consistência na separação das unidades de solos. A heterogeneidade dos dados analisados, confere à análise de variância um coeficiente de variação muito alto segundo PIMENTEL GOMES (1966). Este resultado já era esperado, tendo em vista a realização da pesquisa em unidades de solos com características morfogenticamente diferentes.

Na tabela 27 observa-se que a frequência de rios apresenta resultados semelhantes aos da densidade de drenagem discutidos anteriormente. Estes resultados confirmam a eficiência da frequência de rios na separação de unidades de solos, bem como a utilização de apenas um sistema de amostragem.

Para a razão de textura (tabela 28), a análise de variância mostra que existe diferença altamente significativa entre as três unidades de solos. A interação soloxamostragem foi altamente significativa, informando que, de maneira geral, a razão de textura não poderá ser obtida por apenas um sistema de amostragem, sendo comprovado pela significância do desdobramento Solos/Amostragem 1 e Solos/Amostragem 2. No desdobramento Amostragem/Sn, observa-se que apenas a unidade LEd_4 permite determinar a razão de textura independente de sistemas de amostragem.

O resultado desta análise de variância (tabela 29) mostra que a razão de textura foi eficiente somente na separação da unidade LEd_4 , que apresenta interação altamente significativa nos dois sistemas de amostragem. Nas unidades BLd_3 e Rd_1 , a razão de textura apresenta diferenças altamente significativas quando os dados foram obtidos de amostras circulares.

A razão de textura apresenta o menor coeficiente de variação (tabela 28), dentre as características quantitativas do padrão de drenagem. Pode-se inferir que esta característica é a mais estável dentro do padrão de drenagem, independente das unidades de solos.

6.6. Relações entre características quantitativas das redes de drenagem

A dependência existente entre as características quantitativas das redes de drenagem de bacias hidrográficas e de amostras circulares foi verificada a partir dos valores médios apresentados na tabela 30, utilizando modelo de regressão linear. Na tabela 31, são indicadas quatorze correlações, sendo que nove foram empregadas por SOUZA (1975) e outras cinco, foram adotadas nesta pesquisa em vista dos coe-

ficientes de correlação encontrados. Dentre as correlações estabelecidas (tabela 31), somente sete apresentaram significância estatística pelo teste t até o nível de 10% de probabilidade, que foram plotadas nas figs. de 11 a 17. As correlações que apresentaram significância estatística são:

1- Relação entre frequência de rios de amostras circulares e de bacias hidrográficas.

O coeficiente de correlação foi significativo ao nível de 10%, mostrando que a equação ajustada permite estabelecer a frequência de rios, conhecendo-se apenas o valor num sistema de amostragem. Deduz-se portanto, que independente da unidade de solo, a frequência de rios poderá ser determinada a partir de qualquer sistema de amostragem, caracterizando perfeitamente a unidade de solo. O coeficiente de correlação mostra também que os valores de frequência de rios, nos dois sistemas, são diretamente proporcionais.

2- Relação entre frequência de rios e densidade de drenagem, de bacias hidrográficas.

A correlação encontrada, com significância ao nível de 5% de probabilidade, vem concordar com os resultados obtidos por VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974) e SOUZA (1975).

Evidencia-se, portanto, a importância destas duas características na separação de unidades de solos, podendo serem usadas isoladamente, ou em conjunto.

Pela definição das características frequência de rios e densidade de drenagem observa-se que, no caso de bacias hidrográficas, a área permanece fixa dentro de cada unidade de solo, variando somente o número e comprimentos de rios. Verifica-se que o aumento do número de rios reflete em acres-

cimo do comprimento de rios, o que foi dimensionado pelo coeficiente de correlação (tabela 31).

3. Relação entre frequência de rios de amostras circulares e densidade de drenagem de bacias hidrográficas.

Esta correlação, significativa ao nível de 5% de probabilidade, confirma a encontrada por SOUZA (1975) para latossóis. Observa-se, pois, que estas características são correlacionáveis intrinsecamente, independente da unidade de solo. Segundo SOUZA (1975), estes resultados comprovam a dominância do fator solo no desenvolvimento das redes de drenagem.

4- Relação entre razão de textura de amostras circulares e densidade de drenagem de bacias hidrográficas.

O resultado encontrado mostra que estas características são correlacionáveis, independente da unidade de solo, concordando com SOUZA (1975) que também obteve resultados significativos.

5- Relação entre razão de textura de amostras circulares e frequência de rios de bacias hidrográficas.

A correlação encontrada, com significância ao nível de 10% de probabilidade, mostra que tanto a razão de textura como a frequência de rios, aumentam proporcionalmente em função do acréscimo do número de rios.

6- Relação entre frequência de rios e densidade de drenagem de amostras circulares.

A significância encontrada para esta correlação, foi ao nível de 10% de probabilidade. Observa-se que estas duas características são bastante consistentes na separação de unidades de solos, pois mostram-se correlacionáveis, independente da unidade de solo e do sistema de amostragem (ítems 2 e 3).

Esta relação comprova as obtidas por VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e KOFFLER(1976a).

7- Relação entre razão de textura e densidade de drenagem de amostras circulares.

SOUZA (1975) obteve para esta relação, coeficiente de correlação mais alto. Tudo indica que a sua maior significância se deve à homogeneidade das unidades de solos amostradas. Os dados desta pesquisa evidenciam que estas duas características são correlacionáveis, independente de unidades de solos. Como salienta KOFFLER (1976a), estes resultados já eram esperados, após a significância observada entre frequência de rios e densidade de drenagem, pois sendo fixa a área da amostra circular, a relação área/perímetro mantém-se constante e, conseqüentemente, as relações frequência de rios e razão de textura serão constantes.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa, com base no estudo de redes de drenagem de três unidades de solos do município de Alpinópolis, Minas Gerais, nas condições existentes e com a metodologia utilizada, permitem tirar-se as seguintes conclusões:

1- A gênese do sistema de drenagem foi influenciada da seguinte maneira:

a) a presença de controle topográfico, solos resistentes à erosão, acompanhados de relevo suave, proporcionam formação de grandes bacias, com pequena ramificação da rede em segmentos longos;

b) a presença de controle estrutural, solos pouco resistentes à erosão, acompanhados de relevo ondulado, formam bacias menores com redes mais ramificadas;

c) a presença de controle geológico, solos de baixa resistência à erosão, associados a relevo montanhoso, formam bacias muito pequenas com redes muito ramificadas e segmentos curtos, predominando junção de segmentos em ângulos agudos.

2- Os elementos determinados em amostras circulares representativas de unidades de solos, permitem a separação das mesmas, independente do tamanho da área amostrada.

3- O número de segmentos de rios das redes de drenagem não foi eficiente na separação de unidades de solos, sendo influenciado pela declividade, resistência do solo à erosão e fatores que afetam a velocidade de infiltração.

4- O comprimento total de segmentos de rios foi eficiente na distinção de unidades de solos, considerado o elemento mais consistente, indicando não ser afetado pela área da bacia e condições que influenciam o número de segmentos de rios.

5- O comprimento médio de segmentos de rios não oferece segurança na separação de unidades de solos, porque depende do número de segmentos de rios.

6- A estabilidade de ocorrência para a razão de ramificação foi encontrada em unidades de solos morfogeneticamente semelhantes, podendo ser alterada pela gênese dos sistemas hidrográficos.

7- As variações nos dados das razões de ramificação, comprimentos totais e comprimentos médios, sugerem que a separação de unidades de solos, com base nestes elementos, deverá ser realizada por análise associada destas razões.

8- As características quantitativas de redes de drenagem, densidade de drenagem e frequência de rios, são eficientes na distinção de unidades de solos, podendo ser usadas isoladamente, ou em conjunto.

9- A caracterização quantitativa de redes de drenagem, pela densidade de drenagem ou frequência de rios, visando distinguir unidades de solos, poderá ser realizada a partir de bacias hidrográficas ou amostras circulares, a critério do pesquisador.

8. SUMMARY

PHOTOINTERPRETATION OF THE DRAINAGE SYSTEM IN THREE SOILS IN THE REGION OF ALPINÓPOLIS, STATE OF MINAS GERAIS

Vertical aerial photographs (1:25000 scale), were used for attainment of information about the composition and characteristics of the drainage systems. The aerial photographs were selected by means of logic research and the identification of image was done by the convergence evidence principle. The informations obtained were used as criteria for differentiate soil units. Three representative soil units of the Alpinópolis region, Minas Gerais state, were selected for purpose of characterization of respective photoanalytical elements. The soil units studied were: Dystrophic Dark Red Latosol, clay texture, cerrado phase; Dystrophic Reddish Brown Lateritic Soil, clay texture, with gravel, semi-deciduous forest phase; Dystrophic Lithosol, Loam texture, with gravel, grass phase. The photoanalytical elements were obtained by coping the drainage system, that

included all permanent or temporary streams stereoscopically visible, at mine watersheds and mine circular samples representatives of the soil **units**. These elements of the drainage system, watersheds and circular samples, were analysed to obtain specific relevant parameters. Within the several parameters studied, the following were important in order to separate soil units: the number and the total length of river segments; the ramification ratio of total and average length of river segments; within the quantitative evaluation of the drainage system the following parameters were important: drainage density, and rivers frequency, being these parameters adequate for individual use as predictor variables. It was also observed that, for evaluation of drainage density or rivers frequency, data could be collected from drainage systems of watersheds or circular samples.

9. LITERATURA CITADA

- AMARAL, A.Z. e R. AUDI, 1972. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., Coord. Elementos de Pedologia. São Paulo, Polígono Editora da USP, p. 429-442.
- ANDERSON, H.W., 1957. Relating Sediment Yield to Watershed Variables. Trans. Am. Geophys. Un., Washington, 38:921-924.
- AVERY, T.E., 1969. Interpretation of Aerial Photographs. 2a. ed., Mimeapolis, Burgess Publishing Company. 324 p.
- BOMBERGER, E.H. e H.W. DILL Jr., 1960. Photo Interpretation in Agriculture. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 11, p. 561-632.
- BURING, P., 1960. The Applications of Aerial Photographs in Soil Surveys. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 11, p. 633-666.

- CHRISTOFOLETTI, A., 1969. Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas. Not. Geom., Campinas, 9(18): 35-64.
- COLWELL, R.N., 1952. Photographic Interpretation for Civil Purposes. In: Manual of Photogrammetry. 2a. ed., Washington, American Society of Photogrammetry, p. 535-602.
- CRESWICK, W.J. e W.H. ROCKWELL, 1959. Applications of Aerial Phtotographic Techniques to Agricultural Surveys. In: Aerial Phtographic Interpretation: Principles and Applications. New York, Mc Graw-Hill, p. 373-385.
- CURTIS, L.F. et allii. 1965. The Description of Relief in Field Studies of Soils. J. Soil Sci., Oxford, 16: 16-30.
- DUNBAR, R.A., 1959. Problems of Interpretation in Tropical Regions. In: Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, Mc Graw-Hill, p. 426-427.
- ENGELN, D.O., 1942. Geomorphology: Systematical and Regional. New York, Mac Millan, 655 p.
- 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. (Tese de Mestrado).
- FRANÇA, G., 1968. Interpretação Fotográfica de Bacias e de Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 151 p. (Tese de Doutorado).
- FREITAS, R.O., 1952. Textura de Drenagem e sua Aplicação Geomórfica. Bol. Paul. Geogr., São Paulo, 11: 53-57.

- FROST, R.E., 1960. Photointerpretation of soils. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 5, p. 343-402.
- GANDOLFI, N., 1971. Análise Morfométrica de Drenagem na Bacia do Rio Mogi-Guassu. Not. Geom., Campinas, 11(21): 23-40.
- GEVAERD, I.; 1974. Parâmetros Fotoanalíticos de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p. (Tese de Mestrado).
- GOOSEN, D., 1968. Interpretacion de Fotos Aereas y su Importancia en Levantamiento de Suelos. Roma, Organizacion de ~~Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion~~ 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: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Bull. Geol. Soc. Ame., New York, 56: 275-370.
- KOFFLER, N.F., 1976a. Utilização de Imagens Aerofotográficas e Orbitais no Estudo do Padrão de Drenagem em Solos Originados de Arenito Bauru. São José dos Campos, INPE, 150p. (Tese 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, INPE, 20 p.
- LEÃO, S.R.F., 1973. Interpretação Fotográfica dos Padrões de Drenagem Desenvolvidos em Dois Solos do Distrito Federal. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p. (Tese de Mestrado).

- LUEDER, D.R., 1959. Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications. New York, Mc Graw-Hill. 462 p.
- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de Atributos de Relevo Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 58 p. (Tese de Doutorado).
- MAXWELL, J.C., 1955. The Bifurcation Ratio in Horton's Law Streams Numbers. Trans. Am. Geophys. Un., Washington, 36: 520. (resumos).
- NAMI, A.J. e Z. SLEPETYS, 1953. Mosaicos Aerofotográficos. Revista de Engenharia Fotogramétrica, São Paulo, 2, 3, 4 e 5.
- NAMI, A.J. e Z. SLEPETYS, 1954. Mosaicos Aerofotográficos. Revista de Engenharia Fotogramétrica, São Paulo, 6.
- PARVIS, M., 1950. Drainage Pattern Significance in Airphoto Identification of Soils and Bedrocks. Photogramm. Engng., Washington, 16(3): 387-408.
- PARR, J.F. e A.R. BERTRAND, 1960. Water Infiltration Into Soils. Adv. Agron., New York, 12: 311-363.
- PIMENTEL GOMES, F., 1966. Curso de Estatística Experimental. 3a. ed., Piracicaba, ESALQ/USP, 404 p.
- RABBEN, E.L., 1960. Fundamentals of Photointerpretation. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 3, p. 99-168.

- RAY, R.G., 1963. Fotografias Aéreas na Interpretação e Mapeamento Geológicos. Trad. de Jesuino Felicissimo Jr., São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 88 p.
- RAY, R.G. e W.A. FISCHER, 1960. Quantitative Photography: a Geologic Research Tool. Photogramm. Engng., Washington, 26(1): 143-150.
- RICCI, M. e S. PETRI, 1965. Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica. São Paulo, Editora Nacional, 226 p.
- RIO DE JANEIRO. Ministério da Indústria e do Comércio. Instituto Brasileiro do Café, 1972. Reconhecimento Detalhado e Aptidão Agrícola dos Solos em Área Piloto no sul do Estado de Minas Gerais. 209 p.
- SCHUMM, S.A., 1956. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy. Bull. Geol. Soc. Am., N. Jersey, 67: 597-646.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. Am. J. Sci., New Haven, 248: 655-668.
- 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, 135 p. (Tese de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bull. Geol. Soc. Am., N. Jersey, 63: 1117-1142.

- STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Trans. Am. Geophys. Un., Washington, 38: 913-920.
- STRAHLER, A.N., 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: CHOW, V.T., Handbook of Applied Hydrology. New York, Mc Graw-Hill, Sec. 4, p. II.
- VASQUES FILHO, J., 1972. Critérios Morfométricos Aplicados à Fotointerpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos do Município de Piracicaba (SP). Piracicaba, ESALQ/USP, 113 p. (Tese de Doutorado).
- WASHINGTON - U.S. Department of Agriculture. Soil Survey Staff, 1967. Supplement to Soil Classification System (2th approximation). 205 p.
- ZINKE, P.J., 1960. Photo Interpretation in Hidrology and Watershed Management. In: Manual of Photographic Interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry, cap. 10, p. 539-560.