**ESTUDO FOTOINTERPRETATIVO SOBRE A MORFOMETRIA
DAS ÁREAS DE DOIS SOLOS PODZÓLICOS
VERMELHO-AMARELOS**

WALTER POLITANO

Orientador: GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

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

**PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto, 1980**

À meu pai,

PASCHOAL ANTONIO POLLITANO,

por ter-me ensinado o respeito à
dignidade e o amor ao trabalho,

DEDICO

(in memoriam)

À

Maria Cecília e Gregório Vicente,

meus incentivadores,

OFEREÇO

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Professor Doutor Geraldo Victorino de França, pela dedicada orientação e participação na minha formação científica.

Ao amigo, Professor Doutor Paulo Cesar Corsini, pela sua participação na realização deste trabalho.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias "Campus" de Jaboticabal, pelas oportunidades e facilidades oferecidas.

Aos Professores do Departamento de Solos, Fertilizantes e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", pelo apoio oferecido.

Aos Colegas e Funcionários do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias "Campus" de Jaboticabal, pelas manifestações de coleguismo e apoio.

Aos Colegas Professores Doutores Dilermando Percin, David Ariovaldo Banzatto e Juan Ayala Osuna, pelas facilidades oferecidas para a realização da análise estatística.

Ao meu auxiliar, Silvio Moreira, pelos serviços de desenho.

À Sra. Luiza Maria Villanova pelas sugestões e

participação na composição do texto.

À Sra. Nelci Teixeira Maniero e Srta. Miriam Ro
sângela Ignácio, pelos seus atendimentos com simpatia e colabo
ração nos assuntos ligados ao Curso de Pós-Graduação.

Estendemos, ainda, nossos agradecimentos às fun
cionárias do Setor de Pós-Graduação da Escola Superior de Agri
cultura "Luiz de Queiroz" e a todas as pessoas que, de uma for
ma ou de outra, tenham contribuído para a realização deste tra
balho.

I N D I C E

Página

1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1. Aplicação da Fotografia Aérea	4
3.2. Fundamentos da Fotointerpretação	7
3.3. Análise Morfométrica	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1. Materiais	37
4.2. Métodos	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1. Bacias Hidrográficas	71
5.2. Redes de Drenagem	89
5.3. Síntese dos Resultados	149
6. CONCLUSÕES	154
7. SUMMARY	156
8. LITERATURA CITADA	158

LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Dados Climáticos e Balanço Hídrico <u>Men</u> sal, Segundo Thornthwaite e Matter (1955) da Região de Jaboticabal. (CAD: 125 mm)	40
2	Dados Climáticos e Balanço Hídrico <u>Men</u> sal, Segundo Thornthwaite e Matter (1955) da Região de Jaboticabal. (CAD: 125 mm)	45
3	Características Descritivas do Padrão de Drenagem e Respectivas Categorias, <u>LUE</u> DER (1959)	61
4	Análise Dimensional e Teste de <u>Semelhan</u> ça Geométrica das Bacias Hidrográficas	79
5	Características Não Dimensionais das <u>Ba</u> cias Hidrográficas	80
6	Valores Médios e Erros Padrões da <u>Média</u> das Características Dimensionais das <u>Ba</u> cias Hidrográficas	82

QUADRO

Página

7	Características Dimensionais das Bacias Hidrográficas	83
8	Análise de Variância das Características Dimensionais das Bacias Hidrográficas	84
9	Características Dimensionais das Bacias Hidrográficas, Determinadas pela Análise Hipsométrica	86
10	Análise de Variância das Características Dimensionais Determinadas pela Análise Hipsométrica	87
11	Características Descritivas dos Padrões de Drenagem	92
12	Características Quantitativas do Padrão de Drenagem, Determinados em Bacias Hi drográficas	100
13	Características Quantitativas do Padrão de Drenagem, Determinados em Amostras Circulares	101

QUADRO

Página

14	Classes de Textura Topográfica dos Pa drões de Drenagem	102
15	Análise de Variância da Característica Densidade de Drenagem	102
16	Análise de Variância da Característica Frequência de Rios	103
17	Análise de Variância da Característica Razão de Textura	103
18	Desdobramento da Interação Solos/Amostr <u>a</u> gem da Característica Razão de Textura	104
19	Análise de Variância da Característica Ex <u>t</u> ensão do Percurso Superficial	104
20	Desdobramento da Interação Solos/Amostr <u>a</u> dem da Característica Extensão do Percur <u>u</u> so Superficial	105
21	Análise de Variância da Característica Coeficiente de Manutenção	105

QUADRO

Página

22	Valores Observados do Número de Segmentos de Rios em cada Ordem, Valores do Número Total da Bacia e Valores Médios, Determinados pela Média Aritmética e Ponderada em Relação às Áreas das Bacias	110
23	Formas Assumidas pela Relação Preconizada por MAXWELL (1955), pelas Substituições Numéricas dos Números de Segmentos de Rios, Coeficientes de Correlação (r), Coeficientes de Determinação (r^2) e % da Variação Total Explicada ($r^2 \times 100$)	113
24	Valores dos Números de Segmentos de Rios em Cada Ordem, Determinados segundo a Média Ponderada em Relação às Áreas das Bacias e Valores Calculados em Função da Relação Preconizada por MAXWELL (1955) e Lei de Horton	114
25	Valores Observados e Valores Médios Calculados e Determinados pela Relação de MAXWELL (1955), da Razão de Ramificação.....	116

QUADRO

Página

26	Valores dos Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios Observados em Cada Ordem e na Bacia e Valores Médios Determinados pela Média Ponderada em Relação às Áreas das Bacias	118
27	Formas Assumidas pelas Relações Preconizadas por FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957), pela Substituição Numérica dos Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios, Coeficientes de Correlação (r), Coeficientes de Determinação (r^2) e a % da Variação Total Explicada ($r^2 \times 100$)	120
28	Valores dos Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios, Determinados pela Média Ponderada em Relação às Áreas das Bacias, Relações Preconizadas por FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957) e pela Lei de Horton	121
29	Valores Observados e Valores Médios Calculados da Razão de Comprimentos Totais de Segmentos de Rios	123

QUADRO

Página

30	Valores Médios dos Segmentos de Rios em Cada Ordem e na Bacia e Respectivos Valores Médios Determinados pela Média Ponderada em Relação às Áreas das Bacias	125
31	Formas Assumidas pela Relação Preconizada por VASQUES FILHO (1972), pela Substituição Numérica dos Dados de Comprimentos Médios de Segmentos de Rios, Coeficiente de Correlação (r), Coeficiente de Determinação (r^2) e a % da Variação Total Explicada ($r^2 \times 100$)	127
32	Valores Médios de Comprimentos Médios de Segmentos de Rios, Determinados pela Média Ponderada em Relação às Áreas das Bacias, Relação Preconizada, Relação Lw/Nw e Lei de Horton	128
33	Valores observados e Valores Médios Calculados da Razão de Comprimentos Médios, segundo a Média Aritmética e Relação de VASQUES FILHO (1972)	130

QUADRO

Página

34	Números, Comprimentos Totais e Comprimentos Médios dos Segmentos de Rios Referentes à cada Ordem e à Bacia	132
35	Valores Médios das Razões de Ramificação, de Comprimentos Totais e de Comprimentos Médios, Determinados pela Média Aritmética, Relações Preconizadas e Relação ($R_{lm} = R_b/R_{lw}$)	133
36	Valores observados do Número Total de Segmentos de Rios (N e Nc), Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios (Cr e Crc) e Comprimentos Médios dos Segmentos de Rios (Lm e Lmc) Determinados em Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares	135
37	Análise de Variância das Características Números Totais de Segmentos de Rios (N e Nc), Comprimentos Totais de Segmentos de Rios (Cr e Crc) e Comprimentos Médios dos Segmentos de Rios (Lm e Lmc), Determinados Respectivamente em Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares	136

QUADRO

Página

38	Relações Funcionais Entre as Caracterís <u>ticas</u> Quantitativas do Padrão e das Ba <u>cias</u> de Drenagem	139
39	Relações Funcionais entre os índices do Padrão Drenagem, Determinados em Amos <u>tras</u> Circulares	145
40	Relações Funcionais Entre as Caracterís <u>ticas</u> dos Padrões Drenagem, Determinadas em Bacias Hidrográficas e Amostras Circu <u>lares</u>	148

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localizações das Áreas de Estudo no Estado de São Paulo	39
2	Balanço Hídrico Mensal da Região de Jabo _{ticabal}	42
3	Balanço Hídrico Mensal da Região de Pira _{cicaba}	46
4	Bacias Hidrográficas Representativas dos Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília	72
5	Bacias Hidrográficas Representativas dos Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília	73
6	Bacias Hidrográficas Representativas dos Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras	74

Figura		Página
7	Bacias Hidrográficas Representativas dos Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras	75
8	Curvas Hipsométricas das Bacias Hidrográficas Representativas da Unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília	89
9	Curvas Hipsométricas das Bacias Hidrográficas Representativas da Unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras	90
10	Amostras Circulares da Rede de Drenagem da Área de Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília	96
11	Amostras Circulares da Rede de Drenagem da Área de Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília	97
12	Amostras Circulares da Rede de Drenagem da Área de Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras	98

Figura

Página

13	Amostras Circulares da Rede de Drenagem da Área de Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras	99
----	---	----

1. RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de avaliar, com o emprego de fotografias aéreas, o significado da análise morfométrica dos componentes da paisagem, relevo e rede de drenagem, na diferenciação de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos, que apresentam como características comuns o mesmo tipo climático e perfis com horizonte B textural.

As unidades de solos escolhidas foram os Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília e os Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras, situados respectivamente, no planalto ocidental paulista, parte centro-norte do Estado de São Paulo e na depressão paleozóica do Estado, zona do médio Tietê. O clima é do tipo mesotérmico de inverno seco, classificado como Cwa, pelo sistema de Köppen.

Representando cada unidade de solo, foram selecionadas quatro bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação satisfazendo o critério de semelhança geométrica de STRAH

LER (1957) e quatro amostras circulares, com tamanho equivalente a 5 km^2 .

A análise e interpretação dos resultados obtidos permitiu que se tirasse as seguintes conclusões gerais:

a - A análise morfométrica permitiu a diferenciação das áreas dos solos estudados, refletindo diferenças da relação infiltração/deflúvio, permeabilidade, armazenamento d'água, profundidade do estrato rochoso e diferenças no estágio da erosão;

b - A fotografia aérea foi eficiente para a análise morfométrica da paisagem dos solos estudados;

c - Os índices do relevo foram tão eficientes quanto os índices da rede de drenagem para a diferenciação pretendida;

d - Os critérios de amostragem utilizados foram adequados para a realização da análise morfométrica, destacando-se a superioridade do critério de amostras circulares e,

e - A continuidade dos estudos realizados é necessária para se verificar até que nível as diferenças entre solos permitem a utilização da análise morfométrica para a diferenciação de suas áreas de ocorrência.

2. INTRODUÇÃO

A paisagem terrestre constitui o meio onde se desenvolvem os solos e seus elementos são alguns dos fatores condicionadores da pedogênese.

A sua caracterização tem sido tradicionalmente feita, desde HORTON (1945), com o propósito de considerar os papéis das relações infiltração/deflúvio dos materiais e dos processos erosivos provocados pelas águas correntes. A partir de FRANÇA (1968), tem-se procurado estabelecer, através da análise da paisagem, as suas relações com condições específicas de solos, utilizando principalmente a fotointerpretação.

Dentro dessa linha de pesquisa, pretende-se neste trabalho efetuar a análise morfométrica de dois componentes da paisagem, o relevo e a rede de drenagem, reunindo maior número de informações sobre as suas relações com as condições específicas de solos, com o propósito de contribuir para o estabelecimento dos padrões dos solos nas nossas condições ambientais, a fim de fornecer novos subsídios para a fotointerpretação no levantamento de solos.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo é apresentado dividido basicamente em três partes. A primeira trata de algumas generalidades sobre a aplicação da fotografia aérea, a segunda diz respeito aos fundamentos da fotointerpretação e a terceira versa sobre a análise morfométrica na caracterização de bacias e redes de drenagem.

3.1. Aplicação da Fotografia Aérea

3.1.1. Generalidades

O uso de fotografias aéreas foi proposto inicialmente para a elaboração de mapas topográficos por Arago em 1840 e teve como suporte o exaustivo programa desenvolvido por Laus sedat a partir de 1850.

Ao redor de 1858 Mcydenbauer iniciou a aplicação da fotogrametria na arquitetura e o uso da fotografia, para a definição de roteiros, foi empregado desde 1853, antes mesmo da

guerra civil americana. Após o término deste conflito, a fotografia aérea passou a ser empregada em levantamentos geológicos, sendo na década de 20 do presente século, utilizada principalmente na pesquisa do petróleo.

Ainda nesta década, generalizou-se o uso da fotografia aérea nos diferentes ramos da ciência, particularmente na agricultura e principalmente com propósitos específicos de mapeamento. QUACKENBUSH (1960), DAVIS *et alii* (1966) e FISCHER *et alii* (1975).

AVERY (1968) apresentou uma lista compilada da Sociedade Americana de Fotogrametria onde constaram 58 áreas de aplicação da fotografia aérea, desde a engenharia aeronáutica, agronomia, ecologia, hidrologia e classificação de terras até a zoologia. Entretanto, DAVIS *et alii* (1966) observaram que o maior desenvolvimento desta ciência está no campo do levantamento aerofotogramétrico.

Em particular, com respeito à aplicação da fotografia aérea no Brasil, destacam-se os esforços do governo brasileiro na área da Amazônia, onde foram realizados levantamentos sistemáticos pelo projeto RADAM, de uma faixa territorial de dois milhões de quilômetros quadrados, com o propósito de se elaborar mapas e cartas topográficas, cartas de vegetação, da geologia, de geomorfologia, de solos e da drenagem superficial, entre outros, PAIVA *et alii* (1976).

3.1.2. Solos

Por volta de 1885 iniciaram-se nos Estados Unidos da América os levantamentos de solos, sendo que quarenta anos ap^os, Cobb chamava a atenção dos cientistas para as possibilidades da aplicação da fotografia aérea, nesta finalidade, BURINGH (1954). Entretanto, a primeira aplicação da fotografia aérea foi realizada no Condado de Jennings, no Estado de Indiana, somente em 1929, cabendo a Bushnell e colaboradores a primasia da sua utilização no mapeamento de solos, fato este que se generalizou desde a metade dos anos trinta, SERVICIO DE CONSERVACION DEL SUELO (s/d) e BOMBERGER e DILL (1960).

No Brasil, embora os estudos de solos tenham sido iniciados a partir de 1935, pelo Instituto Agronômico da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, localizado na cidade de Campinas, somente a partir de 1960 a fotografia aérea começou a ser empregada para esses fins, época em que as primeiras coberturas aerofotográficas dos estados se tornaram disponíveis. Foram realizados inúmeros levantamentos a diferentes níveis de generalização nas diversas regiões do país, destacando-se, particularmente, os levantamentos pedológicos de vários municípios do Estado de São Paulo, realizados pelas equipes pertencentes ao Instituto Agronômico e à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz" - USP, RANZANI *et alii* (1966), PAIVA *et alii* (1976) e OLIVEIRA *et alii* (1979).

3.2. Fundamentos da Fotointerpretação

A fotointerpretação é definida por QUACKENBUSH (1960) como o ato de examinar imagens fotográficas com o propósito de identificar os objetos e avaliar os seus significados e SUMMERSON (1954) a definiu como a previsão daquilo que não pode ser realmente visto.

Na fotointerpretação é adotado o princípio da convergência de evidências, preconizado por COLWELL (1952), o qual estabeleceu que existem vários indícios sobre a identidade de um objeto desconhecido e, se a maioria deles aponta para a mesma conclusão, esta será provavelmente a correta.

Dentre os fatores empregados na identificação dos aspectos da fotografia aérea, AVERY (1968) relacionou a forma, tamanho, tom fotográfico, padrão, sombra, posição topográfica e a textura, sendo estes aspectos considerados por BOMBERGER e DILL (1960) como características qualitativas.

No exame da imagem fotográfica se utilizam as técnicas da fotoidentificação, fotoanálise e da fotointerpretação, LUEDER (1959). Pela fotoidentificação são reconhecidos os objetos e as suas localizações no terreno; a fotoanálise complementa a fotoidentificação pela adição de uma avaliação por numerais e pelo estabelecimento de uma interrelação de aspectos, classificando-os pelos seus tamanhos, posições e uso e, finalmente, a fotointerpretação realiza uma avaliação dedutiva e in

ductiva, baseada nas experiências do fotointérprete e nas observações de campo.

Três fatos fundamentais, segundo RABBEN (1960) sintetizam as vantagens do uso da fotografia aérea na caracterização da superfície terrestre, a saber: 1) a cobertura de grande área da superfície em cada fotografia; 2) a exibição da imagem tridimensional da superfície e dos objetos e, 3) a representação real dos objetos na imagem fotográfica. Com respeito à imagem estereoscópica da paisagem, GOOSEN (1968) afirmou que esta revela os aspectos principais do terreno de maneira mais eficiente do que aquela observada pela visão normal, devido ao exagero proporcionado pela imagem tridimensional. À respeito da sensibilidade da imagem fotográfica para o registro dos detalhes do terreno, AB'SADER (1960) salientou que esta propriedade depende muito das condições de clima da região onde foi realizada a cobertura aerofotográfica. Nas regiões de clima seco o número de informações conseguidas através do exame da fotografia aérea é muito maior do que das regiões de clima úmido.

Na caracterização dos solos de uma área, torna-se importante ao fotointérprete o conhecimento dos processos naturais e culturais de suas formações, FROST (1960). Neste sentido RAY (1963) ressaltou a importância da forma fisiográfica na fotointerpretação de solos porque esta é baseada principalmente nas afinidades existentes entre os solos e os aspectos geomórficos de suas áreas de ocorrência, os quais fornecem indícios so

bre seus processos formadores.

De acordo com GOOSEN (1968) verificou-se que os aspectos inerentes ao solo podem ser estudados vantajosamente pelo emprego da fotografia aérea, através do conhecimento das relações existentes entre os solos e as características físicas e culturais da área. Assim, as fotografias aéreas são amplamente usadas para obter informações e para delimitar tipos ou classes de solos, porque elas revelam indícios sobre a forma da superfície, a vegetação e a cor do solo, SERVICIO DE CONSERVACION DEL SUELO (s/d). Permite ao pedólogo a orientação no campo, a demarcação dos solos, além de facilitar a preparação da carta base para o mapeamento, BOMBERGER e DILL (1960). Segundo estes autores, a maioria dos aspectos físicos da superfície terrestre, como o relevo, a drenagem, os padrões de erosão e a vegetação revelam ou sugerem a distribuição dos solos e de seus materiais de origem.

RAY e FISCHER (1960) salientaram a utilidade da observação estereoscópica ao afirmarem que a forma tridimensional da imagem fotográfica supera os mapas topográficos como fonte de informações, devido à quantidade de detalhes nela contidos. A fotografia aérea contudo, apresenta a limitação de não permitir a visualização do solo em sua forma tridimensional, mostrando somente a sua superfície e, ainda, de maneira imperfeita, SERVICIO DE CONSERVACION DEL SUELO (s/d). As interferências na imagem fotográfica, de diferentes naturezas, mascaram as propriedades

dades reais da superfície do solo, tornando a fotointerpretação pedológica completamente diferente daquela de outras áreas de estudo, onde os objetos são parcial ou totalmente vistos na fotografia. Neste caso, os solos somente podem ser interpretados pelo estudo de padrões fotográficos relacionados ao material de origem, modo de deposição e aos meios climático, biótico e fisiográfico, FROST (1960).

Ainda com respeito às limitações da fotografia aérea nos estudos do solo, GOOSEN (1968) observou que as diferenças entre tipos, fases e, muitas vezes, séries de solos, não são sempre visíveis na superfície terrestre. Este fato permitiu deduzir que, em levantamentos detalhados a fotointerpretação apresenta valor limitado, o que pode ser verificado pelos critérios e definições de levantamentos, desde os esquemáticos até os detalhados, constantes em MARQUES (1971). A limitação da utilidade da fotografia na interpretação de solos foi sintetizada por FROST (1960), que a relacionou aos fatores inerentes às técnicas dos materiais fotográficos, às limitações humanas e aos inerentes à própria superfície terrestre fotografada. Particu^{larmente}, com referência à qualidade da fotografia aérea, GAR^{CIA} (1979), citando Dutton em 1967, ressalta as vantagens da fotografia pancromática na caracterização da paisagem. Todavia, é no traçado mais exato dos limites do solo e no maior rendimento dos mapeamentos, que a fotografia aérea encontra sua grande utilidade, ROURKE e AUSTIN (1951), CRESWICK e ROCKWELL (1959),

BOMBERGER e DILL (1960), BURINGH (1960), GOOSEN (1968) e AUDI (1972).

Referindo-se à metodologia para a fotointerpretação, GOOSEN (1968) apresenta três métodos para levantamento de solos: 1) método da análise dos padrões; 2) método da análise dos elementos e, 3) método da análise fisiográfica.

O primeiro deles, método da análise dos padrões, parte da suposição que cada elemento padrão está relacionado com certas condições do solo. Os elementos padrões considerados são a forma do terreno (relevo), a drenagem, os aspectos erosivos, a vegetação, a tonalidade fotográfica e os aspectos culturais. Por este método, a partir da identificação das grandes unidades se atinge as menores, sendo estas últimas caracterizadas pelos chamados padrões locais. O segundo, método da análise dos elementos, está fundamentado na análise sistemática dos elementos que se relacionam às condições do solo, cuja classificação resultante é usada como base para o trabalho de campo. O terceiro método, o da análise fisiográfica, baseia-se num conhecimento profundo dos processos fisiográficos e suas expressões fotográficas. Por este último método, o terreno é classificado em unidades fisiográficas, sendo que cada uma delas contém uma associação de solos.

3.3. Análise Morfométrica

3.3.1. Histórico e leis

O desenvolvimento dos processos sistemáticos e racionais com o propósito de caracterizar as formas do relevo deu-se nos países germânicos, particularmente na Áustria, Alemanha e Suíça, no século XIX, alcançando grande evidência no final deste século. Entretanto, as contribuições dessa fase da morfometria pouco representaram na evolução dos conhecimentos, inclusive como metodologia de pesquisa, por preocupar-se quase que exclusivamente com a orometria.

Esta linha de estudos morfométricos foi suplantada pelas novas concepções geomorfológicas procedentes da América, relacionadas com as idéias de William Morris Davis e por outras já existentes na própria Europa, particularmente na Alemanha, tendo como ponto de partida o trabalho de Robert E. Horton, em 1945, que procurou estabelecer as leis do desenvolvimento dos rios e suas bacias interpretando a lei de Playfair em bases quantitativas. Essa renovação metodológica originou novas pesquisas, com inúmeros seguidores, ocorrendo uma expansão da morfometria marcadamente nos Estados Unidos da América e com repercussão nos países europeus, citando-se dentre eles a França, CHRISTOFOLETTI (1969).

No Brasil os estudos morfométricos iniciaram

com FREITAS (1952) ao apresentar um trabalho sobre textura topográfica e teve continuidade com o trabalho de TOLENTINO, GANDOLFI & PARAGUASSU (1968), que publicaram um estudo sobre as bacias hidrográficas do planalto de São Carlos - SP. Nesse mesmo ano, FRANÇA (1968) os aplicou na caracterização de bacias e redes de drenagem, empregando fotografias aéreas, relacionando suas características às condições de solos. A contribuição de França foi de grande importância sob o ponto de vista metodológico e interpretativo, sendo adotado por diversos pesquisadores, como MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), CARVALHO (1977) e outros, abrindo novos caminhos dentro da foto interpretação.

Reportando-se ao trabalho de HORTON (1945), foi apresentado um tipo de caracterização, de natureza quantitativa, das bacias e redes de drenagem, segundo uma aproximação hidrofísica em que foram consideradas as relações infiltração/deflúvio e os processos erosivos provocados pelas águas correntes. Este autor inverteu a notação do sistema europeu de ordem de rios, propôs uma definição para composição da rede de drenagem e correlacionou o número e o comprimento de rios com as diversas ordens de ramificação da rede, estabelecendo desta maneira, as leis do desenvolvimento dos rios e suas bacias.

Assim, a lei do número de rios expressa a relação entre o número de rios de uma dada ordem e a respectiva ordem, em termos de uma série geométrica inversa, em que o primeiro

termo é a unidade e a base é a razão de bifurcação (R_b). A lei dos comprimentos de rios expressa a relação entre os comprimentos de rios de uma dada ordem e a respectiva ordem em termos de uma série geométrica direta, em que o primeiro termo é o comprimento médio dos de primeira ordem.

Posteriormente, SCHUMM (1956) estabeleceu que a área de uma bacia de drenagem aumenta exponencialmente com o aumento da ordem de ramificação dos rios, à semelhança da lei dos comprimentos de rios estabelecida por Horton. A área foi considerada por ANDERSON (1957) como a variável mais importante da bacia hidrográfica, visto que a maioria das outras características da bacia a ela estão relacionadas.

3.3.2. Bacia Hidrográfica

3.3.2.1. Conceituação

Já ao redor de 1500 DC, Leonard da Vinci escrevia que "cada vale foi escavado pelo seu rio e a relação entre os vales é a mesma que existe entre os rios" e Playfair em 1802 observava que cada rio consistia num tronco principal alimentado por um certo número de tributários, sendo que cada um deles ocorria num vale proporcional ao seu tamanho e o conjunto formava um sistema de vales comunicantes, com declividades tão perfeitamente ajustadas que nenhum deles se unia ao vale principal

num nível demasiadamente superior ou inferior. Circunstância esta que seria infinitamente improvável se cada vale não fosse obra do rio que o ocupa, HORTON (1945), STRAHLER (1957) e CHRIS TOFOLETTI (1969).

A bacia hidrográfica foi definida, segundo GUERRA (1969) e RUHE (1975), como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, tendo um divisor d'água que a delimita, separando-a das bacias adjacentes. De acordo com RUHE (1975), a bacia de drenagem constitui uma unidade geomórfica fundamental, onde todo o fluxo da água superficial é governado por suas propriedades. A bacia tem propriedades geométricas onde numa análise de sistemas naturais os dados hidrológicos, de erosão e de sedimentação podem ser relacionados.

Com o propósito de contornar as restrições de HORTON (1945) e SMITH (1950), referentes às variações de áreas, STRAHLER (1957), além de propor a análise de bacias da mesma ordem de ramificação, preconizou um conceito sobre a similaridade das bacias. Por esse conceito, em bacias geometricamente similares todas as medidas de comprimento entre os pontos correspondentes conduzem à fixação de uma escala proporcional e todos os ângulos correspondentes são semelhantes. Segundo este autor, as bacias apresentaram similaridade somente nos meios ambientes onde ocorria homogeneidade de rochas. A vantagem da aplicação deste princípio como base de operação é que, em decorrência dele, as diferenças da escala linear são independentes da forma

ou propriedades da forma da bacia e as diferenças de forma independem das diferenças de tamanho. Pelo conceito de similaridade fica estabelecido que os ângulos correspondentes são semelhantes, sendo $(\alpha = \alpha')$ e $(\beta = \beta')$; que as relações entre perímetros (p), comprimentos (c), larguras (l) e relevos (h) fixam uma proporção $\lambda = p/p' = c/c' = l/l' = h/h'$; que a relação entre áreas fixa a proporção $\lambda^2 = \text{área A}/\text{área B}$ e que a relação entre volumes estabelece a proporção $\lambda^3 = \text{volume A}/\text{volume B}$. As dimensões comprimento, largura, perímetro, relevo, área e volume são usadas singularmente ou em combinação.

3.3.2.2. Relevo

Segundo GUERRA (1975) o relevo foi conceituado como uma diversidade de aspectos da superfície da crosta terrestre representada pelo conjunto dos desnivelamentos. Na geologia e geomorfologia o relevo é considerado como um termo descritivo, sujeito a explicação e interpretação, sendo usado como sinônimo de paisagem e, na topografia, o relevo é considerado como a distribuição das diferenças de cotas ou altitudes existentes entre os pontos da superfície.

BUOL *et alii* (1973), adotando a definição do Soil Survey Staff de 1951, considerou o relevo para fins do estudo da gênese do solo como "as elevações ou variações da superfície terrestre consideradas coletivamente", a topografia como "aqueles aspectos do terreno representados num mapa topográfico" e o

declive, como o ângulo que alguma parte da superfície terrestre faz com um "datum" horizontal.

O relevo foi classificado pelo tamanho em três ordens, adotando-se o sistema de von Engeln. Por este sistema, as formas de relevo de primeira ordem são constituídas pelas dos continentes e das bacias oceânicas, as de segunda ordem pelas das planícies, platôs e cadeias de montanhas e as de terceira ordem são formadas pelos vales, bacias, penhascos, depressões, etc., LUEDER (1959). Este autor considerou que em termos de interpretação, as formas de relevo de terceira ordem são satisfatórias somente para os propósitos da geomorfologia, não apresentando significado em termos de interpretação prática. Em razão disto, Lueder sugeriu a inclusão da categoria de quarta ordem, formada por aspectos do terreno de ocorrência em áreas relativamente pequenas, tendo expressão topográfica definida e estando geneticamente relacionadas com a composição e ou formação do material onde ocorrem, devendo repetir-se frequentemente.

De acordo com FROST (1960), a maioria dos relevos têm características distintivas que são claramente visíveis, como, por exemplo, os relevos da deposição que frequentemente possuem características tão estreitamente relacionadas com o modo de deposição do material que as propriedades das formações superficiais podem ser interpretadas indiretamente através de suas identificações.

A interação entre o relevo e a pedologia foi estabelecida em razão do mesmo constituir-se no meio onde se desen

volvem os solos, sendo um dos fatores condicionadores da pedogênese, PENTEADO (1978). A pedogênese ocorre num meio submetido a ações morfogenéticas e, num determinado instante, o solo representa o balanço momentâneo entre duas forças antagônicas representadas pela alteração do substrato, que fornece os materiais e, pela ablação, que os remove. O relevo afeta significativamente o comportamento da água no meio ambiente, modificando as condições de gênese do solo, fato este que conduziu os pedólogos a estabelecerem o conceito de catena. A superfície topográfica, segundo AVERY (1968), desempenha importante papel nos levantamentos de solos porque proporciona uma chave para a dedução dos processos formadores do solo de ocorrência numa dada região. GOOSEN (1968) salientou que o relevo apresenta alta relação com as condições do solo e alta coincidência com os seus limites, além de apresentar alta visibilidade na imagem estereoscópica.

Com respeito à relação entre propriedades do solo e relevo, BUOL *et alii* (1973) afirmaram que as propriedades, tais como, profundidade, espessura das camadas, conteúdo de material orgânico do horizonte A, umidade, cor, grau de diferenciação dos horizontes, reação do solo, conteúdo de sais solúveis, espécie e grau de desenvolvimento de "pans", temperatura e a natureza do material de origem estão comumente relacionadas com o relevo dentro de áreas geográficas específicas. Segundo esses autores, a verificação dessas relações pode ser realizada por meio da caracterização dos vários índices, a densidade de drenagem, índice de relevo, dimensões do corpo do solo, número

de corpos de solos por unidade geomórfica, características do perfil do solo e da distribuição dos solos numa topossequência. Quanto à distribuição dos solos na topossequência, segundo RUHE (1969) podem existir relações com o nível do lençol freático, com a vegetação e com o microclima, singularmente ou combinadas.

3.3.2.3. Rede de drenagem

A rede de drenagem consiste num sistema interligado de canais de drenagem, sendo formada por um canal principal e seus tributários, RUHE (1975). Segundo GUERRA (1975) é definida em termos da disposição do traçado dos rios e dos vales. A definição de Guerra se assemelha bastante à de RUHE (1975) para o padrão de drenagem, o qual foi definido como "o desenho planimétrico da rede de drenagem".

A análise da rede de drenagem permite a compreensão e elucidação de numerosas questões geomorfológicas, porque os cursos d'água são processos morfogenéticos bastante atuantes na esculturação da paisagem terrestre. A sua importância na geomorfologia clássica e nos estudos cartográficos e aerofotogramétricos pode ser mostrada pelo fato da drenagem encontrar-se intimamente relacionada, como fator analítico, à erosão, outro elemento fisiográfico e geomorfológico de extraordinária importância, CHRISTOFOLETTI (1969).

Os padrões de drenagem retratam a distribuição da

água na superfície do solo, proporcionando indícios sobre a composição e origem dos solos, além de poderem ser facilmente delineados nos pares estereoscópicos de fotografias aéreas, FROST (1960). Segundo LUEDER (1959) esses padrões são, após o relevo, os mais consistentes indicadores das condições do solo disponíveis ao fotointérprete. De acordo com AVERY (1968), a classificação dos padrões dentro de agrupamentos regionais específicos propicia o estabelecimento de referências sobre o tipo de solo, a estrutura geológica e a quantidade e intensidade de precipitação local.

O padrão de drenagem superficial é função da relação infiltração/deflúvio da água nas áreas de ocorrência dos materiais. Em geral, materiais relativamente impermeáveis, como a argila e argilitos, condicionam a formação de rede relativamente densa e, materiais relativamente permeáveis, com os arenitos e cascalhos, provocam a formação de rede pouco desenvolvida, existindo, entretanto, exceções, LUEDER (1959). A existência dessas exceções foi atribuída por FRANÇA (1968) às diferentes condições de solo que podem, às vezes, ocorrer em áreas com similaridades de materiais e modos de deposição. BELCHER (1945) apresentou o conceito de drenagem funcional para explicar por que certos solos argilosos se comportam como se fossem constituídos de materiais grosseiros.

O padrão de drenagem revela sobre a permeabilidade e textura dos materiais, a ocorrência de materiais distintos,

o grau de uniformidade, a localização e extensão das mudanças, os fatores de controles gerais ou localizados, a natureza e profundidade das camadas rochosas ou camadas endurecidas, a estrutura geológica e outros aspectos do terreno. Sua análise pode indicar as variações das idades das superfícies de erosão e possibilitar a interpretação dos diversos aspectos específicos da camada superficial da crosta terrestre, LUEDER (1959), REEVES *et alii* (1975) e RUHE (1975).

O padrão de drenagem é influenciado pela profundidade do estrato rochoso e pelas declividades das superfícies. De maneira geral, com a diminuição da profundidade do estrato rochoso e pelo aumento das declividades ocorre aumento no número de rios e diminuição no comprimento médio dos rios, além de alterar a distribuição dos rios, SOUZA (1975), CARVALHO (1977) e FREIRE (1977).

Onde a ação do controle estrutural é mínimo o padrão de drenagem é influenciado pela espessura e natureza do material exposto, refletindo diferenças dos perfis de solos, RAY (1963), fato que foi parafraseado por GALHEGO (1979). A influência da diferença textural dos horizontes A e B do solo nos fenômenos erosivos, citada por ESPINDOLA (1977), é um importante elemento para a definição do padrão de drenagem.

A importância da caracterização do padrão de drenagem é inquestionável, todavia, AVERY (1968) ressaltou a limitação decorrente das inúmeras variações dos padrões nos sistemas

mas de drenagem, podendo até ocorrer um único sistema de drenagem apresentando vários padrões. Portanto, o padrão de drenagem é somente um bom indicador das condições de solo, do material de origem e da estrutura litológica subjacente, quando prevalece numa dada unidade geomórfica.

3.3.3. Caracterização descritiva

3.3.3.1. Relevo

Dos diversos sistemas de classificação do relevo, GUERRA (1975) descreveu os de von Engeln, de Siegfried Passarge, de Lobeck e de Paul Macar.

O sistema de von Engeln adota o critério estrutural para classificar as unidades geomorfológicas, apresentando a seguinte chave de classificação:

A - Unidade de estrutura simples ou horizontal

1. constituída por sedimentos soltos - planície costeira, planície de piemonte, planície de tundra, planícies fluvial e lacustre, planície glacial e planície de loess;

2. constituída de rochas sedimentares ou magmáticas mais ou menos consolidadas - planaltos interiores, bacias em forma de concha, planície de lava e cones vulcânicos;

3. constituída por terrenos calcários - formas cársticas e ilhas coralígenas e,

B - Unidade de estruturas deslocadas ou perturbadas

1. constituída por terrenos dobrados ou fraturados, com rochas consolidadas - saliências em domo (lacólitos e batólitos) e montanhas dobradas e fraturadas;

2. constituída por massa rígida de terrenos muito antigos, como os escudos de rochas plutônicas e metamórficas, as regiões peneplanizadas e as geleiras continentais.

O sistema de Siegfried Passarge enquadra as formas de relevo nas categorias planície, formas acidentadas e formas de escavação. As formas acidentadas são compostas pelos cumos em pontas e pelos montes tabulares e nas formas de escavação são agrupadas as grutas, cavernas, os vales e as fossas.

O sistema de Lobeck classifica as formas de relevo em quatro categorias:

1 - formas de primeira ordem ou maiores (considerável grau de permanência) - formas continentais e bacias oceânicas;

2 - formas de segunda ordem ou de construção-planícies, planaltos, montanhas e formas vulcânicas;

3 - formas de terceira ordem ou de destruição-formas de agradação, vales, bacias, escarpas e cristas e,

4 - formas intermediárias compostas e complexas - colinas.

O sistema de classificação de Paul Macar enquadra as formas de relevo nas categorias planície, planaltos e montanhas. Na categoria planície são agrupadas as planícies costeiras ou marítimas e as continentais; na categoria planaltos, os planaltos típicos, os soerguidos e os baixos-planaltos e na categoria montanhas, são reunidas as montanhas de origem orogênica (típicas), as de origem espirogênicas (que constituem mais comumente as bordas de planaltos) e as montanhas de acumulação.

Com o propósito de caracterizar o relevo para fins de levantamentos pedológicos, o SERVICIO DE FOMENTO Y CONSERVACION DE RECURSOS DE SUELOS (1977) apresentou a seguinte sequência para a sua descrição: altitude, posição fisiográfica do lugar (patamar, topo, escarpa, terraço, fundo de vale, planície, depressão, etc.), forma de vertente, topografia do terreno circundante (classe de relevo), microtopografia natural ou artificial e declividade local. Em LEMOS e SANTOS (1976) foram apresentadas as classes de relevo, plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado com o fim de caracterizar a topografia dentro de uma unidade geomórfica.

3.3.3.2. Rede de drenagem

As redes de drenagem são caracterizadas pela análise e classificação de seus padrões e componentes, RUHE (1975).

Para a classificação dos rios foram propostos

três sistemas, o europeu, o de Horton modificado por Strahler, HORTON (1945) e STRAHLER (1957).

Pelo sistema europeu, o rio principal ou tronco, caracterizado por ser o maior e o mais ramificado, foi designado como de primeira ordem e os tributários menores, em sequência crescente na sucessão de ramificação, foram enquadrados nas ordens mais elevadas. Este sistema apresentou o inconveniente de classificar em categorias diferentes os tributários não ramificados localizados nas pontas dos sistemas de drenagem, apesar desses tributários possuírem características semelhantes em todos os sistemas.

O sistema de Horton apresenta uma inversão em relação ao sistema europeu. Os tributários não ramificados das pontas dos sistemas de drenagem foram designados de primeira ordem, os tributários que recebem os de primeira ordem foram classificados de segunda ordem e os que recebem os de segunda ordem, de terceira ordem e, assim sucessivamente. O autor estabeleceu um critério baseado nas características dos ângulos formados em relação ao prolongamento do canal formado pela junção dos tributários, para a caracterização do rio de ordem mais elevada, sendo considerado o de ordem mais elevada aquele tributário cujo ângulo for menor e quando os ângulos forem iguais, será considerado de ordem mais elevada o tributário que tiver o maior comprimento, HORTON (1945).

O sistema de Strahler foi baseado no sistema de

Horton, apresentando algumas modificações. Neste sistema os canais extremos, de fluxos permanente ou intermitentes e localizados em vales bem definidos, foram designados de primeira ordem; os segmentos de rios formados pela junção de dois canais de primeira ordem foram classificados de segunda ordem e os formados pela junção de dois de segunda ordem, de terceira ordem e, assim sucessivamente. Os canais de segunda ordem podem receber outros canais de primeira ordem e os canais de ordens mais elevadas podem receber maior número de canais de ordens inferiores. O tronco do rio através do qual passa toda a descarga da água e sedimentos da bacia constitui o canal de ordem mais elevada. A utilidade deste sistema está baseada na premissa que, se uma amostra suficientemente grande é analisada, o número de ordem dos canais é diretamente proporcional às dimensões relativas da bacia, tamanho do canal e vazão da água e descarga de sedimentos do rio. Por este sistema, duas ou mais bacias de drenagem muito diferentes na escala linear podem ser equacionadas ou comparadas nas partes correspondentes de suas geometrias, através do uso do mesmo número de ordem, STRAHLER (1957).

Os padrões de drenagem foram classificados em dois grupos, os básicos e os modificados, PARVIS (1950). No grupo dos básicos foram descritos os modelos: dentrítico, treliça, radial, paralelo, anular e o retangular; e no grupo dos modificados foram agrupados cerca de trinta modelos. Como neste trabalho só ocorreram modelos relacionados ao dentrítico, procurou-

-se enfatizá-lo. Este padrão constitui um padrão bem integrado e formado por um sistema de rios composto por um rio principal e por seus tributários com distribuição que se assemelha à disposição dos ramos de uma árvore. A sua existência implica que a área foi originalmente nivelada e constituída de materiais relativamente recentes, AVERY (1968) e REEVES *et alii* (1975).

De acordo com RAY (1963), o padrão dendrítico e o dendrítico modificado ocorrem nas áreas onde a erosão é mais ou menos uniforme, como em muitos depósitos sedimentares ou em mantos de intemperismo sobre embasamentos sem estrutura pronunciada. GOOSEN (1968) se referiu a este sistema de drenagem afirmando que o mesmo apresenta alta visibilidade na imagem estereoscôpica.

Cada padrão apresenta as seguintes características descritivas: grau de integração, densidade, grau de uniformidade, orientação, grau de controle, ângulos de junção, angularidade e tipo ou modelo; as quais refletem condições de terreno, como o grau de erosibilidade, a uniformidade dos materiais e a existência de fatores modificadores, LUEDER (1959).

RICCI e PETRI (1965) introduziram o termo anomalia para representar qualquer configuração que não esteja adaptada à dominante. As anomalias fornecem informações sobre as variações da textura superficial, permeabilidade dos materiais expostos, grau de erodibilidade e condições estruturais presentes num sistema de drenagem.

A classificação das características do padrão de drenagem foi apresentada também por LUEDER (1959), estando de maneira geral, baseada no grau de desenvolvimento e nos aspectos típicos de cada característica.

3.3.4. Caracterização quantitativa

A caracterização quantitativa da bacia de drenagem está fundamentada na caracterização do relevo e rede de drenagem.

3.3.4.1. Relevo

O princípio da análise hipsométrica foi sintetizado por STRAHLER (1952) para o estudo de bacias hidrográficas. A análise hipsométrica expressa a relação entre a área da seção transversal plana e horizontal da bacia e a sua altura, tendo sido inicialmente desenvolvida por Langbein em 1947, LANGBEIN *et alii* (1947). O objetivo da análise hipsométrica é determinar a distribuição dos solos e/ou rochas na bacia, desde a sua base até o topo.

A curva hipsométrica constitui-se numa função contínua que relaciona a altura relativa com a área relativa. A forma da curva varia com o estágio de desenvolvimento da bacia, definindo-se formas características para os estágios jovem, ma

duro e fase de pene-planície. As propriedades da curva apresentam tendência de não variar quando o material é homogêneo, sendo semelhantes onde ocorrem similaridade de condições climáticas e geológicas.

Partindo da curva hipsométrica, Frédéric Fournier, estabeleceu os índices coeficientes de massividade do relevo e coeficiente orográfico, CHRISTOFOLETTI (1974). O coeficiente de massividade expressa a relação entre a altura média do relevo e a área da bacia e o coeficiente orográfico expressa um valor obtido pela multiplicação do valor do coeficiente de massividade pelo da altura média.

Outro elemento para a caracterização do relevo é a razão de relevo. Este índice foi definido por SCHUMM (1956) como a relação entre o relevo total e o comprimento da bacia. O relevo total é identificado como sendo a diferença de elevação entre a desembocadura e o topo da bacia e o comprimento total, corresponde ao maior alinhamento da bacia, na direção do vale principal, definido pela desembocadura e extremo oposto. De maneira geral, a razão de relevo indica a declividade média da bacia, constituindo-se num número adimensional correlacionável com outras medidas, independentemente do tamanho da bacia, STRAHLER (1952). Este índice foi relacionado à perda anual de sedimentos, numa série de pequenas bacias de drenagem da província de Plateau Colorado, sendo obtida uma regressão significativa, SCHUMM (1956).

3.3.4.2. Rede de drenagem

As determinações dos índices quantitativos da rede de drenagem possibilitaram inferências sobre diversos aspectos e não apresentam a subjetividade da caracterização descritiva, HORTON (1945).

3.3.4.2.1. Padrão de drenagem

HORTON (1945) propôs o número da ordem de ramificação e os índices densidade de drenagem e frequência de rios para expressar o grau de desenvolvimento da rede de drenagem.

A densidade de drenagem foi definida por Horton como o comprimento médio dos segmentos de rios por unidade de área e a frequência de rios, como o número de segmentos de rios por unidade de área. De acordo com STRAHLER (1957), a densidade de drenagem é um importante índice para representar a topografia de uma bacia hidrográfica. Para as mesmas condições, à medida que o valor numérico da densidade de drenagem aumenta ocorre uma diminuição proporcional das áreas das bacias de primeira ordem. Segundo HORTON (1945), quando se consideram simultaneamente bacias pequenas e grandes, os valores da densidade e frequência de rios não são diretamente comparáveis, porque eles variam usualmente com a área de drenagem.

RAY (1963) considerou que num determinado ambiente climático a densidade de drenagem está relacionada principalmente com a resistência à erosão dos materiais presentes. Segundo verificações de FREITAS (1952) e CHRISTOFOLETTI (1974), os valores da densidade de drenagem são maiores à medida que umenta a declividade do terreno. A densidade de drenagem quantifica a textura do padrão de drenagem e é uma expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração do solo, ZINKE (1960) e RUHE (1975). Todavia, HORTON (1945) considerou que o padrão de drenagem e a densidade, separados ou combinados, não são suficientes para uma caracterização perfeita da rede de drenagem, em razão de: 1) os mesmos comprimentos e números de rios podem existir em padrões diferentes; 2) várias combinações de ordens, números e comprimentos de rios podem resultar valores muito próximos da densidade e, 3) podem existir tipos semelhantes de padrões com densidades diferentes. Contudo, STRAHLER (1957), considerou a densidade de drenagem como o parâmetro mais importante na análise das formas da terra.

A textura topográfica foi inicialmente proposta com o objetivo de identificar o tamanho médio das unidades componentes do relevo, sendo designada por SMITH (1950), nas classes grosseira, média e fina.

A razão de textura é resultante da relação entre o número de crênulas de uma curva de nível escolhida num mapa topográfico e o perímetro da bacia a que a curva se refere,

SMITH (1950). De acordo com STRAHLER (1957) esse índice constitui uma medida da compacidade da bacia e se correlaciona com a densidade de drenagem. Com o propósito de determinar a razão de textura a partir de estudos realizados sobre fotografias aéreas, FRANÇA (1968) substituiu o número de crênulas da curva de nível pelo número total de segmentos de rios da bacia, baseando-se no fato que os sistemas hidrográficos podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de imagens aéreas.

O índice extensão do percurso superficial representa a distância média percorrida pelas enxurradas desde o interflúvio até o canal permanente, tendo sido denominado inicialmente por HORTON (1945) de comprimento do fluxo superficial. Este índice é considerado como uma das mais importantes variáveis que afetam o desenvolvimento hidrológico e fisiográfico da bacia de drenagem, CHRISTOFOLETTI (1974).

Outro índice de grande importância no estudo do padrão de drenagem é o coeficiente de manutenção, definido por SCHUMM (1956) como a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Este índice, como no caso anterior, apresenta alto significado no desenvolvimento hidrológico e fisiográfico da bacia.

3.3.4.2.2. Composição da rede de drenagem

A expressão composição da rede de drenagem foi proposta para indicar os números e os comprimentos de rios das diferentes ordens, independentemente do padrão. A composição tem alto grau de significação hidrológica, enquanto que o padrão isolado tem pouca ou nenhuma significação, HORTON (1945).

Smith em 1953, verificou que existe uma relação entre o número de rios de cada ordem (N_w) e a respectiva ordem (w), na forma $N_w = a.w^{-b}$, STRAHLER (1957). Contudo, MAXWELL (1955), ao relacionar o logarítmo do número de rios com as respectivas ordens de ramificação obteve uma reprodução gráfica em linha reta, com muito pequeno espalhamento dos dados, expressando-a na forma $\log N_w = \log a - w \cdot \log b$, divergindo portanto, da verificação de Smith.

A razão da ramificação foi enunciada como a relação entre os números de rios de duas ordens consecutivas, HORTON (1945), sendo considerada por STRAHLER (1957) como um valor que expressa a forma do sistema de drenagem. Este valor apresentou-se altamente estável, revelando pequenas variações mesmo quando se comparavam regiões e ambientes diferentes, exceto para regiões onde ocorria efeito dominante do controle geológico. MAXWELL (1955) adotou o valor do anti-logarítmo de b , da sua expressão, como o valor da razão de ramificação (R_b).

STRAHLER (1957) relacionou os logarítmos dos com
primentos totais dos rios de cada ordem às respectivas ordens,
verificando que seus dados se ajustavam melhor à expressão $\text{Log } L_w =$
 $= \log a - b \cdot \log w$, onde L_w = comprimento total de segmen
tos de rios de cada ordem e w = número da ordem. Enquanto que
FRANÇA (1968) constatou um melhor ajustamento à expressão $\text{Log } L_w =$
 $= \log a - w \cdot \log b$. O valor b da regressão permite inferir
sobre as diferenças observadas na variação do comprimento de ca
nais com a mudança da ordem, desde que as bacias apresentem si
milaridade geométrica, STRAHLER (1957).

A razão de comprimentos totais foi estabelecida
pela relação entre os comprimentos totais dos segmentos de rios
de uma ordem (L_w) e os da ordem imediatamente inferior. FRANÇA
(1968) propôs a expressão $R_{Lw} = \text{antilog } b$ para representar a ra
zão de comprimentos totais.

VASQUES FILHO (1972) relacionou os comprimentos
médios de cada ordem (L_m) às respectivas ordens, verificando
que os seus dados se ajustaram melhor a uma relação na forma
 $L_m = a \cdot b^{-w}$.

A razão de comprimentos médios foi estabelecida
por HORTON (1945) como a relação entre os comprimentos médios
dos segmentos de rios de uma dada ordem e os da ordem imediata
mente inferior e VASQUES FILHO (1972) propôs para sua caracter
ização a expressão $R_l = \text{antilog } b$.

STRAHLER (1957) verificou que havia uma relação

inversa entre os valores de comprimentos médios de rios e os valores da densidade de drenagem, ao constatar que com o aumento do valor da densidade de drenagem ocorria uma diminuição quase que proporcional dos tamanhos dos componentes fluviais das bacias de drenagem, resultados estes suportados pelo trabalho de CHRISTOFOLETTI e CESAR (1978), que observaram, ainda, uma menor significância dessa relação com o aumento do número de ordem das bacias.

FRANÇA (1968) propôs a expressão $R_{lw} = R_b \cdot R_{lm}^{-1}$ para o cálculo da razão de comprimentos totais (R_{lw}), razão de bifurcação (R_b) e razão de comprimentos médios (R_{lm}).

3.3.5. Critérios de amostragem para o estudo da rede de drenagem

Os estudos de HORTON (1945) consideravam cada bacia de drenagem uma amostra e este critério foi utilizado sucessivamente pelos pesquisadores que o sucederam.

Em 1960 foi apresentado o critério de amostras circulares para ser empregado no estudo de redes de drenagem para fins de caracterização litológica, sendo adotadas amostras com tamanho equivalente a uma área de 10 km^2 , RAY e FISCHER (1960). Segundo BURINGH (1960), as amostras circulares podem apresentar variação de tamanho equivalente a uma amplitude de 10 a 100 km^2 .

Nos estudos de solos, FRANÇA (1968) comparou os

dois critérios de amostragem, encontrando resultados que indicaram uma melhor adequabilidade das amostras circulares. Este autor utilizou círculos de tamanho equivalente a 10 km^2 de área. Os resultados de França foram suportados pelos trabalhos de MARCHETTI (1969), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974), GARCIA (1975), KOFFLER (1976), FREIRE (1977) e CARVALHO (1977).

Com respeito à variação do tamanho das amostras, os trabalhos de SOUZA (1975), KOFFLER (1976) e FREIRE (1977) permitiram constatar que a utilização de círculos com tamanho equivalente a 5 km^2 de área propiciaram uma melhor representação dos solos nos casos em que a conformação da área de ocorrência limita a tomada de amostras de maior tamanho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e a metodologia empregados na realização do presente estudo são apresentados em seguida.

4.1. Materiais

As bacias hidrográficas e as redes de drenagem das áreas de ocorrência das unidades de solos que serviram de base para o estudo, constituíram o material básico do presente trabalho.

4.1.1. Descrição geral das áreas

As duas áreas selecionadas representam as ocorrências de duas unidades de mapeamento: Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília (Pml) e Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras, classificadas segundo a COMISSÃO DE SOLOS (1960a). Essas áreas estão localizadas, respectivamente, na re

gião de Jaboticabal, no planalto ocidental paulista e na região de Piracicaba, na depressão periférica paulista. Apresentam como características comuns o mesmo tipo climático e a presença de horizonte B textural nos perfis de solo.

4.1.1.1. Área representativa da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília

A situação geográfica é definida pelas coordenadas, latitudes $21^{\circ}10'$ e $21^{\circ}15'S$ e longitudes, $48^{\circ}25'$ e $48^{\circ}21' W$. Gr. Está localizada na parte centro-norte do Estado de São Paulo, no planalto ocidental paulista e ocupa porções dos municípios de Jaboticabal, Monte Alto e Taiúva. A figura 1 mostra a sua posição no Estado de São Paulo e em relação à outra área de estudo.

A conformação topográfica é a de planalto colinoso, subtabular, situado no reverso da cuesta de Monte Alto, apresentando relevo ondulado com interflúvios planos, sendo comum a ocorrência de linhas de ruptura de declives. Ocupa a faixa altimétrica de aproximadamente 530 a 700 metros. A sua superfície, de modo geral, mergulha 1 a 2 graus para o noroeste, excetuando os declives locais em direção à drenagem regional, PENTEADO e RANZANI (1971).

O clima foi classificado como Cwa, segundo a clasas

Figura 1 - Localizações das Áreas de Estudo no Estado de São Paulo.

sificação de Köppen descrita em VILLA NOVA e SANTOS (1966), sendo denominado clima mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio é inferior a 18°C . A precipitação anual é de aproximadamente 1280 mm, com distribuição anual mostrando concentração no período outubro-março e relativa seca no período abril-setembro.

No quadro 1 são apresentados os dados climáticos

Quadro 1 - Dados Climáticos e Balanço Hídrico Mensal, Segundo Thornthwaite e Matter (1955) da Região de Jaboticabal. (CAD: 125 mm).

Meses	Temp. Média (°C)	Prec. (P) (mm)	Evapot. (EP) (mm)	P - EP (mm)	NEG. ACUM. (mm)	ARM. (mm)	ALT. (mm)	ER. (mm)	DEF. (mm)	EXC. (mm)
Janeiro	24,5	238	125	+ 113	0	125	0	125	0	113
Fevereiro	24,3	209	109	+ 100	0	125	0	109	0	100
Março	24,1	169	112	+ 57	0	125	0	112	0	57
Abril	22,5	53	85	- 32	- 32	96	- 29	82	3	0
Mai	20,7	36	68	- 32	- 64	74	- 22	58	10	0
Junho	19,6	24	56	- 32	- 96	57	- 17	41	15	0
Julho	18,8	17	52	- 35	-131	43	- 14	31	21	0
Agosto	20,5	13	68	- 57	-186	28	- 15	28	40	0
Setembro	23,2	40	97	- 57	-243	17	- 11	51	46	0
Outubro	22,8	122	100	+ 22	-144	39	+ 22	100	0	0
Novembro	23,1	141	105	+ 36	- 62	75	+ 36	105	0	0
Dezembro	24,1	221	124	+ 97	0	125	+ 50	124	0	47
Ano	22,4	1285	1101	+ 182			0	966	135	317

ARM. = armazenamento; ALT. = variação do armazenamento; ER. = evaporação real; DEF. = déficit e EXC. = excesso.

temperatura e precipitação, em termos de médias mensais referentes ao período de 15 anos, fornecidos pela FCAV "Campus" de Jaboticabal e o balanço hídrico segundo Thornthwaite e Matter (1955), elaborado conforme BURGOS e VIDAL (1951), da região de Jaboticabal.

O gráfico representativo do balanço hídrico mensal é apresentado na figura 2.

Nas condições climáticas atuais ocorre na região de Jaboticabal um período de excedentes de água, com valor acumulado de 317 mm, o qual inicia em dezembro e termina em março; um período de armazenamento, com valor acumulado de 108 mm, que inicia no final de outubro e encerra em dezembro; um período de retirada de água do solo, com valor acumulado de 108 mm, que começa em março e termina em setembro e um período de défices, com valor acumulado de 135 mm, que ocorre concomitantemente com o de retirada de água do solo.

O material geológico foi identificado como arenito Bauru - fácies conglomerática, de textura variando desde a arenosa até a argilosa e de cor rósea marchetada de branco, PENTEADO e RANZANI (1971). Segundo a classificação do Instituto Geográfico e Geológico, SÃO PAULO (1963), esse material é enquadrado na formação Bauru, pertencente ao período cretáceo, era mesozóica.

Essa unidade litológica da formação Bauru é a única que possui expressão em termos de área, ocorrendo em todo o

Figura 2 - Balanço Hídrico Mensal da Região de Jaboticabal.

planalto noroeste do Estado de São Paulo e podendo se apresentar como arenito consolidado ou não consolidado, mas sempre com a presença de cimento calcário. Está situada na província geomórfica V - planalto ocidental, ALMEIDA (1964). A área de estudo está localizada bem próxima dos limites com a província geo

morfológica IV - cuestras basálticas.

A formação vegetal originária foi classificada como floresta fluvial estacional, JOLY (1970) e como floresta latifoliada tropical, COMISSÃO DE SOLOS (1960a). Essa vegetação foi substituída por formações vegetais culturais como a cana-de-açúcar, citrus e diversas culturas de ciclo anual e por pastagens e formações naturais secundárias.

4.1.1.2. Área representativa da unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras

A situação geográfica é definida pelas coordenadas, latitudes $24^{\circ}41'$ e $22^{\circ}47'$ S e longitudes $47^{\circ}28'$ e $47^{\circ}31'$ W. Gr. Está localizada na zona do médio Tietê, ocupando partes dos municípios de Piracicaba e Santa Bárbara D'Oeste. A figura 1 mostra a sua posição no Estado de São Paulo e em relação à outra área de estudo.

A conformação topográfica é a de relevo tabular, ondulado, com interflúvios planos ou suavemente ondulados, sendo comum a presença de linhas de ruptura de declives. Ocupa faica altimétrica de 500 a 600 metros, sendo considerada como área de altitudes baixas em relação às do embasamento cristalino e Grupo São Bento, PENTEADO (1968).

O clima apresenta a mesma classificação da área anteriormente descrita. A precipitação anual é de aproximadamente

te 1230 mm, com distribuição que define um período de chuvas de 6 meses, ocorrendo de outubro a março e outro de relativa seca, com duração de 6 meses, que inicia em abril e termina em setembro.

No quadro 2 são apresentados os dados climáticos temperatura e precipitação, em termos de médias mensais referentes a um período de 15 anos, fornecidos pela ESALQ/USP, os de evapotranspiração potencial mensal e o balanço hídrico de Thornthwaite e Matter (1955) da região de Piracicaba.

O gráfico representativo do balanço hídrico mensal é apresentado na figura 3.

Nas condições climáticas atuais ocorre na região de Piracicaba um período de excedentes de água, com valor acumulado de 238 mm, que inicia em dezembro e termina em março; um período de armazenamento, com valor acumulado de 75 mm, que inicia em setembro e termina em novembro; um período de retirada de água do solo, com valor acumulado de 65 mm, ocorrente desde março até outubro e um período de défices, com valor acumulado de 27 mm, que inicia em junho e termina em outubro.

O material geológico foi identificado por RANZA NI *et alii* (1966) como arenitos do Grupo Tubarão, formações Itapetininga e Tietê. Os arenitos de formação Itapetininga são os do membro Tupi. Essas formações são enquadradas no período carbonífero da era paleozóica, SÃO PAULO (1963). Os arenitos do membro Tupi apresentam-se associados a siltitos argilosos, com

Quadro 2 - Dados Climáticos e Balanço Hídrico Mensal, segundo Thornthwaite e Matter
(1955) da Região de Piracicaba. (CAD: 125 mm).

Meses	Temp. Média (°C)	Precip. (P) (mm)	Evapot. (Ep) (mm)	P - EP (mm)	Neg. Acum. (mm)	Arm (mm)	Alt (mm)	ER (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	24,0	234	125	+ 109	0	125	0	125	0	109
Fevereiro	23,7	184	106	+ 78	0	125	0	106	0	78
Março	23,0	124	104	+ 20	0	125	0	104	0	20
Abril	21,2	61	79	- 18	- 18	107	- 18	79	0	0
Mai	17,9	51	53	- 2	- 20	106	- 1	52	1	0
Junho	16,8	34	42	- 8	- 28	- 99	- 7	41	1	0
Julho	17,0	25	47	- 22	- 50	83	- 16	41	6	0
Agosto	18,8	33	61	- 28	- 78	66	- 17	50	11	0
Setembro	21,1	57	82	- 35	-113	50	- 16	73	9	0
Outubro	21,8	117	96	+ 21	- 69	71	+ 21	96	0	0
Novembro	22,7	108	105	+ 3	- 64	74	+ 3	105	0	0
Dezembro	23,4	202	120	+ 82	0	125	+ 51	120	0	31
Ano	20,9	1230	1020	+ 200			0	27	27	238

Figura 3 - Balanço Hídrico Mensal da Região de Piracicaba.

frequente estratificação cruzada e possuem como cor predominante a chocolate. Os arenitos da formação Tietê apresentam-se associados, em rápida sucessão, com siltitos e folhelhos, possuindo cores claras. Segundo PENTEADO (1968) essas formações apresen

tam estrutura homoclinal, cujas camadas mergulham numa direção geral noroeste, com inclinação de 15 a 20 metros por quilômetro. Estas unidades litológicas estão situadas na província geomorfológica III, zona do médio Tietê, ALMEIDA (1964).

A formação vegetal originária foi classificada como floresta fluvial estacional tropical, JOLY (1970), sendo substituída por mata talhada, pastagem, reflorestamento e cultura da cana-de-açúcar.

4.1.2. Descrição das unidades de solos

As unidades de solos foram classificadas à nível de variação de grande grupo como Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília (Pml) e Solos Podzólicos Vermelho-Amarelo - var. Laras (Pvls), COMISSÃO DE SOLOS (1960a). As duas unidades apresentam as características gerais dos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos excetuando na primeira unidade a saturação de bases que é alta. Os solos da primeira unidade foram classificados mais recentemente como Solos Podzólico Vermelho - Amarelo - Eutrófico, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1971). Essas unidades apresentam nas áreas selecionadas diferenças de comportamento hidrológico, sugeridas pelas condições de drenagem dos perfis.

As características principais, na área selecionada, da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília

são, de acordo com ALOISI (1973) e MAZZA (1979), as seguintes: provável material de origem - arenito Bauru com cimento calcáreo; relevo - forte ondulado; drenagem do perfil - boa, sendo excessiva no horizonte A; sequência de horizontes - A_p , A_3 , B_{21} , B_{22} , B_3 e C; profundidade - superior a 170 cm; textura do horizonte superficial - areia barrenta fina; textura do horizonte B - barro argilo-arenoso; estrutura do horizonte superficial - maciça; estrutura do horizonte B - composta (prismática e em blocos), moderada e pequena a média; consistência do horizonte superficial - macio, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; consistência do horizonte B - ligeiramente duro e duro, friável, plástico e pegajoso; transição entre os horizontes A e B - abrupta; capacidade de retenção da água no perfil - média; bases trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação de bases, no horizonte superficial, respectivamente, 4,33 e. mg/100 g de solo, 6,79 e. mg/100 g de solo e 63,8%; e bases trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação de bases no horizonte B, respectivamente, variando de 5,35 a 7,74 e. mg/100 g de solo, 7,45 a 10,92 e. mg/100 g de solo e 70,8 a 74,2%. Os Litossolos associados à unidade ocupam aproximadamente 15 a 20% da área global, estando localizados, principalmente, nas posições das linhas de ruptura de declives. A erosão se manifesta pela erosão laminar moderada, erosão em sulcos médios e frequentes e voçorocas localizadas principalmente junto à rede de escoadouros.

A classificação, de acordo com o Soil Survey Staff de 1970, é Tropudalf, fine loam, isothermic, siliceous e nonacid, ALOISI (1973).

As características, na área selecionada, da unidade de Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras (PVls) foram descritas por RANZANI *et alii* (1965), sendo os solos agrupados em duas séries, a Quebra-Dente e a Tijuco Preto.

As características principais da Série Quebra- Dente são: provável material de origem - arenito glacial de cores claras da formação Tietê; relevo - ondulado a forte ondulado, irregular a médio; drenagem do perfil - moderada, sendo excessiva no horizonte A; sequência de horizontes - Ap, A₁₂, A₂, A₃/B₁, B₂₁, B₂₂, B₃/C e Ccn; profundidade - superior a 225 cm; textura do horizonte superficial - areia barrenta fina; textura do horizonte B - barro arenoso fino; estrutura do horizonte superficial - grãos simples; estrutura do horizonte B - blocos subangulares, moderada a forte e média; consistência do horizonte superficial - macio, solto, não plástico e não pegajoso; consistência do horizonte B - duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição entre os horizontes A e B - abrupta; bases trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação de bases do horizonte superficial - respectivamente 3,43 e. mg/100 g de solo, 5,88 e. mg/100 g de solo e 58,3%; e bases trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação de bases do horizonte B - variando, respectivamente, de 1,51 a

2,65 e. mg/100 g de solo, 3,20 a 4,06 e. mg/100 g de solo e 47,2 a 60,3%. Os Litossolos associados à unidade ocupam aproximadamente 25% da área global.

As características principais da Série Tijuco Preto são: provável material de origem - arenito glacial de cor chocolate, membro Tupi; relevo - ondulado; drenagem do perfil - moderada, sendo excessiva no horizonte superficial; sequência de horizontes - A_1 , A_2 , A_3/B_1 , B_2 , B_3/C e C; profundidade - superior a 175 cm; textura do horizonte superficial - barro arenoso; textura do horizonte B - barro arenoso; estrutura do horizonte superficial - granular, média e fraca; estrutura do horizonte B - blocos subangulares, moderada e grande; consistência do horizonte superficial - macio, muito friável, não plástico e não pegajoso; consistência do horizonte B - ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso; transição entre os horizontes A e B - clara; bases trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação de bases do horizonte superficial - respectivamente, 4,63 e. mg/100 g de solo, 7,49 e. mg/100 g de solo e 64,4%; e bases trocáveis, capacidade de troca catiônica e saturação de bases do horizonte B - respectivamente, 1,74 e. mg/100 g de solo, 4,42 e. mg/100 g de solo e 34,9%. Nesta série há a ocorrência de fase rasa associada a Litossolos. A erosão se manifesta pela erosão laminar moderada e severa e em sulcos médios e profundos, frequentes.

A classificação, de acordo com o sistema 7.^a apro

ximação, é respectivamente, Ochru^ttic Typustalf e Umbric Typo^ochrult, RANZANI *et alii* (1966).

4.1.3. Imagens aéreas

As imagens aéreas utilizadas constam de coleções de fotografias aéreas verticais, fotomosaicos e fotoíndices.

As fotografias aéreas, referentes às duas áreas de estudo, são pancromáticas, preto-e-branco e verticais. A escala aproximada é 1:25.000. Estas fotografias fazem parte da coleção da cobertura aerofotográfica do Estado de São Paulo, realizada nos anos 1971/1972, sob o patrocínio do Instituto Brasileiro do Café. O conjunto de fotografias é composto de pares estereoscópicos, apresentando recobrimentos longitudinais e laterais de, respectivamente, 60 e 30%.

Os fotomosaicos são formados por montagens das fotografias aéreas, onde foram eliminados os recobrimentos. Os fotomosaicos são do tipo semicontrolado.

Os fotoíndices são reproduções, na escala aproximada 1:100.000, de uma montagem dessas fotografias, onde se destacaram os seus números de identificação.

4.1.4. Cartas topográficas

As cartas topográficas utilizadas foram as per

tencentes à Coleção Carta do Brasil, editada pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia. Apresentam escala 1:50.000 e equidistância vertical entre curvas de nível de 20 metros. As folhas empregadas foram as de Jaboticabal, Pirangi, Piracicaba, Limeira, Capivari e Americana.

4.1.5. Cartas de solos

As cartas de solos utilizadas foram a Carta de Solos do Estado de São Paulo, COMISSÃO DE SOLOS (1960b), a Carta de Solos da Região Noroeste do Município de Jaboticabal, MAZZA (1979) e a Carta de Solos do Município de Piracicaba, RANZANI *et alii* (1966).

4.1.6. Equipamento

Como equipamento básico foram empregados estereoscópios de espelho, marca Zeiss, modelo N2; estereoscópios de bolso, marca Vasconcellos; altímetro com escala graduada de dois em dois metros, marca Paullin e altímetros com escala graduada de 10 em 10 metros, marca Thomman.

Como equipamento auxiliar foram empregados curvímetros, escala triangular, planímetro, pantógrafo e material de desenho.

4.2. Métodos

4.2.1. Seleção das áreas

As áreas de estudo foram selecionadas após a fixação dos solos que serviriam de base para o trabalho, tendo sido aplicado como critério preferencial, a escolha de pelo menos uma área na região de Jaboticabal.

Para a identificação e delimitação das áreas foram utilizadas as cartas de solos e topográficas, os fotomosaicos e as fotografias aéreas. Foram realizadas, concomitantemente, visitas de campo.

4.2.2. Delimitação das áreas nas imagens fotográficas

A delimitação das áreas nas imagens fotográficas foi efetuada mediante exame estereoscópico, adotando-se a metodologia descrita em RABBEN (1960).

4.2.3. Elaboração dos mapas básicos

Os mapas básicos foram elaborados na mesma escala das fotografias aéreas, empregando um sistema de montagens de moldes transparentes baseado na triangulação radial, conforme LOPES VERGARA (1971).

Os mapas da drenagem superficial foram obtidos pela transferência das redes desenhadas nos moldes transparentes para os mapas básicos.

O desenho das redes de drenagem e da delimitação das bacias hidrográficas foi realizado pelo decalque do traçado determinado pelo exame estereoscópico das imagens aéreas. Nesta operação, foi considerada como área útil das fotografias a área determinada em função do par alternado. O traçado das redes de drenagem incluiu todos os canais visíveis na imagem fotográfica, sendo considerados os cursos d'água permanentes e temporários, adotando-se as sugestões de STRAHLER (1957), LUEDER (1959) e RAY (1963).

As bacias delimitadas foram as de terceira ordem, de acordo com o sistema de Horton modificado por STRAHLER (1957).

4.2.4. Seleção das bacias hidrográficas

Em cada área de estudo foram escolhidas quatro bacias hidrográficas da mesma ordem de ramificação e que atendiam ao critério de semelhança geométrica preconizada por STRAHLER (1957).

4.2.5. Seleção das amostras circulares

Em cada área de estudo foram escolhidas quatro amostras circulares de tamanho equivalente à área de 5 km^2 , segundo RAY e FISCHER (1960) e SOUZA (1975). O tamanho da amostra circular foi adotada em função de uma melhor adequação dos círculos à conformação das áreas de ocorrência dos solos.

4.2.6. Análise das bacias hidrográficas e amostras circulares

A análise realizada foi baseada em procedimentos constantes em FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969) e CRISTOFOLETTI (1974). O método de fotointerpretação empregado foi o da análise dos elementos, descrito em BURINGH (1960).

4.2.7. Caracterização das bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas foram caracterizadas pelas determinações relacionadas em seguida.

Localização e representatividade

A localização das bacias hidrográficas foi identificada em função de suas posições em relação à região que pertencem e à posição ocupada na rede de drenagem.

A representatividade da bacia em termos de ocorrência

rência de solos foi estimada considerando-se a proporção da área ocupada pela unidade principal de ocorrência.

Semelhança geométrica

A semelhança geométrica existente entre as bacias representativas da mesma unidade de solo foi avaliada estabelecendo-se as razões entre os elementos das análises linear e areal, seguindo-se os critérios fixados por STRAHLER (1957).

Características não dimensionais

Como características não dimensionais das bacias foram consideradas a forma aproximada, a simetria das vertentes e o número da ordem de ramificação.

A forma aproximada foi inferida baseando-se na conformação da bacia apresentada pelo mapa de drenagem, sendo designada pela figura geométrica de maior semelhança.

A simetria das vertentes foi estabelecida mediante a identificação da extensão da dissecação da superfície da bacia em relação ao vale principal.

A ordem da bacia foi designada segundo o sistema de Horton modificado por STRAHLER (1957), sendo fixado como o número de ordem da bacia do rio principal nela contido.

Características dimensionais

Como características dimensionais foram considerados os parâmetros determinados pelas análises linear, areal

e hipsométrica.

As características determinadas pelas análises linear e areal são relacionadas em seguida.

Maior comprimento

O maior comprimento foi determinado medindo-se o alinhamento definido pelos pontos da foz do escoadouro principal e do extremo da bacia, situado na linha divisória, acompanhando-se a direção do vale principal. Foi empregada a escala triangular e a unidade foi expressa em quilômetro.

Maior largura

A maior largura foi determinada pela medida do alinhamento perpendicular à direção do vale principal, definido pelos dois pontos mais distantes situados na linha divisória. Foi empregada a escala triangular e a unidade foi expressa em quilômetro.

Comprimento do rio principal

O comprimento do rio principal foi determinado medindo-se o curso do rio principal. Foi empregado o curvímetro e a unidade foi expressa em quilômetro.

Comprimento da rede de drenagem

O comprimento da rede de drenagem foi determinado pela quantificação da extensão do conjunto de canais escoadouros da bacia. Foi empregado o curvímetro e a unidade foi

expressa em quilômetro.

Perímetro

O perímetro foi determinado medindo-se a extensão da linha divisória que delimita a bacia. Foi empregado o curvímetro e a unidade foi expressa em quilômetro.

Área

A área da bacia foi determinada pela medida da extensão de sua superfície. Foi empregado o planímetro e a unidade foi expressa em quilômetro quadrado.

Forma

A forma foi determinada pelo estabelecimento dos valores dos índices de circularidade e compacidade.

O índice de circularidade é expresso pela relação entre a área da bacia e a área de um círculo que apresente o mesmo perímetro da bacia. Por essa relação, o valor do índice varia de próximo de zero à um, dando uma idéia aproximada da forma da bacia pelo afastamento de sua forma em relação ao círculo, revelada pelo afastamento do valor obtido em relação ao valor um. O índice de compacidade é obtido pela relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de igual área, CHRISTOFOLETTI (1974).

As características determinadas pela análise hipsométrica são relacionadas em seguida.

Curva hipsométrica

A curva hipsométrica de cada bacia foi obtida a partir de mapas topográficos, seguindo-se os procedimentos de STRAHLER (1952). Foram determinadas as áreas referentes aos intervalos de altura definidos pelas curvas de nível e amplitude altimétrica da bacia. Para a construção da curva foi adotado o critério da escala proporcional. A curva hipsométrica mostra, em proporção, o volume de material ainda existente na porção territorial de cada bacia, definido pelo espaço delimitado pela curva e as linhas inferior e lateral esquerda do quadrado.

Integral hipsométrica

O valor da integral hipsométrica representa, em proporção, o volume ainda existente de material, considerado em relação ao volume inicial e ideal da referida porção territorial, representado por toda a extensão do quadrado.

Amplitude altimétrica

A amplitude altimétrica foi determinada pela diferença entre os pontos de mínima e máxima cotas da bacia. A amplitude altimétrica foi estabelecida por dados determinados diretamente no campo.

Razão de relevo

A razão de relevo expressa a relação entre a amplitude altimétrica e o maior comprimento da bacia, SCHUMM (1956).

Altura média

A altura média da bacia foi calculada pela expressão: $\text{altura média} = (1/100) \times (\text{amplitude altimétrica} \times \text{valor da integral hipsométrica})$, CHRISTOFOLETTI (1974).

Coeficiente de massividade

O coeficiente de massividade foi obtido pela relação entre a altura média e a área da bacia, CHRISTOFOLETTI (1974), sendo no presente trabalho adotada a relação m/km^2 .

Coeficiente orográfico

O coeficiente orográfico foi obtido pela expressão: $\text{coeficiente orográfico} = \text{altura média} \times \text{coeficiente de massividade}$, onde o coeficiente de massividade foi calculado em função da representação gráfica proporcional, conforme CHRISTOFOLETTI (1974).

4.2.8. Caracterização das redes de drenagem

A caracterização das redes de drenagem foi efetuada pela caracterização do padrão e composição da rede.

4.2.8.1. padrão de drenagem

O padrão foi caracterizado determinando-se suas características descritivas e quantitativas.

Como características descritivas foram determinados o tipo ou modelo do padrão, de acordo com PARVIS (1950) e o grau de integração, densidade, grau de uniformidade, orientação, grau de controle, ângulos de junção, angularidade e anomalias, de acordo com LUEDER (1959) e RICCI e PETRI (1965). O enquadramento dessas características em categorias obedeceu ao constante no quadro 3.

Quadro 3 - Características Descritivas do Padrão de Drenagem e Respectivas Categorias, LUEDER (1959).

Característica	Categoria		
Grau de integração	baixo	médio	alto
Densidade	baixa	média	alta
Grau de Uniformidade	não uniforme	pouco uniforme	uniforme
Orientação	não orientado	pouco orientado	orientado
Grau de Controle	baixo	médio	alto
Ângulos de junção	agudos	retos	obtusos
Angularidade	baixa	média	alta

Como características quantitativas foram determinados diversos índices relacionados em seguida. As características quantitativas foram determinadas nas bacias hidrográficas e amostras circulares.

Densidade de drenagem

A densidade de drenagem é expressa pela relação entre o comprimento total dos escoadouros da bacia ou amostra circular e a respectiva área, HORTON (1945) e FRANÇA (1968). As designações desta característica foram Dd e Ddc, respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. A unidade foi expressa em km/km^2 .

Frequência de rios

A frequência de rios é expressa pela relação entre o número total de rios da bacia ou amostra circular e a respectiva área. As designações foram F e Fc, respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. A unidade foi expressa em nº de rios/ km^2 .

Razão de textura

A razão de textura foi determinada, de acordo com FRANÇA (1968), relacionando o número total de rios da bacia ou amostra circular com os respectivos perímetros. As designações foram T e Tc, respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. A unidade foi expressa em nº de rios/ km^2 .

Razão de textura média

A razão de textura média foi obtida pelo valor da média aritmética da razão de textura e pelo valor da média ponderada em relação às áreas das bacias, FRANÇA (1968). As de

signações foram T_m e T_{mc} , respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. A unidade foi expressa em nº de rios/km.

Extensão do percurso superficial

A extensão do percurso superficial é expressa pela relação: Extensão do percurso superficial = $1 \times (2 D_d)^{-1}$, onde D_d é a densidade de drenagem, HORTON (1945). As designações foram E_{ps} e E_{psc} , respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. A unidade foi expressa em quilômetro.

Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção é expresso pela relação: Coeficiente de manutenção = $1000 \times (D_d)^{-1}$, SCHUMM (1956). O coeficiente de manutenção representa a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal escoadouro. As designações foram C_m e C_{mc} , respectivamente, para bacias hidrográficas e amostras circulares. A unidade foi expressa em m^2 .

Textura topográfica

A identificação da classe de textura topográfica foi efetuada em função dos valores da razão de textura média, adotando-se a classificação de SMITH (1950), adaptada por FRANÇA (1968). Por essa classificação, os valores da razão de textura média menores que 2,5 são enquadrados na classe grosseira; os situados entre 2,5 e 6,2, na classe média e os valores acima de 6,2, na fina.

4.2.8.2. Composição da rede de drenagem

A composição da rede de drenagem foi caracterizada determinando-se os diversos elementos relacionados em sequência.

Ordem de ramificação

A ordem de ramificação dos canais escoadouros foi estabelecida adotando-se o sistema de Horton modificado por STRAHLER (1957). Os canais de drenagem foram designados simplesmente de segmentos de rios, conforme FRANÇA (1968) e a ordem de ramificação dos segmentos de rios foi designada genericamente pela letra w.

Número de segmentos de rios

O número de segmentos de rios foi determinado para cada ordem de ramificação e total da bacia, sendo designado, respectivamente, de N_w e N . Para cada unidade de solo foi calculado também o número de segmentos de rios pelo emprego da média ponderada em relação às áreas das bacias, pela substituição numérica na equação de forma $\log N_w = \log a - w \cdot \log b$, MAXWELL (1955) e pela lei do número de rios enunciada por HORTON (1945).

Comprimento total dos segmentos de rios

O comprimento total dos segmentos de rios foi determinado para cada ordem de ramificação e total da bacia. Pa

ra cada unidade de solo foi calculado também o comprimento total dos segmentos de rios pela média ponderada em relação às áreas das bacias, pelas substituições numéricas das relações $\log L_w = \log a - w \cdot \log b$ e $\log L_w = \log a - b \cdot \log w$, respectivamente de FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957) e pela lei dos comprimentos de rios enunciada por HORTON (1945). O comprimento total foi designado de L_w e L_t , respectivamente, para cada ordem de ramificação e total da bacia.

Comprimento médio dos segmentos de rios

O comprimento médio dos segmentos de rios foi determinado para cada ordem de ramificação e global da bacia, pelo estabelecimento de uma relação entre comprimento total e número de segmentos de rios. Para cada unidade de solo foi calculado também o comprimento médio pela média ponderada em relação às áreas das bacias, pela substituição numérica da relação $\log L_m = \log a - w \cdot \log b$, VASQUES FILHO (1972), pela relação entre comprimento total e número de rios em cada ordem (L_w e N_w) obtidos respectivamente pelas relações de FRANÇA (1968) e MAXWELL (1955) e pela lei dos comprimentos de rios enunciada por HORTON (1945). O comprimento médio foi designado por L_m .

Razão de ramificação

A razão de ramificação foi estabelecida pela relação entre os números de segmentos de rios de duas ordens consecutivas. Os valores médios da razão de ramificação foram determinados pela média aritmética dos dados observados, pelas relações $R_b = \text{antilog } b$, MAXWELL (1955) e $R_b = R_{lm} \times R_{lw}$, FRAN

ÇA (1968). A razão de ramificação foi designada por R_b .

Razão de comprimentos totais

A razão de comprimentos totais foi estabelecida pela relação entre os comprimentos totais dos segmentos de rios de uma dada ordem (l_w) e os da ordem imediatamente superior, STRAHLER (1957). Os valores médios da razão de comprimentos totais foram determinados pela média aritmética dos dados observados e pelas relações $R_{lw} = \text{antilog } b$ e $R_{lw} = R_b \times R_{lm}^{-1}$, FRANÇA (1968). A razão de comprimentos totais foi designada por R_{lw} .

Razão de comprimentos médios

A razão de comprimentos médios foi estabelecida pela relação entre os comprimentos médios de segmentos de rios de uma dada ordem e os da ordem imediatamente inferior, HORTON (1945). Os valores médios foram determinados pela média aritmética dos dados observados e pelas relações $R_{lm} = \text{antilog } b$ e $R_{lm} = R_b \times R_{lw}^{-1}$, respectivamente, VASQUES FILHO (1972) e FRANÇA (1968). A razão de comprimentos médios foi designada por R_{lw} .

4.2.9. Análise de variância

A análise de variância foi empregada para diversas características das bacias hidrográficas e das redes de drenagem, sendo estabelecidos delineamentos experimen

tais inteiramente casualizados, adotando-se o método descrito em PIMENTEL GOMES (1963).

Na análise de variância procurou-se evidenciar as diferenças entre unidades de solos, sistemas de amostragens e interação entre sistemas de amostragem e unidades de solos pelo teste F.

4.2.10. Relações entre características

Adotando-se procedimentos de SMITH (1950), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), que foram seguidos por outros pesquisadores, procurou-se estabelecer algumas relações funcionais, estudando o ajustamento dos dados das características das bacias e redes de drenagem à equação de regressão tipo linear. Procurou-se estabelecer também esse tipo de relações entre as características determinadas pelos dois critérios de amostragem.

Dos dados determinados em bacias hidrográficas foram estabelecidas relações entre as seguintes características: densidade de drenagem (Dd) e frequência de rios (F); densidade de drenagem (Dd) e razão de textura (T); densidade de drenagem (Dd) e extensão do percurso superficial (Eps); densidade de drenagem (Dd) e razão de relevo (Rr); densidade de drenagem (Dd) e coeficiente de massividade (Cmass); densidade de drenagem (Dd) e coeficiente orográfico (Cor); frequência de

rios (F) e razão de textura (T); frequência de rios (F) e exensão do percurso superficial (Eps); frequência de rios (F) e coeficiente de manutenção (Cm); frequência de rios (F) e razão de relevo (Rr); frequência de rios (F) e coeficiente de massividade (Cmass); frequência de rios (F) e coeficiente orográfico (Cor); razão de textura (T) e extensão do percurso superficial (Eps); razão de textura (T) e coeficiente de manutenção (Cm); razão de textura (T) e razão de relevo (Rr); razão de textura (T) e coeficiente de massividade (Cmass); razão de textura (T) e coeficiente orográfico (Cor); extensão do percurso superficial (Eps) e razão de relevo (Rr); extensão do percurso superficial (Eps) e coeficiente de massividade (Cmass); extensão do percurso superficial (Eps) e coeficiente orográfico (Cor); coeficiente de manutenção (Cm) e razão de relevo (Rr); coeficiente de manutenção (Cm) e coeficiente de massividade (Cmass); coeficiente de manutenção (Cm) e coeficiente orográfico (Cor); razão de relevo (Rr) e coeficiente orográfico (Cor) e coeficiente de massividade (Cmass) e coeficiente orográfico (Cor).

Dos dados determinados em amostras circulares foram estabelecidas as relações entre as seguintes características: densidade de drenagem (Ddc) e frequência de rios (Fc); densidade de drenagem (Ddc) e razão de textura (Tc); densidade de drenagem (Ddc) e extensão do percurso superficial (Epsc); densidade de drenagem (Ddc) e coeficiente de manutenção (Cmc);

frequência de rios (F_c) e extensão do percurso superficial (E_{psc}); frequência de rios (F_c) e coeficiente de manutenção (C_{mc}); razão de textura (T_c) e extensão do percurso superficial (E_{psc}); razão de textura (T_c) e coeficiente de manutenção (C_{mc}) e extensão do percurso inicial (E_{psc}) e coeficiente de manutenção (C_{mc}).

Para verificar a interação entre os sistemas de amostragem foram estabelecidas relações entre as seguintes características: densidade de drenagem (D_d) e densidade de drenagem (D_{dc}); frequência de rios (F) e frequência de rios (F_c); razão de textura (T) e razão de textura (T_c); extensão do percurso superficial (E_{ps}) e extensão do percurso superficial (E_{psc}); coeficiente de manutenção (C_m) e coeficiente de manutenção (C_{mc}); densidade de drenagem (D_{dc}) e frequência de rios (F_c); densidade de drenagem (D_d) e razão de textura (T_c); densidade de drenagem (D_d) e extensão do percurso superficial (E_{psc}); densidade de drenagem (D_d) e coeficiente de manutenção (C_{mc}); densidade de drenagem (D_{dc}) e frequência de rios (F); densidade de drenagem (D_{dc}) e extensão do percurso superficial (E_{ps}); densidade de drenagem (D_{dc}) e coeficiente de manutenção (C_m); frequência de rios (F) e razão de textura (T_c); frequência de rios (F) e extensão do percurso superficial (E_{psc}); frequência de rios (F) e coeficiente de manutenção (C_{mc}); frequência de rios (F) e razão de textura (T); frequência de rios (F_c) e extensão do percurso superficial (E_{ps}); frequência de rios (F_c)

e coeficiente de manutenção (C_m); razão de textura (T) e extensão do percurso superficial (E_{psc}); razão de textura (t) e coeficiente de manutenção (C_{mc}); razão de textura (T_c) e extensão do percurso superficial (E_{ps}); razão de textura (T_c) e coeficiente de manutenção (C_m); extensão do percurso superficial (E_{ps}) e coeficiente de manutenção (C_{mc}) e extensão do percurso superficial (C_{mc}) e coeficiente de manutenção (C_m).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos em seguida.

5.1. Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas representando as áreas de ocorrência da unidade de Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília são apresentados nas figuras 4 e 5 e as bacias da unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras, as figuras 6 e 7. Para cada área de ocorrência de solos foram selecionadas quatro bacias hidrográficas com características que satisfazem as premissas do critério de semelhança geométrica de STRAHLER (1957).

Figura 4 - Bacias Hidrográficas Representativas dos Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília.

Figura 5 - Bacias Hidrográficas Representativas dos Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília.

Figura 6 - Bacias Hidrográficas Representativas dos Solos Podzólico Vermelho-Amarelo -

- var. Laras.

Figura 7 - Bacias Hidrográficas Representativas dos Solos Podzólico Vermelho-Amarelo -
- var. Laras.

5.1.1. Localização

As bacias da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília estão localizados numa área que ocupa partes da região noroeste do Município de Jaboticabal, da nordeste do Município de Monte Alto e da região sudeste do Municípipio de Taiuva. A bacia de nº 1 está situada na margem direita de um tributário da margem esquerda do córrego Tijuco Preto. A bacia de nº 2 está localizada na margem direita do córrego da Grama, o qual é tributário da margem direita do córrego da Estiva. A bacia de nº 3 está situada na margem direita do córrego da Estiva, em posição bem próxima de sua cabeceira e a bacicia de nº 4, está situada na margem esquerda do mesmo córrego.

As bacias da unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras estão localizados numa área que ocupa partes das regiões leste do Município de Piracicaba e da região oeste do Município de Santa Bárbara do Oeste. A bacia de nº 5 está situada na margem esquerda do córrego Santa Fé, o qual é tributário da margem direita do Ribeirão Tijuco Preto, sendo este afluente da margem esquerda do rio Piracicaba. A bacicia de nº 6 está localizada na margem direita do rio Piracicaba. A bacia de nº 7 está situada na cabeceira do córrego Quebra-Dente, o qual é afluente da margem esquerda do ribeirão Lambari, sendo este tributário da margem esquerda do rio Piracicaba e a bacia de nº 8 está localizada na cabeceira de um

córrego tributário da margem esquerda do ribeirão Lambari, em sua posição mediana.

5.1.2. Representatividade

As bacias da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília possuem a unidade principal de ocorrência associada a Solos Aluviais e Hidromórficos, localizados em faixas estreitas ao longo dos cursos d'água e a Solos Litólicos que estão situados em faixas bastante estreitas junto às linhas de ruptura de declives. A ocorrência dos Solos Litólicos abrange 15 a 20% de área global de cada bacia. Nesta área, os solos associados não foram considerados como inclusão, por estarem ligados à unidade principal pelas condições de relevo. Considerou-se pelas condições relatadas, que as bacias selecionadas apresentam alta representatividade da unidade principal.

As bacias da unidade Solos Podzólico Vermelho - - Amarelo - var. Laras apresentam a unidade principal associada a Solos Aluviais, Hidromórficos e a Solos Litólicos, situados em posições relacionadas às condições de relevo. A ocorrência de Solos Litólicos abrange cerca de 25% da área global de cada bacia. Nas bacias de números 5 e 6 foi verificada a inclusão do Latossol Vermelho Escuro - orto nas posições de cotas mais elevadas, ocupando aproximadamente 10% das suas áreas. Con

siderou-se que as bacias selecionadas apresentam alta representatividade da unidade principal de ocorrência.

5.1.3. Semelhança geométrica

Os dados da análise dimensional e teste de semelhança geométrica das bacias são apresentados no quadro 4. Neste quadro, os valores da razão média (R_m) representaram a média das diversas relações estabelecidas entre os elementos considerados na razão da escala linear e os valores da razão de escala quadrática representaram relações entre áreas das bacias e os valores elevados ao quadrado da razão média (R_m^2). As diferenças entre os valores das razões de área e os valores da razão média elevados ao quadrado, mostradas na última coluna, foram pequenas em cada grupo de bacias, satisfazendo o critério de semelhança geométrica de STRAHLER (1957).

5.1.4. Características não dimensionais

As características não dimensionais, forma da bacia e simetria das vertentes são apresentadas no quadro 5.

Quadro 4 - Análise Dimensional e Teste de Semelhança Geométrica das Bacias Hidrográficas

cas.

Unidade de Solo	Bacias	Razão de escala linear (R)				Razão Média (Rm)	Razão escala quadrática (R ²)		
		C/C'	L/L'	Q _p /Q _p '	P/P'		A/A' (1)	R _m ² (2)	Δ
Pm1	4/1	1,07	1,18	1,08	1,03	1,09	1,27	1,19	0,08
	4/3	1,22	1,15	1,25	1,10	1,18	1,38	1,39	0,01
	4/2	1,32	1,32	1,43	1,28	1,34	1,78	1,80	0,02
	1/3	1,14	0,97	1,14	1,08	1,08	1,09	1,16	0,07
	1/2	1,23	1,11	1,31	1,25	1,22	1,40	1,49	0,09
	3/2	1,08	1,14	1,15	1,16	1,13	1,29	1,28	0,01
Pv1s	6/8	1,23	0,77	1,14	1,07	1,05	1,06	1,10	0,04
	6/5	1,25	0,76	1,23	1,18	1,10	1,21	1,21	0,00
	6/7	1,33	0,93	1,27	1,29	1,20	1,67	1,44	0,23
	8/5	1,01	1,08	1,08	1,10	1,07	1,14	1,14	0,00
	8/7	1,08	1,31	1,11	1,20	1,18	1,57	1,39	0,18
	5/7	1,07	1,21	1,03	1,10	1,10	1,37	1,21	0,16

Δ = 1 - 2.

Quadro 5 - Características Não Dimensionais das Bacias Hidrográficas.

Unid. Solo	Bacia	Forma Aproximada	Simetria das Vertentes
Pml	1	Trapezoidal	Pouco simétrica
	2	Triang. Isósceles	Pouco simétrica
	3	Trapezoidal	Assimétrica
	4	Oval normal	Assimétrica
PVls	5	Trapezoidal	Assimétrica
	6	Triang. Isósceles	Pouco simétrica
	7	Trapezoidal	Assimétrica
	8	Trapezoidal	Assimétrica

Nas duas unidades de solos foi verificado que as bacias apresentam formas diferentes e simetrias das vertentes distintas, revelando modificações dos comportamentos hidrológicos e fisiográfico das bacias, embora dentro da mesma unidade de solo. Estas condições provavelmente foram impostas pelos controles estrutural e topográfico e pelas inclusões de outros tipos de solos. As variações de forma e simetria das vertentes são, de maneira geral, comumente observadas nas áreas de solos podzolizados, conforme verificou-se em FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969) e VASQUES FILHO (1972).

As bacias hidrográficas foram classificadas como de 3ª ordem, segundo o sistema de Horton modificado por STRAHLER (1957).

5.1.5. Características dimensionais

As características dimensionais, maior comprimento (C), maior largura (L), comprimento do rio principal (C_p), comprimento total da rede (C_r), perímetro (P), área (A), índice de circularidade (Ic_1) e índice de compacidade (Ic_2) são apresentadas no quadro 6. Os respectivos valores médios e erros padrões da média $[s(m)]$ são reunidos no quadro 7 e a análise de variância consta do quadro 8.

As características das bacias da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília apresentaram, de maneira geral, valores médios mais altos, revelando que as condições de drenagem dos perfis de solos estão diretamente relacionadas com as características analisadas. De maneira geral, o aumento da restrição de drenagem dos perfis está ligado à diminuição da área, do perímetro, do comprimento e da largura das bacias e com a diminuição dos comprimentos do rio principal e da rede, confirmando resultados de FRANÇA (1968) e VASQUES FILHO (1972). Os valores do erro padrão da média dos dados da

unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras, sendo, em geral, menores, indicam a maior homogeneidade de suas bacias.

Quadro 6 - Valores Médios e Erros Padrões da Média das Características Dimensionais das Bacias Hidrográficas.

Característica	Pml		PVls	
	V. Médio	Erro P. Média s (m)	V. Médio	Erro P. Média s (m)
Maior comp. (C)	2,63	0,164	1,68	0,108
Maior larg. (L)	1,94	0,107	1,16	0,092
Comp. rio princ. (Cp)	2,60	0,202	1,74	0,090
Comp. T. rede (Cr)	9,42	1,010	7,13	0,490
Perímetro (P)	7,32	0,421	4,77	0,261
Área (A)	3,58	0,420	1,43	0,150
I. circularidade (Ic_1)	0,831	0,030	0,775	0,029
I. compacidade (Ic_2)	1,092	0,020	1,123	0,184

Pela análise de variância verificou-se que as características maior comprimento, maior largura, comprimento do rio principal, perímetro e área apresentaram diferenças significativas, a nível de 1% de probabilidade, entre solos. As características comprimento total da rede e os índices de circularidade e compacidade não se apresentaram sensíveis às desconformidades dos comportamentos hidrológicos dos solos, exibindo valores de F não significativos. Os coeficientes de variação dos índices de circularidade e de compacidade, com valores menores que 10%, foram classificados como baixos; os dos

Quadro 7 - Características Dimensionais das Bacias Hidrográficas.

Unidade de Solo	Bacia Hi- drográfica	Maior Com- primento (C-Km)	Maior Lar- gura (L-Km)	Comprimentos de rios		Perímetro (P-Km)	Área (A-km ²)	Forma	
				Principal (Cp-Km)	Rede (Cr-Km)			Ic ₁ *	Ic ₂ *
Pml	1	2,80	1,90	2,80	9,34	7,80	3,66	0,756	1,142
	2	2,27	1,70	2,12	6,66	6,25	2,61	0,840	1,083
	3	2,45	1,95	2,44	10,29	7,25	3,37	0,815	1,106
	4	3,00	2,22	3,05	11,41	8,00	4,66	0,914	1,0306
PVls	5	1,60	1,27	1,62	6,44	4,56	1,40	0,846	1,079
	6	2,00	0,97	2,00	8,46	5,37	1,70	0,739	1,154
	7	1,50	1,05	1,58	6,27	4,16	1,02	0,714	1,153
	8	1,62	1,37	1,75	7,35	5,00	1,60	0,804	1,107

* Ic₁ = Índice de circularidade; Ic₂ = Índice de compacidade.

Quadro 8 - Análise de Variância das Características Dimensionais das Bacias Hidrográficas.

Característica	Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	C.V.%
Maior comp. (C)	Solos	1	1,8050	-	22,92**	13,02
	Resíduo	6	0,4726	0,0786		
Maior larg. (L)	Solos	1	1,2090	-	29,98**	12,92
	Resíduo	6	0,2419	0,0403		
Comp.r.princ. (Cp)	Solos	1	1,4964	-	14,81**	14,65
	Resíduo	6	0,6061	0,1010		
Comp.t.rede (Cr)	Solos	1	10,5340	-	10,11 ^{ns}	19,34
	Resíduo	6	15,3739	2,5623		
Perímetro (P)	Solos	1	13,0305	-	29,26**	11,03
	Resíduo	6	2,6715	0,4452		
Área (A)	Solos	1	9,2020	-	22,64**	25,42
	Resíduo	6	2,4285	0,4047		
I.circularidade(Ic ₁)	Solos	1	0,0061	-	1,56 ^{ns}	7,83
	Resíduo	6	0,0237	0,0039		
I.compacidade (Ic ₂)	Solos	1	0,0019	-	1,18 ^{ns}	
	Resíduo	6	0,0097	0,0016		

Índices maior comprimento, maior largura, comprimento do rio principal, comprimento total da rede e perímetro, com valores entre 10 e 20%, foram classificados como médios e o coeficiente de variação do índice área, situado entre 20 e 30%, foi classificado como alto, indicando, respectivamente, homogeneidade, certa homogeneidade e certa heterogeneidade dos dados observados. Os resultados apresentados pelos índices que retratam a forma da bacia estão em conformidade com FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972) e VASQUES FILHO (1972) e os da área confirmaram somente os resultados de VASQUES FILHO (1972). Os valores dos índices de forma indicam que as bacias apresentam formas que se acercam das do círculo, fato este evidenciado pela impossibilidade da aplicação da fórmula do retângulo equivalente de Langbein (1947), para a determinação da declividade média de cinco bacias.

As características dimensionais determinadas pela análise hipsométrica e a respectiva análise de variância são apresentadas nos quadros 9 e 10.

A integral hipsométrica apresentou valores levemente superiores na unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília.

Os valores da amplitude altimétrica e da altura média praticamente não diferiram nas duas unidades de solos, o que pode ser explicado pela existência de relevo tabular nas duas áreas de estudo.

Quadro 9 - Características Dimensionais das Bacias Hidrográficas, Determinadas pela Análise Hipsométrica.

Características	Pml				Pvls			
	Bacias Hidrográficas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Integral hipsometria	0,483	0,424	0,458	0,405	0,445	0,406	0,424	0,403
Média			0,442			0,419		
Erro padrão da média			0,018			0,009		
Amplitude altimétrica	113,0	112,0	82,0	103,0	114,0	111,0	100,0	102,0
Média			102,5			106,7		
Erro padrão da média			7,180			6,800		
Razão de relevo	0,0404	0,0493	0,0335	0,0343	0,0712	0,0555	0,0666	0,0630
Média			0,0393			0,0640		
Erro padrão da média			0,004			0,004		
Altura média	54,6	47,8	37,6	41,7	50,7	45,1	42,2	41,1
Média			45,4			44,8		
Erro padrão da média			3,707			2,128		
Coef.de massividade	14,9	18,3	11,2	8,9	36,2	26,5	41,5	25,7
Média			13,3			32,5		
Erro padrão da média			2,608			3,839		
Coef.orográfico	26,4	20,3	17,2	16,9	16,1	18,3	18,0	16,5
Média			20,2			17,2		
Erro padrão da média			2,205			1,815		

Quadro 10 - Análise de Variância das Características Dimensionais Determinadas pela Análise Hipsométrica.

Característica	Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	C.V. %
Int. hipsométrica	Solos	1	0,0010	-	1,33 ^{ns}	6,5
	Resíduo	6	0,0047	0,0007		
Razão de relevo (Rr)	Solos	1	0,0012	-	25,10**	13,5
	Resíduo	6	0,0002	0,00004		
Coeficiente de massividade (Cmass)	Solos	1	733,4450	-	19,28**	26,9
	Resíduo	6	228,2550	38,0425		
Coeficiente org gráfico (Cor)	Solos	1	17,3872	-	1,72 ^{ns}	17,2
	Resíduo	6	61,3872	10,3145		

Os valores da razão de relevo e coeficiente de massividade da unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras, sendo superiores, mostraram que a maior restrição da drenagem dos perfis de solos está relacionada com a maior dissecação do relevo. Sendo altamente significativas as diferenças destas características entre solos, revelou-se a aptidão destes índices para a diferenciação de solos.

Os valores do coeficiente orográfico foram levemente superiores na unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília.

A classificação dos valores do coeficiente de variação destes índices foi baixo para os da integral hipsométrica, médios para os da razão de relevo e coeficiente orográfico e alto para o do coeficiente de massividade, indicando, respectivamente, homogeneidade, certa homogeneidade e certa heterogeneidade dos dados observados.

As curvas hipsométricas das bacias hidrográficas são apresentadas nas figuras 8 e 9.

As curvas hipsométricas da unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras apresentaram-se mais semelhantes, revelando maior homogeneidade das condições topográficas de suas bacias.

As curvas da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília mostraram diferenças que revelaram desconformidades topográficas de suas bacias, provavelmente as

Figura 8 - Curvas Hipsométricas das Bacias Hidrográficas Representativas da Unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília.

Figura 9 - Curvas Hipsométricas das Bacias Hidrográficas Representativas da Unidade Solos Podzólico Vermelho - Amarelo - var. Laras.

sociadas a modificações do processo erosivo, decorrentes de efeitos mais intensos da ação dos controles estrutural e topográfico.

De maneira geral, as curvas hipsométricas não se revelaram eficientes para diferenciar os solos, indicando apenas diferenças dos estágios do ciclo erosivo do relevo. O relevo da unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras pode ser caracterizado no estágio de equilíbrio ou maturidade e o da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília- var. Marília, no estágio de senilidade, segundo STRAHLER (1957).

5.2. Redes de Drenagem

5.2.1. Padrões de Drenagem

A análise dos padrões de drenagem foi realizada determinando-se suas características descritivas e quantitativas.

5.2.1.1. Características descritivas

As características descritivas dos padrões de drenagem são apresentadas no quadro 11.

Quadro 11 - Características Descritivas dos Padrões de Drenagem.

Característica	Características	
	Pml	PVls
Tipo ou modelo	Dendrítico	Dendrítico modificado
Densidade	Média	Alta
Grau de Integração	Alto	Alto
Grau de Uniformidade	Pouco uniforme	Pouco uniforme
Orientação	Pouco orientado	Orientado
Grau de controle	Médio	Alto
Ângulos de junção	Agudos e muito pouco frequentemente retos	Agudos e frequentemente retos
Angularidade	Baixa	Média
Anomalias	Variações localizadas da densidade	Variações localizadas da densidade

As diferenças observadas nas características descritas, embora tenham propiciado indícios para a distinção dos solos, apresentam significados subjetivos. O tipo ou modelo exibiu diferenças que não podem ser relacionadas aos efeitos da diferenciação hidrológica dos solos, estando provavelmente ligadas às diferentes condições estruturais ou topográficas das áreas, confirmando observações de VASQUES FILHO (1972). A esse respeito, diversos pesquisadores como TATOR (1954), MILLER

e MILLER (1961), RAY (1963), RICCI e PETRI (1965) e FRANCA (1968), baseados na diversidade dos padrões existentes e na ocorrência de anomalias, observaram que a simples descrição do tipo ou modelo do padrão de drenagem não é eficiente para estabelecer diferenças entre formações superficiais ou litológicas. HORTON (1945) considerou que a simples descrição do tipo ou modelo não fornece dados adequados para caracterizar as redes de drenagem quanto as diferenças dos comportamentos hidrológicos das áreas, porque um mesmo tipo ou modelo pode resultar de diversas combinações de números e comprimentos de rios.

A densidade apresentou diferenças entre os solos que revelam estar relacionada com as condições de drenagem dos perfis. A classificação da densidade foi média para as condições de drenagem boa e alta para a drenagem moderada, verificando-se por estes resultados, a oportunidade das sugestões preconizadas por MILLER e MILLER (1961), RAY (1963) e RICCI e PETRI (1965) de se descrever o tipo ou padrão em combinação com esta característica.

A orientação, o grau de controle e a angularidade de apresentaram diferenças entre os solos que provavelmente estão mais relacionadas com os controles estruturais ou topográficos das áreas, que às diferenças de solos.

O grau de integração, o grau de uniformidade e os ângulos de junção não diferiram nos solos estudados.

As anomalias constatadas nos dois padrões de drenagem revelaram principalmente modificações de condições topográficas, além de refletir inclusão de outro tipo de solo, conforme foi observado na unidade Solos Podzólico Vermelho - Amarelo - var. Laras.

Os resultados analisados, de maneira geral, concordam com os obtidos por FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) e KOFFLER (1976), na caracterização de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos.

5.2.1.2. Características quantitativas

A caracterização quantitativa foi efetuada pelas análises dos índices densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, extensão do percurso superficial e coeficiente de manutenção, determinados em bacias hidrográficas e em amostras circulares.

As amostras circulares das redes de drenagem das unidades de solos estudadas são apresentadas nas figuras 10 a 13.

Os resultados da análise das características determinadas em bacias hidrográficas e em amostras circulares são, respectivamente, apresentados nos quadros 12 e 13. As classes de textura topográfica são mostradas no quadro 14 e a análise de variância é apresentada nos quadros 15 a 21, sendo que

nos quadros 18 e 20 são mostrados os desdobramentos da interação solos/amostragem dos índices razão de textura e extensão do percurso superficial.

A densidade de drenagem exibiu diferenças significativas a nível de 1%, revelando sua alta significação para diferenciar solos. Os valores de F, referentes à amostragem e interação solos/amostragem, revelam a equivalência dos sistemas de amostragem utilizados. O seu coeficiente de variação foi classificado como médio, indicando certa homogeneidade dos dados observados. Estes resultados, de maneira geral, estão em conformidade com os de diversos pesquisadores, como FRANCA (1968), FADEL (1972) e FREIRE (1977). Os valores mais altos na unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras sugerem que, com o aumento da restrição da drenagem dos perfis, ocorre um maior dissecamento do relevo.

A frequência de rios apresentou diferenças entre solos com menor significação que os dados da densidade de drenagem. Verificou-se uma grande variação de seus valores dentro da mesma unidade de solo, fato que fora constatado por FRANCA (1968) e VASQUES FILHO (1972).

Os dados de densidade de drenagem e frequência de rios confirmam a constatação de ESPINDOLA e GARCIA (1978) sobre a concentração de valores mais altos nos solos que apresentam menor relação infiltração/deflúvio, seja esta decorrente da presença de materiais mais finos ou de uma maior associação com

II

0 500m

I

FIGURA 10 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem da Área de Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília.

FIGURA 11 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem da Área de Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília.

FIGURA 12 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem da Área de Solos Podzólico Vermelho
-Amarelo - var. Laras.

FIGURA 13 - Amostras Circulares da Rede de Drenagem da Área de Solos Podzólico Vermelho
-Amarelo - var. Laras.

Quadro 12 - Características Quantitativas do Padrão de Prenagem, Determinados em Ba
cias Hidrográficas.

Características	Pm1			PV1s				
				Bacias	Hidrográficas			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Densidade de Drenagem (Dd)	2,55	2,55	3,03	2,45	4,60	4,97	6,15	4,59
Densidade Média (Ddm)		2,64					5,08	
Erro Padrão da Média		0,130					0,368	
Frequência de Rios (F)	5,19	4,21	5,93	3,86	12,86	12,35	17,65	14,37
Frequência Médio (Fm)		4,80					14,30	
Erro Padrão da Média		0,471					1,194	
Razão de Textura (T)	2,44	1,76	2,76	2,25	3,95	3,91	4,32	4,60
Razão de Textura Média (Tm)	*2,32	2,30		*4,19	*4,19	4,19		
Erro Padrão da Média		0,209					0,163	
Extens. Percorso Supr. (Eps)	0,196	0,196	0,165	0,204	0,109	0,101	0,081	0,109
Extens. Percorso Supr.Méd.(Epsm)		0,190					0,100	
Erro Padrão da Média		0,008					0,007	
Cosficiente de Manutenção (Cm)	392,1	392,1	330,0	408,2	217,4	201,2	162,6	217,9
Cosficiente de Manut.Médio (Cmm)		380,6					199,8	
Erro Padrão da Média		17,288					12,984	

Quadro 13 - Características Quantitativas do padrão de Drenagem, Determinados em Amos-
tras Circulares.

Características	Pm1								PVls							
									Amostras Circulares							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII								
Densidade de Drenagem (Ddc)	2,48	2,71	3,10	2,99	4,41	4,81	4,29	4,67								
Densidade Média (Ddcm)		2,82					4,54									
Erro Padrão da Média		0,140					0,119									
Frequência de rios (Fc)	6,40	5,80	6,80	7,00	11,60	12,20	11,40	11,80								
Frequência Média (Fcm)		6,50					11,75									
Erro Padrão da Média		0,265					0,171									
Razão de Textura (Tc)	4,08	3,69	4,33	4,45	7,39	7,77	7,26	7,52								
Razão de Textura Média (Tcm)		4,14					7,48									
Erro Padrão da Média		0,168					0,109									
Extens. Percorso Supr. (Epsc)	0,201	0,135	0,161	0,167	0,113	0,103	0,116	0,107								
Extens. Percorso Supr. Méd. (Epscm)		0,166					0,110									
Erro Padrão da Média		0,013					0,004									
Coefficiente de Manutenção (Cmc)	403,2	369,0	322,6	334,5	226,7	207,9	233,1	214,1								
Coefficiente de Manut. Médio (Cmcm)		357,3					220,5									
Erro Padrão da Média		18,183					5,751									

Quadro 14 - Classes de Textura Topográfica dos Padrões de Drenagem.

Unidade de Solos	Bacias Hidrográficas	Amostras Circulares
Solos Podzolizados		
de Lins e Marília	Grosseira	Média
-var. Marília-		
Solos Podzólicos		
Vermelho-Amarelos	Média	Fina
- var. Laras -		

Quadro 15 - Análise de Variância da Característica Densidade de Drenagem.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Solos (S)	1	17,2848	-	92,78**
Amostragem (A)	1	0,1279	-	0,69 ^{ns}
Amostragem x Solos	1	0,5004	-	2,69 ^{ns}
Tratamentos	(3)	(17,9131)		
Resíduo	12	2,2360	0,1863	
Total	15			
C.V.	11,45%			

ns=não significativo; *=significativo a nível de 5% e **= significativo a nível de 1%.

Quadro 17 - Análise de Variância da Característica Frequência de Rios.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Solos (S)	1	217,0413	-	10,12**
Amostragem (A)	1	0,6972	-	0,03 ^{ns}
Amostragem x Solos	1	18,5446	-	0,86 ^{ns}
Tratamentos	(3)	(236,2832)	-	
Resíduo	12	257,2860	21,44	
Total	15			
C.V.	49,57%			

Quadro 16 - Análise de Variância da Característica Razão de Textura.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Solos (S)	1	27,4776	-	248,67**
Amostragem (A)	1	26,2656	-	237,70**
Amostragem x Solos	1	2,09702	-	18,98**
Tratamentos	(3)	(55,8402)	-	
Resíduo	12	1,3266	0,1105	
Total	15			
C.V.	7,33%			

Quadro 18 - Desdobramento da Interação Solos/Amostragem da Ca
racterística Razão de Textura.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Solos d/Amost.bac.hid.	1	7,1630	-	64,82**
Solos d/Amost.am.circ.	1	22,4050	-	202,76**
Amost.d/Solos Pml	1	6,7345	-	60,94**
Amost.d/Solos PVls	1	21,6482	-	195,91**

Quadro 19 - Análise de Variância da Característica Extensão do
Percurso Superficial.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Solos (S)	1	0,022	-	275,00**
Amostragem (A)	1	0,0006	-	7,81*
Amost. x Solos	1	0,001	-	12,50**
Tratamentos	(3)	0,023		
Resíduo	12	0,001	0,00008	
Total	15			
C.V.	1,98%			

Quadro 20 - Desdobramento da Interação Solos/Amostragem da Ca
racterística Extensão do Percurso Superficial.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Solos d/Amost.bac.hid.	1	0,017	-	212,50**
Solos d/Amost.am.circ.	1	0,020	-	250,00**
Amost. d/Solos Pml	1	0,077	-	962,50**
Amost. d/Solos PVls	1	-0,016	-	-200,00**

Quadro 21 - Análise de Variância da Característica Coeficiente
de Manutenção.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Solos (S)	1	106732,9	-	93,04**
Amostragem (A)	1	41,0	-	0,03 ^{ns}
Amost. x Solos	1	2260,8	-	1,97 ^{ns}
Tratamentos	(3)	109434,7	-	
Resíduo	12	13756,2	1147,1	
Total	15			
C.V.	11,78%			

Litossolos. A verificação de que estes índices foram indivi dualmente eficientes para a diferenciação dos solos diverge de HORTON (1945), que observou a necessidade de considerá-los con juntamente e de FRANÇA (1968) e VASQUES FILHO (1972).

A razão de textura apresentou valores de F mui to altos, revelando sua significação na diferenciação de solos. Os valores de F, referentes à amostragem e interação solos/amostragem, permitiram estabelecer que a determinação deste índice deve ser feita conjuntamente pelos dois sistemas de amostragem, fato confirmado pelo desdobramento da inte ração solo/amostragem. A verificação de sua estabilidade den tro do padrão de drenagem está em divergência com FRANÇA (1968).

As classes de textura topográfica foram diferen tes em função dos solos e do sistema de amostragem utilizado, corroborando com os dados de FREIRE (1977).

A comparação global entre esses três elementos do padrão de drenagem indicou que, em termos de distinção de solos, a maior eficiência foi apresentada pela razão de textu ra e a menor, pela frequência de rios, o que diverge de FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), FADEL (1972) e VASQUES FILHO (1972), que encontraram a maior eficiência da densidade de drenagem e de FREIRE (1977), que obteve dados não significativos. Os valo res obtidos, de maneira geral, se enquadram dentro dos determi nados para os solos Podzólicos Vermelho-Amarelos referidos por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), VASQUES FILHO (1972) e ES

PINDOLA e GARCIA (1978).

Particularizando, os dados da unidade Solos Podzolicizados de Lins e Marília - var. Marília, obtidos em amostras circulares, apresentam valores médios ligeiramente inferiores aos obtidos por KOFFLER (1976) e os da unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras são semelhantes aos obtidos por MARCHETTI (1969) e VASQUES FILHO (1972).

A extensão do percurso superficial exibiu dados que revelam ser, dos índices analisados, o mais eficiente na caracterização do padrão de drenagem com o propósito de diferenciar os solos estudados. Apresentou-se como o elemento mais estável do padrão de drenagem, conforme mostram os valores do coeficiente de variação. O desdobramento da interação solos/amostragem revelou a maior eficiência do critério de amostras circulares na diferenciação das unidades de solos.

O coeficiente de manutenção apresentou comportamento similar aos da densidade de drenagem e frequência de rios, sendo eficaz na diferenciação de solos, independentemente do critério de amostragem. Este índice, por retratar a área de drenagem que mantém um metro linear de canal escoadouro e pelos dados observados, revelou-se de alta importância na diferenciação das condições de drenagem das formações superficiais.

Pelos dados da análise de variância constatou-se que, em termos de eficiência para diferenciar solos, os índices

ces analisados se apresentam na seguinte ordem decrescente: ex tensão do percurso superficial, razão de textura, coeficiente de manutenção, densidade de drenagem e frequência de rios. Os valores dos coeficientes de variação indicam que a sequência, extensão do percurso superficial, razão de textura, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção e frequência de rios, representa a ordem crescente de variação dos elementos dentro da unidade de solo.

Os resultados obtidos mostraram, de maneira geral, a maior adequabilidade das amostras circulares na caracterização do padrão de drenagem, corroborando com os resultados de FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972), GEVAERD (1974) e CARVALHO (1977).

Numa análise global pode-se estabelecer que a caracterização quantitativa do padrão de drenagem permitiu, de maneira bastante eficiente, a diferenciação das áreas de ocorrência de solos apresentando distintas condições de drenagem dos perfís. A caracterização quantitativa do padrão revelou diferenças das redes de drenagem associadas às diversidades do movimento superficial da água, refletindo condições de deflúvio, infiltração, permeabilidade e resistência dos materiais à erosão. Estes resultados confirmam HORTON (1945), SMITH (1950), LUEDER (1959), FROST (1960), RAY e FISCHER (1960), ZINKE (1960), RAY (1963) e RICCI e PETRI (1965). O estabelecimento de inferências específicas sobre os solos foi possível por

que as bacias e amostras circulares, empregadas na amostragem, foram de tamanho adequado e representativas de áreas onde a distribuição dos solos estava bem definida.

5.2.2. Composição da rede de drenagem

A caracterização da composição da rede de drenagem foi estabelecida pela análise dos seguintes elementos: números de segmentos de rios, razão da ramificação, comprimentos totais de segmentos de rios, razão de comprimentos totais, comprimentos médios de segmentos de rios e razão de comprimentos médios.

5.2.2.1. Análise da composição da rede de drenagem determinada em bacias hidrográficas

Número de segmentos de rios

Os valores determinados para números de segmentos de rios em cada ordem e total da bacia e os valores calculados pelas médias aritmética ponderada em relação às áreas das bacias, são apresentados no quadro 22.

Os números de segmentos de rios apresentaram-se diferentes nos dois solos. As diferenças foram constatadas tanto nos segmentos de 1.^a e 2.^a ordem, como nos referentes ao to

Quadro 22 - Valores Observados do Número de Segmentos de Rios em cada ordem, Valores do Número Total da Bacia e Valores Médios, Determinados pela Média Aritmética e Ponderada em Relação às Áreas das Bacias.

Ordem (w)	Pm1				PV1s							
	Bacias		Hidrográficas		Média		Bacias Hidrográficas					
	1	2	3	4	ant.	pond.	5	6	7	8	ant.	pond.
1	18	12	18	18	16,50	16,90	20	21	19	23	20,75	20,96
2	4	3	6	3	4,00	4,00	5	6	5	5	5,25	5,30
3	1	1	1	1	1,00	1,00	1	1	1	1	1,00	1,00
Nº total	23	16	25	22	21,50	21,90	26	28	25	29	27,00	27,26
segm.rios												

tal da bacia. Os valores calculados pelas médias aritmética e ponderada apresentaram-se próximos, sugerindo a equivalência destes critérios.

A análise de variância indicou que o número total de segmentos de rios da bacia apresentou diferenças entre solos com significação estatística a nível de 5%, revelando a aptidão deste elemento da rede de drenagem na diferenciação de solos, confirmando HORTON (1945), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), FADEL (1972) e GALHEGO (1979) e divergindo de FREIRE (1977). Os valores mais altos deste elemento na unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras sugerem que existe uma relação direta entre os números de segmentos de rios e o desenvolvimento do relevo, fato condicionado pela maior restrição das condições de drenagem dos perfis de solos. O aumento do número de rios apresentou-se também diretamente relacionado com a maior ocorrência de Solos Litólicos e maior declividade média das bacias, confirmando SOUZA (1975). Foi verificada uma relação inversa entre os números de segmentos de rios e a razão infiltração/deflúvio. De maneira geral, os números de segmentos exibiram valores superiores aos citados na literatura para os Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos.

As formas assumidas pela relação preconizada por MAXWELL (1955), pela substituição numérica dos números de segmentos de rios e os coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2) e a porcentagem da variação total explicada são

apresentados no quadro 23.

Verificou-se, nas duas unidades de solos, um bom ajustamento dos dados à relação preconizada, apresentando - se coeficientes de correlação significativos à nível de 5%, valores altos dos coeficientes de determinação e pequena dispersão dos dados. Os dados da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília exibiram um melhor ajustamento à relação preconizada, fato que confirma a afirmação de FREIRE (1977) de que o aumento dos números de segmentos de rios da bacia dificulta o ajustamento dos dados à relação de Maxwell.

No quadro 24 são agrupados os valores da média ponderada dos números de segmentos de rios em relação às áreas das bacias, os valores calculados em função das relações estabelecidas e os valores determinados segundo a lei de Horton.

Os valores médios determinados pelos critérios referidos, apresentam diferenças pequenas, revelando a equivalência desses critérios de determinação. Os resultados indicam que a lei dos números de rios de Horton é obedecida nas presentes condições ambientais. A continuidade de valores mais elevados nas três ordens de ramificação, para os dados determinados por um dos critérios de determinação, foi constatada somente na unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras, ocorrendo para os dados obtidos segundo a lei de Horton. A esse respeito existem divergências mostradas pelos trabalhos de SOUZA (1975) e FREIRE (1977), que não verificaram qualquer con

Quadro 23 - Formas Assumidas pela Relação Preconizada Por MAXWELL (1955), pelas Substituições Numéricas dos Números de Segmentos de Rios, Coeficientes de Correção (r), Coeficientes de Determinação (r^2) e % da Variação Total Explicada da ($r^2 \times 100$).

Unidade de Solos	Equação	(r)	(r^2)	($r^2 \cdot 100$)
Pm1	Log Nw = 1,823998 - 0,608741w	-0,9999	0,9998	99,98
PV1s	Log Nw = 1,981953 - 0,653212w	-0,9982	0,9964	99,64

Quadro 24 - Valores dos Números de Segmentos de Rios em cada Ordem, Determinados segundo a Média Ponderada em Relação às Áreas das Bacias e Valores Calculados em Função da Relação Preconizada por MAXWELL (1955) e Lei de Horton.

Ordem (w)	Pm1			PV1s		
	Média p.	V. calculados		Média p.	V. calculados	
		Rel. prec.	Horton		Rel. prec.	Horton
1	16,90	16,41	16,48	20,96	21,32	20,25
2	4,00	4,04	4,06	5,30	4,74	4,50
3	1,00	0,99	1,00	1,00	1,05	1,00
Nº total seg (N)	21,90	21,44	21,54	27,26	27,11	25,75

tinuidade de superioridade de valores e pelos trabalhos de HORTON (1945), MAXWELL (1955), SCHUMM (1956) e FRANÇA (1968) que encontraram continuidade de superioridade de valores, ora nos valores determinados pela lei de Horton, ora pelos da média ponderada.

No quadro 25 são apresentados os valores de razão de ramificação (R_b), onde foram reunidos os valores observados e os valores médios determinados pela média aritmética e relação de Maxwell.

A razão de ramificação exibiu diferenças dentro da mesma unidade de solo, revelando-se instável, confirmando referência de STRAHLER (1957). Todavia, os valores médios se apresentam relativamente próximos, mesmo quando comparados entre solos. A identidade dos valores médios, obtidos pelos critérios empregados, confirmou a adequabilidade da expressão $R_b = \text{antilog } b$, de Maxwell.

Os valores da razão de ramificação não permitiram a diferenciação dos solos, confirmando os resultados de STRAHLER (1957) e divergindo de FRANÇA (1968), FADEL (1972), VASQUES FILHO (1972) e CARVALHO (1977). De maneira geral, os valores observados são relativamente mais altos que os referidos na literatura para os Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Comprimentos totais dos segmentos de rios

Os valores observados para os comprimentos totais

Quadro 25 - Valores Observados e Valores Médios Calculados e Determinados pela Relação de MAXWELL (1955), da Razão de Ramificação.

Ordens	Pml				PVls											
	Val.obs.Bac.Hidrog.				Val. méd. calc.				Val.obs.Bac.Hidrog.				Val. méd. calc.			
	1	2	3	4	M. ant.	R.Maw.	5	6	7	8	M. ant.	R.Maw.				
Relacionadas																
w_1/w_2	4,50	4,00	3,00	6,00			4,00	3,50	3,80	4,60						
					4,19	4,06					4,16			4,50		
w_2/w_3	4,00	3,00	6,00	3,00			5,00	6,00	5,00	5,00						

dos segmentos de rios em cada ordem e na bacia e os valores médios, determinados pela média ponderada em relação às áreas das bacias, são apresentados no quadro 26.

Os comprimentos totais dos segmentos de rios mostraram diferenças com pequena significação para a distinção dos solos, revelando valores que, de maneira geral, diminuem com o aumento da ordem de ramificação. A pequena significação dos comprimentos totais na diferenciação dos solos também foi cons tatada por CARVALHO (1977), o qual considerou que os compri men tos totais, como dados isolados, não refletem as condições hi drológicas do solo. A verificação da maior variação deste ele mento, dentro da mesma unidade de solo, em relação aos nú meros de segmentos de rios, concorda com as observações de SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), FADEL (1972) e VASQUES FILHO (1972).

Os valores mais altos apresentados pela unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília, indicam que os comprimentos totais possuem comportamento inverso ao dos números de segmentos de rios, fato que permite estabelecer que as redes de drenagem serão mais extensas onde os solos po s uem maior relação infiltração/deflúvio, estando em conformi dade com FREIRE (1977).

Os valores obtidos, de maneira geral, são ligei ramente superiores aos citados na literatura para os Solos Pod zólicos Vermelho-Amarelos.

Quadro 26 - Valores dos Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios Observados em cada Ordem e na Bacia e Valores Médios Determinados pela Média Ponderada em Relação às Áreas das Bacias.

Ordem (w)	Pml				PVls			
	Bacias Hidrográficas				Bacias Hidrográficas			
	Média				Média			
	Ponderada				Ponderada			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	5,27	3,42	5,46	7,51	3,20	4,93	3,92	4,85
2	2,16	1,74	3,47	1,38	2,11	2,02	2,60	1,25
3	1,90	1,50	1,35	2,52	1,12	1,50	0,75	1,25
Comp.Total (Lt)	9,33	6,66	10,28	11,41	6,43	8,45	6,27	7,35
								7,25

As formas assumidas pelas relações preconizadas por FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957), pela substituição numérica dos valores obtidos e os valores dos coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2) e a porcentagem de variação total explicada são apresentadas no quadro 27.

Os dados da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília não apresentaram ajustamento adequado às relações preconizadas e os dados da unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras exibiram ajustamento com significação a nível de 5% de probabilidade e valores dos coeficientes de correlação praticamente iguais.

Os valores dos coeficientes de correlação dos dados da unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília, sendo superiores na relação preconizada por STRAHLER (1957), confirmam as verificações de VASQUES FILHO (1972) e divergem das de FRANÇA (1968) e FADEL (1972).

As diferenças observadas nos valores dos coeficientes angulares (b) das relações estabelecidas segundo Strahler, permitem inferências sobre a intensidade da variação dos comprimentos dos segmentos de rios, quando se analisa a passagem de uma ordem de ramificação para outra, confirmando STRAHLER (1957).

No quadro 28 são apresentados os valores dos comprimentos totais dos segmentos de rios, sendo agrupados os valores da média ponderada em relação às áreas das bacias, os va

Quadro 27 - Formas Assumidas pelas Relações Preconizadas por FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957), pela Substituição Numérica dos Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios, Coeficientes de Correlação (r), Coeficientes de Determinação (r^2) e a % da Variação Total Explicada ($r^2 \times 100$).

Unidades de Solos	Equação	(r)	(r^2)	($r^2 \cdot 100$)
Pm1	Log Lw = 0,918464 - 0,237062w	-0,9343	0,8729	87,29
	Log Lw = 0,710863 - 1,027526 log w	-0,9771	0,9547	95,47
PV1s	Log Lw = 0,857375 - 0,268377 w	-0,9977	0,9954	99,54
	Log Lw = 0,608781 - 1,110942 log w	-0,9970	0,9930	99,30

Quadro 28 - Valores dos Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios, Determinados pela Mé
dia Ponderada em Relação às Áreas das Bacias, Relações Preconizadas por
FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957) e pela Lei de Horton.

Ordem (w)	Pml			PVls				
	Média	V. Calculados		Média	V. Calculados			
		Ponderada	França Strahler Horton		Ponderada	França Strahler Horton		
1	5,70	4,80	5,14	5,70	4,12	3,88	4,06	4,12
2	2,14	2,78	2,53	3,30	1,93	2,09	1,88	2,22
3	1,90	1,59	1,66	1,91	1,20	1,12	1,20	1,20
Comp. Total (Lt)	9,74	9,17	9,33	10,91	7,25	7,09	7,14	7,54

lores calculados em função das formas assumidas pelas relações preconizadas por FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957) e os valores calculados segundo a lei de Horton.

Os valores calculados pela média ponderada apresentaram-se semelhantes aos obtidos pela lei de Horton, indicando que os comprimentos totais obedecem à lei de Horton nas presentes condições ambientais. A ocorrência, na unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília, de valores da média ponderada dos comprimentos totais do segmento de rios de 2.^a ordem inferiores aos determinados pela lei de Horton, pode ser atribuída a efeitos do controle topográfico sobre o desenvolvimento da rede de drenagem.

Pela comparação dos valores da média ponderada aos valores calculados segundo as relações preconizadas por França e Strahler, inferiu-se, de maneira geral, um melhor ajustamento dos dados de comprimentos totais à relação de Strahler.

No quadro 29 são apresentados os valores da razão de comprimentos totais, sendo reunidos os valores observados e os valores médios, determinados pela média aritmética e relação preconizada por FRANÇA (1968).

A razão de comprimentos totais mostrou variações dentro da mesma unidade de solo, revelando certa instabilidade, provavelmente relacionada aos efeitos dos controles topográficos.

Quadro 29 - Valores Observados e Valores Médios Calculados da Razão de Comprimentos Totais de Segmentos de Rios.

Ordens	Pml				Pvls							
	Val.obs.Bac.Hidrogr.		Val. méd. calc.		Val.obs.Bac.Hidrogr.		Val. méd. calc.					
	1	2	3	4	Mart.	R.Fr.	5	6	7	8	Mart.	R.Fr.
Relacionadas												
W_1/W_2	2,44	1,96	1,57	5,44			1,52	2,44	1,12	3,88		
					2,10	1,73					2,08	1,85
W_2/W_3	1,14	1,16	2,57	0,55			1,88	1,35	3,42	1,00		

cos e estruturais. Os valores médios apresentados não permitiram diferenciar os solos, o que diverge de FREIRE (1977) e CARVALHO (1977). De maneira geral, os valores observados se enquadram dentro dos citados na literatura para os Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Comprimentos médios dos segmentos de rios

Os valores dos comprimentos médios dos segmentos de rios, em cada ordem e bacia e os valores médios, determinados pela média ponderada em relação às áreas das bacias são apresentados no quadro 30.

Os comprimentos médios dos segmentos de rios apresentaram diferenças entre solos, tanto para cada ordem de ramificação como para a bacia. Para a bacia, os comprimentos médios exibiram diferenças entre solos significativos a nível de 1% de probabilidade, conforme é constatado pelo quadro 36, relevando a alta significação hidrológica deste elemento da rede de drenagem, o que confirma SCHUMM (1956), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), FADEL (1972) e CARVALHO (1977) e diverge de SOUZA (1975) e FREIRE (1977). Na unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília, os comprimentos médios apresentaram valores mais elevados, fato que era esperado porque as redes de drenagem desta unidade de solo apresentam-se mais extensas e menos ramificadas. De maneira geral, os valores observados se enquadram dentro dos citados na literatura para os Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Quadro 30 - Valores Médios dos Segmentos de Rios em cada Ordem e Bacia e Respetivos
Valores Médios Determinados pela Média Ponderada em Relação às Áreas das Ba
cias.

Ordem (w)	Pm1				PV1s			
	Bacias Hidrográficas			Média	Bacias Hidrográficas			Média
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,29	0,28	0,30	0,42	0,16	0,23	0,15	0,21
2	0,54	0,58	0,62	0,46	0,42	0,34	0,52	0,36
3	1,90	1,50	1,35	2,52	1,12	1,50	0,75	1,25
Bacia	0,40	0,41	0,41	0,52	0,25	0,30	0,25	0,26

As formas assumidas pela substituição numérica dos dados observados na relação preconizada por VASQUES FILHO (1972) e os coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2) e a porcentagem total da variação explicada são apresentados no quadro 31.

Os valores dos comprimentos médios apresentaram baixo ajustamento à relação preconizada, estando em conformidade com CARVALHO (1977) e FREIRE (1977).

No quadro 32 são agrupados os valores da média ponderada, os valores calculados segundo a relação preconizada, os valores pela relação L_w/N_w e os valores determinados pela lei de Horton.

Os comprimentos médios, de maneira geral, mostraram comportamento similar ao dos comprimentos totais, onde os valores determinados pela lei de Horton são os que mais se acercam dos determinados pela média ponderada. Este fato revelou que os comprimentos médios obedecem a lei de Horton, embora seja observado uma menor precisão que a verificada para os números de rios, confirmando HORTON (1945), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968) e outros pesquisadores. Os valores observados dos comprimentos médios dos segmentos de rios de 2.^a ordem de ramificação, de maneira semelhante aos comprimentos totais, apresentaram-se inferiores aos calculados pela lei de Horton, fato que também deve estar ligado aos efeitos dos controles topográficos e estruturais presentes. Verificou-se a equivalên

Quadro 31 - Formas Assumidas pela Relação Preconizada por VASQUES FILHO (1972), pela Substituição Numérica dos Dados de Comprimentos Médios de Segmentos de Rios, Coeficiente de Correlação (r), Coeficiente de Determinação (r^2) e a % da Variação Total Explicada ($r^2 \times 100$).

Unidades de Solos	Equação	(r)	(r^2)	($r^2 \cdot 100$)
Pm1	$\text{Log } Lm = -0,914822 + 0,375472w$	$0,9765^{ns}$	0,9535	95,35
PV1s	$\text{Log } Lm = -1,150175 + 0,394790w$	$0,9923^{ns}$	0,9846	98,46

Quadro 32 - Valores Médios de Comprimentos Médios de Segmentos de Rios, Determinados pela Média Ponderada em Relação às Áreas das Bacias, Relação Preconizada , Relação Lw/Nw e Lei de Horton.

Ordem	Pm1				PVls				
	(w)	M.Pond.	Rel.Prec.	Lw/Nw	Horton	M.Pond.	Rel.Prec.	Lw/Nw	Horton
1		0,33	0,29	0,29	0,33	0,19	0,18	0,18	0,19
2		0,54	0,69	0,69	0,78	0,36	0,44	0,44	0,47
3		1,90	1,63	1,61	1,85	1,20	1,08	1,07	1,16

cia dos critérios relação preconizada por VASQUES FILHO (1972) e relação Lw/Nw , de FRANÇA (1968).

Numa análise global, pode-se estabelecer que todos os critérios de determinação dos valores médios dos comprimentos médios dos segmentos de rios são eficientes para a diferenciação dos solos.

Os valores da razão de comprimentos médios dos segmentos de rios, referentes aos dados observados e aos calculados pela relação preconizada por VASQUES FILHO (1972), são apresentados no quadro 33.

A razão de comprimentos médios exibiu comportamento semelhante aos da razão de ramificação e razão de comprimentos totais, mostrando variações dentre da mesma unidade de solo e sendo inconsistente para a distinção dos solos, confirmando SOUZA (1975) e CARVALHO (1977) e divergindo de FREIRE (1977). Os valores determinados pela relação preconizada foram bastante inferiores aos da média observada, estando em conformidade com os resultados de VASQUES FILHO (1977) e FREIRE (1977) e discordando dos de SOUZA (1975).

5.2.2.2. Análise conjunta dos elementos da composição da rede de drenagem, determinados em bacias hidrográficas

Os valores dos números de segmentos de rios e

Quadro 33 - Valores Observados e Valores Médios Calculados da Razão de Comprimentos Médios, segundo a Média Aritmética e Relação de VASQUES FILHO (1972).

Ordens Relacionadas	Pm1				PV1s			
	V. Observados		V.M.Calculados		V. Observados		V.M.Calculados	
	Bacias Hidrográficas	M.ant.	Rel.Prec.	M.ant.	Bacias Hidrográficas	Rel.Prec.	M.ant.	Rel.Prec.
1	2	3	4		5	6	7	8
W_1/W_2	3,51	2,58	2,17	5,48	2,67	4,14	1,44	5,00
					2,60	2,38	2,78	2,48
W_2/W_3	1,86	2,07	2,07	1,09	2,62	1,48	3,46	1,19

comprimentos médios e totais dos segmentos de rios são apresentados no quadro 34, sendo agrupados os valores observados, os valores determinados segundo as relações preconizadas e os valores determinados pelas leis de Horton.

Os valores médios das razões de ramificação, comprimentos totais e de comprimentos médios, determinados pela média aritmética, relações preconizadas e relação $R_{lm} = P_b/R_{lw}$, são apresentados no quadro 35.

A análise conjunta dos elementos números e comprimentos totais e médios de segmentos de rios, permite destacar a maior eficiência dos comprimentos médios e a menor aptidão dos comprimentos totais para a distinção das áreas de solos, fato que diverge de SOUZA (1975) e FREIRE (1977).

De maneira geral, os critérios de determinação, média ponderada e lei de Horton foram equivalentes e apresentaram dados distintos dos das relações preconizadas. Por este fato observou-se a conveniência de se realizar a análise conjunta dos elementos baseada num mesmo critério de determinação, confirmando SOUZA (1975).

A análise conjunta dos elementos razão de ramificação, razão dos comprimentos totais e razão dos comprimentos médios, permitiu destacar a ineficiência dos três elementos na diferenciação dos solos estudados. Este fato diverge dos resultados da literatura consultada, podendo, entretanto, ser explicado

Quadro 34 - Números, Comprimentos Totais e Comprimentos Médios dos Segmentos de Rios Referentes à cada Ordem e à Bacia.

Ordem (w)	Pml			PVls		
	Nw	Lw	Lm	Nw	Lw	Lm
Valores Observados						
1	16,90	5,70	0,33	20,96	4,12	0,19
2	4,00	2,14	0,54	5,30	1,93	0,36
3	1,00	1,90	1,90	1,00	1,20	1,20
Total	21,90	9,74	-	27,26	7,25	-
Relações Preconizadas						
1	16,41	4,80	0,29	21,32	3,88	0,18
2	4,04	2,78	0,69	4,74	2,09	0,44
3	0,99	1,59	1,63	1,05	1,12	1,07
Total	21,44	9,17	-	27,11	7,09	-
Horton						
1	16,48	5,70	0,33	20,25	4,12	0,19
2	4,06	3,30	0,78	4,50	2,22	0,47
3	1,00	1,91	1,85	1,00	1,20	1,16
Total	21,54	10,91	-	25,75	7,54	-

Quadro 35 - Valores Médios das Razões de Ramificação, de Comprimentos Totais e de Comprimentos Médios, Determinados pela Média Aritmética, Relações Preconizadas e Relação ($R_{lm}=R_b/R_{lw}$).

Características	Pm1			PV1s		
	Média	Rel.Prec.	Rel. $R_{lm}=R_b/R_{lw}$	Média	Rel.Prec.	Rel. $R_{lm}=R_b/R_{lw}$
Razão de ramificação (Rb)	4,19	4,06	4,11	4,16	4,50	4,59
Razão de comprimentos totais (Rlw)	2,10	1,73	1,71	2,08	1,85	1,81
Razão de comprimentos médios (Rlm)	2,60	2,38	2,35	2,78	2,48	2,43

cado pela grande similaridade de condições apresentada pelas duas unidades de solos. Os valores determinados pela relação $R_{lm} = R_b/R_{lw}$, preconizada por FRANÇA (1968), foram similares aos valores dos antilogarítmos dos coeficientes angulares (b) das relações estabelecidas, mostrando o interrelacionamento existente entre esses elementos, o que corrobora com FRANÇA (1968), LEÃO (1973), GEVAERD (1974) e FREIRE (1977). Os valores obtidos pela média aritmética foram mais altos que os obtidos pelos outros critérios, não se observando a equivalência entre os critérios empregados.

5.2.2.3. Análise dos elementos número, comprimento total e comprimento médio dos segmentos de rios das bacias e amostras circulares

Os valores do número total, comprimento total e comprimento médio dos segmentos de rios determinados em bacias e amostras circulares são apresentados no quadro 36 e a respectiva análise de variância é mostrada no quadro 37.

Os números totais de segmentos de rios, determinados pelos dois critérios de amostragem, exibiram diferenças que permitem diferenciar os solos, refletindo as desconformidades do comportamento hidrológico, suportando os resultados de HORTON (1945), STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968). O critério de

Quadro 36 - Valores Observados do Número Total de Segmentos de Rios (N e Nc), Comprimentos Totais dos Segmentos de Rios (Cr e Crc) e Comprimentos Médios dos Segmentos de Rios (Lm e Lmc) Determinados em Bacias Hidrográficas e Amostradas Circulares.

Características	Bacias Hidrográficas/Amostradas Circulares							
	Pm1				Pv1s			
	1/I	2/II	3/III	4/IV	5/V	6/VI	7/VII	8/VIII
Nº Total de Segmentos de rios (N e Nc)	23/48	16/39	25/50	22/46	25/77	28/68	25/87	29/71
Média		21,50/45,74				27,00/75,75		
Erro Padrão da Média		1,936/2,390				0,911/4,190		
Comprimento da Rede								
(Cr e Crc)	9,36/12,40	6,66/13,34	10,28/15,50	11,41/14,95	6,43/22,05	8,45/24,05	6,27/21,45	7,35/23,35
Média		9,42/14,05				7,12/22,75		
Erro Padrão da Média		1,014/0,710				0,525/0,590		
Comprimento Médio de Segmentos de rios (Lm e Lmc)	0,40/0,26	0,41/0,35	0,41/0,31	0,52/0,32	0,25/0,29	0,30/0,35	0,25/0,25	0,25/0,33
Média		0,43/0,31				0,26/0,30		
Erro Padrão da Média		0,033/0,020				0,021/0,050		

Quadro 37 - Análise de Variância das Características Números Totais de Segmentos de Rios (N e Nc), Comprimentos Totais de Segmentos de Rios (Cr e Crc) e Comprimentos Médios dos Segmentos de Rios (Lm e Lmc), Determinados Respetivamente em Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares.

Características	Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	C.V. %
Nº totais de segmentos de rio (N)	Solos	1	60,5000	-	6,66*	12,48
	Resíduo	6	55,0000	9,1666		
	Solos	1	1800,0000	-	38,64**	11,23
	Resíduo	6	279,5000	49,5833		
Comprimentos totais de segmentos (Cr) de rios (Crc)	Solos	1	10,5340	-	4,12 ^{ns}	19,33
	Resíduo	6	15,3453	2,5516		
	Solos	1	150,5112	-	87,23**	7,14
	Resíduo	6	10,3525	1,7254		
Comprimentos médios de segmentos (Lm) de rios (Lmc)	Solos	1	0,0595	-	30,85**	12,59
	Resíduo	6	0,0115	0,0019		
	Solos	1	0,0005	-	0,03 ^{ns}	13,34
	Resíduo	6	0,0101	0,0016		

amostras circulares mostrou-se mais eficiente para a referida diferenciação.

O comprimento total de segmentos de rios apresentou divergências em função do sistema de amostragem. Para este elemento, os dados determinados nas bacias hidrográficas não foram consistentes para a distinção dos solos e apresentaram coeficiente de variação alto, indicando certa heterogeneiidade dos dados. Os dados determinados em amostras circulares exibiram diferenças altamente significativas entre solos e apresentaram coeficiente de variação baixo, indicando homogeneidade dos dados. Os resultados obtidos em amostras circulares diferem dos de CARVALHO (1977).

O comprimento médio dos segmentos de rios mostrou comportamento inverso ao do comprimento total. Para este elemento o critério bacias hidrográficas foi mais consistente na diferenciação dos solos.

Considerando conjuntamente o comprimento total e o comprimento médio de segmentos de rios inferiu-se a conveniência da utilização simultânea dos dois critérios de amostragem, para a caracterização adequada da composição da rede de drenagem.

A análise global desses elementos permitiu verificar que, de maneira geral, os elementos da rede de drenagem são menos eficientes na diferenciação das áreas de solos que os elementos do padrão, confirmando PARVIS (1950) e LUEDER

(1959) e divergindo de vários pesquisadores, como FRANÇA (1968) e FADEL (1972).

5.2.3. Relações funcionais entre os elementos do padrão e das bacias de drenagem

No quadro 38 são apresentadas as relações estabelecidas entre as diversas características do padrão e das bacias de drenagem, os respectivos coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2) e as porcentagens da variação total explicada.

Os dados apresentados mostram que, do total de vinte e sete correlações apresentadas, vinte apresentam significação estatística; sendo que treze possuem significação a nível de 1% e sete a nível de 5%, revelando o alto grau de interdependência existente entre esses índices.

As relações lineares com significação estatística a nível de 1% são apresentadas em seguida.

a - Relação entre frequência de rios (F) e densidade de drenagem (Dd)

A relação funcional estabelecida mostrou o alto grau de interdependência existente entre esses índices, independentemente da unidade de solo. Revelou que o tipo de relação existente entre o número e o comprimento de rios por unidade de área dos sistemas de drenagem estudados é o diretamente

Quadro 38 - Relações Funcionais Entre as Características Quantitativas do Padrão e das Bacias de Drenagem.

Características Relacionadas	Relação Obtida	(r)	(r ²)	(r ² .100)
Dd x F	- 1,416068 + 0,255973 F	0,9808*	0,9620	96,20
Dd x T	- 0,128850 + 1,214180 T	0,8988*	0,8078	80,78
Dd x Eps	- 7,809504 - 27,205887 Eps	-0,9793*	0,9590	95,90
Dd x Cm	- 7,798520 - 0,013570 Cm	-0,9789*	0,9582	95,82
Dd x Rr	- 0,210493 + 78,757114 Rr	0,8262**	0,6826	68,26
Dd x Cmass	- 1,374491 + 0,108592 Cmass	0,9200*	0,8464	84,64
Dd x C.or	- 7,147480 - 0,175616 C.or	0,4238 ^{ns}	0,1796	17,96
F x T	- 5,979215 + 4,780828 T	0,9552*	0,9124	91,24
F x Eps	- 24,609253 - 103,750238 Eps	0,9746*	0,9498	94,98
F x Cm	- 24,565699 - 0,051745 Cm	-0,9741*	0,9488	94,88
F x Rr	- 6,7777467 + 316,069062 Rr	0,8630*	0,7447	74,47
F x Cmass	- 0,032868 + 0,415486 Cmass	0,9101*	0,8282	82,82
F x C.or	- 21,874044 - 0,658733 C.or	-0,4151 ^{ns}	0,1723	17,23
T x Eps	- 5,178143 - 20,185309 Eps	-0,9491*	0,9008	90,08
T x Cm	- 6,170788 - 0,001007 Cm	-0,9489*	0,9004	90,04
T x Rr	- 0,292602 + 57,151243 Rr	0,7852**	0,6165	61,65
T x Cmass	- 1,619176 + 0,071160 Cmass	0,7798**	0,6081	60,81
T x C.or	- 6,044001 - 0,149379 C.or	0,4709 ^{ns}	0,2217	22,17
Eps x Cm	- 0,000214 + 0,000499 Cm	0,9999**	0,9998	99,98
Eps x Rr	- 0,238000 - 1,935711 Rr	0,8096**	0,6554	65,54
Eps x Cmass	- 0,188352 - 0,002204 Cmass	-0,7353**	0,5406	54,06
Eps x C.or	- 0,007501 + 0,006989 C.or	0,6706 ^{ns}	0,4497	44,97
Cm x Rr	- 497,722735 - 4039,366257 Rr	-0,7659**	0,5866	58,66
Cm x Cmass	- 400,368853 - 4,868181 Cmass	-0,7381**	0,5448	54,48
Cm x C.or	- 10,503389 + 15,999513 C.or	0,6979 ^{ns}	0,4871	48,71
Rr x Cmass	- 0,024584 + 0,001185 Cmass	0,9453*	0,8934	89,34
Rr x C.or	- 0,079878 - 0,001504 C.or	-0,3452 ^{ns}	0,1192	11,92
Cmass x C.or	- 42,040703 - 1,022883 C.or	-0,2943 ^{ns}	0,0866	08,66

proporcional, indicando que as áreas mais dissecadas apresentam maiores comprimentos dos canais escoadouros por unidade de área. O coeficiente de correlação indicou pequena variação na interdependência desses índices e a porcentagem de variação total explicada foi muito alta. Os resultados obtidos confirmam VASQUES FILHO (1972) e CARVALHO (1977) e corroboram com os de GEVAERD (1974), SOUZA (1975) e FREIRE (1977) que, empregando valores médios desses elementos, obtiveram resultados similares.

b - Relação entre razão de textura (T) e densidade de drenagem (Dd)

Verificou-se a existência de relação estreita entre o número de rios por unidade de perímetro e o comprimento de rios por unidade de área. A relação estabelecida está em conformidade com VASQUES FILHO (1972) e CARVALHO (1977) e diverge de SMITH (1955) e FADEL (1972), cujos dados se ajustaram, respectivamente, às equações dos tipos potencial e exponencial e de FREIRE (1977), que obteve coeficiente de correlação não significativo, embora este autor tenha utilizado os valores médios destes índices.

c - Relação entre extensão do percurso superficial (Eps) e densidade de drenagem (Dd)

Por esta relação foi verificada a alta interdependência existente entre o tamanho das encostas e o comprimento

to de rios por unidade de área. Sendo a relação obtida inversamente proporcional, significa que nas áreas de interflúvios muito extensos o comprimento de rios por unidade de área será pequeno. Estes resultados evidenciam a importância do índice extensão do percurso superficial na caracterização de bacias e sistemas de drenagem.

d - Relação entre coeficiente de manutenção (C_m) e densidade de drenagem (D_d)

Verificou-se a alta interdependência existente entre a área de drenagem correspondente a cada unidade de comprimento de canal escoadouro e o comprimento de rios por unidade de área. Essa relação, sendo inversamente proporcional, indica que nas áreas de relevo menos dissecado será menor o comprimento de canais por unidade de área.

e - Relação entre coeficiente de massividade (C_{mass}) e densidade de drenagem (D_d)

Esta relação mostra a existência de relação estreita entre condições hipsométricas e comprimentos de rios por unidade de área. Sendo uma relação diretamente proporcional, indica que nas áreas de relevos mais ondulados serão mais extensas as redes por unidade de área.

f - Relação entre razão de textura (T) e frequência de rios (F)

O alto grau de interdependência observado, indi

ca a existência de relação estreita entre números de rios por unidade de área e de perímetro, estando em conformidade com CARVALHO (1977) e divergindo de FADEL (1972) e FREIRE (1977).

- g - Relações dos elementos extensão do percurso superficial (Eps), coeficiente de manutenção (Cm), razão de textura (T) e coeficiente de massividade (Cmass) com a frequência de rios (F)

As altas interdependências existentes entre esses elementos com a frequência de rios, mostraram o tipo de relação que existe entre comprimento de interflúvio, área de drenagem correspondente à unidade de canal de escoamento e declividade média da bacia, com o número de rios por unidade de área.

- h - Relações entre extensão do percurso superficial (Eps) e coeficiente de manutenção (Cm) com a razão de textura (T)

As relações apresentadas evidenciaram o alto grau de interdependência existente entre a extensão dos interflúvios e o número de rios por unidade de perímetro e entre a área de drenagem correspondente à um metro de canal de escoamento e o número de rios por unidade de perímetro.

- i - Relação entre coeficiente de massividade (Cmass) e razão de relevo (Rr)

Verificou-se, por esta relação, que as caracte

rísticas hipsométricas das bacias apresentam alta interdependência, indicando, pelo tipo de relação obtida, que nas áreas de relevos mais ondulados as declividades médias das bacias serão maiores.

As relações funcionais cujos coeficientes de correlação apresentaram-se significativos a nível de 5% de probabilidade são as estabelecidas entre os índices: razão de relevo e densidade de drenagem; razão de relevo e razão de textura; coeficiente de massividade e razão de textura; razão de relevo e extensão do percurso superficial; coeficiente de massividade e extensão do percurso superficial; razão de relevo e coeficiente de manutenção e, coeficiente de massividade e coeficiente de manutenção.

Por estas relações, embora o grau de significação tenha se apresentado menor que no grupo anterior de relações, são referendadas as possibilidades da utilização destes índices no estudo da superfície terrestre objetivando a identificação das bacias e redes de drenagem para a diferenciação de comportamentos hidrológicos dos materiais presentes. Verificou-se a existência de relações estreitas entre a declividade média da bacia e o comprimento de rios por unidade de área; a declividade média da bacia e o tamanho das encostas; e a declividade média e a área de drenagem correspondente à unidade de comprimento do canal escoadouro.

Verificou-se que o índice coeficiente orográfico

co apresenta dados que não se ajustam ao tipo de relação linear.

5.2.4. Relações funcionais entre os elementos do padrão de drenagem, determinados em amostras circulares

No quadro 39 são apresentadas as relações estabelecidas entre os índices determinados em amostras circulares.

Do total de dez relações estabelecidas, oito a apresentaram significação estatística a nível de 1% e duas, a nível de 5%. A alta eficiência do critério amostra circular na caracterização da rede de drenagem foi evidenciada pelos resultados observados, onde se constatou, de maneira geral, pequena dispersão dos dados e alta porcentagem da variação total explicada.

As relações que apresentaram coeficientes de correlação significativos a nível de 1% são apresentadas em seguida.

a - Relação entre frequência de rios (F_c) e densidade de drenagem (D_{dc})

Esta relação mostrou o alto grau de interdependência existente entre o número e comprimento de rios por unidade de área, confirmando os resultados de KOFFLER (1976), CAPVALHO (1977) e FREIRE (1977) e suportando os resultados de GE

Quadro 39 - Relações Funcionais entre os Índices do Padrão Drenagem, Determinados em Amostras Circulares.

Características Relacionadas	Relação Obtida	r	r ²	r ² .100
Ddc x Fc	Ddc = 0,664193 + 0,330773 Fc	0,9846*	0,9694	96,94
Ddc x Tc	Ddc = 0,668013 + 0,518733 Tc	0,9845*	0,9692	96,92
Ddc x Eps (c)	Ddc = 6,999771 - 24,059991 Eps (c)	-0,8873*	0,7873	78,73
Ddc x Cm (c)	Ddc = 7,210498 - 0,012212 Cm (c)	-0,9908*	0,9816	98,16
Fc x Eps (c)	Fc = 18,365853 - 67,023415 Eps (c)	-0,8303**	0,6894	68,94
Fc x Cm (c)	Fc = 19,366681 - 0,035452 Cm (c)	-0,9663*	0,9337	93,37
Tc x Epx (c)	Tc = 11,699597 - 42,707266 Eps (c)	-0,8298**	0,6886	68,86
Tc x Cm (c)	Tc = 12,339050 - 0,022596 Cm (c)	-0,9660*	0,9331	93,31
Eps(c) x Cm (c)	Eps(c) = 0,020519 + 0,000406 Cm (c)	0,8938	0,7976	79,76

VAERD (1974), SOUZA (1975) e VALÉRIO FILHO, HIGA e CARVALHO (1976), que empregaram valores médios destes índices.

b - Relação entre razão de textura (T_c) e densidade de drenagem (D_{dc})

A relação estreita obtida para número de rios por unidade de perímetro e comprimento de rios por unidade de área, está em conformidade com KOFFLER (1976), CARVALHO (1977) e FREIRE (1977) e diverge dos resultados de GEVAERD (1974), que obteve coeficiente de correlação não significativo. Segundo KOFFLER (1976), a alta interdependência entre a razão de textura e a densidade de drenagem será esperada quando for verificado esse grau de interdependência entre frequência de rios e densidade de drenagem, porque nas amostras circulares é mantida constante a relação área/perímetro.

c - Relação entre extensão do percurso superficial (E_{psc}) e densidade de drenagem (D_{dc}); coeficiente de manutenção (C_{mc}) e densidade de drenagem (D_{dc}); coeficiente de manutenção (C_{mc}) e frequência de rios (F_c); e coeficiente de manutenção (C_{mc}) e extensão do percurso superficial (E_{psc}).

Os altos graus de interdependência das características relacionadas referendaram a constatação sobre a importância dos índices extensão do percurso superficial e coeficiente de manutenção na caracterização das redes de drenagem.

As relações lineares que apresentaram coeficientes de correlação significativos a 5% são as estabelecidas entre: a extensão do percurso superficial (Epsc) e frequência de rios (Fc); e a extensão do percurso superficial (Epsc) e a razão de textura (Tc). Estas relações referendaram a importância destes índices na diferenciação de áreas de solos.

5.2.5. Relações funcionais entre os elementos do padrão de drenagem determinados pelos dois critérios de amostragem

No quadro 40 são apresentadas as relações funcionais estabelecidas dentre os elementos do padrão de drenagem, determinados em bacias hidrográficas e amostras circulares.

Os resultados apresentados mostraram coeficientes de correlação altos, sendo que, das vinte e cinco relações estabelecidas, vinte exibiram significação a nível de 1% e cinco, a nível de 5% de probabilidade. Pelos resultados, esses índices do padrão de drenagem são correlacionáveis entre si, independentemente do critério de amostragem e da natureza dos solos estudados. Suas importâncias na diferenciação dos solos foram, mais uma vez, ressaltadas.

Quadro 40 - Relações Funcionais Entre as Características dos Padrões de Drenagem, de terminadas em Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares.

Características Relacionadas	Equação	r	r ²	r ² .100
Dd x Ddc	Dd = - 0,896518 + 1,291994 Ddc	0,8810*	0,7762	77,72
F x Fc	F = - 6,370273 + 1,744961 Fc	0,9244*	0,8545	85,45
T x Tc	T = - 0,027243 + 0,563733 Tc	0,9530*	0,9082	90,82
Eps x Eps(c)	Eps = - 0,017312 + 1,179598 Eps(c)	0,8241**	0,6791	67,91
Cm x Cm(c)	Cm = - 60,612048 + 1,214259 Cm(c)	0,9321*	0,8688	86,88
Dd x Fc	Dd = - 0,231551 + 0,448526 Fc	0,9105*	0,8290	82,90
Dd x Tc	Dd = - 0,226620 + 0,703441 Tc	0,9105*	0,8288	82,88
Dd x Eps(c)	Dd = 8,151481 - 31,116816 Eps(c)	-0,7825**	0,8123	81,23
Dd x Cm(c)	Dd = 8,455205 - 0,015902 Cm(c)	-0,8798*	0,7740	77,40
Ddc x F	Ddc = 2,171835 + 0,158143 F	0,8886*	0,7896	78,96
Ddc x T	Ddc = 0,990168 + 0,828728 T	0,9303*	0,8655	86,55
Ddc x Eps	Ddc = 6,253268 - 17,714165 Eps	-0,9350*	0,8742	87,42
Ddc x Cm	Ddc = 6,248979 - 0,008846 Cm	-0,9357*	0,8755	87,55
F x Tc	F = - 6,355297 + 2,737414 Tc	0,9246*	0,8549	85,49
F x Eps(c)	F = 25,748979 - 117,472195 Eps(c)	-0,7710**	0,5944	59,44
F x Cm(c)	F = 27,180573 - 0,061020 Cm(c)	-0,8811*	0,7763	77,63
FC x T	FC = 0,917931 + 2,526223 T	0,9527*	0,9076	90,76
Fc x Eps	Fc = 16,884329 - 53,466521 Eps	-0,9481*	0,8990	89,90
Fc x Cm	Fc = 16,870329 - 0,026695 Cm	-0,9485*	0,8996	89,96
T x Eps(c)	T = 6,324721 - 22,309851 Eps(c)	-0,7328**	0,5370	53,70
T x Cm(c)	T = 6,920649 - 0,012710 Cm(c)	-0,9186*	0,8438	84,38
Tc x Eps	Tc = 10,758921 - 34,092478 Eps	-0,9482*	0,8990	89,90
Tc x Cm	Tc = 10,749995 - 0,017022 Cm	-0,9487*	0,9000	90,00
Eps x Cm(c)	Eps = - 0,029913 + 0,000606 Cm(c)	0,9314*	0,8675	86,75
Eps(c) x Cm	Eps(c) = 0,054361 + 0,000288 Cm	0,8249**	0,6805	68,05

5.3. Síntese dos Resultados

Os dados obtidos, suas análises e interpretações permitiram verificar os seguintes fatos.

a - Bacias Hidrográficas

As características não dimensionais, forma e simetria das vertentes, apresentaram variações dentro da mesma unidade de solo e não foram distintas entre unidades.

As características dimensionais, área, perímetro, maior comprimento, maior largura e comprimento do rio principal, apresentaram diferenças significativas entre solos, enquanto que o comprimento total da rede e os índices de circularidade e compacidade não apresentaram.

As características dimensionais, determinadas pela análise hipsométrica, razão de relevo e coeficiente de massividade mostraram diferenças altamente significativas entre os solos, enquanto que a integral hipsométrica e o coeficiente orográfico não revelaram diferenças.

As curvas hipsométricas revelaram diferenças dos estágios do ciclo erosivo dos relevos das áreas de solos.

b - Padrão de Drenagem

As características descritivas, tipo ou modelo, densidade, orientação, grau de controle e angularidade, exibiram diferenças entre solos, embora com significados subjeti

VOS.

As características quantitativas, densidade de drenagem, razão de textura, frequência de rios, extensão do percurso superficial e coeficiente de manutenção mostraram diferenças significativas entre solos, independentemente dos critérios de amostragem.

As classes de textura topográfica variaram em função dos solos e dos critérios de amostragem.

A ordem decrescente, em termos de eficiência para a separação dos solos, foi extensão do percurso superficial, razão de textura, coeficiente de manutenção, densidade de drenagem e frequência de rios.

Os elementos do padrão foram, de maneira geral, mais consistentes que os da composição da rede, para a diferenciação dos solos.

c - Composição da rede de drenagem

Os números de segmentos de rios apresentaram diferenças significativas entre solos.

Os dados observados dos números de segmentos de rios mostraram ajustamento adequado à relação preconizada por MAXWELL (1955).

Os números de segmentos de rios obedeceram à lei de Horton.

A razão de ramificação exibiu variações dentro da mesma unidade de solo e não foi eficiente para diferenciar os solos.

Os comprimentos totais dos segmentos de rios, nas bacias hidrográficas, apresentaram variações não significativas e, nas amostras circulares, diferenças significativas entre solos.

Os dados observados dos comprimentos totais, na unidade Solos Podzolizados de Lins e Marília - var. Marília, não mostraram ajustamento adequado às relações de FRANÇA (1968) e STRAHLER (1957) e os dados referentes à unidade Solos Podzólico Vermelho-Amarelo - var. Laras revelaram comportamento inverso. O ajustamento foi melhor na relação de Strahler.

Os comprimentos totais obedecem à lei de Horton.

A razão de comprimentos totais apresentou comportamento semelhante ao da razão de ramificação.

Os comprimentos médios dos segmentos de rios exibiram diferenças significativas entre solos, nos dados referentes às bacias hidrográficas e não exibiram essas diferenças nos dados das amostras circulares, revelando comportamento inverso ao dos comprimentos totais.

Os comprimentos médios não apresentaram ajustamento adequado à relação de VASQUES FILHO (1972).

Os comprimentos médios obedecem à lei de Horton.

A sequência, comprimentos médios, números de rios e comprimentos totais, representa a ordem decrescente, em termos de eficiência para a diferenciação de solos.

Nem sempre os diferentes critérios de determinação do mesmo elemento foram equivalentes, verificando-se a necessidade de se realizar a análise conjunta sempre baseada num mesmo critério.

A razão dos comprimentos médios mostrou comportamento similar aos das demais.

d - Relação Entre os Elementos do Padrão e da Ba cia

Todos os índices mostraram alto grau de interdependência, excetuando o coeficiente orográfico.

e - Relação Entre os Elementos do Padrão, Determinados em Amostras Circulares

Todos os índices apresentaram alto grau de interdependência.

f - Relação Entre os Elementos do Padrão, Determinados Pelos Dois Critérios de Amostragem

Todos os índices se apresentaram correlacionáveis entre si e com altos graus de interdependência, independentemente do sistema de amostragem e da natureza do solo.

Verificou-se para os diversos elementos da bacia, do padrão e da composição da rede, inúmeras divergências

entre os dados da literatura e mesmo entre os dados observados e os da literatura, fato que deve estar associado ao problema da comparação entre tipos de solos. A comparação entre solos bem diferenciados pode fornecer resultados diferentes daqueles obtidos pela comparação de solos similares.

6. CONCLUSÕES

Pelas verificações efetuadas, nas condições em que se desenvolveu este trabalho, pode-se tirar as seguintes conclusões:

a - A análise morfométrica permitiu a diferenciação das áreas dos solos estudados, refletindo diferenças da relação infiltração/deflúvio, permeabilidade, armazenamento d'água, profundidade do estrato rochoso e diferenças no estágio da erosão;

b - A fotografia aérea foi eficiente para a análise morfométrica da paisagem dos solos estudados;

c - Os índices do relevo foram tão eficientes quanto os da rede de drenagem para a diferenciação pretendida;

d - Os critérios de amostragem utilizados foram adequados para a realização da análise morfométrica, destacando-se a superioridade do critério amostras circulares e,

e - É necessária a continuação dos estudos reali

zados para se verificar até que nível as diferenças entre so
los permitem a diferenciação das áreas de ocorrência.

7. SUMMARY

The scope of this work was to study quantitatively and qualitatively the significance of morphometrical analysis of the landscape components as the relief and drainage network on the soils differentiation, by means of aerial photographs.

Two individual soil belonging to the mapping unit Red-Yellow Podzolic Soils were selected to this study because they showed common characteristics as climatic conditions and the presence of argillic horizon.

The soil units chosed were the Lins Marilia Podzolic Soils - Marilia variation and Red-Yellow Podzolic Soils - Laras variation situated respectively in the north region of the State of São Paulo, in occidental plateau, and in a Paleozoic Depression, both of them under mesothermic climatic conditions classified as Cwa.

Four representative third order watersheds selec

ted according to the geometric similarity principle and four circular samples of each of this soils units were used in this study.

The comparative study and discussion of the results obtained led to the following conclusions:

a - The morphometrical analysis provide sufficient informations to distinguished the soils units;

b - The aerial photographs provide sufficient informations for the morphometrical analysis;

c - The elements of the relief were so important than the elements of the drainage network to the pretended differentiation;

d - The watersheds and the circular samples principles were adequated to this morphometrical analysis, with predominance of the second, and

e - Will be necessary the continuation of this studies to verificate the real purpose of the morphometrical analysis to distinguish soil areas.

8. LITERATURA CITADA

- AB'SABER, A.N., 1960. Sensibilidade das Fotografias Aéreas em Zonas Tropicais Úmidas Para Efeitos de Fotointerpretação. *Notícias Geomorfológicas*, Campinas, 3:67-72.
- ALMEIDA, F.F.M. de, 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: SÃO PAULO. *Geologia do Estado de São Paulo*, São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, p. 169-263. (Boletim nº 41).
- ALOISI, R.R., 1973. Caracterização de Algumas Famílias de Solos do Município de Jaboticabal. Jaboticabal, Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia, 157p. (Tese de Doutorado).
- ANDERSON, H.W., 1957. Relating Sediment Yield to Watershed Variables. *Trans. Amer. Geophys. Un.*, Washington, 38: 921-924.
- AUDI, R., 1972. Fotointerpretação de Atributos dos Canais de Drenagem em Solos da Região Noroeste do Estado de São

Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 182p. (Tese de Doutoramento).

AVERY, T.E., 1968. *Interpretation of Aerial Photographs*. Minneapolis, Burgess Publishing Company. 319p.

BELCHER, D.J., 1945. The Engeneering Significance of Soil Patterns. *Photogram. Eng.*, 11:115-148.

BOMBERGER, E.H. e H.W. DILL, 1960. Photo interpretation in agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, Am. Soc. of Photogrammetry, p.561-666.

BUOL, S.W.; F.D. HOLE e R.J. McCRACKEN, 1973. *Soil Genesis and Classification*. Ames, The Iowa State University Press. 299p.

BURGOS, J.J. e A.L. VIDAL, 1951. *Los Climas de la Republica Argentina Segun la Nueva Classification de Thornthwaite*. Buenos Aires, Serv. Meteor. Nac. 30p.

BURINGH, P., 1954. The Analysis and Interpretation of Aerial Photographs in Soil Survey and Land Classification. *Neth. J. Agric. Sci.*, Wageningen, 2:16-26.

BURINGH, P., 1960. The applications of aerial photographs in soil surveys. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, Amer. Soc. of Photogrammetry, p.633-666.

- CARVALHO, W.A., 1977. Fotointerpretação de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares de Redes de Drenagem de Solos com Horizonte B Textural. Piracicaba, ESALQ/USP, 126p. (Tese de Doutorado).
- CHAPMANN, C.A., 1952. A New Quantitative Method of Topographical Analysis. *American Journal Sci.* New Aveni, 250:428: -452.
- CRISTOFOLETTI, A., 1969. Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas. *Notícias Geomorfológicas*. Campinas, 9:35-64.
- CRISTOFOLETTI, A., 1974. *Geomorfologia*. São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo. 149p.
- CRISTOFOLETTI, A. e A.L. CESAR, 1978. Correlação Entre Densidade de Drenagem e Comprimento Médio de Canais em Bacias Hidrográficas. *Ciência e Cultura*. São Paulo, 5:601-604.
- COLWELL, R.N., 1952. Photographic interpretation for civil purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photogrammetry*. Washington, p.535-602.
- COMISSÃO DE SOLOS, 1960a. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. 634p. (Boletim nº 17).
- COMISSÃO DE SOLOS, 1960b. *Carta dos Solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. (folha única).

- CRESWICK, W.J. e W.H. ROCKWELL, 1959. Applications of aerial photographic techniques to agricultural surveys. In: LUEDER, D.R. *Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications*. New York, Mc Graw Hill, p.373-385.
- DAVIS, R.E.; F.S. FOOTE e J.E. KELLY, 1966. *Surveying - Theory And Practice*. New York, Mc Graw Hill Book Company. 1196p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1971. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sul do Estado de Mato Grosso*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 839p.
- ESPINDOLA, C.R. e J.C. GARCIA, 1978. Interpretação Fotográfica de Redes de Drenagem em Diferentes Categorias de Solos. *Notícias Geomorfológicas*. Campinas, 8:71-94.
- ESPINDOLA, C.R., 1977. Relações Entre os Solos e Elementos da Paisagem na Zona do Baixo Rio do Peixe (Região de Conchas-Anhembi - SP). Piracicaba, ESALQ/USP, 113p. (Dissertação de Mestrado).
- FADEL, H., 1972. Fotointerpretação de Bacias e Redes de Drenagem de Três Séries de Solos da Fazenda Ipanema, Município de Araçoiaba da Serra - SP. Piracicaba, ESALQ/USP, 92p. (Dissertação de Mestrado).
- FISCHER, W.A.; P. BADGLEY,; D.G. ORR e C.J. ZISSIS, 1975. History of remote sensing. In: REEVES, R.G.; ANSON, A.E. e D. LANDEN. *Manual of Remote Sensing*. Virginia, American Society of Photogrammetry, p.27-50.

- FRANÇA, G.V., 1968. Interpretação Fotográfica de Bacias e de Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 156p. (Tese de Doutorado).
- FREIRE, J.C., 1977. Fotointerpretação de Redes de Drenagem de Três Solos da Região de Alpinópolis, Minas Gerais. Piracicaba, ESALQ/USP, 136p. (Tese de Doutorado).
- FREITAS, R.O., 1952. Textura de Drenagem e Sua Aplicação Geomorfologica. *Boletim Paulista de Geografia*. São Paulo, 11:53-57.
- FROST, R.E., 1960. Photo interpretation of soils. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, Am. Soc. of Photogrammetry, p. 343-402.
- GALHEGO, H.R., 1979. Relações Entre Relevo e Pedogênese em Materiais Argilosos da Zona do Médio Tietê (Região Tatuí-Guaré-SP). Botucatu, FCAB/UNESP, 116p. (Tese de Livre Docência).
- GARCIA, G.J., 1975. Fotointerpretação Comparativa de Fotografias Pancromáticas, Coloridas e Infravermelhas Coloridas (Falsa Cor). Piracicaba, ESALQ/USP, 111p. (Tese de Doutorado).
- GARCIA, G.J., 1979. Técnicas de Sensoriamento Remoto na Avaliação do Potencial do Uso de Regiões de Cerrado. Botucatu, FCAB/UNESP, 135p. (Tese de Livre Docência).

- LANGBEIN, W. B. *et alii.* 1947. Topographic characteristics of drainage basins. In: TOEBES, C. e ORRYVNEV, *Representative and Experimental Basins*. Paris, UNESCO, 1970. 343p.
- LEÃO, S.R.F., 1973. Interpretação Fotográfica dos Padrões de Drenagem Desenvolvidos em Dois Solos do Distrito Federal. Piracicaba, ESALQ/USP, 110p. (Dissertação de Mestrado).
- LEMONS, R.C. de. e R.D. dos SANTOS, 1976. *Manual de Método de Trabalho de Campo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 36p.
- LOPES VERGARA, M.L., 1971. *Manual de Fotogeologia*. Madrid, Servicio de Publicaciones de la Junta de Energia Nuclear. 286p.
- LUEDER, D.R., 1959. *Aerial Photographic Interpretation: Principles and Aplications*. New York, Mc Graw Hill Book Company, Inc. 462p.
- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de Atributos do Relevo Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 58p. (Tese de Doutorado).
- MARQUES, J.Q.A., 1971. *Manual Brasileiro Para Levantamento da Capacidade de Uso da Terra*. Rio de Janeiro, Escritório Técnico Brasil-Estados Unidos. 433p.
- MAXWELL, J.C., 1955. The Bifurcation Ratio in Horton's Law of Stream Numbers. *Trans. American Geophys. Union*. New Haven, 36:520. (Resumo).

- GEVAERD, I., 1974. Parâmetros Fotoanalíticos de Solos da Região Nordeste Paranaense. Piracicaba, ESALQ/USP, 110p. (Dissertação de Mestrado).
- GOOSEN, D., 1968. *Interpretacion de Fotos Aéreas y Su Importancia en Levantamiento de Suelos*. Roma, Organizacion de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentacion. 58p.
- GUERRA, A.T., 1969. *Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 439p.
- GUERRA, A.T., 1975. *Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 439p.
- HORTON, R.E., 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hidrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Bul. Geol. Soc. Am.*, Colorado, 56:275-370.
- JENNY, H., 1958. Role of the Plant Factor in the Pedogenic Functions. *Ecology*. Brooklyn, 39:5-16.
- JOLY, A.B., 1970. *Conheça a Vegetação Brasileira*. São Paulo, Eds. Universidade de São Paulo e Polígono. 181p.
- KOFFLER, N.F., 1976. Utilização de Imagens Aerofotográficas e Orbitais no Estudo de Padrões de Drenagem em Solos Originados do Arenito de Bauru. São José dos Campos, INPE/CNDCT , 150p. (Dissertação de Mestrado).

- MAZZA, J., 1979. Região Noroeste do Município de Jaboticabal:
1. Levantamento de Reconhecimento Com Detalhes dos Solos e
2. Indicação de Práticas Conservacionistas. Jaboticabal,
FCAV/UNESP, 127p. (Trabalho de Graduação).
- MILLER, V.C. e C.F. MILLER, 1961. *Photogeology*. New York,
Mc Graw Hill Ed., 248p.
- OLIVEIRA, J.B.; J.R. MENK e C.L. ROTTA, 1979. *Levantamento Pe
dológico Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo.
Quadrícula de Campinas*. Rio de Janeiro, Superintendência
de Recursos Naturais e Meio Ambiente. 169p.
- PAIVA, R.M.; S. SCHATTAN e C.F.T. FREITAS, 1976. *Setor Agríco
la do Brasil*. Rio de Janeiro, Ed. Forense Universitária.
480p.
- PARVIS, M., 1950. Drainage Pattern Significance in Airphoto
Identification of Soils and Bedrocks. *Photogramm. Engng.*
Washington, 16:387-408.
- PENTEADO, M.M. e G. RANZANI, 1971. Aspectos Geomorfológicos e
os Solos do Município de Jaboticabal. *Geographica*. Lisboa,
25:42-61.
- PENTEADO, M.M., 1970. *Fundamentos de Geomorfologia*. Rio de Ja
neiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatís
tica. 154p.
- PENTEADO, M.M., 1968. Geomorfologia do Setor Centro Ocidental
da Depressão Periférica Paulista. Rio Claro, Faculdade de

Ciências e Letras de Rio Claro, 151p. (Tese de Doutoramento).

PIMENTEL GOMES, F., 1963. *Curso de Estatística Experimental*. Piracicaba, ESALQ/USP. 384p.

QUACKENBUSH, R.S., 1960. Development of photo interpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, American Society of Photogrammetry. p. 1-18.

RABBen, E.L., 1960. Fundamentals of photo interpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, American Society of Photogrammetry, p. 99-168.

RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1965. *Carta de Solos do Município de Piracicaba*. Piracicaba, CES/ESALQ/USP. 83p.

RAY, R.C., 1963. *Fotografias Aéreas na Interpretação e Mapeamento Geológico*. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 163p.

RAY, R.G. e W.A. FISCHER, 1960. A Quantitative Photographic a Geologic Research Tool. *Photogramm. Engn.*. Washington, 26:143-150.

REEVES, R.G.; A.N. KOLLER; R.J.P. LYON e A.T.U. SMITH, 1975. Terrain and minerals: assessment and evaluation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Remote Sensing*. Washington, American Society of Photogrammetry. p.1107-1351.

- RICCI, M. e S. PETRI, 1965. *Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica*. São Paulo, Ed. Nacional. 226p.
- ROURKE, J.D. e M.E. AUSTIN, 1951. The use of Airphotos for Soil Classification and Mapping in the Field. *Photogramm. Engng.* Washington, 17:738-741.
- RUHE, R.V., 1975. *Geomorphology (Geomorphic Processes and Superficial Geology)*. Boston, Houghton Mifflin Company. 246 P.
- RUHE, R.V., 1969. *Quaternary Landscapes em Iowa*. Ames, Iowa State University Press. 108p.
- SÃO PAULO, 1963. *Carta Geológica do Estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. (folha única).
- SERVICIO DE CONSERVACION DEL SUELO, s/d. *Interpretacion de Fotografias Aéreas Para La Classificacion y Elaboracion de Cartas Geográficas Del Suelo*. México, Centro Regional de Ayuda Técnica Para el Desarrollo International, USDA. 89p.
- SERVICIO DE FOMENTO Y CONSERVACION DE RECURSOS DE SUELOS, 1977. *Guia para la descripcion de Perfiles de Suelo*. Roma, Organizacion de Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentacion. 70p.
- SCHUMM, S.A., 1956. Evolution of Drainage System and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bul. Geol. Soc. Amer.*, Colorado, 67:597-646.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for Grading Texture of Erosional

- Topography. *Amer. J. Sci.*, New Aveni, 248:655-668.
- SOIL SURVEY MANUAL, 1951. *Agriculture Handbook nº 18*. Washington, USDA. 503p.
- SOUZA, M.L.P., 1975. Fotointerpretação das Redes de Drenagem de Três Solos Com Horizonte B Latossólico Ocorrentes no Município de Ponta Grossa - PR. Piracicaba, ESALQ/USP, 135p. (Dissertação de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1952. Hypsometric (área-altitude) Analysis of Erosional Topography. *Bull. Geol. Soc. America*. Colorado, 63:1117-1142.
- STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*. New Haven, 38:913-920.
- SUMMERSON, C.H., 1954. A Philosophy For Photointerpreters. *Photogramm. Engng*. Washington, 20:396-397.
- TATOR, B.A., 1954. Drainage Anomalies in Coastal Plains Regions. *Photogramm. Engng..* Washington, 20:412-417.
- TOLENTINO, M.; N. GANDOLFI e A.B. PARAGUASSÚ, 1968. Estudo morfométrico das Bacias Hidrográficas do Planalto de São Carlos. *Revista Brasileira de Geografia*. São Paulo, 30:42-50.
- VALERIO FILHO, M.; N.T. HIGA e V.C. CARVALHO, 1976. Avaliação de Imagens Orbitais (Landsat-1) como Base para Levantamentos de Solos. São José dos Campos, INPE/CNDCT. 276p. (Dis

sertação de Mestrado).

VASQUES FILHO, J., 1972. Critérios Morfométricos Aplicados à Fotointerpretação de Redes de Drenagem em Três Unidades de Solos do Município de Piracicaba - SP. Piracicaba, ESALQ/USP. 113p. (Tese de Doutorado).

VILLA NOVA, N. e J.M. SANTOS, 1966. *A Classificação Climática de William Koeppen*. Piracicaba, ESALQ/USP. 12p. (Mimeografado).

ZINKE, P.J., 1960. Photointerpretation of soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation.*, Washington, p.656-560.