**FOTOINTERPRETAÇÃO DE REDES DE DRENAGEM E CARACTERIZAÇÃO
DO RELEVO DE DOIS SOLOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO-SP.**

LUIZ CARLOS FERREIRA DA SILVA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF.DR.VALDEM ARANTONIO DEMÉTRIO

**Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiróz", da
Universidade de São Paulo, para ob-
tenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.**

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Agosto - 1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Silva, Luiz Carlos Ferreira da
S586f Fotointerpretação de redes de drenagem e caracteri-
zação do relevo de dois solos do Município de São
Pedro - SP. Piracicaba, 1993.
125p.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Fotointerpretação 2. Rede de drenagem - Amostra
circular 3. Rede de drenagem - Bacia hidrográfica 4.
Relevo - Amostra circular 5. Relevo - Bacia hidrográ-
fica 6. Solo - Caracterização I. Escola Superior de
Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.44

**FOTOINTERPRETAÇÃO DE REDES DE DRENAGEM E CARACTERIZAÇÃO
DO RELEVO DE DOIS SOLOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO-SP.**

Luiz Carlos Ferreira da Silva

Aprovada em 04/10/93

Comissão Julgadora:

Prof.Dr. Valdemar Antonio Demétrio	ESALQ/USP
Prof.Dr. Geraldo Victorino de Franca	ESALQ/USP
Prof.Dr. Walter Politano	FCAVJ/UNESP
Prof.Dr. Edson José de Arruda Leme	CCA/UFSCar
Prof.Dr. Rubismar Stolf	CCA/UFSCar

Prof.Dr. Valdemar Antonio Demétrio

- Orientador -

HOMENAGEM

**A meu pai Olavo Ferreira da Silva,
que fez da vida uma obra de arte,
meu reconhecimento, amor e saudade.**

(in memoriam)

**À minha mãe Lourdes Gomes da Silva
minha gratidão e carinho.**

À

Heloísa, minha esposa, meu
reconhecimento pelo incentivo,
compreensão e participação.

Flávia e Vítor, meus filhos,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Valdemar Antonio Demétrio, do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"-USP., por sua valiosa orientação, colaboração irrestrita, companheirismo e apoio.
- Ao Prof. Dr. Geraldo Victorino de França, Coordenador do Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"-USP., pelas sugestões, colaboração e amizade em nossa convivência acadêmica.
- Ao Centro de Ciências Agrárias-Araras/Universidade Federal de São Carlos -por possibilitarem a realização deste trabalho.
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"-USP., especialmente aos docentes e funcionários do curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
- Ao CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de estudo para a realização do curso de pós-graduação.
- À Sra. Heloísa Zutin Ferreira da Silva pelo trabalho de digitação.
- À Srta. Roseli Maria Botezelli pelos trabalhos de desenho.
- Ao Prof. Caetano Brugnaro do Centro de Ciências Agrárias Araras/UFSCar pela importante colaboração.
- Aos colegas José Carlos Casagrande e Miguel Angelo Maniero pelo incentivo, colaboração e apoio durante todo o curso.

SUMÁRIO

	<u>Página</u>
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
RESUMO	xvi
SUMMARY	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos	3
2.2. Estudo de bacias hidrográficas e composição de redes de drenagem	8
2.3. Estudo das amostras circulares	15
2.4. Padrão de drenagem: tipos, características e significados	18
2.5. Relações entre solos e características das redes de drenagem	20
2.6. Relações entre solos e características do relevo	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Material	27
3.1.1. Descrição geral da área de estudo	27
3.1.2. Solos	30
3.1.2.1. Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos	32
3.1.2.2. Areia Quartzosa	38
3.1.3. Bacias hidrográficas e amostras circulares	41
3.1.4. Fotografias aéreas	41
3.1.5. Estereoscópios	41
3.1.6. Material cartográfico	41
3.1.7. Outros materiais	42

3.2. Métodos	42
3.2.1. Seleção das áreas de estudo	42
3.2.2. Escolha das fotografias aéreas	42
3.2.3. Obtenção dos mapas básicos de drenagem	43
3.2.4. Seleção das bacias hidrográficas e amostras circulares	43
3.2.5. Análise das bacias hidrográficas	44
3.2.5.1. Propriedades dimensionais	44
3.2.5.2. Propriedades não dimensionais	45
3.2.6. Análise das redes de drenagem	45
3.2.6.1. Composição das redes de drenagem	45
3.2.6.2. Características das redes de drenagem	48
3.2.7. Análise dos índices de relevo	51
3.2.7.1. Índices de relevo em bacias hidrográficas	51
3.2.7.2. Índices de relevo em amostras circulares	53
3.2.8. Análise estatística	55
4. RESULTADOS	57
4.1. Características das bacias hidrográficas relativas à drenagem	57
4.1.1. Características não dimensionais	57
4.1.2. Características dimensionais	57
4.1.3. Análise dimensional e teste de semelhança geométrica	57
4.2. Características das amostras circulares relativas à drenagem	63
4.3. Características das redes de drenagem	63
4.3.1. Características descritivas das redes de drenagem	63
4.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem	63

4.3.2.1. Determinadas em bacias hidrográficas	63
4.3.2.2. Determinadas em amostras circulares	63
4.3.3. Composição das redes de drenagem	70
4.3.3.1. Número de segmentos de rios ..	70
4.3.3.2. Razão de ramificação (R_b)	70
4.3.3.3. Comprimentos totais de segmentos de rios	70
4.3.3.4. Razão de comprimentos totais ($R\&w$)	71
4.3.3.5. Comprimentos médios de segmentos de rios	71
4.3.3.6. Razão de comprimentos médios ($R\&$)	71
4.3.4. Comparação entre dados que expressam a composição das redes de drenagem	84
4.3.4.1. Comparação entre os valores de número de segmentos de rios, comprimentos totais e médios de segmentos de rios ..	84
4.3.4.2. Comparação entre valores médios da razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios	84
4.4. Características quantitativas dos parâmetros de relevo	84
4.4.1. Determinadas em bacias hidrográficas ..	84
4.4.2. Determinadas em amostras circulares ...	94
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	102
5.1. Características das bacias hidrográficas	102
5.2. Características dimensionais das amostras circulares	103
5.3. Características das redes de drenagem	104

5.3.1. Características descritivas das redes de drenagem	104
5.3.2. Características quantitativas das re- des de drenagem	105
5.3.2.1. Características quantitati- vas determinadas em bacias hidrográficas	105
5.3.2.2. Características quantitati- vas determinadas em amostras circulares	106
5.3.3. Composição das redes de drenagem	107
5.3.3.1. Análise do número de segmen- tos de rios	107
5.3.3.2. Análise da razão de ramifi- cação	108
5.3.3.3. Análise dos comprimentos to- tais de segmentos de rios	109
5.3.3.4. Análise da razão de compri- mentos totais	110
5.3.3.5. Análise dos comprimentos mé- dios de segmentos de rios	110
5.3.3.6. Análise da razão de compri- mentos médios	111
5.3.4. Análise conjunta do número, compri- to total e comprimento médio de seg- mentos de rios	111
5.3.5. Análise conjunta das razões de rami- ficação, de comprimentos totais e de comprimentos médios	112
5.4. Análise das características do relevo	112
5.4.1. Características do relevo nas bacias hidrográficas	112
5.4.2. Características do relevo nas amos- tras circulares	113
6. CONCLUSÕES	116
7. LITERATURA CITADA	118

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1.	Média e erro-padrão de várias características da camada superficial (a) e sub-superficial (b) de Podzólicos Vermelho-Amarelos, Unidade Serrinha	35
Tabela 2.	Média e erro-padrão de várias características de Solos Litólicos, Unidade Li5	37
Tabela 3.	Média e erro-padrão de várias características da camada superficial (a) e sub-superficial (b) de Areia Quartzosa	40
Tabela 4.	Características descritivas das redes de drenagem segundo LUEDER (1959)	49
Tabela 5.	Classes de textura topográfica baseadas na razão de textura média, conforme proposição de SMITH (1950), e adaptação de FRANÇA (1968)	50
Tabela 6.	Características não dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas	60
Tabela 7.	Características dimensionais das bacias hidrográficas selecionadas	61
Tabela 8.	Análise dimensional e semelhança geométrica aplicada às bacias hidrográficas selecionadas	62
Tabela 9.	Características dimensionais das amostras circulares representativas das unidades de solos estudadas	66
Tabela 10.	Características descritivas das redes de drenagem das unidades de solos estudadas ..	67

Tabela 11.	Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das bacias hidrográficas a representativas das unidades de solos estudadas	68
Tabela 12.	Caraterísticas quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das amostras circulares representativas das unidades de solos estudadas	69
Tabela 13.	Número de segmentos de rios em cada ordem média e erro-padrão e a média ponderada em relação à área para as bacias hidrográficas em cada unidade de solo estudada	72
Tabela 14.	Número de segmentos de rios em cada ordem e o número total, calculados, para as unidades de solos estudadas segundo a equação de MAXWELL (1955) e Lei de HORTON (1945)	73
Tabela 15.	Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada por MAXWELL (1955), ($\log N_w = \log a - \log b \times w$) para os números de segmentos de rios em cada unidade de solo estudada, coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação	74
Tabela 16.	Valores observados e valores médios calculados para a razão de ramificação (R_b) das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas	75
Tabela 17.	Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem, comprimento total observado em cada bacia hidrográfica, médias e erro-padrão e as respectivas médias ponderadas em relação à área para as unidades de solos estudadas	76

Tabela 18. Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total de rios nas bacias hidrográficas para cada unidade de solo; médias observadas e calculadas segundo a Equação de FRANÇA (1968) e Lei de HORTON (1945)	77
Tabela 19. Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada por FRANÇA (1968), $(\log Lw + \log \alpha - w \log b)$ para os comprimentos totais de segmentos de rios em cada unidade de solo estudada; coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2)	78
Tabela 20. Valores observados e valores médios calculados para a razão de comprimentos totais ($R\&w$) das bacias e drenagem representativas das unidades de solos estudadas	79
Tabela 21. Comprimentos médios de rios em cada ordem das bacias hidrográficas, médias e erro-padrão e a média ponderada em relação à área dos comprimentos médios, para as unidades de solos estudadas	80
Tabela 22. Valores médios calculados para os comprimentos médios de rios (Lm) em cada ordem de ramificação das bacias de drenagem representativas das unidades de solos estudadas	81
Tabela 23. Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada para comprimentos médios de rios por VASQUES FILHO (1972), $\log Lm = \log \alpha + w \log b$, para as unidades de solos estudadas; coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2)	82

Tabela 24. Valores observados para a razão de comprimentos médios das redes de drenagem das bacias hidrográficas e os valores médios em cada unidade de solo estudada	83
Tabela 25. Número de segmentos de rios, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem e valores totais calculados para redes de drenagem das unidades de solos estudadas	85
Tabela 26. Valores médios calculados para as razões de ramificação (R_b); de comprimentos totais (R_{Σ}) e de comprimentos médios (R_D), das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas	86
Tabela 27. Características quantitativas dos parâmetros de relevo das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas	93
Tabela 28. Características quantitativas dos parâmetros de relevo das amostras circulares representativas das unidades de solos estudadas	101

LISTA DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura 1. Divisão regional do Estado de São Paulo ...	29
Figura 2. Divisão climática do Estado de São Paulo...	31
Figura 3. Modelo da amostragem de WENTWORTH (1930) adaptado por KÖFLER (1982)	54
Figura 4. Bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento Grupamento Indis- criminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos .	58
Figura 5. Bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento Areia Quartzosa	59
Figura 6. Amostras circulares representativas da unidade de mapeamento Grupamento Indis- criminado Podzólicos Vermelho-Amarelos	64
Figura 7. Amostras circulares representativas da unidade de mapeamento Areia Quartzosa	65
Figura 8. Relevo da bacia hidrográfica 1 represen- tativa da unidade de mapeamento Grupamen- to Indiscriminado de Podzólicos Vermelho- Amarelos	87
Figura 9. Relevo da bacia hidrográfica 2 represen- tativa da unidade de mapeamento Grupamen- to Indiscriminado de Podzólicos Vermelho- Amarelos	88
Figura 10. Relevo da bacia hidrográfica 3 represen- tativa da unidade de mapeamento Grupamen- to Indiscriminado de Podzólicos Vermelho- Amarelos	89
Figura 11. Relevo da bacia hidrográfica 4 represen- tativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa	90

Figura 12.	Relevo da bacia hidrográfica 5 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa	91
Figura 13.	Relevo da bacia hidrográfica 6 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa	92
Figura 14.	Relevo da amostra circular C1 representativa da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos	95
Figura 15.	Relevo da amostra circular C2 representativa da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos	96
Figura 16.	Relevo da amostra circular C3 representativa da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos	97
Figura 17.	Relevo da amostra circular C4 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa	98
Figura 18.	Relevo da amostra circular C5 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa	99
Figura 19.	Relevo da amostra circular C6 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa	100

FOTOINTERPRETAÇÃO DE REDES DE DRENAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO RELEVO DE DOIS SOLOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO-SP.

Autor: LUIZ CARLOS FERREIRA DA SILVA
Orientador: PROF.DR.VALDEMAR ANTONIO DEMÉTRIO

RESUMO

Foi efetuada em dois solos do Estado de São Paulo, a caracterização das redes de drenagem através de fotointerpretação de fotografias aéreas verticais na escala 1:25.000, bem como a caracterização dos relevos utilizando-se cartas planialtimétricas na escala 1:10.000, visando-se a distinção entre os dois solos.

As unidades de solos estudadas foram:

- a) Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos.
- b) Areia Quartzosa.

A área de estudo localiza-se entre os paralelos 22°25'S e 22°35'S e os meridianos 47°45'WGr e 47°55'WGr, na região fisiográfica denominada Depressão Periférica ou Paleozóica, sub-região Médio Tietê, no município de São Pedro, Estado de São Paulo.

As redes de drenagem de cada unidade de solo foram representadas por três bacias hidrográficas de terceira ordem e por três amostras circulares de 10 km².

As mesmas bacias hidrográficas e amostras circulares utilizadas no estudo da drenagem foram empregadas na análise dos índices de relevo.

No estudo da composição das redes de drenagem foram analisados o número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios, bem como as razões de ramificação, de comprimento total e de comprimentos médios, determinadas em bacias hidrográficas.

Quanto as características quantitativas das

redes de drenagem foram estudadas a densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e classe de textura topográfica, determinadas tanto em bacias hidrográficas como em amostras circulares.

No tocante ao relevo, foram estudados os seguintes índices: amplitude altimétrica, razão de relevo, declividade média dos segmentos de rios de 1ª ordem e declividade média da bacia, determinados em bacias hidrográficas. Em amostras circulares foram analisados os índices: amplitude altimétrica máxima, declividade média e comprimento médio das vertentes.

A análise, comparação e discussão dos resultados permitiram as seguintes conclusões principais:

- As características quantitativas do padrão de drenagem, tais como, frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura, isoladamente ou em conjunto, foram eficientes na distinção entre os solos estudados, tanto em bacias hidrográficas como em amostras circulares, sendo que nas amostras circulares os valores obtidos apresentaram diferenças mais marcantes.
- Nas bacias hidrográficas, os índices de relevo, quais sejam, amplitude altimétrica, razão de relevo, declividade média dos segmentos de rios de 1ª ordem e declividade média da bacia foram eficientes na distinção entre os solos estudados.
- Nas amostras circulares os índices de relevo, tais como, declividade média e comprimento médio das vertentes permitiram a distinção entre os solos, enquanto que a amplitude altimétrica máxima não apresentou diferenças entre os dois solos.
- Para os solos estudados, nas condições existentes e com a metodologia empregada, de modo geral, a obtenção e o uso dos índices de drenagem apresentaram maior facilidade, rapidez e eficiência que os índices de relevo.

**PHOTOINTERPRETATION OF DRAINAGE NETWORKS AND RELIEF
CHARACTERIZATION OF TWO SOIL TYPES
IN SÃO PEDRO COUNTY, SP.**

Author: LUIZ CARLOS FERREIRA DA SILVA

Adviser: PROF.DR. VALDEMAR ANTONIO DEMÉTRIO

SUMMARY

The characterization of the drainage network by photointerpretation of vertical aerial photos on a 1:25,000 scale and the characterization of the relief by using planialtimetric charts on a 1:10,000 scale were established in two soil types of the State of São Paulo. Determining differences between the two soil types constituted the objective of this study.

The two soil units studied were the following: a) Arenic Abruptic Paleudalt, Arenic Abruptic Paleudult; b) Typic Quartzipsamment. The geographic area lays between parallels 22°25'S and 22°35'S and meridians 47°45'WGr and 47°55'WGr, in the physiographic region named Peripheric Depression or Paleozoic, Medium Tiete sub-region, in São Pedro County.

The drainage newtwork of each soil unit was represented by three third-order watersheds and by three 10 km²-circular samples. The same watersheds and circular samples were also used for analysing relief indices.

The study of composition of the drainage networks included analysis of stream segments number as well as total and average lenght. Bifurcation, total, and average lenght ratios were determined in watersheds.

Quantitative characteristics of the drainage networks were studied by determining drainage density, stream frequency, average texture ratio and topographic texture class of the drainage networks and in circular samples as well.

Concerning the relief, indices were determined in watersheds as follows: altimetric amplitude, relief ratio, first-order stream segments average slope and watershed average slope. Indices determined in circular samples were the following: maximum altimetric amplitude, average slope and average slope length.

Based on the analyses, comparison, and discussion of data, the following conclusions can be withdrawn:

- All the drainage standards quantitative characteristics analysed, i.e., stream frequency, drainage density, and average texture ratio, either individually or aggregated were efficient for establishing differences between the types of soil studied, both in circular samples and watersheds. In circular samples, however, differences were more distinct.
- In watersheds, relief indices, i.e., altimetric amplitude, relief ratio, first-order stream segments and watersheds average slope were all efficient for distinguishing the soil types studied.
- In circular samples, relief indices, i.e., average slope and average slope length allowed for the distinction between the types of soil, whereas the maximum altimetric amplitude did not present differences.
- Under the existing conditions and using the described methodology, establishing and applying drainage indices were easier, faster, and more efficient than relief parameters for distinguishing the soil types.

1. INTRODUÇÃO

A rede de drenagem é um dos componentes da paisagem mais fáceis de se observar nas fotografias aéreas e, devido à quantidade de informações que fornece tem sido utilizada em diversos trabalhos.

Assim, os pesquisadores têm procurado através da rede de drenagem com maior frequência, encontrar aspectos qualitativos e quantitativos representativos das unidades de solos estudadas. Mais recentemente, estudos estão sendo desenvolvidos no sentido de se pesquisar a viabilidade da utilização também das características do relevo, buscando dessa forma a relação entre os aspectos da drenagem superficial e do relevo com a natureza e propriedades dos solos.

Partindo-se da premissa que solos diferentes devem apresentar diferenças significativas na composição e nas características de suas redes de drenagem bem como nas do relevo, pretende-se mediante o emprego de fotografias aéreas e cartas planialtimétricas analisar as características qualitativas e quantitativas da rede de drenagem e índices de relevo de bacias hidrográficas e amostras circulares de duas unidades de solos desenvolvidos a partir de materiais de origem semelhantes, com os seguintes objetivos:

a) Avaliar a importância dos parâmetros: número, comprimento total e comprimento médio de rios que compõem as redes de drenagem, na diferenciação das duas unidades de solos.

b) Verificar o significado das características quantitativas do padrão de drenagem,

frequência de rios, densidade de drenagem, razão de textura e classe de textura topográfica, determinadas em bacias hidrográficas e amostras circulares, na diferenciação das unidades de solos estudadas.

c) Verificar a eficiência dos índices de relevo amplitude altimétrica, razão de relevo, declividade média dos segmentos de rios de primeira ordem e declividade média, determinados em bacias hidrográficas, e dos índices amplitude altimétrica máxima, declividade média e comprimento médio da vertente, determinados em amostras circulares, na individualização dos solos estudados.

d) Comparar os parâmetros de drenagem com os índices de relevo, bem como o emprego de bacias hidrográficas e amostras circulares, nos aspectos de facilidade de aplicação e eficiência, na individualização dos solos estudados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos

As fotografias aéreas são de grande utilidade no estudo de solos, especialmente na sua interpretação e mapeamento. Existe um grande número de trabalhos ressaltando a utilização de fotografias aéreas, evidenciando as vantagens e restrições a que estão sujeitas.

A interpretação fotográfica é, segundo COLWELL (1952), o ato de examinar as imagens fotográficas de objetivos com a finalidade de identificar e avaliar a sua significância; enquanto que para SUMMERSON (1954), de uma maneira mais geral, é a previsão do que não pode ser visto. Esta definição apresenta maior afinidade com a fotointerpretação ligada à pedologia, visto que a fotografia aérea mostra apenas os aspectos da superfície da terra, e não as variações em profundidade que caracterizam uma unidade de solo. Entretanto, os vários aspectos que ocorrem na superfície tais como vegetação, formas topográficas, drenagem, erosão, tonalidades fotográficas e uso da terra, podem indicar a ocorrência de solos diferentes.

SIMONSON (1950), ROURKE & AUSTIN (1951), citam que as fotografias aéreas foram utilizadas pela primeira vez em levantamento de solos em 1929 por Bushnel e colaboradores.

Para SIMONSON (1950), o maior avanço em levantamento de solos nas duas décadas anteriores a 1950, foi a utilização de fotografias aéreas pelos pedólogos.

Segundo AMARAL & AUDI (1972), a utilização e interpretação de fotografias aéreas através de técnicas adequadas, em levantamentos de solos, planejamentos conservacionistas e outros estudos de caráter pedológico, é denominada fotopedologia, que vem a ser a parte da fotointerpretação que se dedica ao estudo de solos.

Para esses mesmos autores, a fotografia aérea apresenta-se como material de trabalho muito útil nos levantamentos de solos, proporcionando ganho de tempo, precisão de limites e visão global da paisagem com riqueza de detalhes. A fotografia aérea pode ser utilizada como base cartográfica preliminar, auxiliando os trabalhos de campo no traçado dos roteiros mais interessantes e possibilitando a separação das unidades de solos diretamente sobre as fotografias.

BOMBERGER & DILL (1960) comentam que, em levantamento de solos, o trabalho de campo não pode ser substituído completamente pela utilização de fotografias aéreas, pois elas mostram apenas a superfície do solo, que muitas vezes está mal visível. Salienta, entretanto, a presença de padrões tais como o relevo, drenagem, erosão, vegetação, que permitem ao fotointérprete tirar inferências sobre a natureza e distribuição dos solos e de seus materiais de origem.

GOOSEN (1968) lembra ainda que os perfis de solos não podem ser inferidos unicamente através de fotografias aéreas, que no entanto favorecem sensivelmente o rendimento e a exatidão dos trabalhos. Este autor admite também que a utilização da fotointerpretação é mais importante em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

De acordo com BURINGH (1960), nos

levantamentos de solos efetuados sem a utilização de fotografias aéreas, aproximadamente vinte por cento das observações de campo são gastos para identificação e classificação de solos, e o restante do tempo é gasto para localizar os limites de solos. A utilização de fotografias aéreas permitiria o traçado de grande parte desses limites diretamente na fotoimagem sendo necessária apenas algumas verificações de limites no campo.

LUEDER (1959) concluiu que em mapeamento de reconhecimento, o esforço de trabalho com o uso de fotointerpretação corresponde a um décimo do que seria necessário sem a sua utilização; para levantamentos semi-detalhados a economia seria de dez a noventa por cento, ao passo que para levantamentos detalhados a economia corresponde a apenas dez por cento.

Para RABBEN (1960), a utilização das fotografias aéreas é baseada em três fatos fundamentais:

a) Cada fotografia representa uma grande área da superfície terrestre, sendo aproximadamente de 20 km² na escala 1:20.000 e cerca de 33 km² na escala 1:25.000.

b) Os pares estereoscópicos possibilitam a observação tridimensional da superfície da terra e dos objetos sobre ela localizados.

c) As fotografias aéreas proporcionam um caráter permanente das imagens e possibilitam medições a qualquer momento e em condições favoráveis de trabalho.

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

a) Solos semelhantes apresentam, nas fotografias aéreas, padrões semelhantes.

b) Solos diferentes ocorrem com padrões diferentes.

c) Correlações de características da imagem

fotográfica com as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório podem ser inferidas por meio de fotointerpretação.

De acordo com RABBEN (1960), RAY (1963), RICCI & PETRI (1965), a interpretação fotográfica efetua-se em duas etapas: a primeira consiste de observações, coleta de dados, medições e identificação das imagens fotográficas. A segunda consiste na indução e ou dedução de fenômenos ou de relações, incluindo a aplicação de informações obtidas na solução de problemas específicos.

GOOSEN (1968), discorrendo sobre interpretação de fotografias aéreas aplicada a levantamentos de solos, preconiza a existência de três métodos distintos:

a) Método de análise dos padrões de FROST (1960), que considera como padrões indicativos das condições da superfície e subsuperfície do terreno, a forma da terra, a drenagem, os aspectos da erosão, a vegetação, a tonalidade fotográfica e o uso da terra. Conhecidas as condições ambientais dos solos estudados, o fotointérprete divide as grandes unidades da paisagem em unidades menores e examina os padrões locais em estereoscopia para o estabelecimento de correlações.

b) Método de análise fisiográfica, mencionando por BURINGH (1960), e aperfeiçoado por GOOSEN (1968), que requer amplo conhecimento dos processos (intemperização, erosão, sedimentação, etc) que atuam na formação das paisagens, bem como de suas influências na interpretação das fotografias aéreas. O terreno é classificado segundo unidades fisiográficas, as quais correspondem a uma associação única de solos. Para a eficiência do método é necessário um bom conhecimento de geomorfologia por parte do pedólogo.

c) Método de análise dos elementos, desenvolvidos por BURINGH (1960), que apresenta sobre os

demais métodos a vantagem da possibilidade de sua utilização por pedólogos com pouca experiência em fotointerpretação. Compreende a análise sistemática dos elementos relacionados com as condições do solo de uma região, baseada na relação entre as características da superfície do terreno e condições do solo. Utilizando-se do princípio de convergência de evidências, as unidades de solos podem ser separadas e identificadas.

Em RAY (1963) está contida a informação segundo a qual a forma fisiográfica é o elemento mais importante da fotopedologia, podendo entretanto, a drenagem e o relevo fornecerem informações de mesma importância.

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

GOOSEN (1968) comenta que essa divisão em três métodos individuais de interpretação fotográfica é relativamente artificial e, dependendo da maneira como é conduzido o levantamento, dois ou mesmo três métodos podem ser utilizados simultaneamente.

Através do método de análise dos elementos, FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), LEÃO (1973, 1983), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFLER (1976a), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977), CARVALHO (1977), SILVA (1977), POLITANO (1980, 1992), VETTORAZZI (1985), ANGULO FILHO (1981 e 1986), e LIMA (1987), dimensionaram índices referentes a bacias hidrográficas e ou amostras circulares, de redes de drenagem a partir de fotografias aéreas verticais, com o objetivo de investigar as suas significâncias em relação a diferentes unidades de solos, bem como estabelecer parâmetros para sua identificação.

2.2. Estudo de bacias hidrográficas e composição de redes de drenagem

O estudo de bacias hidrográficas pode ser feito de duas maneiras: qualitativa e quantitativamente. Entretanto, segundo FRANÇA (1968), somente após 1945 é que alguns pesquisadores passaram a utilizar-se da análise quantitativa de bacias hidrográficas e de suas redes de drenagem mudando assim o rumo das linhas de pesquisa, que anteriormente se apoiava quase que exclusivamente nas análises descritivas.

De acordo com ENGELN (1942), 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.

Com base nas descrições da composição da rede de drenagem, HORTON (1945), deu um caráter quantitativo a esses estudos, considerando as relações infiltração/deflúvio e os processos de erosão pelas águas correntes. HORTON (1945), estabeleceu leis fundamentais relacionando o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica.

Pode ser encontrado em HORTON (1945), o sistema europeu de classificação de rios em ordens de ramificação, no qual o rio principal é designado como de primeira ordem, seus tributários imediatos como de segunda ordem e assim sucessivamente, sendo atribuído a ordem mais elevada aos tributários menores.

Invertendo o sistema europeu de classificação, HORTON (1945) propôs que os tributários menores, não ramificados, sejam considerados de primeira ordem, sendo o rio principal o de ordem mais elevada. Esta inversão no sistema de designação de ordens de ramificação,

segundo STRAHLER (1957), facilitou a análise e comparação das redes de drenagem, uma vez que estas somente podem ser comparadas quando se consideram elementos de mesma ordem de ramificação.

O sistema de HORTON (1945), para designar as ordens de ramificação foi adotado por vários autores, tais como: MAXWELL (1955), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), CURTIS *et alii* (1965), FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973 e 1983), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFLER (1976, 1976b), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977), SILVA (1977), CARVALHO (1977), POLITANO (1980), VETTORAZZI (1985), ANGULO FILHO (1981, 1986), LIMA (1987).

HORTON (1945) denomina como "composição da rede de drenagem" o número e comprimento de rios de diferentes ordens ou classes, independentes do padrão. Afirma o autor ter a composição um alto grau de significância hidrológica, enquanto que o padrão isolado tem pouca ou nenhuma significância, embora seja um indicador de controle geológico.

Estudando a significância das diferenças na composição e características do padrão de drenagem em diferentes solos, FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), VASQUES FILHO (1972), FADEL (1972), LEÃO (1973 e 1983), GEVAERD (1974), CARVALHO (1977), FREIRE (1977), POLITANO (1980,1992), VETTORAZZI (1985), ANGULO FILHO (1981, 1986) e LIMA (1987), obtiveram dados significativos para a distinção dos solos estudados.

Ainda a respeito da composição das redes de drenagem, HORTON (1945), apresentou a "lei do número de rios" e a "lei dos comprimentos de rios". A primeira lei 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 de rios de primeira ordem, tendo como base a razão de comprimentos médios.

De acordo com MAXWELL (1955), existe uma relação linear entre o logaritmo do número de segmentos de rios de cada ordem e as respectivas ordens de ramificação, com pequena dispersão. A equação linear é $\log N_w = \log a - w \log b$, onde N_w é o número de segmentos de rios em cada ordem e w é a ordem dos segmentos de rios. Utilizando essa equação, o autor propôs a expressão $R_b = \text{antilog } b$ como sendo a melhor expressão empírica da razão de ramificação (R_b).

STRAHLER (1957) relacionou os logaritmos dos comprimentos totais às ordens de rios e obteve uma regressão logarítmica expressa pelas equações:

$$L_w = a \cdot w^{-b}$$

$$\text{Log } L_w = \log a - b \log w \quad \text{onde:}$$

w = ordem de segmentos de rios

L_w = soma dos comprimentos de rios

FRANÇA (1968) ajustou uma equação exponencial do tipo $L_w = a \cdot b^{-w}$, para comprimentos totais de segmentos de rios, que expressa na forma logarítmica, resulta: $\text{Log } L_w = \log a - w \log b$, onde L_w = comprimento total de segmentos de rios na ordem w . Verificou também a validade da expressão $R_{lw} = \text{antilog } b$, onde R_{lw} é a razão de comprimentos totais.

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

Segundo STRAHLER (1957), a razão de

ramificação 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 consistência como na lei dos números de rios, sendo mais sensíveis a controles geológicos.

HORTON (1945) considerou a relação R_l/R_b um fator importante relacionado tanto à composição da rede de drenagem, como ao estágio de desenvolvimento da bacia hidrográfica.

Para HORTON (1945), os sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem se desenvolveram por processos de erosão hídrica que dependem inicialmente da proporção entre infiltração e deflúvio, sendo que em cada terreno existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície necessário para que se concentre o volume de deflúvio suficiente para que se inicie a formação de canais. Salienta o autor que o declive superficial, a capacidade de infiltração e a resistência à erosão definem o "comprimento crítico" do terreno, e que, analisando os fatores isoladamente, a resistência à erosão exerce efeito dominante em períodos longos no desenvolvimento dos sistemas hidrográficos e nas suas bacias de drenagem.

Para ZINKE (1960), a densidade de drenagem representa a expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração do solo, podendo ser considerada como uma descrição física quantitativa da bacia hidrográfica.

HORTON (1945) apresenta duas relações com as quais procurou dar um caráter quantitativo ao grau de desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica:

a) Densidade de drenagem, que foi definida

como o comprimento médio de rios por unidade de área, e é expressa pela equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

onde Lt é o comprimento total de rios das diversas ordens e A é a área da bacia hidrográfica.

b) Frequência de rios, que representa o número de rios por unidade de área e é expressa pela equação:

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

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

Como ocorrem variações de áreas nas bacias hidrográficas, HORTON (1945), e SMITH (1950), afirmam que os valores de densidade de drenagem e frequência de rios não podem ser utilizados na comparação direta entre pequenas e grandes bacias.

STRAHLER (1957) afirma que na comparação de bacias hidrográficas, é necessário que estas tenham a mesma ordem de ramificação, pois deste modo estarão sendo medidos elementos correspondentes do sistema de drenagem. Este autor, utilizando o princípio da análise dimensional e semelhança geométrica, tentou elaborar um sistema de geomorfologia quantitativa, afirmando que se houver semelhança geométrica aproximada entre duas bacias, todas as medições de comprimentos entre pontos correspondentes obedecerão uma razão de escala fixa.

A importância da semelhança geométrica preconizado por STRAHLER (1957) pode ser reforçada por ANDERSON (1957), que considera a área como a variável mais importante de uma bacia hidrográfica, visto que quase todas

as suas características estão a ela relacionadas.

Para 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 ser corrigidos pelo uso de logarítmos.

Segundo STRAHLER (1957), o cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas para representar a topografia das bacias hidrográficas, pois apresenta relação inversa com o comprimento de rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade de drenagem, há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1969), a densidade de drenagem pode ser classificada da seguinte forma:

<u>Dd em km/km²</u>	<u>Classificação</u>
< 7,5	baixa densidade de drenagem
7,5 - 10	média densidade de drenagem
> 10	alta densidade de drenagem

SMITH (1950) apresenta a definição de Johnson para textura topográfica, como sendo o tamanho médio das unidades componentes de um determinado relevo. Estudando a textura topográfica em regiões dissecada por rios, SMITH (1950), derivou um índice chamando-o de "razão de textura", e limitou a utilização da textura topográfica somente a regiões dissecada por rios, com a finalidade de expressar o espaçamento entre canais de drenagem em mapas topográficos contendo curvas de nível. Como os canais menores não são representados por convenções hidrográficas, e como as inflexões ou crênulas das curvas de nível em bons mapas topográficos indicam a existência de canais de drenagem permanentes ou temporários, o autor recomenda a escolha da curva de nível que possua o maior número de crênulas dentro da bacia de drenagem.

Este índice é calculado pela equação:

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

onde N é o número de rios permanentes ou temporários e P é o comprimento do perímetro da bacia expresso em milhas.

SMITH (1950), além das razões de textura de bacias de drenagem individuais, preconiza o valor médio ponderado para caracterizar a textura topográfica de uma determinada área como um todo, levando em consideração o tamanho de cada bacia. Para esse fim, utiliza-se a equação:

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

onde T_m é o valor médio ponderado da razão de textura, A é a área e T é a razão de textura de cada bacia. Propôs também o estabelecimento de limites de textura média, classificando assim, a textura topográfica em classes, da seguinte maneira:

<u>Classes de textura topográfica</u>	<u>Valores de T_m</u>
Grosseira	< 4,0
Média	entre 4,0 e 10,0
Fina	> 10,0

O mesmo autor comparou os valores de razão de textura e de densidade de drenagem e concluiu que existe um relacionamento em função logarítmica entre essas duas características quantitativas.

FRANÇA (1968) modificou a idéia de SMITH (1950), a fim de que fosse utilizada em fotografias aéreas, visto que os sistemas hidrográficos podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de fotografias aéreas. Assim, a

modificação de FRANÇA (1968), considera N como sendo o número total de rios da bacia. Além disso, adaptou a classificação de SMITH (1950), ao sistema métrico, transformando o perímetro de milhas para quilômetros. Os valores são os seguintes:

<u>Classes de textura topográfica</u>	<u>Valores de Tm</u>
Grosseira	< 2,5
Média	entre 2,5 e 6,2
Fina	> 6,2

Segundo FRANÇA (1968), quando se aumenta a ordem de ramificação da rede de drenagem, há também uma tendência natural de aumentar a razão de textura e diminuir a densidade de drenagem e a frequência de rios, visto que, aumentando a área da bacia o perímetro aumenta de um modo proporcionalmente menor.

Estudando a densidade de drenagem em um dado ambiente climático, RAY (1963), afirma que essa característica quantitativa está relacionada principalmente com a resistência dos materiais aí presentes. À medida que diminui a resistência à erosão, a densidade de drenagem aumenta. Aplicando esse fato ao caráter litográfico das rochas sedimentares examinadas em fotografias aéreas, afirma que os folhelhos e outras rochas similares de granulação fina tendem a apresentar drenagem de textura fina, enquanto que os arenitos tendem a apresentar textura grosseira. Admite, porém, que podem haver muitas exceções. Segundo FRANÇA (1968), tais exceções se explicam pela natureza dos solos que se desenvolvem a partir dessas rochas.

2.3. Estudo das amostras circulares

RAY & FISCHER (1960) estudaram a significância da densidade de drenagem em relação à

litologia, sobre mapas de drenagem decalcados de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 km^2 . Os autores concluíram que as determinações mais consistentes, para qualquer tipo de rocha, foram fornecidos pelas amostras circulares.

FRANÇA (1968) aplicou a metodologia de RAY & FISCHER (1960), para estudo de solos e destaca as seguintes vantagens da amostragem circular:

- 1) Elimina a influência da área, uma vez que todas as medições de comprimentos de rios referem-se à mesma área circular de 10 km^2 ;
- 2) A área circular de amostragem pode ser deslocada dentro da área de concentração de uma unidade de solo, sem consideração dos limites da bacia, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possível da unidade que está sendo amostrada.

Diversos pesquisadores brasileiros como MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973, 1983), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFLER (1976a, 1976b), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977), CARVALHO (1977), SILVA (1977), POLITANO (1980), VETTORAZZI (1985), ANGULO FILHO (1981, 1986) e LIMA (1987), confirmaram o trabalho de FRANÇA (1968). Ao investigarem redes de drenagem em diferentes solos do Brasil estabeleceram índices para caracterizá-los. A amostra circular em fotografias aéreas foi utilizada por todos esses autores.

SOUZA (1975) determinou em amostras circulares, além da densidade de drenagem a frequência de rios, a razão de textura e textura topográfica, verificando que os índices encontrados podem ser utilizados para diferenciar solos. Este mesmo autor salientou que o valor fixo de 10 km^2 de área para a amostra circular pode variar conforme a área de ocorrência dos solos, apoiando a afirmação de BURINGH (1960), que sugere uma amplitude de 10

a 100 km^2 para estudar a densidade de drenagem.

KOFLER (1976b) estudou a influência do tamanho da área da amostra circular na caracterização quantitativa do padrão de drenagem utilizando amostras circulares com áreas variando de 10 a 100 km^2 sobre fotografias aéreas verticais na escala $1:60.000$. Sua principal conclusão foi que a caracterização quantitativa de um padrão de drenagem e a sua comparação com outros, podem ser efetuados através dos índices densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio, independente do tamanho das amostras circulares, desde que sejam representativas.

DEMÉTRIO (1977), trabalhando com solos do município de Piracicaba, sobre fotografias aéreas utilizou-se de amostras circulares de área de 3 km^2 , 10 km^2 e 20 km^2 respectivamente para fotografias aéreas de escala $1:8.000$, $1:25.000$ e $1:60.000$; e concluiu que o sistema de amostragem mostrou-se eficiente e prático para a análise quantitativa do padrão de drenagem nas três escalas de fotografias aéreas consideradas. Este autor concluiu que existe uma tendência de aproximação das características quantitativas à medida que a escala das fotografias diminui, mas a densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura diferem entre si nas escalas extremas, ou seja $1:8.000$ e $1:60.000$.

ANGULO FILHO (1981), em trabalho com três solos da região de Piracicaba utilizou-se de amostras circulares de 10 km^2 em fotografias aéreas obtidas em quatro épocas diferentes para caracterização da rede de drenagem e concluiu que o sistema de amostragem circular mostrou-se eficiente e que os índices de drenagem diferiram entre si em função da época de amostragem.

2.4. Padrão de drenagem: tipos, características e significados

Segundo LUEDER (1959), o padrão de drenagem superficial é, com exceção do relevo o mais consistente e confiável indicador das condições do terreno para o fotointérprete. Afirma que, mesmo utilizando-se somente o padrão de drenagem e sem recorrer ao uso do estereoscópio, é possível delimitar áreas com diferenças evidentes.

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

PARVIS (1950) classifica os padrões de drenagem em dois grupos: básicos e modificados. Os tipos ou modelos de padrões de drenagem básicos são os seguintes: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Encontrando modificações destes seis padrões básicos, classificou e descreveu cerca de trinta tipos ou modelos.

WEG (1966) apresenta três tipos de padrões de drenagem:

- a) Padrões erosionais: são àqueles formados por algum processo destrutivo ou de erosão e cujos modelos se repetem com frequência;
- b) Padrões deposicionais: os desenvolvidos por processos construcionais de deposição, estando muito mais relacionado ao padrão do canal;
- c) Padrões especiais: todos aqueles que não são classificados pelos dois tipos anteriores.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1980), os padrões de drenagem referem-se ao arrançamento espacial dos cursos fluviais.

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

O desenvolvimento de bacias hidrográficas segundo HORTON (1945), deve ser discutido em termos de infiltração, deflúvio e erosão, iniciando-se em terrenos recentemente expostos. Admite porém, que pode haver interferências de estruturas geológicas ou distúrbios geológicos, posteriormente. Assim, controles de estruturas geológicas podem condicionar afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios.

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

LUEDER (1959) define padrão de drenagem como a distribuição dos canais de drenagem cobrindo toda uma área, com detalhes completos sobre: grau de integração; grau de controle; densidade; grau de uniformidade; orientação; angularidade; ângulos de confluência e tipo ou modelo.

RICCI & PETRI (1965) definem o termo "anomalia", como sendo a característica representativa de um ou mais cursos d'água que não se adaptam ao padrão dominante. As anomalias fornecem informações sobre a textura superficial, permeabilidade do material exposto,

grau de erodibilidade e condições estruturais presentes.

Para LUEDER (1959), um padrão de drenagem bem desenvolvido indica geralmente a ocorrência de materiais relativamente impermeáveis e baixa infiltração, enquanto que uma drenagem escassa indica infiltração e permeabilidade altas. Esclarece também que o padrão de drenagem não é influenciado apenas pela composição do material, havendo outros fatores, como a topografia do terreno.

Os padrões de drenagem, segundo RAY (1963), são importantes na interpretação geológica. Assim, um padrão de drenagem dendrítico ou dendrítico modificado, comumente aparece nas áreas onde a resistência à erosão é relativamente uniforme, como em muitos depósitos sedimentares ou mantos de intemperismos sobre embasamentos sem estrutura pronunciada. Onde existe maior controle estrutural, desenvolvem-se padrões em treliça, anular, retangular, etc. Comenta ainda que, devido à sensibilidade da drenagem à direção geral e à direção de mergulho, as mudanças em um padrão de drenagem podem fornecer informações muito importantes.

2.5. Relações entre solos e características das redes de drenagem

De acordo com FRANÇA (1968), a maior parte das pesquisas relacionadas à fotointerpretação de aspectos de terrenos, se preocupou com aspectos geológicos, e geomorfológicos, ou com solos considerados sob o ponto de vista da engenharia. Os poucos trabalhos existentes considerando o solo pedologicamente, são puramente descritivos. A partir do trabalho de FRANÇA (1968), entretanto, vários pesquisadores nacionais vêm caracterizando as redes de drenagem de solos brasileiros.

BURINGH (1960) afirma que em muitos casos é

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

Baseado em estudos realizados em regiões tropicais e subtropicais através de interpretação de fotografias aéreas, DUNBAR (1959), cita o fato que solos latossólicos com alto teor de argila apresentavam rede de drenagem com características semelhantes às que ocorrem em solos de classe textural "areia barrenta". FRANÇA (1968) e FADEL (1972), confirmaram essas informações, ao verificarem que solos argilosos dos grandes grupos Latossol Roxo e Latossol Vermelho Escuro orto, devido à estrutura maciça porosa do horizonte B, são mais permeáveis que solos arenosos do grande grupo Podzólico Vermelho Amarelo.

FRANÇA (1968) concorda até certo ponto com as afirmações de vários autores sobre capacidade de infiltração, resistência do solo à erosão e relação infiltração/deflúvio na formação e desenvolvimento das redes de drenagem; entretanto, afirma que as conclusões são de caráter geral, pois os materiais de estudo não foram pedologicamente bem definidos.

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

Segundo PARR & BERTHAND (1960), a velocidade da infiltração da água no solo é governada principalmente pelas condições de superfície e cobertura do solo, e depois pelas características do perfil do solo.

ZINKE (1960) considera que solos formados a partir de materiais de origem relativamente impermeáveis

apresentarão maiores proporções de deflúvio e, conseqüentemente, um maior desenvolvimento de sua rede de drenagem superficial.

Estudando bacias de 3ª e 4ª ordem de unidades de solos definidos ao nível de série, FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972) e VASQUES FILHO (1972), observaram a influência do fator solo no desenvolvimento das bacias hidrográficas e sua rede de drenagem.

FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) e LEÃO (1973), afirmam que as características da composição da rede de drenagem, para bacias de 3ª e 4ª ordem dependem em primeiro lugar, da natureza do solo, podendo ser modificadas por influências de controles geológicos.

SOUZA (1975) chama a 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 o trabalho de GEVAERD (1974), no nordeste brasileiro, levariam à conclusão que solos do grande grupo Brunizem Avermelhado, são mais permeáveis que aqueles dois latossóis, o que não é verdade.

VETTORAZZI (1985) observou que na região do rio Ribeira de Iguape, as características descritivas do padrão de drenagem não foram eficientes na diferenciação entre as unidades de solos estudadas.

Vários autores, como GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFLER (1976a), FREIRE (1977), SILVA (1977), CARVALHO (1977), NOGUEIRA (1979), PIEDADE (1980), LIMA (1984, 1987) e ANGULO FILHO (1981, 1986) confirmaram a influência do fator solo no desenvolvimento das bacias hidrográficas e suas redes de drenagem.

2.6. Relações entre solos e características do relevo

De acordo com Guerra (1979), o relevo é determinado pelos diferentes aspectos da superfície da crosta terrestre que definem o seu conjunto de desnivelamento. Para a topografia, o relevo é definido como a diferença de cotas entre diversos pontos, enquanto que para a geologia e geomorfologia, o relevo é um termo descritivo significando diferentes tipos de paisagens.

Dokuchaev, geólogo russo precursor da pedologia moderna, segundo VIEIRA (1975), foi o primeiro, a apontar a importância do relevo na formação e desenvolvimento do solo. De acordo com o pesquisador, a topografia pode atuar na modificação do perfil do solo através da sua influência nos seguintes aspectos:

- Na absorção e retenção pelo solo, da água de precipitação.

- No grau de remoção de partículas do solo pela erosão.

- Na movimentação do material em suspensão ou solução para outros locais.

A topografia, os padrões de drenagem, a erosão local, a vegetação natural e o trabalho do homem são, segundo AVERY (1977), os fatores mais importantes a serem considerados na evolução da paisagem, associados aos solos.

Segundo afirmações contidas no trabalho de CARVALHO (1981), o relevo apresenta influência marcante no grau de evolução dos solos, sendo superior inclusive, às diferenças de idade dos materiais de origem e paleoclimas ou modificações climáticas.

De acordo com MONTOYA (1983), as características do relevo influem diretamente na evolução dos solos e vice-e-versa e, dessa forma, analisando-se a

dinâmica das formas do relevo, conseqüentemente está se analisando a evolução dos solos, concomitantemente.

Vários autores, entre os quais HORTON (1945), SMITH (1950) e STRAHLER (1957) evidenciam a forte correlação entre as características da rede de drenagem e as condições topográficas, e que modificações nas condições topográficas de uma região podem conduzir à alterações no comportamento da drenagem.

De acordo com SMITH & AANDAHL (1957), as unidades de solos têm um padrão de distribuição na paisagem que se repete, o qual está relacionado com o relevo, com o material de origem desse solo, com os organismos que nele vivem e com o manejo dado ao solo pelo homem.

HILWING & KARALE (1973) afirmam que tanto os elementos do relevo como das vertentes apresentam uma alta relação com as condições do solo e com seus limites.

Sendo o relevo um dos principais agentes formadores do solo, deve-se esperar, segundo AMARAL & AUDI (1972), que com a variação do relevo ocorram diferenças nos solos, não sendo a recíproca verdadeira, pois o solo pode variar sem ocorrência de alterações do relevo, em virtude de possíveis modificações nos demais fatores de formação do solo. Por outro lado, ESPÍNDOLA (1977), considera que alterações do solo podem apresentar influências sobre o relevo.

De acordo com PENTEADO (1974), a ação do relevo influencia a dinâmica da água nos perfis, proporcionando a diferenciação dos solos na "catena".

RUELLAN (1971) afirma que a evolução dos solos e a evolução dos relevos estão estreitamente ligados entre si, influenciando-se mutuamente a todo instante.

As características dos canais de cabeceira, gradientes dos canais, forma dos declives no perfil, declividades e comprimento de rampa, densidades de drenagem são segundo STRAHLER (1952), informações morfológicas úteis

para comparar semelhanças ou diferenças entre regiões.

De acordo com AVERBECK & SANTOS (1969), a variação na declividade geralmente implica em variações do solo.

Segundo GOOSEN (1968), o relevo desempenha importante papel na determinação da natureza e intensidade dos distintos processos que formam o solo, tais como erosão e drenagem.

CHRISTOFOLETTI (1969) observou a influência do relevo na densidade de drenagem, com as áreas de relevo mais movimentado apresentando maior densidade de drenagem que as áreas do relevo suave. CHRISTOFOLETTI (1980), afirmou também que aumentos nos valores de declividade do terreno provocam aumentos nos valores de textura topográfica e densidade de drenagem.

WONG *et alii* (1977), visando a diferenciação de solos, efetuaram medições quantitativas dos fatores de relevo (declividade média, relevo amostral, relação relevo/elevação), através de amostras quadradas em cartas topográficas, sendo que o método de Wentworth para cálculo da declividade mostrou-se de grande eficiência.

KOFLER (1982) utilizou o método de Wentworth em determinações da declividade média do terreno e o recomenda em substituição ao método de STRAHLER (1956), pela maior facilidade de aplicação e por apresentar resultados semelhantes.

MARCHETTI (1969), estudando os índices de relevo declive máximo da encosta, razão de declives e razão de relevo, de solos da região de Piracicaba, concluiu que os índices mostraram-se eficientes na distinção entre os solos.

De acordo com LEÃO (1983), características do relevo como amplitude altimétrica, altura máxima e razão de relevo foram eficazes na distinção entre duas unidades de solos do Distrito Federal.

Trabalhando com duas classes de solos Podzólicos Vermelho-Amarelos, POLITANO (1980), concluiu que os índices de relevo apresentaram a mesma eficiência que os índices de drenagem na individualização desses solos.

VALÉRIO FILHO (1984) utilizou os índices de relevo declividade média, relevo local médio e comprimento médio da vertente, bem como índices de drenagem, na separação de unidades de solos. O autor concluiu que os índices de relevo apresentaram melhores resultados que os índices de drenagem, sendo que entre os índices de relevo, a declividade média e o relevo local médio foram mais eficientes que o comprimento médio da vertente.

ANGULO FILHO (1986), trabalhando com solos Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Litossolo, localizados no centro-oeste do Estado de São Paulo, estudou a distinção entre esses solos através de índices de relevo, bem como determinou a variação desses índices obtidos em cartas planialtimétricas em escalas diferentes. O autor concluiu que os índices de relevo foram eficientes na diferenciação dos solos estudados e que as cartas em escala maior são mais confiáveis para caracterizar quantitativamente o relevo.

LIMA (1987), estudando parâmetros de relevo para individualização de três unidades de solos, concluiu que a declividade média mostrou-se a mais eficiente das características de relevo estudada, seguida do comprimento médio da vertente e da amplitude altimétrica máxima.

Segundo WILKEN (1978), os relevos podem ser classificados qualitativamente de acordo com suas declividades médias, sendo que a declividade média de uma bacia hidrográfica é diferente para diferentes tipos de relevo e serve como sua caracterização objetiva.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Descrição geral da área de estudo

O local de estudo, município de São Pedro, localiza-se na região centro-oeste do Estado de São Paulo, na região fisiográfica denominada Depressão Periférica ou Paleozóica, sub-região Médio Tietê, entre os paralelos $22^{\circ}25'S$ e $22^{\circ}35'S$ e os meridianos $47^{\circ}45'WGr$ e $47^{\circ}55'WGr$.

A Depressão Paleozóica é constituída por uma faixa em forma de arco de círculo, intercalada entre as terras altas do embasamento cristalino (Planalto Atlântico) e uma alta escarpa festonada atravessada pelos rios mais importantes, como o Piracicaba, Tietê, Paranapanema e Mogi-Guaçu.

Nesta Depressão, predominam colinas tabuliformes apresentando vertentes suavizadas numa altitude entre 550m e 700m. Aparecem alguns alinhamentos de "cuestas" esparsas ou morros testemunhas, como a serra de Angatuba e as elevações entre os rios Piracicaba e o Tietê, tanto de arenito como de basalto.

A Depressão Paleozóica Paulista está dividida em três sub-regiões:

a) Campos Cerrados

b) Médio Tietê, onde se situa a área de estudo

c) Campos Gerais

O relevo varia de suave ondulado, com

declives da ordem de 5% a 10% até o ondulado dissecado, no qual os declives predominantes variam de 15% até 20%, chegando a beirar 30% nos casos extremos.

Várias litologias correspondentes à diversas Formações do Permo-Carbonífero refletem um complexo padrão de distribuição de arenitos, argilitos, siltitos, folhelhos entre outras rochas sedimentares.

Os solos, em decorrência dessa variada litologia apresentam um intrincado padrão de distribuição, sendo por isso impraticável mostrá-los em mapas que não sejam em escalas grandes.

Predominam nessas áreas os Podzólicos Vermelho-Amarelos. Areias Quartzosas, Solos Líticos e Latossolos apresentam também considerável expressão espacial.

O uso da terra é bastante intensivo, principalmente nas áreas com relevo suave ondulado, onde a cana-de-açúcar se sobressai como a principal cultura.

Manchas de terra com erosão laminar, em sulcos e mesmo voçorocas, algumas de porte avantajado, são comuns nesse compartimento.

A Figura 1 mostra a divisão regional do Estado de São Paulo.

O clima da região, segundo o sistema Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente é superior a 22°C. O total das chuvas do mês seco não ultrapasa 30 mm.

Este tipo climático é denominado "tropical de altitude", não chegando a ser verdadeiramente clima temperado, conservando as características tropicais que caracterizam o clima Aw, afora o abrandamento da temperatura.

O índice pluviométrico deste tipo climático no estado de São Paulo varia entre 1.100 e 1.700 mm diminuindo a precipitação de leste para oeste.

Figura 1 - Divisão Regional do Estado de São Paulo.

Fonte: Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (1960).

A estação seca nesta região ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo julho o mês que atinge máxima intensidade. O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro. A temperatura do mês mais quente varia entre 22°C e 24°C.

A Figura 2 mostra a divisão climática do Estado São Paulo.

3.1.2. Solos

Foram selecionados para a execução do presente trabalho, duas unidades de solos originadas de arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia.

As Formações Botucatu e Pirambóia são constituídas predominantemente por arenitos de granulação fina e média, podendo localmente apresentar arenitos conglomeráticos.

Os arenitos da Formação Pirambóia, por ocuparem posição estratigráfica inferior da Formação Botucatu, predominam na Depressão Periférica.

A distinção dessas formações é difícil de estabelecer no campo, contudo quando expostas, as posições estratigráficas auxiliam o reconhecimento, além de pequenas diferenças quanto ao grau de seleção à textura e aspectos morfoscópicos da fração areia.

Os solos selecionados para o estudo foram mapeados e classificados por OLIVEIRA *et alii* (1989) sob as designações de:

a) Grupamento Indiscriminado de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos abruptos, A moderado e espesso, textura arenosa/média. Unidade Serrinha.

b) Areia Quartzosa Álica profunda e pouco profunda, A moderado.

Figura 2 - Divisão climática do Estado de São Paulo.

Fonte: Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (1960).

3.1.2.1. Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos

De acordo com o levantamento semi-detalhado do Estado de São Paulo, quadrícula de Piracicaba, realizado por OLIVEIRA¹, esta classe compreende solos não hidromórficos com distinta individualização de horizontes decorrente de acentuada diferença em textura, cor ou estrutura. Apresentam horizonte B textural e a seguinte sequência de horizontes: A, E (pode faltar), Bt e C.

Normalmente a transição entre os horizontes A ou E (quando existe) e o Bt é abrupta ou clara.

Via de regra apresentam um gradiente textural elevado ($> 1,5$). Quando o gradiente textural é pouco expressivo, o horizonte Bt deve apresentar estrutura e cerosidade no mínimo moderada.

As cores do horizonte Bt vão desde a vermelha até a amarela e o teor de Fe_2O_3 extraível pelo ácido sulfúrico é inferior a 11% nos vermelhos.

Os solos Podzólicos Vermelho-Amarelos apresentam-se na folha de Piracicaba ocupando área de 126.294,75 ha, correspondente a 45,27% da área total.

Para a execução do trabalho utilizou-se a Unidade Serrinha (denominada no Levantamento Semi-Detalhado do Estado de São Paulo, quadrícula Piracicaba como PV7), que abrange os podzólicos mais frequentes da folha de Piracicaba, totalizando 53.306,08 ha, que corresponde a 42,22% dos podzólicos e 19,11% do total dos solos.

No local estudado, a Unidade Serrinha apresenta, em escala significativamente menor, inclusões de Solo Litólico, unidade Li5

A Unidade Serrinha é composta por algumas

¹OLIVEIRA, J.B. (Instituto Agrônomo de Campinas) Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de Piracicaba. Memorial Descritivo (Em elaboração).

classes de solos Podzólicos, sendo denominada como: Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos abruptos A moderado e espesso, textura arenosa/média (Arenic Abruptic Paleudalt, Arenic Abruptic Paleudult).

Dentre as classes da Unidade Serrinha, as mais comuns recebem a seguinte classificação:

-Podzólicos Vermelho Amarelos álico, Tb, abruptos, A moderado, textura arenosa/média e os equivalentes Distrófico.

-Grossarenic Kandiufults (EUA)

-Grossarenic Kandiufalfs (EUA)

-Haplic Acrisols (FAO)

-Halic Alisols (FAO)

Os solos desta unidade apresentam em comum as seguintes características:

-Caráter abrupto

-Tipo de horizonte A

-Textura

-Caráter álico ou distrófico

-Argila de atividade baixa

Os solos da Unidade Serrinha se relacionam com os arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia.

Situam-se entre as cotas 460 e 650m sendo o relevo predominante o ondulado e o ondulado dissecado, com declives da ordem de 8 a 20%.

A vegetação original, preservada apenas nas áreas mais movimentadas, é a mata tropical subperenifólia.

Sua utilização mais frequente é com a cultura de cana-de-açúcar e secundariamente com pastagens e reflorestamento.

É comum a ocorrência de áreas com marcantes sinais de erosão laminar e em sulcos.

A principal característica morfológica desses solos é a presença de horizonte E, de textura arenosa e coloração bastante clara, o qual passa abruptamente (< 5 cm) para um horizonte Bt de textura média

e de coloração vermelho-amarelada a brunada (5 YR 5/6, 5/8; 7,5 YR 5/6).

Como o horizonte E geralmente corresponde ao horizonte alvíco, esta sequência de horizontes com cores tão distintas é facilmente percebida no campo.

O horizonte A é também de textura arenosa sendo comum a presença de camada arenosa constituída pelos horizontes A e E com mais de 80cm de espessura suprajacente ao horizonte Bt. Tais solos correspondem aos do grande grupo "grossarenic" da classificação americana.

É também comum a presença de mosqueamento na base do horizonte E e/ou no topo do horizonte Bt, e de lamelas no horizonte A e E. Esses solos com mosqueamento se correlacionam com os do grande grupo "aquic" da classificação americana.

A estrutura do horizonte Bt é subangular média moderada raramente forte, e a cerosidade comum e moderada ou mesmo pouca e fraca.

Nos solos pouco profundos o horizonte Cr ou C/Cr inicia em torno de 100 cm de profundidade.

São solos predominantemente ácidos, álicos ou distróficos e com argila de atividade baixa.

O teor médio de C é relativamente baixo, mesmo na camada superficial.

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios e respectivos erros padrão de várias características da unidade de mapeamento Podzólico Vermelho-Amarelo, Unidade Serrinha.

Tabela 1. Média e erro padrão de várias características da camada superficial (a) e sub-superficial (b) de Podzólicos Vermelho-Amarelos, Unidade Serrinha.

Característica	Camada	Média	± Erro padrão
pH H ₂ O	a	5,3	± 0,1
	b	5,1	± 0,1
C(1)	a	0,7	± 0,1
	b	0,4	± 0,0
S(2)	a	1,5	± 0,3
	b	1,8	± 0,6
Al ³⁺ (2)	a	0,5	± 0,1
	b	1,8	± 0,4
CTC(2)	a	3,8	± 0,3
	b	4,9	± 0,6
CTC(3)	a	38,7	± 2,9
	b	22,0	± 2,4
V(1)	a	38	± 4
	b	33	± 5
m(1)	a	26	± 6
	b	50	± 7
Argila(1)	a	10	± 1
	b	23	± 1
Silte(1)	a	1	± 1
	b	1	± 0
A.fina (1)	a	67	± 3
	b	60	± 2
A.grossa (1)	a	21	± 3
	b	16	± 2

(1) %

(2) meq/100g TFSA

(3) meq/100g argila

Fonte: OLIVEIRA, J. B. (Instituto Agronômico de Campinas). Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo. Quadricula de Piracicaba. Memorial Descritivo (Em elaboração)

Conforme citado anteriormente, no local do estudo, a Unidade Serrinha apresenta em pequena escala inclusões de Solos Litólicos, Unidade Li5.

Os Solos Litólicos, de acordo com OLIVEIRA² compreendem solos pouco evoluídos, rasos (< 50 cm de espessura), com horizonte A assentado diretamente sobre a rocha coerente e dura (A, R) ou cascalheira espessa ou sobre horizonte C pouco espesso (A, C, R).

Os Solos Litólicos cobrem 44.460,88 ha no levantamento da região de Piracicaba, o que representa 15,8% da área total.

Os Solos Litólicos da unidade Li5, que ocupam área de 11.106,77 ha, 25% dos Solos Litólicos, apresentam a seguinte classificação:

- Solo Litólico Eutrófico, A moderado, textura média, substrato arenito das Formações Botucatu ou Pirambóia.

- Typic e Lithic Udorthents (EUA).

- Lithic Leptosols (FAO).

Os Solos Litólicos da unidade Li5 são provenientes de arenitos da Formação Botucatu ou Pirambóia. Ocorrem em geral em relevo ondulado dissecado ou forte ondulado com declives da ordem de 10 a 45%.

A vegetação primitiva é a mata tropical subperenifólia. São, por definição, solos rasos apresentando espessura inferior a 50 cm. A cultura da cana-de-açúcar é bastante utilizada, sendo a pastagem também comum.

Na Tabela 2 encontram-se os valores médios e respectivos erros padrão de várias características da unidade de mapeamento solos Litólicos, Unidade Li5.

²OLIVEIRA, J.B. (Instituto Agrônomo de Campinas) Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo. Quadricula de Piracicaba. Memorial Descritivo. (Em elaboração).

Tabela 2. Média e erro padrão de várias características de Solos Litólicos, Unidade Li5.

Característica	Média	± Erro Padrão
pH H ₂ O	5,2	± 0,3
C(1)	1,0	± 0,4
S(2)	5,4	± 3,1
Al ³⁺ (2)	0,7	± 0,7
CTC (2)	8,4	± 3,5
CTC (3)	71,1	± 14,8
V (1)	62	± 15
m (1)	15	± 16
Argila (1)	12	± 4
Silte (1)	10	± 9
Areia Fina (1)	60	± 15
Areia Grossa (1)	18	± 15

(1) %

(2) meq/100 g TFSA

(3) meq/100g argila

Fonte: OLIVEIRA, J. B. (Instituto Agronômico de Campinas). Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo. Quadricula de Piracicaba. Memorial Descritivo (Em elaboração)

3.1.2.2. Areia Quartzosa

Esta classe, de acordo com OLIVEIRA⁹ compreende solos essencialmente quartzosos desenvolvidos, sobre material de origem arenosa a exceção dos depósitos aluviais recentes, apresentando perfil constituído por um horizonte A fraco, moderado ou proeminente assentado sobre um regolito inconsolidado, pouco diferenciado.

A fração areia, representada essencialmente pelo quartzo, é igual ou superior a 70% e a fração argila inferior a 15%. Os minerais primários intemperizáveis são virtualmente inexistentes ou presentes em reduzidíssimas quantidades (<3%).

Esses solos, ocupam expressiva área no levantamento semi-detalhado de solos do Estado de São Paulo, quadricula de Piracicaba, com 19.302,27 ha, os quais correspondem a 6,92% da área total.

A classificação da Areia Quartzosa predominante é a seguinte:

- Areia Quartzosa álica, profunda, A moderado.

Typic Quartzipsamments (EUA).

Harpic Arenosols (FAO).

O material de origem da Areia Quartzosa se relaciona com os arenitos da Formação Pirambóia.

O relevo predominante é o suave ondulado, distribuído entre as cotas de 480 - 600 metros. Os declives variam de 2 a 10%, sendo aqueles com mais de 8% os menos frequentes. Na superfície de cimeira das colinas é comum encontrar-se amplas áreas de relevo quase aplainados.

A vegetação primitiva é o cerrado e o cerradão, os quais nos últimos anos tem cedido

⁹OLIVEIRA, B.J. (Instituto Agrônomo de Campinas). Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo. Quadricula de Piracicaba. Memorial Descritivo. (Em elaboração).

consideráveis espaços para a cultura da cana-de-açúcar.

As Areias Quartzosas apresentam horizonte A fraco ou moderado, com cerca de 15 a 20 cm de espessura, com coloração bruno-avermelhada (5,0 YR 4/3, 4/2) a bruno-escura (7,5 YR 4/3, 4/4).

A coloração um tanto escurecida raramente constitui A proeminente devido aos teores insuficientes de carbono.

São solos ácidos ou fortemente ácidos com valor médio de pH em água de 5,4 na camada superficial e de 4,9 na sub-superficial.

São solos derivados de arenitos, essencialmente quartzosos, apresentando consequentemente baixos teores de bases trocáveis. São solos álicos.

Na Tabela 3, encontram-se os valores médios e respectivos erros padrão de várias características dos solos da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Tabela 3. Média e erro padrão de várias características da camada superficial (a) e sub-superficial (b) de Areia Quartzosa.

Característica	Camada	Média	± Erro padrão
pH H ₂ O	a	5,4	± 0,2
	b	4,9	± 0,4
C(1)	a	0,6	± 0,3
	b	0,3	± 0,1
S(2)	a	1,1	± 0,8
	b	0,6	± 0,6
Al ³⁺ (2)	a	0,4	± 0,4
	b	1,0	± 0,4
CTC (2)	a	3,1	± 1,1
	b	2,5	± 0,8
CTC (3)	a	35,4	± 10,5
	b	20,7	± 8,7
V (1)	a	37	± 19
	b	22	± 20
m (1)	a	29	± 25
	b	58	± 33
Argila (1)	a	9	± 2
	b	13	± 2
Silte (1)	a	1	± 2
	b	1	± 2
Areia fina (1)	a	56	± 13
	b	55	± 14
Areia grossa (1)	a	35	± 13
	b	32	± 14

(1) %

(2) meq/100g TFSA

(3) meq/100g argila

Fonte: OLIVEIRA, J. B. (Instituto Agronômico de Campinas). Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo. Quadricula de Piracicaba. Memorial Descritivo (Em elaboração)

3.1.3. Bacias hidrográficas e amostras circulares

Foram selecionadas para o trabalho seis bacias hidrográficas de terceira ordem, enumeradas da seguinte maneira: bacias I, II e III, representando o Grupamento Indiscriminado de solos Podzólicos Vermelho-Amarelos e as bacias IV, V e VI representando a unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Foram também selecionadas seis amostras circulares enumeradas como C1, C2 e C3, representando o Grupamento Indiscriminado de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos e C4, C5 e C6, representando a Areia Quartzosa.

3.1.4. Fotografias Aéreas

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais de escala aproximada 1:25.000 provenientes da cobertura aerofotográfica efetuada pela VASP Aerofotogrametria S.A., em 1972 para o Instituto Brasileiro do Café.

Essas fotografias apresentam recobrimento de 60% aproximadamente na mesma faixa e 30% entre faixas adjacentes, o que permite a utilização de estereoscópios para a observação tridimensional dos elementos de estudo.

3.1.5. Estereoscópios

Foram utilizados estereoscópio de espelho marca Wild e estereoscópio de bolso marca Vasconcelos.

3.1.6. Material cartográfico

Foram utilizadas cartas planialtimétricas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), na escala 1:10.000,

editadas em 1979.

Utilizou-se também a carta pedológica do Levantamento Semi-Detalhado do Estado de São Paulo, Quadricula de Piracicaba, na escala 1:100.000, IAC/IGC, editada em 1989.

3.1.7. Outros materiais

As medições obtidas nas bacias hidrográficas e amostras circulares foram efetuadas com auxílio de planímetro polar, curvímetro, compasso e régua com escala.

3.2. Métodos

A metodologia utilizada em linhas gerais, é aquela descrita por FRANÇA (1968), acrescida de sugestões feitas por VASQUES FILHO (1972), SOUZA (1975), WILKEN (1978), KOFLER (1982) e VALÉRIO FILHO (1984).

3.2.1. Seleção das áreas de estudo

Tendo-se em vista que a linha básica de pesquisa deste estudo é a individualização de solos através de parâmetros de drenagem e relevo, inicialmente definiram-se as unidades de solos a serem estudadas, sendo o critério inicial, a seleção de áreas facilmente identificáveis no mapa pedológico do Levantamento Semi-Detalhado do Estado de São Paulo, Quadricula de Piracicaba, e nas cartas planialtimétricas.

3.2.2. Escolha das fotografias aéreas

Após a definição das unidades de solos que seriam estudadas, foram selecionadas as fotografias aéreas de ocorrência dessas unidades de solos, utilizando-se fotoíndices da região e a carta pedológica do Levantamento

Semi-Detalhado do Estado de São Paulo, Quadricula de Piracicaba. (IAC/IGC, 1989)

3.2.3. Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Em cada fotografia, alternadamente, foi delimitada a área útil sobre papel vegetal, de modo que ficou sempre uma fotografia sem papel transparente, o que facilitou a observação estereoscópica (RABBEN, 1960).

Assim, exames minuciosos permitiram o traçado das redes de drenagem, incluindo cursos permanentes e temporários, de acordo com as recomendações de LUEDER (1959), STRAHLER (1957), RAY (1960).

3.2.4. Seleção das bacias hidrográficas e amostras circulares

Após o traçado das redes de drenagem, foram demarcados os divisores de água, delimitando-se diversas bacias de 3ª ordem. Seguindo-se os critérios de mesma ordem de ramificação, semelhança geométrica e semelhança de solos, descritos por FRANÇA (1968), foram selecionadas três bacias hidrográficas de 3ª ordem para representar cada uma das duas unidades de solos a serem estudadas.

Procurou-se obter, dessa forma, a maior homogeneidade e representatividade possíveis das bacias hidrográficas.

Foi utilizado no presente trabalho o estudo também em amostras circulares tendo-se em vista a eficiência do método, conforme trabalhos de FRANÇA (1968), CARVALHO (1977), DEMÉTRIO (1977), ANGULO FILHO (1981, 1986), KOFLER (1976b), entre outros.

De posse dos mapas básicos de drenagem, selecionaram-se três amostras circulares de 10 km² para cada área de estudo. Procurou-se na demarcação dessas amostras que elas abrangessem o maior número de canais de

drenagem de ordens inferiores com base no sistema de HORTON (1945), modificado por STRAHLER (1957), conforme recomendação de NOGUEIRA (1979). Foi também observado que as amostras atingissem a parte mais elevada do relevo, onde se situam as cabeceiras da drenagem, que representam melhor as condições hidrológicas do perfil do solo, segundo CARVALHO (1977).

3.2.5. Análise das bacias hidrográficas

Análise e interpretações minuciosas das bacias selecionadas foram efetuadas de acordo com STRAHLER (1957), sendo utilizadas as propriedades descritas a seguir:

3.2.5.1. Propriedades dimensionais

a) Maior comprimento (C) - Medido desde a foz até o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas, acompanhando a direção do vale principal. Foi obtido utilizando-se escala e expresso em quilômetros.

b) Maior largura (L)- Medida transversalmente ao maior comprimento. Obtida com escala e expressa em quilômetros.

c) Comprimento do curso principal (Cp) - Medida correspondente à distância entre a nascente e a foz do rio principal. Obtido com curvímeter, segundo HORTON (1945) e expresso em quilômetros.

d) Perímetro da bacia (P) - Corresponde à medida do comprimento da linha do divisor de águas da bacia. Obtido com curvímeter e expresso em quilômetros.

e) Área (A) - Obtida com planímetro e expressa em quilômetros quadrados.

3.2.5.2. Propriedades não dimensionais

a) Forma aproximada - Determinada pelo contorno de bacia, recebendo designações como: oval, trapezoidal, losangular, etc.

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

c) Semelhança geométrica - O teste de semelhança geométrica foi efetuado em todas as bacias de cada unidade de solo, de acordo com STRAHLER (1957). Através do teste pode-se selecionar três bacias representativas de cada uma das duas unidades de solo em estudo.

3.2.6. Análise das redes de drenagem

A análise foi efetuada seguindo-se a sistemática de BURINGH (1960), na qual os elementos são considerados isoladamente e/ou em conjunto. Conforme a metodologia empregada por FRANÇA (1968), foram reunidos em dois grupos, de acordo com sua natureza: quanto à composição e quanto às características das redes de drenagem.

3.2.6.1. Composição das redes de drenagem

a) Ordem de ramificação - Os canais de drenagem 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 observados 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 calculados através dos seguintes procedimentos:

- média ponderada em relação à área das bacias;
- equação proposta por MAXWELL (1955) na forma:

$$\log N_w = \log a - w \log b$$
- lei do número de rios enunciada por HORTON (1945).

c) Comprimentos totais de rios - Foram medidos com curvímeter os segmentos de rios observados em cada ordem, e o comprimento total em cada bacia hidrográfica, sendo representados por L_w e L_t , respectivamente.

Foram calculados, para cada unidade de solo, os valores médios do comprimento total de segmentos de rios em cada ordem e do comprimento total, pelos seguintes modos:

- média ponderada em relação à área das bacias;
- equação proposta por FRANÇA (1968): $\log L_w = \log a - w \log b$;
- lei dos comprimentos de rios enunciada por HORTON (1945) e modificada por STRAHLER (1957).

d) Comprimentos médios de rios - Determinados em cada ordem, nas bacias hidrográficas, dividindo-se os comprimentos totais de segmentos de rios (L_w) pelo número de segmentos (N_w). O comprimento médio foi designado por L_m .

Foram calculados também os valores médios dos comprimentos médios de segmentos de rios em cada ordem, segundo os procedimentos:

- média ponderada em relação à área da bacia;
- equação proposta por VASQUES FILHO (1972);
- lei dos comprimentos dos rios enunciada por HORTON (1945).

e) Razão de bifurcação ou ramificação - É, a relação entre o número de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada, de acordo com HORTON (1945).

Foi designada por R_b e calculada relacionando-se o número de segmentos de rios entre cada duas ordens consecutivas, nas bacias hidrográficas, de acordo com STRAHLER (1957).

A razão de ramificação média foi também calculada para cada unidade de solo, pelos seguintes modos:

- média ponderada em relação à área dos dados observados nas bacias hidrográficas;
- segundo MAXWELL (1955), pela expressão $R_b = \text{antilog} b$;
- segundo FRANÇA (1968), pela relação:

$$R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$$

f) Razão de comprimentos totais - É definida por STRAHLER (1957) como a relação entre as somas dos comprimentos de segmentos de rios de uma dada ordem e da ordem imediatamente superior, sendo designada por R_{lw} .

Foram calculados também, para cada unidade de solo, os valores médios da razão de comprimentos totais, pelos seguintes procedimentos:

- média ponderada dos dados observados;
- equação proposta por FRANÇA (1968), onde $R_{lw} = \text{antilog} b$;
- pela relação preconizada por FRANÇA, (1968) onde:

$$R_l = \frac{R_b}{R_{lw}}$$

g) Razão de comprimentos médios - Trata-se, de acordo com HORTON (1945), da relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente inferior, sendo designada por R_l .

Foram calculados também, para cada unidade de solo, os valores médios da razão de comprimentos médios, das seguintes formas:

- média ponderada em relação à área dos valores observados nas bacias hidrográficas;
- equação proposta por VASQUES FILHO (1972), onde $R_l = \text{antilog} b$;
- relação proposta por FRANÇA (1968) onde $R_l = R_b/R_lw$

3.2.6.2. Características das redes de drenagem

Foram estudadas as características descritivas e características quantitativas na caracterização das redes de drenagem.

a) Características descritivas

Foram estudadas segundo LUEDER (1959), conforme indicado na Tabela 4.

A característica tipo ou modelo foi também observada, de acordo com PARVIS (1950).

Tabela 4. Características descritivas das redes de drenagem segundo LUEDER (1959).

Características	Níveis		
	Baixo	Médio	Alto
Grau de integração	Baixo	Médio	Alto
Densidade	Baixa	Média	Alta
Grau de uniformidade	Não unif.	Pouco unif.	Uniforme
Orientação	Não orient.	Pouco orient.	Orientada
Grau de controle	Baixo	Médio	Alto
Ângulos de junção	Agudos	Retos	Obtusos
Angularidade	Baixa	Média	Alta

b) Características quantitativas

- Densidade de drenagem - Foi calculada segundo HORTON (1945), representando a relação entre o comprimento total de rios e a área. A densidade de drenagem foi calculada nas bacias hidrográficas, sendo designada por Dd e nas amostras circulares sendo designada por Ddc.
- Frequência de rios - Foi calculada, de acordo com HORTON (1945), para bacias hidrográficas através da relação entre o número de rios e a área, sendo designada por F. Calculou-se também a frequência de rios nas amostras circulares, conforme sugestão de SOUZA (1975), a qual foi designada por Fc.
- Razão de textura - Calculada para bacias hidrográficas segundo definição de SMITH (1950), modificado por FRANÇA (1968), representa a relação entre o número total de rios e o perímetro da bacia, sendo designada por T. Foi também calculada para amostras circulares, conforme sugestão de SOUZA (1975), onde expressa a relação entre o número de rios e o perímetro da amostra circular, sendo

designada por T_c .

- Razão de textura média - Foi calculada segundo FRANÇA (1968), pela expressão:

$$T_m = \frac{\sum (A \times T)}{\sum A} \quad \text{onde:}$$

T_m = razão de textura média e

$\frac{\sum (A \times T)}{\sum A}$ é o valor médio ponderado da razão de textura das bacias.

Determinou-se também a razão de textura média para cada solo em amostras circulares, conforme proposto por SOUZA (1975), sendo designado por T_{mc}

- Textura topográfica - É baseada na razão de textura média, de acordo com SMITH(1950), adotando-se a modificação proposta por FRANÇA (1968), conforme consta na Tabela 5.

Determinou-se também a textura topográfica para amostras circulares.

Tabela 5. Classes de textura topográfica baseadas na razão de textura média, conforme proposição de SMITH (1950), e adaptação de FRANÇA (1968).

Classe de textura topográfica	Razão de textura média	
	Perímetro expresso em milhas	Perímetro expresso em km
Grosseira	< 4	< 2,5
Média	4 - 10	2,5 - 6,2
Fina	> 10	> 6,2

3.2.7. Análise dos índices de relevo

As bacias hidrográficas e amostras circulares de 10 km² demarcadas sobre as fotografias aéreas em escala 1:25.000 para obtenção dos índices de drenagem, foram transferidas nas devidas proporções para as cartas planialtimétricas em escala 1:10.000, nas quais foram determinados os índices de relevo.

3.2.7.1. Índices de relevo em bacias hidrográficas

A análise do relevo das bacias, desenvolveu-se obedecendo aos critérios e processos descritos na literatura, assim:

- Amplitude altimétrica - designada por H, corresponde à diferença entre a maior e menor cota altimétrica.
- Razão de relevo - foi calculada conforme proposição de SCHUMM (1965), através da relação entre a diferença de cota dos pontos extremos da bacia hidrográfica e seu comprimento. (Valores obtidos na bacia hidrográfica demarcada na carta planialtimétrica). É um número sem dimensão, facilmente correlacionável com outras medições.
- Declividade média dos segmentos de rios de primeira ordem (D) - foi obtida em valores de porcentagem para os segmentos de rios. O cálculo foi efetuado através da relação entre a amplitude altimétrica (diferença de nível) e a distância horizontal entre os pontos que definem cada segmento de rio na sua ordem de ramificação. Foram medidos com ponta seca e escala a partir do mapa planialtimétrico de cada bacia estudada.
- Declividade média da bacia - foi calculada através do método da "grade" descrito em WILKEN (1978).

A declividade média é determinada cobrindo-se a planta altimétrica da bacia em estudo com uma grade com malhas quadradas de 4 cm de lado. A orientação da grade deve ser tal que inclua dentro da área da bacia o maior número possível de vértices.

As declividades em cada vértice da grade são avaliados mediando-se na planta, os menores distância entre as curvas de nível sub-sequentes, e procedendo-se o quociente entre a equidistância das curvas de nível e a distância medida na planta.

Quando ocorrer no vértice um ponto entre duas curvas de nível de mesma altitude, a declividade é nula se o ponto estiver em fundo de vale e indeterminada se estiver em um espigão. Este último ponto é desprezado no cálculo da média.

Com os dados de declividades obtidos em cada vértice, organiza-se uma tabela na qual figuram, na coluna (1), classes de declividade escolhidas dentro dos limites mínimos e máximo das declividades existentes na bacia em estudo. As clases podem ter intervalos de 0,05 metros por metro.

Na coluna (2) são registrados o número de ocorrências dentro de cada classe.

Na coluna (3) são colocados os valores médios das classes de declividades, enquanto que na coluna (4) figuram os resultados dos produtos das colunas (2) e (3). A declividade média será o quociente entre o total da coluna (4) pelo total da coluna (2). Exemplo:

Declividade	Número de	Declividade	Produto
	ocorrências	média	(2) x (3)
(1)	(2)	(3)	(4)
0,000 - 0,0249			
0,025 - 0,0499			
0,050 - 0,0749			
.			
.			
.			
0,575 - 0,599			
<i>Somas</i>		-	

$$\text{Declividade média da bacia} = \frac{\sum (4)}{\sum (2)} \times 100$$

3.2.7.2. Índices de relevo em amostras circulares

Nas amostras circulares de 10 km² de área, das duas unidades de solos estudadas, foram determinados os seguintes índices de relevo:

- a) Declividade média (dw) - Determinada através do método de WENTWORTH (1930), e adaptado por KÖFLER (1982). O método baseia-se no número de curvas de nível interceptadas por linhas dispostas nas direções norte-sul, leste-oeste, noroeste-sudeste e nordeste-sudoeste e respectivas paralelas, traçadas na amostra circular sobre a carta planialtimétrica na escala 1:10.000, como mostra a Figura 3. O cálculo da declividade média foi obtido pela fórmula:

$$dw = \frac{E.N.}{636,6}, \text{ onde:}$$

E = equidistância vertical das curvas de nível em metros

N = número médio das curvas de nível interceptadas por quilômetro.

636,6 = constante para transformação da fórmula original para o sistema métrico decimal.

Esse método de obtenção da declividade média, foi também utilizado por VALÉRIO FILHO (1984), ANGULO FILHO (1986) e LIMA (1987), com resultados satisfatórios.

Figura 3 - Modelo da amostragem de WENTWORTH (1930), adaptado por KÖFLER (1982).

b) Amplitude altimétrica máxima (Hm) - corresponde a diferença entre a menor cota altimétrica (foz ou desembocadura) e a média dos valores de cota mais elevada entre os canais de primeira ordem do trecho superior (cabeceira) na bacia considerada. Recomenda-se considerar no mínimo dez pontos.

A amplitude altimétrica máxima corresponde ao relevo local médio, sugerido por GARCIA (1982), e foi utilizada por VALÉRIO FILHO (1984), ANGULO FILHO (1986) e LIMA (1987).

c) Comprimento médio das vertentes - obtido segundo VALÉRIO FILHO (1984), consiste na medida da distância entre os pontos de cota mais elevada e o canal de drenagem. Recomenda-se medir, com escala graduada no mapa planialtimétrico, somente os comprimentos das linhas normais aos canais de drenagem sendo essas medidas transformadas posteriormente por cálculo, no comprimento médio das vertentes.

3.2.8. Análise estatística

No presente trabalho foi adotado uma análise estatística baseada apenas na comparação entre médias e erro padrão da média. Esse procedimento foi motivado pelos seguintes aspectos:

A amostragem foi efetuada em pequeno número, devido aos solos da pesquisa apresentarem no local do estudo, um intrincado padrão de distribuição, com ocorrência que não permitiu amostragens de bacias hidrográficas e amostras circulares em maior número. Além disso, não houve aleatoriedade nas amostragens motivado pela necessidade de se trabalhar apenas com amostras que atendessem condições pré-estabelecidas (semelhança geométrica, mesma ordem de ramificação, e semelhança de solos), o que limitou o número de amostras disponíveis.

O emprego de estatística não paramétrica não é adequado para esse tipo de estudo pois pode, de acordo com ANGULO FILHO (1986), não evidenciar diferenças entre valores que visivelmente são diferentes. Isso ocorre, de acordo com CAMPOS (1983), devido aos testes não paramétricos em geral não levarem em consideração a magnitude dos dados que são comumente transformados de valores para simples ordens ou sinais o que leva a um desperdício de informações. Esse fato foi comprovado por VALÉRIO FILHO (1984), VETTORAZZI (1985) e ANGULO FILHO (1986).

4. RESULTADOS

4.1. Características das bacias hidrográficas relativas à drenagem

As seis bacias hidrográficas selecionadas, representativas das duas unidades de solos são encontradas nas Figuras 4 e 5.

As características analisadas nessas bacias são apresentadas a seguir:

4.1.1. Características não dimensionais

As características não dimensionais ou descritivas encontram-se na Tabela 6.

4.1.2. Características dimensionais

As características dimensionais estão apresentadas na Tabela 7.

4.1.3. Análise dimensional e teste de semelhança geométrica

A análise utilizada na seleção das bacias hidrográficas está apresentada na Tabela 8, e indica que as bacias hidrográficas se apresentam dentro das exigências estabelecidas por STRAHLER (1957).

Figura 4. Bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Figura 5. Bacias hidrográficas representativas da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

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

Unidade de solo	Bacia Hidrográfica	Ordem (w)	Forma aproximada	Simetria das Vertentes
Grup. Indiscr. PV	I	3a	Losangular	Simétrica
	II	3a	Oval	Simétrica
	III	3a	Losangular	Pouco simét.
Areia Quartzosa	IV	3a	Oval	Simétrica
	V	3a	Trapezoidal	Simétrica
	VI	3a	Oval	Assimétrica

Tabela 7. Características dimensionais das bacias hidrográficas selecionadas.

Unidade de solo	Bacia	Maior comprimento (C)	Maior largura (CL)	Comprim. dos rios			Perímetro (CP)	Área (CA)
				Principal (Cp)	Rede (Cr)			
Grup. Indiscr. PV	I	1,45	1,00	1,40	4,40		3,70	0,94
	II	1,38	1,00	1,40	3,60		3,50	0,91
	III	1,35	1,00	1,30	4,10		3,70	0,89
Areia Quartzosa	IV	1,42	1,37	1,40	3,40		4,40	1,34
	V	1,25	1,00	1,10	2,50		3,50	0,93
	VI	1,52	1,43	1,40	2,30		4,50	1,44

Tabela 8. Análise dimensional e semelhança geométrica aplicada às bacias hidrográficas selecionadas.

Unidade de solo	Bacias Comparadas	Razão de escala linear (R)					Razão média (Rm)	Razão Esc.	
								Quadrática	
		C/C'	L/L'	Cp/Cp'	Cr/Cr'	P/P'	A/A'	Rm ²	
Grup. Indiscr. PV	I/II	1,05	1,00	1,00	1,22	1,06	1,07	1,03	1,14
	I/III	1,07	1,00	1,08	1,07	1,06	1,06	1,06	1,04
	II/III	1,02	1,00	1,08	0,88	1,02	1,00	1,02	1,00
Areia Quartzosa	IV/V	1,14	1,37	1,27	1,36	1,26	1,28	1,44	1,64
	IV/VI	0,93	0,96	1,00	1,48	0,98	1,07	0,93	1,14
	V/VI	0,82	0,70	0,78	1,09	0,78	0,83	0,64	0,69

4.2. Características das amostras circulares relativas à drenagem

As amostras circulares com as respectivas redes de drenagem estão ilustradas nas Figuras 6 e 7.

As características dimensionais das amostras circulares, como o número de rios e comprimento da rede de drenagem estão indicados na Tabela 9.

4.3. Características das redes de drenagem

4.3.1. Características descritivas das redes de drenagem

A Tabela 10 apresenta as características descritivas das redes de drenagem dos solos estudados.

4.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem

4.3.2.1. Determinadas em bacias hidrográficas.

As características quantitativas das redes de drenagem frequência de rios (F), frequência de rios média (F_m), densidade de drenagem (D_d), densidade de drenagem média (D_{dm}), razão de textura (T), razão de textura média (T_m) e a classe de textura topográfica, estão indicadas na Tabela 11.

4.3.2.2. Determinadas em amostras circulares

As mesmas características quantitativas determinadas para as bacias hidrográficas foram determinadas também nas amostras circulares e encontram-se na Tabela 12.

Figura 6. Amostras circulares representativas da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Figura 7. Amostras circulares representativas da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Tabela 9. Características dimensionais das amostras circulares representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Amostra circular	Comprimento da rede (km)	Número de rios
Grup. Indiscr. PV	C1	41,0	137
	C2	39,0	145
	C3	38,5	107
Média ± erro padrão		39,50 ± 0,763	129,66 ± 11,566
Areia Quartzosa	C4	17,2	18
	C5	14,2	16
	C6	12,5	19
Média ± erro padrão		14,63 ± 1,374	17,66 ± 0,882

Tabela 10. Características descritivas das redes de drenagem das unidades de solos estudadas.

Características	Grup. Indiscriminado de PV.	Areia Quartzosa
Grau de integração	Alto	Alto
Densidade	Alta	Baixa
Grau de uniformidade	Pouco uniforme	Não uniforme
Orientação	Pouco orientado	Orientado
Grau de controle	Baixo	Alto
Ângulos de junção	Agudos passando a retos	Agudos e retos
Angularidade	Baixa	Moderada
Tipo ou modelo	Arborescente	Arborescente modificado
Anomalias	---	Variações locais na dens.

Tabela 11. Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas.

Características quantitativas	Unidades de solos					
	Grup. Indíscr. PV		Areia Quartzosa			
	Bacias hidrográficas		Bacias hidrográficas		Bacias hidrográficas	
	I	II	III	IV	V	VI
Frequência de Rios (CF)	14,89	15,38	16,85	8,21	9,68	3,47
Frequência de Rios média (CFm)		15,71			7,12	
Erro padrão da média		+0,589			+1,874	
Densidade de drenagem (Dd)	4,68	3,96	4,61	2,54	2,69	1,60
Densidade de drenagem média (Dd _m)		4,42			2,28	
Erro padrão da média		+0,229			+0,341	
Razão de textura (T)	3,78	4,00	4,05	2,50	2,57	1,11
Razão de textura média (T _m)		3,94			1,98	
Média		3,94			2,06	
Erro padrão da média		+0,0829			+0,475	
Classe de textura topográfica		Média			Grosseira	

Tabela 12. Características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica das amostras circulares representativas das unidades de solos estudadas.

Características Quantitativas observadas	Unidades de solos					
	Grup. Indiscr. PV			Areia Quartzosa		
	Amostras circulares			Amostras circulares		
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Frequência de Rios (Fc)	13,7	14,5	10,7	1,80	1,60	1,90
Frequência de Rios média (Fcm)		12,97			1,77	
Erro padrão da média		$\pm 1,157$			$\pm 0,088$	
Densidade de drenagem (Ddc)	4,10	3,90	3,85	1,72	1,42	1,25
Densidade de drenagem média (Ddcm)		3,95			1,46	
Erro padrão da média		$\pm 0,076$			$\pm 0,137$	
Razão de textura (Tc)	12,23	12,95	9,55	1,61	1,43	1,70
Razão de textura média (Tcm)		11,58			1,58	
Erro padrão da média		$\pm 1,034$			$\pm 0,079$	
Classe de textura topográfica		Fina			Grosseira	

4.3.3. Composição das redes de drenagem

4.3.3.1. Número de segmentos de rios

Os resultados obtidos para número de segmentos de rios em cada ordem, os totais observados em cada bacia hidrográfica, as médias ponderadas em relação à área, o valor médio e erro padrão estão apresentados na Tabela 13.

Os números de segmentos de rios em cada ordem e o total, calculados pela equação de MAXWELL (1955) e pela lei de HORTON (1945), bem como as médias ponderadas em relação às áreas das bacias, para as duas unidades de solos encontram-se na Tabela 14.

As formas assumidas pela equação de MAXWELL (1955), para os solos estudados, encontram-se na Tabela 15.

4.3.3.2. Razão de ramificação (R_b)

Na Tabela 16, encontram-se os valores observados para a razão de ramificação nas bacias hidrográficas, os valores calculados através da média ponderada dos dados observados e os valores calculados segundo MAXWELL (1955).

4.3.3.3. Comprimentos totais de segmentos de rios

Os comprimentos totais de segmentos de rios observados em cada ordem, os comprimentos totais de rios nas bacias, as médias ponderadas em relação à área e os valores médios e erro padrão estão indicados na Tabela 17. Os valores obtidos pela equação de FRANÇA (1968), e pela lei dos comprimentos de rios de HORTON (1945), encontram-se na Tabela 18. As formas assumidas pela equação de FRANÇA (1968), para os solos estudados encontram-se na Tabela 19.

4.3.3.4. Razão de comprimentos totais ($R\tilde{w}$)

Os valores obtidos pela razão entre os comprimentos totais de segmentos de rios de 1ª ordem com os de 2ª ordem, e entre os de 2ª ordem com os de 3ª ordem para as bacias hidrográficas encontram-se na Tabela 20. Encontram-se também na Tabela 20, os valores médios ponderados em relação à área, bem como os valores obtidos através da equação ajustada por FRANÇA (1968), $\text{Log}Lw = \log a - \log b$, onde $R\tilde{w} = \text{antilog}b$.

4.3.3.5. Comprimentos médios de segmentos de rios

Os comprimentos médios observados para segmentos de rios em cada ordem, as médias ponderadas em relação à área, e os valores médios e erro padrão, para as duas unidades de solos estão apresentadas na Tabela 21.

A Tabela 22, apresenta os comprimentos médios de segmentos de rios calculados segundo a equação de VASQUES FILHO (1972), pela relação Lw calculado/ Nw calculado, pela lei de HORTON (1945) e pela média ponderada dos dados observados.

As formas assumidas pela equação ajustada por VASQUES FILHO (1972), para os solos estudados encontram-se na Tabela 23.

4.3.3.6. Razão de comprimentos médios ($R\tilde{l}$)

Os valores da razão de comprimentos médios, ou seja, a relação entre os comprimentos médios de segmentos de rios de 3ª ordem com os de 2ª ordem e destes com os de 1ª ordem; bem como a média ponderada em relação à área dos valores obtidos, e o valor calculado através da equação de VASQUES FILHO (1972), onde $R\tilde{l} = \text{antilog}b$ estão contidos na Tabela 24.

Tabela 13. Número de segmentos de rios em cada ordem, média e erro padrão e a média ponderada em relação à área para as bacias hidrográficas em cada unidade de solo estudada.

Número de segmentos de rios em cada ordem-Nw												
Ordem W	Grup. Indiscriminado PV					Areia Quartzosa						
	Bacias Hidrog.		Média ± erro padrão		Média Pond.	Bacias Hidrog.		Média ± erro padrão		Média Pond.		
	I	II	III	IV	V	VI	V	VI	V	VI	V	VI
1ª	14	14	15	14,33 ± 0,333	14,32	11	9	5	8,33 ± 1,764	8,17		
2ª	3	5	5	4,33 ± 0,667	4,31	3	2	2	2,33 ± 0,333	2,36		
3ª	1	1	1	1 ± 0	1,00	1	1	1	1 ± 0	1,00		
Nº total												
rios N	18	20	21	19,67 ± 0,882	19,63	15	12	8	11,67 ± 2,028	11,53		

Tabela 14. Número de segmentos de rios em cada ordem e o número total, calculados para as unidades de solos estudadas segundo a Equação de MAXWELL (1955) e Lei de HORTON (1945).

Número de segmentos de rios em cada ordem (Nw)						
Ordem w	Grup. Indiscriminado PV			Área Quartzosa		
	Média Ponderada	Calculados		Média Ponderada	Calculados	
		Equação	Horton		Equação	Horton
1 ^a	14,32	14,95	14,28	8,17	7,88	8,18
2 ^a	4,31	3,95	3,78	2,36	2,68	2,86
3 ^a	1,00	1,04	1,00	1,00	0,94	1,00
Nº total rios N	19,63	19,94	19,06	11,53	11,30	12,04

Tabela 15. Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada por MAXWELL (1955). ($\log NW = \log a - \log b \times W$), para os números de segmentos de rios em cada unidade de solo estudada, coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2).

Unidade de solo	Equação	r	r^2
Grup. Indiscriminado PV	$\log NW = 1,75271 - 0,5780.W$	-0,998	0,996
Areia Quartzosa	$\log NW = 1,34059 - 0,4561.W$	-0,994	0,989

Tabela 16. Valores observados e valores médios calculados para a razão de ramificação (Rb) das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas.

Ordens Relacionadas	Grup. Indíscr. PV			Areia Quartzosa		
	Rb Observada	Rb Calculada	Rb Observada	Rb Observada	Rb Calculada	Rb Calculada
	<u>Bacias Hidrográficas</u>			<u>Bacias Hidrográficas</u>		
	I	II	III	IV	V	VI
W ₁ /W ₂	4,67	2,80	3,00	3,67	4,50	2,50
				3,91	3,78	
					2,89	2,86
W ₂ /W ₃	3,00	5,00	5,00	3,00	2,00	2,00

Tabela 17. Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem, comprimento total observado em cada bacia hidrográfica, médias aritméticas e erros padrão e as respectivas médias ponderadas em relação à área para as unidades de solos estudadas.

Comprimentos totais de segmentos de Rios em cada ordem-Lw (km)												
Ordem W	Grup. Indiscriminado PV					Arela Quartzosa						
	Bacias Hidrog.		Média $\pm$ erro padrão		Média Pond.	Bacias Hidrog.		Média $\pm$ erro padrão				
	I	II	III	erro padrão	Pond.	IV	V	VI	erro padrão	Pond.		
1 ^a	2,4	1,8	2,2	2,13 $\pm$ 0,176	2,14	1,8	1,4	1,4	1,53 $\pm$ 0,133	1,55		
2 ^a	0,9	1,1	0,9	0,97 $\pm$ 0,067	0,97	0,9	0,6	0,5	0,67 $\pm$ 0,120	0,67		
3 ^a	1,1	0,7	1,0	0,93 $\pm$ 0,120	0,93	0,7	0,5	0,4	0,53 $\pm$ 0,088	0,54		
Total												
(Lt)	4,4	3,6	4,1	4,03 $\pm$ 0,330	4,04	3,4	2,5	2,3	2,73 $\pm$ 0,338	2,76		

Tabela 18. Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total de rios nas bacias hidrográficas para cada unidade de solo; médias observadas e calculadas segundo a Equação de FRANÇA (1968) e Lei de HORTON (1945).

Comprimentos totais de segmentos de rios em cada ordem (Lw)							
Ordem W	Grup. Indiscriminado PV			Areia Quartzosa			
	Média	----- Calculados		Média	----- Calculados		
		Ponderada	Equação		Ponderada	Equação	Horton
1 ^a	2,14		1,89		2,14	1,40	1,54
2 ^a	0,97		1,24		1,41	0,82	0,91
3 ^a	0,93		0,82		0,93	0,49	0,54
Total							
(Lt)	4,04		3,95		4,48	2,71	2,99

Tabela 19. Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada por FRANÇA (1968), $(\log Lw = \log a - W \log b)$ para os comprimentos totais de segmentos de rios em cada unidade de solo estudada; coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2).

Unidade de solo	Equação	r	r^2
Grup. Indiscriminado PV	$\log Lw = 0.4571 - W \cdot 0.1810$	0.889	0.79
Areia Quartzosa	$\log Lw = 0.3742 - W \cdot 0.2289$	0.946	0.89

Tabela 20. Valores observados e valores médios calculados para a razão de comprimentos totais (Rlw) das bacias de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

		Grup. Indiscr. PV			Areia Quartzosa		
Ordens Relacionadas		Rlw Observada	Rlw Calculada	Rlw Observada	Rlw Calculada		
		<u>Bacias Hidrográficas</u>		<u>Bacias Hidrográficas</u>		<u>Média Equação</u>	
		I	II	III	IV	V	VI
W ₁ /W ₂		2,67	1,64	2,44	1,62	2,50	2,80
						1,67	1,52
							1,78 1,69
W ₂ /W ₃		0,82	1,57	0,90	1,29	1,20	1,25

Tabela 21. Comprimentos médios de rios em cada ordem das bacias hidrográficas, médias e erros padrão e a média ponderada dos comprimentos médios, para as unidades de solos estudadas.

Ordem	Comprimentos médios de segmentos de rios em cada ordem-Lw (km)										
	W	Grup. Indiscriminado PV					Areia Quartzosa				
		Bacias Hidrog.		Média + erro padrão		Média Pond.	Bacias Hidrog.		Média + erro padrão		Média Pond.
		I	II	III	IV	V	VI	V	VI	erro padrão	Pond.
1 ^a	0,17	0,13	0,15	0,15 ± 0,011	0,15	0,16	0,15	0,28	0,20 ± 0,042	0,20	
2 ^a	0,30	0,22	0,18	0,23 ± 0,035	0,23	0,30	0,30	0,25	0,28 ± 0,017	0,28	
3 ^a	1,10	0,70	1,00	0,93 ± 0,120	0,93	0,70	0,50	0,40	0,53 ± 0,088	0,53	

Tabela 22. Valores médios calculados para os comprimentos médios de rios (Lm) em cada ordem de ramificação de drenagem representativa das unidades de solos estudadas.

Comprimentos médios de rios em cada ordem-Lm (km)									
Ordem w	Grup. Indiscriminado PV				Areia Quartzosa				
	Média Pond.	Equação	Lw/Nw Calculados	Horton	Média Pond.	Equação	Lw/Nw Calculados	Horton	
1 ^a	0,15	0,13	0,13	0,15	0,20	0,19	0,18	0,20	
2 ^a	0,23	0,32	0,31	0,37	0,28	0,32	0,30	0,32	
3 ^a	0,93	0,79	0,79	0,93	0,53	0,50	0,52	0,52	

Tabela 23. Formas assumidas pelas substituições numéricas na equação ajustada para comprimentos médios de rios por VASQUES FILHO (1972). $\text{LogLm} = \text{Loga} + \text{Wlogb}$, para as unidades de solos estudadas; coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2).

Unidade de solo	Equação	r	r^2
Grup. Indiscriminado PV	$\text{Log Lm} = -1,2903 + 0,3962 \cdot w$	0,956	0,914
Areia Quartzosa	$\text{Log Lm} = -0,9324 + 0,2116 \cdot w$	0,984	0,968

Tabela 24. Valores observados para a razão de comprimentos médios das redes de drenagem das bacias hidrográficas e os valores médios em cada unidade de solo estudada.

Ordens Relacionadas	Grup. Indíscr. PV			Areia Quartzosa		
	R _f Observadas	R _f Calculada	R _f Observadas	R _f Calculada	R _f Observadas	R _f Calculada
	<u>Bacias Hidrográficas</u>			<u>Bacias Hidrográficas</u>		
	I	II	III	IV	V	VI
W ₃ /W ₂	3,67	3,18	5,55	2,33	1,66	1,60
					2,83	2,49
						1,76 1,62
W ₂ /W ₁	1,76	1,69	1,20	1,87	1,76	1,35

4.3.4. Comparação entre dados que expressam a composição das redes de drenagem

4.3.4.1. Comparação entre os valores de número de segmentos de rios, comprimentos totais e médios de segmentos de rios

As características N_w , L_w e L_m para cada ordem e o total das bacias encontram-se na Tabela 25.

4.3.4.2. Comparação entre os valores médios da razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios

As características R_b , R_{lw} e R_l obtidos pelas diferentes formas, encontram-se na Tabela 26.

4.4. Características quantitativas dos parâmetros de relevo

4.4.1. Determinadas em bacias hidrográficas

As seis bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas, obtidas das cartas planialtimétricas em escala 1:10.000 são apresentadas nas Figuras 8, 9, 10, 11, 12 e 13.

As características quantitativas dos parâmetros de relevo: amplitude altimétrica, razão de relevo, declividade média da bacia e declividade média dos segmentos de rios de 1ª ordem, bem como os valores médios e respectivos erros-padrão encontram-se na Tabela 27.

Tabela 25. Número, comprimento total, e comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem e valores totais calculados para redes de drenagem das unidades de solos estudadas.

Ordem w	Grup. Indiscriminado PV			Areia Quartzosa		
	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm
<u>Média Ponderada</u>						
1 ^a	14,32	2,14	0,15	8,17	1,55	0,20
2 ^a	4,31	0,97	0,23	2,36	0,67	0,28
3 ^a	1,00	0,93	0,93	1,00	0,54	0,53
Total	19,63	4,04	-	11,53	2,76	-
<u>Equações</u>						
1 ^a	14,95	1,89	0,13	7,68	1,40	0,19
2 ^a	3,95	1,24	0,32	2,68	0,82	0,32
3 ^a	1,04	0,82	0,79	0,94	0,49	0,50
Total	19,94	3,95	-	11,30	2,71	-
<u>Horton</u>						
1 ^a	14,28	2,14	0,15	8,18	1,54	0,20
2 ^a	3,78	1,41	0,37	2,86	0,91	0,32
3 ^a	1,00	0,93	0,93	1,00	0,54	0,52
Total	19,06	4,48	-	12,04	2,99	-

Tabela 26. Valores médios calculados para as razões de ramificação (Rb); de comprimentos totais (Rlw) e de comprimentos médios (RD) das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

Característica	Grup. Indiscr. PV		Areia Quartzosa	
	Média	Equação Relação*	Média	Equação Relação*
Razão de Ramificação (Rb)	3,91	3,78	2,89	2,86
Razão de Comprimentos Totais (Rlw)	1,67	1,52	1,78	1,69
Razão de Comprimentos Médios (RD)	2,83	2,49	1,76	1,62

$$* Rl = \frac{Rb}{Rlw}$$

Figura 8 - Relevo da bacia hidrográfica 1 representativa da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Figura 9 - Relevo da bacia hidrográfica 2 representativa da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Figura 10 - Relevo da bacia hidrográfica 3 representativa da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Figura 11 - Relevo da bacia hidrográfica 4 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Figura 12 - Relevo da bacia hidrográfica 5 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Figura 13 - Relevo da bacia hidrográfica 6 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Tabela 27. Características quantitativas dos parâmetros de relevo das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de Solo	Maior		Menor	Amplit. Altim. CHD (m)	Razão de Relevo (%)	Declividade Média	
	Bacia Hídr.	Alt. (m)	Alt. (m)			Bacia (%)	Rios 1ª (%)
Grup. Indiscr. PV	I	605	490	115	7,7	22,1	16,9
	II	580	475	105	7,6	19,7	19,9
	III	580	495	85	5,9	22,0	16,0
Média	588,33	486,67	101,67	7,07	21,26	17,6	
± erro padrão	± 8,333	± 6,009	± 8,819	± 0,584	± 0,784	± 1,179	
Areia Quartzosa	IV	565	490	75	4,3	13,7	10,3
	V	560	490	70	5,6	10,8	14,2
	VI	565	490	75	4,3	9,2	11,3
Média	563,33	490	73,33	4,73	11,23	11,93	
± erro padrão	± 1,667	0	± 1,667	± 0,433	± 1,317	± 1,169	

4.4.2. Determinadas em amostras circulares

As seis amostras circulares de 10 km^2 de área, representativas das duas unidades de solos estudadas, obtidas das cartas planialtimétricas escala 1:10.000, são apresentadas nas Figuras 14 a 19.

A Tabela 28, apresenta as características quantitativas dos parâmetros de relevo: amplitude altimétrica máxima (H_m), declividade média (d_w) e comprimentos médio das vertentes, bem como o valor médio, e erro padrão da média, das amostras circulares representativas dos solos em estudo.

Figura 14. Relevo da amostra circular C₁ representativa da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos

Figura 16. Relevo da amostra circular Cs representativa da unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado de Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Figura 17. Relevo da amostra circular C4 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Figura 18. Relevo da amostra circular C5 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Figura 19. Relevo da amostra circular C6 representativa da unidade de mapeamento Areia Quartzosa.

Tabela 28. Características quantitativas dos parâmetros de relevo das amostras circulares representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de Solo	Amostra Circular	Amplitude Altimétrica Máxima (Hm)	Declividade Média (dw) (%)	Comprimento Médio da Vertente (Cvm) (m)
Grup. Indisc. PV	C1	64,5	14,10	181,667
	C2	75,0	15,91	227,224
	C3	63,3	12,88	183,565
Média ± erro padrão		67,6 ± 3,716	14,30 ± 0,880	197,486 ± 14,880
Areia Quartzosa	C4	78,0	8,36	617,110
	C5	52,5	8,46	575,053
	C6	78,3	7,75	506,875
Média ± erro padrão		69,6 ± 8,551	8,19 ± 0,222	566,346 ± 32,119

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Procurou-se através deste trabalho realizar o estudo fotointerpretativo de redes de drenagem e a caracterização do relevo e suas correlações com duas unidades de solos com origem geológica semelhantes, sendo utilizados como amostras, bacias hidrográficas e amostras circulares de 10 km² de área para a obtenção e análise dos dados.

5.1. Características das bacias hidrográficas

Foram utilizadas como amostras, três bacias hidrográficas de 3ª ordem para cada uma das duas unidades de solos estudadas. Na escolha dessas bacias além do requisito da mesma ordem de ramificação, de acordo com STRAHLER (1957), foi observada também a semelhança geométrica, bem como a semelhança de solos, de acordo com FROST (1960). As bacias selecionadas encontram-se nas Figuras 4 e 5.

Na Tabela 6, encontram-se as características não dimensionais que evidenciam pequena variação quanto à forma e simetria das vertentes que podem ser atribuídas ao controle litológico para o Grupamento Indiscriminado PV, enquanto que com relação a unidade de mapeamento Areia Quartzosa, essas variações são proporcionadas pelo controle estrutural.

Na Tabela 7, são apresentadas as características dimensionais das bacias hidrográficas que mostram a semelhança entre alguns valores para as duas

unidades de solos, tais como maior comprimento, maior largura e comprimento do rio principal. As outras características como comprimento da rede, perímetro e área apresentam certa diferença, sendo que as bacias da unidade Areia Quartzosa tende a apresentar menor comprimento total de rios e maior área em comparação à unidade Grupamento Indiscriminado de PV.

Esses resultados indicam que as duas unidades de solo possuem comportamento hidrológico desigual proporcionado por diferença na relação infiltração/deflúvio. Em geral, os solos da unidade Areia Quartzosa ocorrem em relevo mais suave e apresentam maior capacidade de infiltração que os solos de unidade PV. Essas observações concordam com LUEDER (1959).

A análise das características tanto dimensionais como não dimensionais, bem como do teste de semelhança geométrica, apresentado na Tabela 8, mostram que as bacias selecionadas satisfazem os requisitos estabelecidos por STRAHLER (1957). Assim, a ocorrência da semelhança geométrica satisfatória entre as bacias hidrográficas permite que os resultados obtidos em bacias de uma mesma unidade possam ser comparados entre si ou com os de outra unidade, satisfazendo as exigências postuladas por HORTON (1945), SMITH (1950), SCHUMM (1956), STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968).

5.2. Características dimensionais das amostras circulares

As amostras circulares de 10 km² de área, Figuras 6 e 7, foram selecionadas observando-se as maiores homogeneidade e representatividade possíveis dentro das unidades de solos, de acordo com FRANÇA (1968).

Esse tipo de amostragem foi utilizado inicialmente por RAY & FISCHER (1960), para estudos relacionados à litologia, e posteriormente para estudos

pedológicos por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KÖFLER (1976a, 1976b), FREIRE (1977), DEMÉTRIO (1977), SILVA (1977), POLITANO (1980), VETTORAZZI (1985), ANGULO FILHO (1981 e 1986) e LIMA (1987).

Como mostra a Tabela 9, a análise das características dimensionais das amostras circulares evidencia uma grande diferença entre os valores obtidos nas duas unidades de solo estudadas para o comprimento total da rede e o número de rios concordando com os autores mencionados anteriormente.

5.3. Características das redes de drenagem

Foram estudadas em dois aspectos distintos: qualitativo e quantitativo, sendo que sob o aspecto qualitativo seguiu-se as recomendações de LUEDER (1959), PARVIS (1950), RICCI & PETRI (1965).

Quanto ao aspecto quantitativo das características das redes de drenagem, foram utilizados os métodos preconizados por HORTON (1945), STRAHLER (1957), SMITH (1950), RAY & FISCHER (1960), FRANÇA (1968) e VASQUES FILHO (1972).

5.3.1. Características descritivas das redes de drenagem

A análise das características descritivas das redes de drenagem, que estão apresentadas na Tabela 10, demonstra que essas características, à exceção do grau de integração e ângulos de junção, são diferentes nos dois solos estudados, o que auxilia a distinção entre os mesmos. Deve-se ressaltar que algumas características descritivas apresentaram-se semelhantes, embora os solos utilizados sejam distintos. Esse fato sugere que as características

descritivas, na diferenciação entre solos, sejam complementadas com índices quantitativos, o que confirma observações de HORTON (1945), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), DEMÉTRIO (1977), SILVA (1977), MANECHINI (1981), VETORAZZI (1985) e ANGULO FILHO (1981 e 1986).

5.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem

A caracterização quantitativa foi realizada em bacias hidrográficas e amostras circulares, através dos índices frequência de rios, densidade de drenagem, razão de textura e classe de textura topográfica.

Trabalhos realizados por FRANÇA (1968), e outros autores que seguiram a mesma linha de estudo, demonstraram que esses índices são consistentes e refletem a influência do fator solo no desenvolvimento das redes de drenagem.

5.3.2.1. Características quantitativas determinadas em bacias hidrográficas

Os dados das características quantitativas encontram-se na Tabela 11, onde podemos observar que a densidade de drenagem e a frequência de rios apresentaram valores claramente distintos, permitindo a diferenciação entre os solos estudados com facilidade, confirmando as observações de FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), VASQUES FILHO (1972), KÖFLER (1976a), DEMÉTRIO (1977), SILVA (1977), VALÉRIO FILHO (1984), ANGULO FILHO (1981, 1986) e LIMA (1987).

Não se confirmaram nesta pesquisa as afirmativas de HORTON (1945) e STRAHLER (1974), de que haveria necessidade das duas características, densidade de drenagem e frequência de rios conjuntamente para

diferenciarem solos, visto que o uso isolado de qualquer uma das características permite a separação dos solos estudados. Esse fato foi também observado por SILVA (1977), ANGULO FILHO (1986) e LIMA (1987).

Dessa forma, é notório o auxílio dessas duas características isoladas ou em conjunto na individualização de unidades pedológicas de mapeamento.

As diferenças entre as características quantitativas podem ser explicadas através da relação infiltração/deflúvio, devido às condições de relevo e permeabilidade dos solos estudados, concordando com LUEDER (1959), FROST (1960), ZINKE (1960), SOUZA (1975) e LIMA (1987).

Os valores da razão de textura e razão de textura média, também diferenciam as unidades de solos, concordando com os resultados obtidos por FRANÇA (1968) e outros autores brasileiros.

Quanto à classe de textura topográfica, os resultados obtidos foram diferentes para as duas unidades de solos, ou seja, classe média para o Grupamento Indiscriminado PV e grosseira para a Areia Quartzosa.

Dessa forma, observa-se que, todas as características quantitativas referentes às bacias hidrográficas apresentaram diferenças entre os solos estudados, sendo os valores mais elevados os correspondentes à unidade Grupamento Indiscriminado de PV.

5.3.2.2. Características quantitativas determinadas em amostras circulares

A caracterização quantitativa foi efetuada de acordo com FRANÇA (1968), que utilizou amostras circulares de 10 km² de área para obtenção da densidade de drenagem segundo RAY & FISCHER (1960). A mesma técnica foi utilizada posteriormente por outros autores que obtiveram dados de densidade de drenagem apresentando

diferença entre os solos estudados.

Além da densidade de drenagem, vários autores trabalhando com amostras circulares obtiveram mais tarde, dados referentes à frequência de rios, razão de textura e classe de textura topográfica.

Na Tabela 12 encontram-se os dados obtidos neste trabalho os quais mostram que a densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, individualmente, permitem diferenciar os solos estudados, discordando de HORTON (1945) e STRAHLER (1964) e confirmam as observações de SILVA (1977), ANGULO FILHO (1986) e LIMA (1987).

As classes de textura topográfica passaram de média, nas bacias hidrográficas para fina nas amostras circulares na unidade de mapeamento Grupamento Indiscriminado PV. Esse fato demonstra a influência de se manter constante a área, conforme foi observado por SOUZA (1975), FREIRE (1977) e SILVA (1977).

Pode-se constatar que, de modo geral, as diferenças entre as unidades de solos foram mais nítidas para os valores encontrados nas amostras circulares que os obtidos nas bacias hidrográficas.

5.3.3 Composição das redes de drenagem

A expressão "composição das redes de drenagem" segundo HORTON (1945) e STRAHLER (1957) abrange estudos sobre número de rios ou segmentos de rios e razão de ramificação; comprimentos totais de rios e razão de comprimentos totais; comprimentos médios de rios e razão de comprimentos médios.

5.3.3.1. Análise do número de segmentos de rios

Como mostra a Tabela 13, para as bacias

hidrográficas, o número de segmentos de rios observados em cada ordem de ramificação e o número total, à exceção dos rios da 3ª, tendem a ser maiores na unidade Grupamento Indiscriminado de PV que na unidade Areia Quartzosa, o que indica diferenças no comportamento hidrológico dos solos.

Através da análise da Tabela 14, onde se encontram os valores da média ponderada do número de segmentos de rios em relação à área da bacia e os valores obtidos pela equação ajustada por MAXWELL (1975) e pela lei de HORTON (1945), verifica-se que os resultados obtidos através de qualquer um desses procedimentos estão próximos dos valores observados. Assim, os resultados estão, de maneira geral, de acordo com as observações de FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), POLITANO (1980), LEÃO (1983), em suas pesquisas.

Os números de segmentos de rios analisados isoladamente permitem a separação das unidades de solos estudadas, sem a necessidade dos valores de densidade de drenagem e frequência de rios, concordando com FADEL (1972), LEÃO (1973), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), CARVALHO (1977) e SILVA (1977) e contrariam às observações de HORTON (1945), VASQUES FILHO (1972), FREIRE (1977) e LEÃO (1983).

Verifica-se pela Tabela 14, que o número de segmentos de rios apresentaram tendências de aumentar, com a diminuição da relação infiltração/deflúvio, concordando com as observações de LUEDER (1959), FROST (1960), ZINKE (1960), SOUZA (1975), DEMÉTRIO (1977) e ANGULO FILHO (1981 e 1986), que atribuem à relação infiltração/deflúvio, o desenvolvimento das redes de drenagem.

5.3.3.2. Análise da razão de ramificação

A razão de ramificação é um parâmetro de grande importância, segundo STRAHLER (1957), pois expressa a composição do sistema de drenagem, sendo altamente estável, com pequena variação de uma região ou de um

ambiente para outro, exceto onde ocorra intenso controle geológico.

Os dados obtidos para a razão de ramificação, Tabela 16, demonstram acentuada variação dos valores, discordando da afirmativa de STRAHLER (1975) e concordando com FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), SOUZA (1975), CARVALHO (1977) e SILVA (1977) e LEÃO (1983).

Ocorreram variações acentuadas entre as unidades de solos, que podem ser atribuídas às declividades, de acordo com SOUZA (1975) e FREIRE (1977).

Os valores médios calculados mostraram-se eficientes na distinção entre os solos estudados, concordando com FRANÇA (1968) e outros autores, e discordando de POLITANO (1980) e LEÃO (1983).

5.3.3.3. Análise dos comprimentos totais de segmentos de rios

Os comprimentos totais de segmentos de rios observados em cada ordem, o comprimento total observado em cada bacia hidrográfica e as médias ponderadas em relação à área são apresentados na Tabela 17.

Os valores médios apresentaram-se diferentes nos dois solos estudados, sendo que os maiores valores foram observados no Grupamento Indiscriminado PV.

Os valores de comprimentos totais de segmentos de rios apresentados na Tabela 18 mostram a diferença entre os solos, concordando com SILVA (1977) e LEÃO (1983) em trabalhos com solos contrastantes e discordam de CARVALHO (1977) e POLITANO (1980), que trabalharam com solos semelhantes entre si.

Os valores calculados pela média ponderada apresentaram-se semelhantes aos obtidos pela lei de HORTON (1945) e através da equação de FRANÇA (1968), indicando o bom ajustamento dos dados de comprimentos totais à equação,

e concordam com FRANÇA (1968), SOUZA (1975), SILVA (1977), LEÃO (1983) e outros autores.

Há indicação que solos com menor relação infiltração/deflúvio e com presença de controle geológico apresentarão redes de drenagem com maior extensão total, de acordo com o que aconteceu na unidade de Grupamento Indiscriminado PV. A maior relação infiltração/deflúvio tende a diminuir o comprimento total dos canais, como pode ser observado na unidade AQ.

5.3.3.4. Análise da razão de comprimentos totais

A Tabela 20 apresenta os valores de razão de comprimentos totais, que revelam instabilidade dentro da mesma unidade de solo, mostrando que essa característica apresenta pouco consistência para permitir a distinção entre as unidades de solo estudadas, concordando com a literatura consultada.

Os valores calculados pela equação ajustada por FRANÇA (1968) podem ser considerados próximos à média ponderada, confirmando resultados de vários autores.

5.3.3.5. Análise dos comprimentos médios de segmentos de rios

A análise dos comprimentos médios de segmentos de rios, Tabela 21, mostra a pouca eficiência desses dados na distinção dos dois solos estudados.

A literatura consultada evidenciou a divergência de opiniões dos autores quanto a eficácia dos comprimentos médios de rios na individualização dos solos.

Os dados obtidos neste trabalho indicam portanto, que os comprimentos médios de segmentos de rios não devem ser usados isoladamente na separação de unidades de solo, estando de acordo com observação de FREIRE (1977),

CARVALHO (1977) e SILVA (1977).

Pela Tabela 22 observa-se que os valores de comprimentos médios obtidos através da relação Lw/Nw calculados, pela equação de VASQUES FILHO (1972) e pela lei dos comprimentos médios de rios de HORTON (1945) apresentaram variações que podem ser consideradas pequenas, em relação à média ponderada.

5.3.3.6. Análise da razão de comprimentos médios

A Tabela 24 apresenta a razão de comprimentos médios, revelando alguma instabilidade dos dados dentro da mesma unidade de solo.

Os valores calculados pela média dos dados observados ou pela indicação de STRAHLER (1957), aplicada a equação de VASQUES FILHO (1972), apresentam significativas diferenças, quando observados isoladamente, para cada unidade de solo.

5.3.4. Análise conjunta do número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios

A Tabela 25 apresenta, em conjunto, os valores médios que compõem as redes de drenagem estudadas, e evidencia a importância, principalmente do número de segmentos de rios, na distinção entre as unidades de solos, concordando com a observação de SOUZA (1975), e SILVA (1977).

De acordo com SOUZA (1975), e outros autores, a diferenciação entre unidades de solos deve ser realizada considerando-se essas características em conjunto, com os dados obtidos segundo um mesmo critério.

5.3.5. Análise conjunta das razões de ramificação de comprimentos totais e de comprimentos médios

A análise em conjunto dos valores apresentados na Tabela 26, demonstra a eficiência das três razões na individualização dos dois solos estudados.

Pode-se observar também que, individualmente, as razões de ramificação e de comprimentos médios apresentam-se mais consistentes que a razão de comprimentos totais na distinção dos solos estudados.

5.4. Análise das características do relevo

Vários autores entre os quais MARCHETTI (1969), POLITANO (1980), LEÃO (1983), VALÉRIO FILHO (1984), ANGULO FILHO (1986) e LIMA (1987), fizeram estudos relativos a parâmetros de relevo, e demonstraram a contribuição dos mesmos na diferenciação entre solos.

Neste trabalho o relevo foi caracterizado através de diferentes índices, nas bacias hidrográficas e amostras circulares dos dois solos estudados, obtidos das cartas planialtimétricas em escala 1:10.000.

5.4.1. Características do relevo nas bacias hidrográficas

Na caracterização do relevo nas bacias hidrográficas foram utilizados os parâmetros amplitude altimétrica, razão de relevo, declividade média dos segmentos de rios de 1ª ordem e declividade média da bacia, que constam na Tabela 27.

Os resultados obtidos para amplitude altimétrica mostram que houve diferença entre os solos estudados, indicando a aptidão deste índice, nas bacias

hidrográficas, para a diferenciação dos solos. Essa observação concorda com trabalhos de LEÃO (1983) e VALÉRIO FILHO (1984) e evidencia a ocorrência de variação no relevo das duas unidades de solo estudadas.

Da mesma forma, os valores de razão de relevo obtidos foram diferentes nos dois solos, evidenciando a diferença de topografia dos solos, e concordam com as observações de SCHUMM (1965), LEÃO (1983), de STRAHLER (1957), segundo o qual a razão de relevo dá a idéia do declive total da superfície da bacia e de PIEDADE (1980), segundo a qual as maiores razões de relevo são constatadas em áreas com menores relação infiltração/deflúvio, estando de acordo com os dois solos estudados.

A análise do relevo através das declividades médias dos segmentos de rios de primeira ordem demonstra claramente a diferença entre as duas unidades de solos e confirma as observações de PIEDADE (1980).

Ainda na Tabela 27, pode-se observar que as declividades médias das bacias, apresentaram valores nitidamente diferenciados para as duas unidades de solos, evidenciando a importância do dado na distinção entre as unidades de solos, confirmando as observações de diversos autores, como WONG *et alii* (1971), AVERBECK & SANTOS (1969), CRISTOFOLETTI (1980), KÖFLER (1982), VALÉRIO FILHO (1984), ANGULO FILHO (1986) e LIMA (1987), que demonstraram a importância da declividade média para a diferenciação de solos.

5.4.2. Características do relevo nas amostras circulares

Para cada amostra circular dos dois solos estudados foram determinados os seguintes índices do relevo: amplitude altimétrica máxima, declividade média e comprimento médio da vertente. Os resultados obtidos

encontram-se na Tabela 28.

Com relação à amplitude altimétrica máxima (Hm), verifica-se pelos resultados obtidos a pouca eficiência do índice na diferenciação entre os solos estudados, o que vem demonstrar que nas amostra circulares esse parâmetro não evidenciou a diferença de relevo entre as unidades de solos estudadas.

Resultados semelhantes foram observados por POLITANO (1980), que não encontrou diferença para a amplitude altimétrica máxima em estudo desenvolvido com duas unidades de solos podzólicos. Da mesma forma, LIMA (1987) não observou diferença significativa para o referido índice na diferenciação entre os solos latossolos e podzólicos por ele estudados.

Por outro lado, autores como AMARAL & AUDI (1972), VALÉRIO FILHO (1984) e ANGULO FILHO (1986) encontraram resultados para a amplitude altimétrica que possibilitaram a distinção entre os solos utilizados nos seus estudos.

Tendo em vista os resultados obtidos por esses autores em relação ao índice, fica evidente que a sua validade na diferenciação de solos é bastante discutível.

A declividade média (dw), obtida de acordo com KÖFLER (1982), apresentou resultados, Tabela 28, que demonstram claramente a diferença entre os solos estudados, concordando com KOFLE (1982), VALÉRIO FILHO (1984), LIMA (1987) e ANGULO FILHO (1986), segundo o qual as declividades médias determinadas estariam correlacionadas com as condições da relação infiltração/deflúvio, permeabilidade e resistência dos materiais de origem.

Os resultados obtidos para o comprimento médio das vertentes (CVm), contidos na Tabela 28, também foram distintos, demonstrando a aptidão do parâmetro na diferenciação dos solos estudados, e concordam com CHRISTOFOLETTI (1980), que afirma que quanto maior a

densidade de drenagem em área com relevo semelhante, menores e mais inclinadas serão as vertentes. Concordam também com VALÉRIO FILHO (1984), ANGULO FILHO (1986) e LIMA (1987).

6. CONCLUSÕES

-As características dimensionais da drenagem quais sejam, comprimento da rede e número de rios, determinadas em amostras circulares apresentaram diferenças marcantes entre os solos estudados, enquanto que nas bacias hidrográficas as diferenças observadas para essas características foram menos acentuadas.

-As características quantitativas do padrão da drenagem, tais como, frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura, isoladamente ou em conjunto, foram eficientes na distinção entre os solos estudados, tanto nas bacias, como nas amostras circulares, sendo que nas amostras circulares os valores obtidos apresentaram diferenças mais marcantes.

-A classe de textura topográfica permitiu a diferenciação entre os solos, tanto nas bacias hidrográficas como nas amostras circulares.

-No estudo da composição da rede de drenagem verificou-se que o número de segmentos de rios, principalmente, e o comprimento total permitem a distinção entre os solos estudados enquanto que o comprimento médio de segmentos de rios não apresentou resultados consistentes.

-Os valores obtidos para a razão de ramificação, razão de comprimentos totais e razão de

comprimentos médios evidenciam a importância desses parâmetros na distinção das unidades de solos estudadas, sendo que nesse sentido as razões de ramificação e de comprimentos médios apresentaram resultados mais consistentes do que a razão de comprimentos totais.

-Nas bacias hidrográficas, os índices de relevo, quais sejam, amplitude altimétrica, razão de relevo, declividade média dos segmentos de rios de 1ª ordem e declividade média da bacia, foram eficientes na distinção entre os solos estudados.

-Nas amostras circulares os índices de relevo, tais como, declividade média e comprimento médio das vertentes também permitiram a distinção entre os solos estudados, enquanto que a amplitude altimétrica máxima não apresentou diferenças entre os dois solos.

-Para os solos estudados, nas condições existentes e com a metodologia utilizada, de modo geral, a obtenção e utilização dos índices de drenagem apresentaram maior facilidade, rapidez e maior eficiência na distinção entre os solos que os parâmetros de relevo.

7. LITERATURA CITADA

- AMARAL, A.Z. & AUDI, R. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., coord., **Elementos de pedologia**. São Paulo, Polígono Editora da USP, 1972. p.429-42.
- ANDERSON, H.W. Relating sediment yield to watershed variables. *Trans.Am.Geophys. Un.*, Washington, 38: 921-4, 1957.
- ANGULO FILHO, R. Variações de características da rede de drenagem em função das fotografias aéreas verticais obtidas em épocas diferentes. Piracicaba, 1981. 128p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- ANGULO FILHO, R. Caracterização da drenagem e do relevo de tres solos do Estado de São Paulo através de fotografias aéreas e cartas planialtimétricas. Piracicaba, 1986. 132p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP)
- AVERBECK, H. & SANTOS, R.D. **Manual de fotointerpretação para solos** (1ª aproximação). Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 33p.
- AVERY, T.E. **Interpretations of aerial photographs**, 3 ed. Minneapolis, Burgess, 1977. 392p.
- BOMBERGER, E.H. & DILL Jr. H.W. Photo interpretation in agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of photographic interpretation**. Washington, 1960. cap. 11, p.561-632.
- BLOOM, A.L. **Superfície da terra**. São Paulo, Blücher e Ed. da USP, 1970. 184p.

- BURINGH, P. The applications of aerial photographs in soil survey. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of photographic interpretation**. Washington, 1960. cap. 11, p.633-66.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. 4ª ed. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz". Departamento de Matemática e Estatística, 1983. 349p.
- CARVALHO, W.A. **Fotointerpretação de bacias hidrográficas com amostras circulares de redes de drenagem de solos com horizonte B textural**. Piracicaba, 1977, 126p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP.)
- CARVALHO, W.A. **Relações entre relevo e solos de bacia do rio Capivara - Município de Botucatu, SP**. Botucatu, 1981, 193p. (Livre-Docência, Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP).
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. *Notícias geomorfológicas*, Campinas, 9:35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo, Ed.Edgard Blücher Ltda, 1980. 188p.
- COLWELL, R.N. **Photographic interpretation for civil purpose**. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of photogrammetry**. Washington, 1952. 2ª ed. p.535-602.
- COMISSÃO DE SOLOS DO SERV.NAC.DE PESQ.AGRON. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1960. 634p. (Boletim 12).
- CURTIS, L.F.; DOORKAMP, J.C.; GREGORY, K.J. The description of relief in field studies of soils. *Journal Soil Science*, 16(1):16-30, 1965.
- DEMÉTRIO, V.A. **Variação de características de redes de drenagem em função da escala das fotografias aéreas verticais**. Piracicaba, 1977. 107p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

- DUNBAR, R.A. Problems of interpretation in tropical regions. In: **Aerial photographic interpretation: principles and applications**. New York, McGraw-Hill, 1959, p.426-7.
- ENGELN, D.D. von **Geomorphology: sistematical and regional**. New York, MacMillan, 1942. 655p.
- ESPÍNDOLA, G.R. Relações entre solos e elementos da paisagem na zona do baixo Rio do Peixe (Região de Conchas-Anhembi/SP.) Piracicaba, 1977. 113p. (Mestrado / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP)
- FADEL, H. Fotointerpretação de bacias e de redes de drenagem de tres séries de solos da fazenda Ipanema, município de Araçoiaba da Serra (SP), Piracicaba, 1972. 92p. (Mestrado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- FRANÇA, G.V. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, 1968. 151p. (Doutorado / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- FREIRE, J.C. Fotointerpretação de redes de drenagem de tres solos da região de Altinópolis, Minas Gerais. Piracicaba, 1977. 136p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- FROST, R.E. Photo interpretations of soils. In: **AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photographic interpretation**. Washington, 1960. cap.5, p.343-402.
- GANDOLFI, N. Análise morfométrica de drenagem na bacia do rio Mogi-Guaçu. **Not.Geom.**, Campinas, 11(21):23-40, 1971.
- GEVAERD, I. Parâmetros fotoanalíticos de tres unidades de solos da região nordeste paranaense. Piracicaba, 1974. 110p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

- GOOSEN, D. **Interpretacion de fotos aéreas y su importância en levantamiento de suelos.** Roma, Organization de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, 1968. 58p. (Boletim sobre suelos, 6).
- GUERRA, A.T. **Dicionário Geológico-geomorfológico.** 5ª ed. Secretaria de Planejamento da Presidência da República - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1979. 446p.
- HILWING, F.W. & KARALE, R.L. **Physiographic systems and elements of photo interpretation as applied to soil survey in the Ganges Plain.** *Journal Indian Society Soil Science*, 21(2):205-12, 1973.
- HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quantitative morphology.** *Bull. Geol. Soc. Am.* New York, 56:275-370, 1945.
- KOFLER, N.F. **Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru.** São José dos Campos, 1976a, 167p. (Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).
- KOFLER, N.F. **Análise aerofotográfica da influência da área de amostragem circular na caracterização quantitativa do padrão de drenagem.** São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1976b, 20p.
- KOFLER, N.F. **Análise de relevo a partir de índices de drenagem obtidos com fotografias aéreas.** *Boletim de geografia teórica*, Rio Claro, 12 (23/24):69-76, 1982.
- LEÃO, S.R.F. **Interpretação fotográfica dos padrões de drenagem desenvolvidos em dois solos do Distrito Federal.** Piracicaba, 1973. 110p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP)
- LEÃO, S.R.F. **Interpretação fotográfica de características do relevo e da rede de drenagem em dois solos do Distrito Federal.** Piracicaba, 1983. 110p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP)

- LIMA, S.L. Características da rede de drenagem e do relevo de tres solos do Estado de São Paulo, determinadas em fotografias aéreas e cartas planialtimétricas. Piracicaba, 1987. 100p. (Doutorado Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- LUEDER, D.R. Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, McGraw-Hill, 1959. 462p.
- MARCHETTI, D.A.B. Fotointerpretação de atributos do relevo aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, 1969. 58p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP)
- MAXWELL, J.C. The bifurcation ratio in Horton's law stream numbers. Trans.Am.Geophys Un., Washington, 36: 520-42, 1955.
- MILLER, V.C. & MILLER, C.F. Photogeology. New York, McGraw-Hill, 1961. 248p.
- MONTOYA, J.A. Interpretacion de imagines landsat para el mapeo de suelos bases para una metodologia. Revista CIAF, 8(1):201-33, 1983.
- NOGUEIRA, F.de P. Utilização de fotografias aéreas em tres escalas no estudo de redes de drenagem em diferentes unidades de solo. Piracicaba, 1979. 110p. (Mestrado / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H; BEJAR, O.I.G.; OLIVEIRA, E.R.; LONGOBARDI, R.C. e ASSIS, S.A. Carta pedológica semi detalhada do Estado de São Paulo. Quadricula Piracicaba. Secretaria da Agricultura/CPA/IAC; Secretaria da Economia e Planejamento/CAR/IGC, 1989. Mapa escala 1:100.00.
- Instituto Agronômico de Campinas/Instituto Geográfico e Cartográfico, 1989.
- PARR, J.F. & BERTRAND, A.R. Water infiltration into soils. Adv.Agron., New York, 12:311-63. 1960.
- PARVIS, M. Drainagem pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks. Photogrammetry Engineering, Washington, 16(3):378-408, 1950.

- PENTEADO, M.M. Geomorfologia do setor centro ocidental da Depressão Periférica paulista. Rio Claro, 1968. (Doutorado/Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras / UNESP).
- PIEIDADE, G.C.R. Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP., Botucatu, 1980. 161p. (Livre-docência Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP)
- POLITANO, W. Estudo fotointerpretativo sobre a morfometria das áreas de dois solos Podzólicos Vermelho-Amarelo. Piracicaba, 1980. 169p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- POLITANO, W. Estudo da adequabilidade do emprego de bacias hidrográficas de 3ª, 2ª e 1ª ordem de magnitude na análise morfométrica aplicada a solos. Jaboticabal, 1992, 168p. (Livre-docência - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP).
- RABBEN, E.L. Fundamentals of photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photographic interpretation. Washington, 1960. cap.3, p.99-168.
- RAY, R.G. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 1963. 88p.
- RAY, R.G. & FISCHER, W.A. Quantitative photography: a geologic research tool. Photogrammetry Engineering, Washington, 26(1):143-50, 1960.
- RICCI, M. & PETRI, S. Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Editora Nacional, 1965. 226p.
- RUELLAN, A. Contribution a la connaissance des sols des régimes mediterrneennes (Marroc Oriental). Memoires O.R.S.T.O.M., Paris, 1971. 302p.
- ROURKE, J.D. & AUSTIN, M.E. The use of air-photos for soil classification and mapping in the field. Photogrammetry Engineering, 17:738-45, 1951.

- SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Smboy. **Bull.Geol.Soc.Am.**, New Jersey, 67:597-646, 1956).
- SILVA, L.G.F. Fotointerpretação de redes de drenagem de dois solos do município de São Pedro/SP. Piracicaba, 1977. 114p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- SIMONSON, R.W. Use of aerial, photographs in soils surveys. **Photogrammetry Engineering**, Washington, 16:308-15, 1950.
- SMITH, K.G. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal Science**, New Haven, 248:655-68, 1950.
- SMITH, G.D. & AANDAHL, A.R. Soil classification and survey. In: U.S. DEPARTAMENT OF AGRICULTURE. **Soil Washington, D.C.**, 1957. p.396-400 (Yearbook of Agriculture).
- SOUZA, M.L.P. Fotointerpretação das redes de drenagem de tres solos com horizonte B Latossólico ocorrentes no município de Ponta Grossa-PR. Piracicaba, 1975. 135p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Bull.Geol.Soc.Am.**, New Jersey, 63:1117-42, 1952.
- STRAHLER, A.N. Quantitative slope analysis. **Bull. Geol. Soc. Am.**, 67:571-596. 1956.
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Trans.Am.Geophys.Un.**, Washington, 38:913-29, 1957.
- STRAHLER, A.N. Quantitative geomorphology od drainage basins and channel networks. In:CHOW, V.T.; **Handbook of applied hidrology**. New York, McGraw-Hill, 1964, sec.4, p.II.
- SUMMERSON, C.H. A philosophy for photo interprets. **Photogrammetry Engineering**, Washington, 20:412-417, 1954.

- VALÉRIO FILHO, M. Parâmetros da drenagem e do relevo na caracterização de solos e suas relações fotointerpretativas em imagens de pequena escala. Piracicaba, 1984. 141p. (Doutorado- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- VASQUES FILHO, J. Critérios morfológicos aplicados à fotointerpretação de redes de drenagem em tres unidades de solos do município de Piracicaba (SP). Piracicaba, 1972. 113p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- VETTORAZZI, C.A. Fotointerpretação de bacias hidrográficas e de redes de drenagem em cinco solos da região do rio Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1985. 151p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- VIEIRA, L.S. Manual da Ciência do Solo. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1975. 464p.
- WEG, R.F. Patrones de Drenage. Bogotá, Centro Interamericano de Fotointerpretacion, 1966. 25p.
- WENTWORTH, G.K. A simplified method of determining the average slope of land surface. American Journal Science. New Haven, 20(117):184-194, 1930.
- WILKEN, P.S. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 478p.
- WONG, K.W.; THORBURN, T.H.; KHOURY, M.A. Automatic soil identification from romoting sensing data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(1):73-80, 1977.
- ZINKE, P.J. Photo interpretation in hidrology and watershed management. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photographic interpretation. Washington, 1960. cap. 10, p.539-60.