

INTERPRETAÇÃO FOTOGRÁFICA DE
BACIAS E DE RÊDES DE DRENAGEM
APLICADA A SOLOS DA REGIÃO
DE PIRACICABA

GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

Instrutor da Cadeira N.º 13 - Solos e Agrotecnia

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura «Luiz de Queiroz», da
Universidade de São Paulo, para obten-
ção do título de Doutor em Agronomia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil

1968

DEDICATÓRIA

A meus pais

minha espôsa

e meus filhos.

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

Ao Professor Dr. Guido Ranzani, Catedrático da Cadeira nº 13 - Solos e Agrotecnia, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", orientador dêste trabalho, pelas críticas e sugestões apresentadas.

Aos demais docentes da Cadeira nº 13, pelo apoio e conselhos oferecidos.

Ao acadêmico João Antonio Beltrame (*), pela ajuda na obtenção dos resultados.

Estendemos, ainda, nosso agradecimento a tôdas as pessoas que, de uma forma ou de outra, tenham contribuído para a realização dêste trabalho.

(*) Bolsista da FAPESP.

C O N T E Ú D O

	. pag.
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	3
2.1. <u>Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos</u>	3
2.2. <u>Estudos de bacias hidrográficas e da composição de rêsdes de drenagem</u>	10
2.3. <u>Padrão de drenagem - tipos, características, significado</u>	22
2.4. <u>Composição e características do padrão de drenagem e suas relações com solos</u>	29
3 - <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	33
3.1. <u>Materiais</u>	33
3.1.1. Descrição geral das áreas estudadas	33
3.1.2. Solos	34
3.1.3. Fotografias aéreas e fotomosaicos	36
3.1.4. Estereoscópios	37
3.1.5. Equipamento de medição e de desenho	37
3.2. <u>Métodos</u>	37
3.2.1. Seleção das áreas de estudo	37
3.2.2. Obtenção dos mapas básicos da drenagem	38
3.2.3. Análise das bacias hidrográficas	39
3.2.4. Análise das rêsdes de drenagem	41
3.2.4.1. Composição da rêsde de drenagem	42
3.2.4.2. Características do padrão de drenagem	43
3.2.4.3. Relação entre densidade de drenagem e razão de textura	46

4 -	<u>RESULTADOS</u>	47
4.1.	<u>Séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho</u>	47
4.1.1.	Características das bacias hidrográficas	47
4.1.2.	Características das rêsdes de drenagem	50
4.1.2.1.	Composiçãõ da rêsde de drenagem	50
4.1.2.2.	Padrãõ de drenagem	53
4.2.	<u>Série Anhumas (bacias de 4ª ordem)</u>	56
4.2.1.	Características das bacias hidrográficas	56
4.2.2.	Características das rêsdes de drenagem	60
4.2.2.1.	Composiçãõ da rêsde de drenagem	60
4.2.2.2.	Padrãõ de drenagem	65
4.3.	<u>Série Anhumas (bacias de 5ª ordem)</u>	68
4.3.1.	Características das bacias hidrográficas	68
4.3.2.	Características das rêsdes de drenagem	69
4.3.2.1.	Composiçãõ da rêsde de drenagem	70
4.3.2.2.	Padrãõ de drenagem	74
4.4.	<u>Série Ibitiruna</u>	74
4.4.1.	Características das bacias hidrográficas	76
4.4.2.	Características das rêsdes de drenagem	78
4.4.2.1.	Composiçãõ da rêsde de drenagem	78
4.4.2.2.	Padrãõ de drenagem	83
4.5.	<u>Série Iracema</u>	85
4.5.1.	Características das bacias hidrográficas	85
4.5.2.	Características das rêsdes de drenagem	89
4.5.2.1.	Composiçãõ da rêsde de drenagem	89
4.5.2.2.	Padrãõ de drenagem	92
4.6.	<u>Diferenças entre solos</u>	96
4.6.1.	Razãõ de ramificaçãõ	97
4.6.2.	Comprimento médio dos segmentos de rios	98
4.6.3.	Razãõ de comprimento	98

4.6.4.	Razão de textura média	100
4.6.5.	Densidade de drenagem determinada em amostras circulares	101
4.7.	<u>Relação entre densidade de drenagem e razão de textura</u>	103
4.7.1.	Dados de bacias hidrográficas	103
4.7.2.	Dados de razão de textura média ponderada comparados com médias de densidade de drena- gem de amostras circulares	105
4.7.3.	Razão de textura média e textura topográfica.	107
4.8.	<u>Efeito da ordem de grandeza da bacia hidrográfica...</u>	107
4.8.1.	Propriedades com dimensão linear	108
4.8.2.	Área da bacia hidrográfica	109
4.8.3.	Composição da rede de drenagem	110
4.8.4.	Características quantitativas do padrão de drenagem	110
5	<u>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	112
5.1.	<u>Limitações da análise de bacias hidrográficas</u>	112
5.2.	<u>Composição das redes de drenagem</u>	114
5.2.1.	Ordens de ramificação de rios	115
5.2.2.	Relação entre número de segmentos de rios e ordens de ramificação	116
5.2.3.	Razão de ramificação	116
5.2.4.	Relação entre comprimentos e ordens de rios ..	119
5.3.	<u>Padrão de drenagem</u>	121
5.3.1.	Características descritivas do padrão	122
5.3.2.	Características quantitativas do padrão	124
5.3.2.1.	Características baseadas no estudo de bacias hidrográficas	124

5.3.2.2.	Razão de textura média e densidade de drenagem determinada em amostras circulares	128
5.3.2.3.	Relação entre densidade de drenagem e razão de textura	129
5.4.	<u>Fatores que exercem influência sobre a composição e características das rêsdes de drenagem</u>	130
5.4.1.	Tamanho da bacia hidrográfrica	130
5.4.2.	Natureza do solo	133
6 -	<u>CONCLUSÕES</u>	136
6.1.	<u>Série Anhumas</u>	136
6.2.	<u>Série Ibitiruna</u>	137
6.3.	<u>Séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho</u>	137
6.4.	<u>Série Iracema</u>	138
6.5.	<u>Conclusões gerais</u>	139
7 -	<u>RESUMO</u>	141
8 -	<u>SUMMARY</u>	143
9 -	<u>LITERATURA CITADA</u>	145

1 - INTRODUÇÃO

A importância do levantamento de solos de uma região como base para a avaliação de suas possibilidades e limitações para uso agrícola, bem como para a condução de pesquisas relacionadas ao comportamento de solos face a diferentes tratamentos, é universalmente reconhecida.

Obviamente, a utilidade de um levantamento de solos depende do grau de detalhamento taxonômico e cartográfico com que foi executado. O emprêgo de fotografias aéreas do tipo vertical tornou-se um recurso valioso para aumentar o rendimento e a precisão dos mapeamentos, através da combinação dos trabalhos de campo e de laboratório com estudos de interpretação fotográfica.

Dentre os vários aspectos do terreno que são registrados nas fotografias aéreas e que constituem os elementos de reconhecimento utilizados em fotointerpretação, um dos mais importantes, pela soma de informações que pode fornecer, é o padrão de drenagem. Esta afirmativa é comprovada pelo interêsse que o estudo de bacias hidrográficas e particularmente sôbre a composição e as características da rêde de drenagem tem despertado em inúmeros investigadores e pelo grande volume de trabalhos publicados sôbre o assunto.

Contudo, a maioria dos autores tem seguido linhas de estudo

meramente descritivas e poucos foram os que trataram do padrão de drenagem relacionando-o à natureza dos solos.

Neste trabalho pretende-se estudar, com auxílio de fotografias aéreas, as características de bacias hidrográficas e da rede de drenagem de alguns solos da região de Piracicaba, visando os seguintes objetivos:

- (a) Estudar a variação nas características de bacias hidrográficas e na composição e nas características do padrão de drenagem de solos, dando ênfase aos atributos que podem ser analisados e expressos quantitativamente.
- (b) Relacionar alguns parâmetros do padrão de drenagem com a natureza e propriedades dos solos.

Com a obtenção destes resultados espera-se contribuir para o estabelecimento dos padrões aerofotográficos desses solos, a fim de tornar possível sua identificação e delimitação, em outras áreas de ocorrência, por fotointerpretação.

* * *

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos

Segundo informação de SIMONSON (42) e de ROURKE e AUSTIN (40), fotografias aéreas foram usadas pela primeira vez em mapeamento de solos em 1929 por Bushnell e seus colaboradores e, em pouco tempo, substituíram quase completamente os outros tipos de bases cartográficas. Inicialmente utilizada apenas como um mapa básico para o levantamento de solos, logo os cientistas de solo constataram que a fotografia aérea, devido à riqueza de detalhes nela registrados, oferecia enormes possibilidades como fonte de informação adicional à respeito das condições do terreno, inclusive sobre solos.

SIMONSON (42) considerou a utilização das fotografias aéreas como um dos maiores avanços em levantamento de solos conseguidos nas duas décadas anteriores a 1950. Segundo citação de RAY (37), também Lueder descreveu em 1951, o uso de fotografias aéreas como instrumento principal na preparação de mapas de solos para fins de engenharia. O SOIL SURVEY STAFF (47), reconhecendo a importância das fotografias aéreas para os levantamentos de solos a elas dedicou uma secção de seu manual.

COLWELL (12) definiu fotointerpretação como o ato de examinar imagens fotográficas de objetos com o propósito de identificá-los e ava-

liar a sua significância. Em sentido amplo, interpretação foi definida por SUMMERSON (51) como a previsão do que não pode ser realmente visto. Esta última definição se ajusta perfeitamente à interpretação fotográfica de solos, uma vez que as fotografias aéreas não mostram o corpo inteiro do solo, mas somente sua superfície e mesmo esta geralmente não é visível, mas sim sua cobertura vegetal. Entretanto, muitos aspectos visíveis na superfície do terreno, como formas topográficas, padrões e características de drenagem, de erosão, vegetação e uso, revelam ou sugerem diferenças entre solos e o seu padrão de distribuição.

SMITH (43) fez a afirmativa particularmente importante de que a natureza é, em grande parte, complexa e não uniforme, muitos aspectos do terreno são poligenéticos e, assim, a interpretação dos dados de observação de significância para um determinado setor - solos, por exemplo - depende de um sólido conhecimento dos princípios das ciências que explicam êsses fatos.

Schultz e Cleaves, citados por RAY (37), consideraram que a interpretação de solos por meio de fotografias aéreas repousa, em grande parte, sobre as afinidades entre solos e aspectos geomórficos; conseqüentemente, a forma fisiográfica é considerada, por alguns autores, como o elemento mais importante na fotointerpretação de solos. Contudo, ela apenas um elemento do padrão de solos e a interpretação de outros elementos, tais como as características de drenagem ou de erosão, podem fornecer informações igualmente importantes.

Segundo SMITH e AANDAHL (45), as unidades de solo não ocorrem ao acaso na paisagem: elas têm um padrão de distribuição que é relacionado à forma do terreno; ao material de origem do qual o solo se formou; e à influência das plantas que nêles crescem, dos animais que nêles vivem e da maneira pela qual o homem o tem utilizado. Geralmente as diferentes unidades de solo têm um padrão de distribuição que se repete, o qual está associado com o relêvo. As relações entre os solos e os ambientes em

que ocorrem variam em detalhes de uma região para outra, porém as relações geralmente existem. Na opinião desses autores, um especialista em solos familiarizado com os solos de uma região, observando a paisagem pode prever onde estão os limites entre solos ou, examinando um mapa de solos, visualizar a paisagem.

Segundo LUEDER (23), excetuando a forma fisiográfica, a drenagem superficial é, provavelmente, o mais seguro indicador das condições do terreno, à disposição do fotointérprete. Contudo, advertiu que a interpretação da significância de um padrão de drenagem não é fácil, envolvendo, além da apreciação teórica, a aplicação de fotoexperiência, isto é, experiência adquirida no processo de correlacionar detalhes do terreno com sua imagem fotográfica.

DUNBAR (17), discutindo alguns problemas de interpretação aerofotográfica em regiões tropicais, advertiu que a interpretação de solos e condições do terreno nessas regiões, deve ser conduzida cautelosamente, com pleno conhecimento dos processos de formação dos solos tropicais, submetidos a intemperização e erosão mais severas do que aquelas normalmente encontradas em regiões de climas temperados. Referiu-se particularmente a certas áreas do Brasil, que possuem solos latossólicos com alto conteúdo de argila e que, nas fotografias aéreas, têm a aparência de areia barrenta: porosidade relativamente elevada, ângulo de repouso moderadamente íngreme e um padrão de drenagem esparso, pouco integrado.

A fotointerpretação está sendo usada cada vez mais em trabalhos de levantamento de solos, embora haja uma certa divergência à respeito da quantidade de informação que pode ser obtida. A maioria dos autores, entre os quais se incluem ROURKE e AUSTIN (40), CRESWICK e ROCKWELL (15), BOMBERGER e DILL (6), BURINGH (8), têm adotado uma posição intermediária: reconhecendo que a fotografia aérea não substitui completamente o trabalho de campo, a verdade é que a experiência tem demonstrado que ela ajuda bastante, aumentando o rendimento e a exatidão dos mapeamentos de so-

los. De modo geral, também reconheceram que a fotointerpretação é mais útil em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

A utilidade das fotografias aéreas em levantamentos de reconhecimento foi demonstrada por vários autores, dentre os quais PASTO (32), BURINGH e VAN LIERE (7), GUNN (19), BURINGH (8).

Um bom exemplo do uso das técnicas aerofotográficas aplicadas em mapeamento detalhado de solos é aquêle do Projeto OEA-Chile, descrito por VERA (55), no qual 120.000 km² de terras agrícolas daquêle país tiveram os solos levantados e mapeados num período de dezoito meses. Este trabalho foi comentado por BASTOS (4), em cuja opinião a vasta quantidade de informação que foi obtida, verificada e reunida em período de tempo relativamente tão curto pelo uso das técnicas aerofotogramétricas e de fotointerpretação, não teria sido obtida no tempo de uma vida humana pelo uso dos métodos convencionais, uma vez que o levantamento foi do tipo detalhado - ao nível de séries, tipos e fases, incluindo a determinação da capacidade de uso dos solos.

BURINGH (8) considerou que em levantamentos de solo as duas primeiras etapas são o estudo dos solos no campo e no laboratório e a classificação dos mesmos em unidades taxonômicas e/ou de mapeamento e a terceira, o mapeamento da distribuição das unidades de solo. Em sua opinião, é nesta última etapa que as fotografias aéreas podem desempenhar um papel muito importante.

Alguns autores, como Roscoe citado por RABBEN (34), LUEDER(23), BURINGH (8), sugeriram a distinção entre diversas categorias de atividades em fotointerpretação, que são geralmente consideradas arbitrárias pela maioria dos autores. Segundo RABBEN (34), RAY (37), RICCI e PETRI (39), a interpretação de fotografias aéreas é geralmente considerada como um processo em duas etapas. A primeira inclui a observação, coleta de dados, medição e identificação de aspectos visíveis nas fotografias

aéreas. A segunda envolve processos mentais dedutivos e/ou indutivos, usando a informação obtida na solução de um problema; êste pode envolver, por exemplo, a significância da informação básica em termos de solos.

RAY e FISCHER (38), considerando que a medição de dados experimentais é uma faceta da pesquisa que é fundamental em todos os campos científicos, argumentaram que, dentre as muitas fontes de informação quantitativa, a fotografia aérea se destaca como um instrumento de pesquisa potencialmente importante devido à riqueza de dados mensuráveis que pode fornecer a imagem fotográfica de aspectos superficiais do terreno. Segundo êstes autores, embora a maioria dos estudos de geomorfologia quantitativa tenham sido feitos com base em mapas topográficos, a fotografia aérea vertical é uma fonte de dados melhor, devido à exuberância de detalhes e informação adicional nela contida.

HOWE (21), discutindo a aplicação da interpretação aerofotográfica na investigação de problemas hidrológicos, considerou-a ser útil no estudo de vários problemas, tanto de água superficial como de água subterrânea; dentre os primeiros, incluiu a preparação de mapas básicos de drenagem, o estudo dos padrões de drenagem superficial e a avaliação do potencial de água de uma bacia hidrográfica.

De modo semelhante, ZINKE (57) demonstrou a utilidade da fotointerpretação em estudos de hidrologia e manejo de bacias hidrográficas.

Segundo QUACKENBUSH (33), a fotografia aérea é ao mesmo tempo um meio de comunicação e um instrumento de pesquisa; a câmara fotográfica registra imagens detalhadas dos aspectos da superfície terrestre, as quais admitem medição e interpretação. Lembrando que os princípios sobre os quais se baseia a fotointerpretação são antigos, afirmou que a maioria dos métodos, porém, foi desenvolvida a partir da Segunda Guerra Mundial e que a conveniência e versatilidade das fotografia aéreas apenas começaram a ser exploradas pelos pesquisadores em ciências da terra. Complementando os pontos de vista dêste autor, RABBEN (34) argumentou --

que, sendo a maior parte dos trabalhos de fotointerpretação feitos com fotografias aéreas verticais, o fotointérprete deve adquirir novos hábitos de observação (vista vertical) para depois dedicar-se à parte mais difícil desta técnica, que é o uso de maneiras lógicas de pensamento para tirar conclusões corretas à respeito das coisas observadas.

FROST (18) afirmou que a fotointerpretação de solos pode ser conduzida à luz de três princípios importantes: (1) solos semelhantes -- aparecem nas fotografias aéreas com padrões semelhantes; (2) solos diferentes aparecem com padrões diferentes; e (3) desde que as características da imagem fotográfica tenham sido correlacionadas com as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, muitas propriedades importantes de solos semelhantes podem ser inferidas por meio de fotointerpretação.

Segundo RABBEN (34), três fatos fundamentais explicam a utilidade incomparável da fotografia aérea: (1) a grande área da superfície terrestre que é representada em cada fotografia - pouco mais de 20 km^2 na escala de 1:20 000 e cerca de 33 km^2 na de 1:25 000; (2) os pares estereoscópicos de fotografias aéreas proporcionam imagens tridimensionais da superfície terrestre e dos objetos localizados sobre ela; (3) as imagens fotográficas são representações permanentes e não tendenciosas dos objetos originais. O primeiro destes fatos permite ao fotointérprete -- perceber relações entre o objeto de estudo e o ambiente em que ocorre, relações que poderiam não ser evidentes à observação terrestre. No segundo, a ilusão de profundidade e a percepção das formas que se conseguem pelo efeito estereoscópico, possibilitam ao fotointérprete descobrir e identificar objetos importantes, a fazer medições de alturas e ângulos verticais. No terceiro, a permanência e fidelidade da imagem permite uma investigação cuidadosa e detalhada da área, no momento que o fotointérprete desejar e em condições de trabalho mais cômodas e mais favoráveis do que aquelas normalmente encontradas na observação direta.

A percepção da terceira dimensão é tão importante que muitos autores, como por exemplo LUEDER (23), somente consideram como fotointerpretação a técnica que emprega a observação estereoscópica. Contudo, -- RABBEN (34) advertiu que esta impressão de profundidade é muito exagerada em quase todos os modelos estereoscópicos e o fotointérprete tem que fazer a necessária concessão para a exageração vertical. Na opinião de RAY (37), a exageração vertical pode ser um fator útil na fotointerpretação de áreas de relêvo pouco acentuado, porque permite a percepção de diferenças topográficas pequenas, porém significativas.

Salientando a necessidade de se ter em mente um modelo do objeto de estudo, CLINE (11) discutiu as mudanças que ocorreram no modelo de solo, analisando particularmente aquelas decorrentes das definições dadas em 1935 por Marbut e pelo SOIL SURVEY STAFF (48). Enquanto a primeira descreveu o solo como a camada externa da crosta terrestre que difere do material subjacente principalmente pelo desenvolvimento do perfil ou seqüência de horizontes, a última descreveu solo como a coleção de corpos naturais localizados na superfície terrestre, contendo matéria viva e suportando ou capaz de suportar plantas. A definição de 1935 de Marbut reflete a aceitação do conceito da escola russa de solo como um corpo natural independente, com horizontes genéticos; referindo-se à "camada externa da crosta terrestre", implica no conceito de solo como um continuum. A definição de 1960 como "a coleção de corpos naturais", divide aquêlo continuum em unidades ou partes distintas, quer tenham ou não desenvolvido horizontes, as quais podem ser tratadas como uma população. Portanto, a perspectiva do modelo mudou daquela na qual é realçado o todo e suas partes são vagamente definidas, para aquela na qual são claramente focalizadas as partes e o todo é uma coleção organizada das partes.

Segundo CLINE (11), a mudança no modelo de solo foi ditada pela necessidade de incorporar conhecimentos das ciências afins como geolo

gia, geomorfologia, climatologia, etc. e para dar maior precisão ao modelo. Desta maneira, os limites entre classes de solos podem ser estabelecidos com base em valores quantitativos, na extensão que os conhecimentos permitem.

2.2. Estudos de bacias hidrográficas e da composição de rêsdes de drenagem

Os sistemas fluviais têm despertado o interêsse de pesquisadores em ciências da terra, especialmente geólogos, fisiógrafos e geomorfólogos, há muitos anos. Mais recentemente, especialistas de outros setores, como engenheiros de estradas, hidrólogos e cientistas de solos, também passaram a se dedicar ao estudo das rêsdes de drenagem, por verificarem que as mesmas refletiam certas características dos materiais superficiais sôbre os quais se desenvolveram. Todavia, até cêrca de duas décadas atrás, êsses pesquisadores trabalharam quase que inteiramente em bases descritivas, pois estavam interessados mais em descrever as formas do relêvo atual ou identificar a natureza dos solos ou das rochas subjacentes. Como resultado de suas descobertas, muitos padrões de drenagem foram descritos e classificados, procurando correlacioná-los à natureza dos solos e dos substratos rochosos e/ou à presença de estruturas geológicas. Com o impulso dado em 1945 por Horton e sob a compreensão crescente de que a análise descritiva clássica tem valor limitado, alguns pesquisadores começaram a tentar, na análise de bacias hidrográficas e suas rêsdes de drenagem, linhas de estudo quantitativas.

O assunto é complexo e a literatura à respeito, assaz volumosa; porém, como os componentes das rêsdes hidrográficas e muitas das características dos padrões de drenagem podem ser fâcilmente interpretados em fotografias aéreas, na revisão apresentada a seguir serão citados principalmente os trabalhos referentes à descrição e análise de bacias hidrográficas e respectivas rêsdes de drenagem, aplicáveis na identificação e

mapeamento de solos com base em fotografias aéreas.

Segundo citação de VON ENGELN (56), em 1802 Playfair já observara que todo rio consiste de um tronco principal alimentado por vários ramos, cada qual correndo em um vale proporcional ao seu tamanho, formando em conjunto um sistema de vales comunicantes que têm um ajustamento adequado de suas declividades, de modo que nenhum dêles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior. Esta afirmativa, geralmente conhecida como a lei das junções concordantes, considera os rios responsáveis por seus vales e ao mesmo tempo em concordância com êles.

Esclarecendo que a lei de Playfair envolve a premissa de que os rios principais têm gradientes mais suaves do que os de seus tributários, VON ENGELN (56) concorda que esta relação é geralmente observada, exceto em locais onde existem quedas d'água; neste caso, resultam junções discordantes e "vales suspensos" de rios tributários, podendo aquela relação das declividades ser invertida.

Segundo HORTON (20), a lei de Playfair não significa meramente a concordância das junções de vales de rios, pois fala em "ajustamento adequado" de todo o sistema e afirma que cada ramo corre em um vale "proporcional ao seu tamanho", o que implica na consideração das relações infiltração-deflúvio e dos processos de erosão pelas águas correntes, para a sua interpretação quantitativa.

O trabalho pioneiro de Playfair foi baseado em observações visuais; naquela época, não dispunha êle dos conhecimentos necessários para a interpretação quantitativa dos fatos que observara. Coube a HORTON (20) a primazia de fazer a interpretação numa base quantitativa. Seguindo uma aproximação hidrofísica, êste autor estabeleceu duas leis fundamentais que estendem a lei de Playfair e lhe conferem um significado quantitativo; estas duas leis relacionam o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rêde hidrográfica.

De acôrdo com o sistema europeu de classificar os rios em ordens - descrito em 1914 por Gravelius, citado por HORTON (20) - o rio principal ou tronco é geralmente designado como sendo de 1ª ordem, seus tributários imediatos como de 2ª ordem e assim sucessivamente. Desta maneira, a ordem mais alta é atribuída aos tributários menores, não ramificados, tipo "ponta-de-dedo". Argumentando que estes tributários menores têm características semelhantes, embora situando-se em bacias hidrográficas diferentes, HORTON (20) inverteu esta seqüência de numeração, considerando os tributários menores, não ramificados, como sendo de 1ª ordem, atribuindo a ordem mais elevada ao rio principal. Esta inversão no sistema de numeração das ordens de ramificação de rios veio, sem dúvida, facilitar a análise e a comparação das rês de drenagem, pois somente são comparáveis os elementos de mesma ordem de ramificação.

Este ponto de vista foi adotado por inúmeros pesquisadores, dentre os quais STRAHLER (49, 50), MAXWELL (25), SCHUMM (41), Coates - citado por STRAHLER (50), CURTIS et al.(16).

HORTON (20) argumentou que nem o padrão nem a densidade de drenagem, ou ambos reunidos, proporcionam uma caracterização completa da rês de hidrográfica de uma dada bacia de drenagem: com praticamente os mesmos números e comprimentos de rios, o padrão de drenagem pode ser dendrítico, retangular, paralelo ou radial; podem existir várias combinações de ordens, números e comprimentos de rios que darão a mesma densidade de drenagem; ou podem existir tipos semelhantes de padrões de drenagem com densidades muito diferentes. Por conseguinte, Horton usou a expressão "composição da rês de drenagem" para indicar os números e comprimentos de rios e tributários de diferentes classes ou ordens, independentemente do padrão. A seu ver, a composição da rês de drenagem tem alto grau de significância hidrológica, enquanto o padrão isolado tem pouca significância hidrológica; reconheceu, contudo, que o padrão de drenagem é altamente significativo como indicador de controle geológico.

A lei dos números de rios de HORTON (20) expressa a relação entre o número de rios de cada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, da qual a razão de ramificação é a base. Análogamente a lei dos comprimentos de rios do mesmo autor, expressa a relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica direta na qual o primeiro termo é o comprimento médio dos rios de 1ª ordem.

Segundo STRAHLER (50), a razão de ramificação é um número sem dimensão, útil para expressar a composição de um sistema de drenagem, sendo altamente estável e mostrando pequena amplitude de variação de uma região para outra ou de um ambiente para outro, salvo onde domina poderoso controle geológico. Por outro lado, o comprimento dos canais de rios é uma propriedade dimensional que pode ser usada para indicar a escala das unidades compondo a rede de drenagem. Contudo, de acordo com este autor, a análise dos dados de comprimentos de rios revela que as relações não são tão consistentes como no caso da lei dos números de rios.

MAXWELL (25) verificou que uma regressão linear dos logaritmos dos números de rios de cada ordem (ordenadas) sobre as ordens de rios (abscissas) produz u'a linha reta com muito pouca dispersão. A equação linear é

$$\log N_w = a - bw$$

onde w é a ordem de segmentos de rios e N_w , o número de segmentos de ordem w . Este autor recomendou, ainda, a equação

$$R_b = \text{antilog } b$$

como a melhor expressão empírica da razão de ramificação, R_b .

De modo semelhante, STRAHLER (50) relacionou os logaritmos dos comprimentos totais de rios às ordens de rios e obteve uma regressão exponencial, que pode ser expressa pelas equações:

$$\log L_w = \log a - b \log w$$

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

onde w é a ordem de segmentos de rios e L_w , a soma dos comprimentos de rios de ordem w .

Para a razão de ramificação, porém, STRAHLER (50) propôs a equação

$$R_b = \log^{-1} b$$

HORTON (20) encontrou valores da razão de ramificação variando de 2,22 para bacias suavemente onduladas até 3,91 para bacias montanhosas ou altamente dissecadas.

Coates, citado por STRAHLER (50), encontrou razões de ramificação de rios de 1ª para 2ª ordem, variando de 4,0 a 5,1; razões de ramificação de rios de 2ª para 3ª ordem, variando de 2,8 a 4,9. O autor consultado apresenta, com base nos dados acumulados, o valor médio de 3,52 para a razão de ramificação.

Num estudo realizado em algumas bacias hidrográficas tributárias do rio Delaware, N.Y., HORTON (20) encontrou para a razão de comprimento, R_L , valores variando de 1,84 a 2,74, com um valor médio em torno de 2,3.

Na equação determinada por STRAHLER (50), a inclinação b da linha de regressão é o expoente em uma função exponencial relacionando as somas dos comprimentos de rios às ordens de rios, tendo esse autor encontrado o valor $b = -1,67$ para os dados combinados de seis bacias de 4ª ordem.

HORTON (20) explicou o desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem por processos de erosão hídrica que, para um dado ambiente, dependem em primeiro lugar, da proporção entre infiltração e deflúvio. Em sua opinião, para um dado terreno existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície, necessário para concentrar volume de deflúvio suficiente para iniciar a formação de canais; admitiu que este "comprimento crítico" depende do declive da superfície, velocidade do deflúvio, capacidade de infiltração e resistência do solo à

erosão. Para Horton, êste último é o fator isolado mais importante envolvido no fenômeno de erosão e que, em períodos relativamente longos, exerce efeito dominante no desenvolvimento dos sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem.

A infiltração da água em solos foi discutida por PARR e BERTRAND (30), que fizeram uma revisão geral da literatura à respeito. De modo semelhante, SMITH e WISCHMEIER (46) discutiram a erosão pelo impacto da chuva e pelo deflúvio laminar e em sulcos ou pequenos canais, bem como os fatores influenciando as perdas de solo. Da revisão feita pelos dois primeiros autores, ficou evidenciado que a velocidade de infiltração da água no solo é governada principalmente pelas condições de superfície e cobertura do solo e, depois, pelas características internas do corpo do solo. Por outro lado, da revisão feita pelos dois últimos autores, tornou-se evidente que os mesmos fatores que aumentam a infiltração, reduzem o deflúvio; e que a erosão é um processo de trabalho com energia fornecida pela queda da chuva e pelas diferenças de elevação (declividades) do terreno sobre o qual se escoam o deflúvio. A energia cinética da chuva, que é correlacionada com a intensidade da mesma, produz a chamada erosão do impacto, a qual apresenta grande poder para destacar partículas do solo, porém não possui capacidade de transporte. As partículas destacadas pelo impacto da chuva são transportadas pelo deflúvio laminar e em pequenos canais, o qual tem baixa capacidade de desagregação e alta capacidade de transporte. À medida que o deflúvio adquire maior espessura, o movimento da água se torna mais turbulento, o deflúvio passa a ter altas capacidades tanto de desagregação como de transporte, resultando na formação de canais maiores.

Segundo HORTON (20), quando se iniciam os processos erosivos na superfície de terrenos recentemente expostos, forma-se inicialmente uma série de canais bem espaçados, começando a uma certa distância do di

visor de águas, depois que essa distância ultrapassou o comprimento crítico. Os canais são paralelos ao declive original e se transformarão -- nos rios principais das bacias de drenagem finais. De cada lado do canal principal, vão se formando novos canais, unindo-se em ângulo e criando declives laterais dirigidos para o canal inicial. Pela continuação destes processos de rebaixamento longitudinal e transversal, vão se desenvolvendo novas ordens de tributários, processos estes que, segundo Horton, explicam satisfatoriamente as séries geométricas das leis dos números e dos comprimentos de rios.

HORTON (20) propôs duas relações para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica, em adição à ordem de rios: a densidade de drenagem e a frequência de rios. A densidade de drenagem foi definida por esse autor pela primeira vez em 1932, como sendo o comprimento médio de rios por unidade de área. A densidade de drenagem, D_d, é expressa pela equação:

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

onde L_t é o comprimento total de rios das diversas ordens e A é a área, ambos expressos em unidades do mesmo sistema.

A outra relação definida por HORTON (20) é a frequência de rios, que vem a ser o número de rios por unidade de área. A frequência de rios, Fr, é expressa pela equação:

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

onde N é o número total de rios das diversas ordens e A, a área da bacia de drenagem.

SMITH (44), estudando a textura topográfica de regiões dissecadas por rios, derivou um índice semelhante ao qual denominou razão de textura. Conforme citação deste autor, a expressão "textura topográfica" foi definida em 1933 por Johnson como sendo o tamanho médio das uni-

dades compondo uma dada topografia. Smith restringiu seu uso à descrição de regiões erodidas por rios, com o propósito de expressar o espaçamento entre os canais de drenagem, em mapas topográficos com curvas de nível. Como os canais menores geralmente não são representados por convenções hidrográficas, e considerando que as crênulas ou inflexões das curvas de nível em um bom mapa topográfico indicam a existência de canais de drenagem, permanentes ou temporários, SMITH(44) recomendou escolher a curva de nível possuindo o maior número de crênulas, dentro da bacia de drenagem. A razão de textura, T, é expressa pela equação:

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

onde N é o número de crênulas na curva de nível escolhida e P é o comprimento do perímetro da bacia, expresso em milhas.

Tanto HORTON (20) como SMITH (44) reconheceram que os valores de densidade de drenagem e frequência de rios para pequenas e grandes bacias não são diretamente comparáveis porque variam com o tamanho da área de drenagem. Uma bacia de drenagem relativamente grande pode conter tantos tributários pequenos por unidade de área como uma bacia de drenagem menor e, além disso, contém um ou mais rios de ordens mais elevadas. Este efeito pode ser mascarado pelo aumento daquelas duas relações, Dd e Fr, nas partes mais declivosas das cabeceiras das bacias de drenagem menores.

Segundo STRAHLER (50), a fim de comparar bacias de drenagem de maneira significativa, é necessário considerar bacias de mesma ordem de ramificação. Assim, se medirmos as áreas de bacias de 2ª ordem, estaremos medindo elementos correspondentes dos sistemas de drenagem. Este autor tentou basear um sistema de geomorfologia quantitativa sobre princípios de análise dimensional e semelhança geométrica. Se existe semelhança geométrica aproximada entre duas bacias, tôdas as medições de compri-

mentos entre pontos correspondentes mantêm uma razão de escala fixa. Assim, se medirmos as áreas de bacias de drenagem de 2ª ordem, estaremos medindo elementos correspondentes dos sistemas, cuja razão é o quadrado da razão de escala.

ANDERSON (3), procurando relacionar a produção de sedimento às variáveis de uma bacia hidrográfica, considerou a área como sendo a variável mais importante, uma vez que quase tôdas as características da bacia são correlacionadas com a área.

A área da bacia de drenagem aumenta exponencialmente com a ordem de ramificação de rios, conforme foi estabelecido por SCHUMM (41), parafraseando a lei de Horton dos comprimentos de rios. Schumm apresentou histogramas das áreas das bacias de drenagem de 1ª e 2ª ordens e dos trechos de superfície do terreno demasiadamente pequenos para terem canais próprios. A distribuição das áreas de bacias em relação às ordens de rios sofre grandes desvios, porém isto pode ser corrigido em parte pelo uso de logarítmos.

STRAHLER (50) considerou a densidade de drenagem como um índice importante da escala linear dos elementos da forma de terreno em uma bacia hidrográfica, uma vez que a divisão do comprimento total de canais pela área produz um número com a dimensão do inverso do comprimento. Assim, à medida que aumenta o valor numérico da densidade de drenagem, em geral o tamanho das unidades de drenagem, como por exemplo as áreas das bacias de 1ª ordem, diminui proporcionalmente.

Segundo RAY (37), a densidade de drenagem em um dado ambiente climático relaciona-se principalmente com a resistência à erosão dos materiais aí presentes, sendo que a densidade aumenta à medida que diminui a resistência à erosão. Comentando as generalizações que podem ser feitas com relação ao caráter litológico das rochas sedimentares, quando examinadas em fotografias aéreas, afirmou que folhêlhos e outras rochas

similares de granulação fina, tendem a apresentar drenagem de textura fina, enquanto que rochas sedimentares de granulação grossa, como arenitos, tendem a apresentar drenagem de textura grosseira. Contudo, admitiu que podem existir muitas exceções; embora êle não tenha afirmado isto, pode-se deduzir que muitas das exceções são devidas à natureza dos solos que se desenvolveram sôbre essas rochas.

Citando trabalho de Jenkins et al., esclareceu RAY (37) que as fotografias aéreas mostram a drenagem efetiva do perfil, independentemente da textura ou composição granulométrica do solo. Reportando-se ao exemplo do calcário, discutido por Jenkins et al., lembrou que o calcário dá origem a um solo de partículas finas, porém agregadas, resultando num perfil permeável e bem drenado internamente; em consequência, as fotografias aéreas mostram uma rede de drenagem superficial de textura -- grosseira.

Segundo ZINKE (57), a densidade de drenagem é uma expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração, podendo ser considerada como uma descrição física quantitativa da bacia hidrográfica.

De acôrdo com STRAHLER (50), métodos geomórficos quantitativos foram recentemente desenvolvidos e fornecem meios de medir as propriedades de tamanho e de forma das bacias hidrográficas. Duas são as classes gerais de números descritivos: (1) medições de escala linear, pelas quais as unidades topográficas geomètricamente semelhantes podem ser comparadas de acôrdo com o tamanho; (2) números sem dimensão, geralmente ângulos ou razões de medidas de comprimento, pelos quais as formas das unidades análogas podem ser comparadas independentemente da escala. As medições de escala linear incluem, dentre outras, comprimentos de canais de rios de uma dada ordem, densidade de drenagem, perímetro da bacia; áreas de superfície de bacias são produtos de dimensões lineares. Se duas bacias de drenagem são geomètricamente semelhantes, tôdas as dimensões de

comprimento correspondentes estarão numa razão constante. As propriedades sem dimensão incluem números de ordem dos cursos d'água, razões de comprimento e de ramificação, ângulos de junção, além de propriedades referentes ao relevo. Se existe semelhança geométrica entre duas bacias de drenagem, todos os números sem dimensão correspondentes serão idênticos, embora possa existir grande diferença de tamanho.

Segundo LUEDER (23), a justificativa principal para a análise da drenagem superficial é que fornece indicações sobre a relação infiltração-deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais presentes em uma área. Assim, materiais relativamente impermeáveis (argila, folhêlo), devido a sua textura fina, dificultam a infiltração e favorecem o deflúvio; êste provoca a erosão das vias de drenagem, resultando uma rede de drenagem relativamente densa. Por outro lado, materiais relativamente permeáveis (cascalho, arenito), por causa de sua textura grosseira, têm uma capacidade de infiltração relativamente alta e resistem à formação de redes de drenagem superficial, a menos que sejam influenciados por fatores especiais como o escoamento rápido de grande quantidade de água, o desenvolvimento de planos de menor resistência, etc. De acôrdo com êste autor, em geral um padrão de drenagem bem desenvolvido implica na existência de materiais pouco permeáveis, enquanto uma escassa rede de drenagem superficial é indicativa de alta infiltração e boa permeabilidade. Advertiu, porém, que se trata de uma regra geral e, como tal, sempre existem exceções e casos especiais, como por exemplo fatores de contrôle gerais ou localizados e a existência e profundidade do substrato rochoso ou de camadas densas no subsolo.

RAY e FISCHER (38) comentaram que trabalhos de pesquisa baseados em medições obtidas de fotografias aéreas são ainda pouco numerosos. Embora muitos autores tenham usado mapas topográficos em estudos geomórficos quantitativos, êsses autores argumentaram que o uso de densidade

de drenagem e medições relacionadas, empregadas por exemplo por Miller no estudo dos efeitos da litologia e da estrutura no desenvolvimento de bacias de drenagem e formas topográficas de erosão, podem ser mais facilmente obtidas de fotografias aéreas.

Segundo citação de VAN DOREN (54), Mac Guinness et al. constataram que as condições geológicas, topográficas e de solos na bacia hidrográfica experimental de North Appalachian - próxima de Coshocton, Ohio - relacionam-se com o tamanho da bacia hidrográfica. Segundo estes pesquisadores, à medida que aumentou o tamanho da bacia hidrográfica (área de drenagem), o relêvo se acentuou e os canais fluviais se aprofundaram mais na coluna geológica. A intercepção de vários aquíferos na coluna foi o fator dominante nas relações entre vazão e área. Resultados semelhantes foram relatados por URBAN (53), em sua discussão sobre a significância de fontes e infiltrações na parte leste de Ohio. Este autor afirmou que as águas sub-superficiais de aquíferos representados por estratos de rocha com fraturas ou juntas, contribuem para a vazão em muitos canais que entalham a coluna geológica. À medida que aumenta o tamanho da bacia hidrográfica, sucessivos lençóis de água percolada são interceptados pelos canais de drenagem. Estas fontes e infiltrações contribuem para a sustentação do fluxo em canais fluviais na estação seca.

Segundo RAY (37), os elementos quantitativos do tamanho têm sido pouco usados na interpretação fotográfica de aspectos e condições do terreno, embora o tamanho relativo seja usado como um recurso auxiliar. Afirmando que estudos de geomorfologia quantitativa mostraram que o tamanho, em termos de medidas definidas, é um parâmetro muito importante na interpretação fotográfica, externou a opinião de que as medições de dados que podem ser obtidas das fotografias aéreas tornar-se-ão, no futuro, ainda mais importantes quando as técnicas de medição forem melhoradas e usadas em maior extensão.

RICCI e PETRI (39), discutindo as informações que podem ser tiradas através da análise da rede de drenagem de determinada área, salientaram que, mesmo quando se dispõem de cartas topográficas da área, estas são em geral insuficientes para esta finalidade, ainda que sejam fidedignas e de escala suficientemente grande. A razão disto é que as cartas topográficas são geralmente desenhadas de modo a formar um conjunto relativamente homogêneo: o desenhista, especialmente por razões de estética cartográfica, conserva todos os elementos da rede hidrográfica quando esta é um pouco densa e suprime alguns ou grande parte dos cursos d'água menores, quando a rede é densa. Perdem-se, assim, muitos indícios significativos da natureza dos solos e dos substratos rochosos.

2.3. Padrão de drenagem - tipos, características, significado

Um padrão pode ser definido, em sentido amplo, como um arranjo espacial de elementos ou feições particulares; êsse arranjo implica na repetição de certas formas ou relações, como afloramentos de rochas, cursos d'água, aspectos de erosão, vegetação, uso da terra, etc.

O termo padrão de drenagem tem sido usado na literatura para expressar a maneira pela qual os cursos d'água se arranjam ou se distribuem dentro de uma dada área de drenagem, sugerindo um modelo ou a configuração de um objeto familiar, que empresta o nome para a classificação do padrão. Se os rios se distribuem à semelhança de tronco, galhos e ramos de uma árvore, o padrão é chamado dendrítico ou arborescente; se pode ser comparado aos ramos de uma videira, é denominado padrão em treliça, e assim por diante. As relações gerais entre padrões de drenagem específicos e estruturas geológicas particulares foram estabelecidas no trabalho clássico de Zernitz, citado e complementado por diversos outros autores, como LOBECK (22), VON ENGELN (56), HORTON (20), PARVIS (31).

LOBECK (22) definiu geneticamente rios consequentes, subseqüentes e resseqüentes, relacionando-os à direção de inclinação de camadas,

em declives assimétricos. Uma classificação genética de rios mais detalhada foi sugerida por MILLER e MILLER (28) para uso em fotogeologia, na qual os rios são designados de acôrdo com suas relações com a topografia e a estrutura dos materiais subjacentes.

HORTON (20) discutiu o desenvolvimento de sistemas hidrográficos e de suas bacias de drenagem pela aplicação de conceitos hidrofísicos - infiltração, deflúvio, erosão - a terrenos recentemente expostos, como por exemplo planícies costeiras emersas. Admitiu que detalhes destes fenômenos de desenvolvimento de rios e vales em uma dada área podem ser modificados por estruturas geológicas ou distúrbios geológicos posteriores. Desta maneira, quando se constatarem afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios e se as condições de topografia, clima, geologia, solos, etc. são normais, em geral êsses afastamentos podem ser atribuídos a efeitos de contrôles de estruturas geológicas.

VON ENGELN (56), discutindo os fenômenos do ciclo geomórfico fluvial (ou ciclo de erosão normal) em terrenos antigos, observou que os sistemas de drenagem são reorganizados, adaptando-se aos distúrbios que ocorreram na forma inicial. Afirmando que poucos padrões de drenagem indicam um desenvolvimento independente de estrutura, destacou que quase todos os padrões de drenagem reconhecidos são respostas ou adaptações a estruturas.

Segundo PARVIS (31), a relativa facilidade com que os sistemas fluviais podem ser observados em fotografias aéreas facilita o reconhecimento dos padrões de drenagem, o estudo analítico de seus elementos e a avaliação de sua significância na fotointerpretação de solos e de substratos rochosos. Dos inúmeros padrões fluviais que se formaram pela ação de forças naturais atuando sobre os materiais da superfície terrestre, seis têm sido considerados como os padrões de drenagem básicos, a saber: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular. Êsse autor

concorda que a estrutura geológica é um dos fatores principais no desenvolvimento destes seis padrões básicos; informa que muitos destes padrões apresentam modificações que foram descritas na literatura, a partir do trabalho básico de Zernitz, publicado em 1932, acrescentando que a análise e interpretação de fotografias aéreas tem revelado diversas outras modificações dos padrões de drenagem básicos. PARVIS (31) chegou a classificar e descrever trinta padrões de drenagem, incluindo os seis padrões básicos e mais as modificações destes.

Segundo TATOR (52), os padrões de drenagem dependem em grande parte do caráter litológico das rochas subjacentes, da atitude destes -- corpos rochosos (ângulo de mergulho etc.) e do arranjo e espaçamento dos planos de menor resistência litológica ou estrutural encontrados pelo deflúvio. Os padrões de cursos d'água refletem, assim, o controle exercido pela estrutura subjacente e pelo tipo de rocha. Contudo, como salientou RAY (37), onde o controle estrutural atinge seu mínimo, as características da rede de drenagem podem ser influenciadas pela espessura e natureza do material exposto. Nestas condições, a drenagem refletiria diferenças no manto de intemperismo e, por conseguinte, em propriedades do solo. Aliás, RICCI e PETRI (39) também chamaram a atenção para este aspecto, ao afirmarem que, para uma área que se sabe ocupada por determinado tipo de rocha, variações no grau de controle da rede de drenagem podem significar variações na espessura do manto de intemperismo.

TATOR (52) fez um relato sobre trabalhos de interpretação realizados em regiões de planícies costeiras, onde as rochas são geralmente inconsolidadas e a interpretação se torna mais difícil, mostrando que eventuais anomalias de drenagem podem fornecer indícios importantes de estruturas geológicas e mesmo de diferenças litológicas. Esse autor chegou à conclusão que, em certos casos, eventuais anomalias ou desvios de uma norma do padrão de drenagem regional, podem ser tão ou mais importan

tes para a interpretação, do que o próprio padrão.

Na opinião de LUEDER (23), as inúmeras tentativas que têm sido feitas para diferenciar padrões de drenagem superficial com base em termos designativos dos mesmos - dendrítico, radial, desordenado, etc. - têm valor limitado, a menos que a classificação do padrão seja completada -- com a descrição de certas características, variáveis dentro de cada padrão, e que podem indicar aspectos significantes do mesmo. As características do padrão de drenagem, cuja descrição foi sugerida por êsse autor, são as seguintes: (1) grau de integração; (2) densidade; (3) grau de uniformidade; (4) orientação; (5) grau de contrôle; (6) angularidade; (7) ângulos de confluência; e (8) tipo ou designação do padrão.

MILLER e MILLER (28) também destacaram o papel que desempenham certas anomalias de drenagem na interpretação geológica.

Em vista disso, às características mencionadas por Lueder, RICCI e PETRI (39) acrescentaram mais uma: anomalias, ou aspectos de um ou mais rios que não se adaptam àqueles prevaescentes ou dominantes que apresentam todos os outros rios da área. Segundo êstes autores, um dado padrão de drenagem poderá apresentar, em grau maior ou menor, algumas ou tôdas as características citadas e o seu exame cuidadoso poderá fornecer informações sôbre a textura, permeabilidade, grau de erodibilidade etc. dos materiais, bem como da estrutura do terreno.

Lembrando que estudiosos das ciências da terra têm colocado grande ênfase sôbre o padrão ou arranjo espacial dos objetos como um indício importante de sua origem ou função, RABBEN (34) afirmou que os padrões regionais que anteriormente podiam ser estudados sômente através de trabalhosa observação terrestre, são agora instantânea e claramente visíveis em fotografias aéreas. Entre outros, cita como exemplo os padrões de drenagem, que em geral estão associados com estrutura geológica, litologia e propriedades do solo.

FROST (18) também afirmou que os padrões de drenagem podem ser facilmente vistos e delineados em pares estereoscópicos de fotografias aéreas, acrescentando que os mesmos refletem a maneira pela qual a água que atinge a superfície do solo se distribui, em termos das proporções de deflúvio e infiltração, fornecendo assim indícios da origem e composição dos materiais de solos. Para este autor, os detalhes de uma rede de drenagem superficial, juntamente com a forma dos canais, pequenos desmoronamentos e outros aspectos do microrelêvo, podem fornecer indícios significativos à respeito de importantes propriedades do solo.

Segundo PARVIS (31), uma vez que muitos cursos d'água têm suas nascentes em substratos rochosos cobertos com solos ou mantos espessos, os padrões de rios de ordens inferiores fornecem indícios pelos quais estes solos ou substratos rochosos podem ser identificados por fotointerpretação, sendo os rios de ordens mais elevadas os que mostram a influência de contrôles estruturais.

PARVIS (31), fazendo a análise dos padrões de drenagem regionais, afirmou que são formados de linhas retas e linhas curvas. Onde não existe controle estrutural, os canais de rios são curvos. Em regiões de materiais residuais a rede de drenagem superficial depende da distribuição do substrato rochoso, de sua profundidade relativa e de suas superfícies de menor resistência. Em regiões de rochas sedimentares, o controle pelo declive desempenha um papel importante - quanto mais resistente for o material, mais íngremes serão os declives. Conseqüentemente, as linhas de drenagem serão mais próximas da reta, porque a água, adquirindo maior velocidade, tende a correr em linhas retas. Como em geral os arenitos são mais resistentes à erosão do que os folhêhos, os padrões de drenagem nestas rochas apresentam uma "curvatura" que contrasta com a "angularidade" dos padrões em áreas de arenito.

SMITH (44) fez um estudo da razão de textura, usando mapas topo*

gráficos padronizados do Serviço Geológico dos Estados Unidos na escala de 1:24 000 e dados de 45 pequenas bacias de drenagem, sendo 30 no sul da Califórnia e 15 no norte central da Pensilvânia. O tamanho das bacias de drenagem individuais variou bastante nas duas regiões, sendo que os comprimentos de perímetros variaram de 0,95 a 3,99 km na área da Califórnia e de 3,70 a 10,63 km na área da Pensilvânia. Contudo, as bacias eram semelhantes em que os rios principais eram de 2ª ou 3ª ordens e, assim, as amostras eram de rêsdes de drenagem de unidades comparáveis. Além da determinação das razões de textura das bacias de drenagem individuais, Smith estabeleceu um valor médio ponderado para caracterizar a textura topográfica de uma dada área como um todo, tomando em consideração o tamanho de cada bacia. Isto foi feito com auxílio da equação:

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

onde T_m é o valor médio ponderado da razão de textura, \sum significa soma, A representa a área e T a razão de textura de cada bacia, conforme foi definida por êsse autor.

SMITH (44) propôs o emprêgo de limites para os valores da razão de textura média a fim de classificar a textura topográfica em classes grosseira, média e fina - como sendo, respectivamente: menos de 4,0; entre 4,0 e 10,0; e mais de 10,0. Fez ainda um estudo comparativo da relação entre a razão de textura e a densidade de drenagem, usando dados obtidos em mapas topográficos; sua conclusão foi a de que existe uma relação de função logarítmica entre a razão de textura e a densidade de drenagem. Baseado nisso, RAY (37) sugeriu que, sendo fácil determinar a densidade de drenagem, as fotografias aéreas seriam úteis num estudo comparativo de topografias de erosão.

TATOR (52) afirmou que a sensibilidade da drenagem à direção geral e direções de mergulho é pronunciada e que a utilidade da rêsde de

drenagem como guia de estrutura depende, em grande parte, do conhecimento do intérprete à respeito das probabilidades estruturais da região. Nestas condições as mudanças num padrão de drenagem ou desvios de uma norma regional, podem ser tão ou mais importantes do que a identificação de qualquer outro padrão. Por esta razão Alliger, citado por RAY (37), fez a recomendação para que sejam examinadas áreas relativamente grandes, de modo que as variações no padrão e as eventuais anomalias possam ser facilmente distinguidas dos padrões de drenagem regionais. O amplo campo visual proporcionado pelas fotografias aéreas, torna estas áreas facilmente acessíveis à observação do fotointérprete.

RAY e FISCHER (38) fizeram um estudo da significância da densidade de drenagem com respeito à litologia. Medições de comprimentos de rios e de áreas de drenagem foram feitas sobre mapas básicos da drenagem, decalcados de fotografias aéreas. Os comprimentos de rios foram relacionados com as áreas de bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 km^2 . Os autores chegaram à conclusão de que as amostras circulares fornecem determinações de densidade de drenagem mais consistentes, para qualquer tipo de rocha, do que as amostras representadas por pequenas bacias.

Quanto à significância geológica da densidade de drenagem, RAY e FISCHER (38) julgaram que os dados eram ainda insuficientes para fornecer uma base segura para comparação e avaliação da significância das diferenças encontradas, porém permitiam algumas generalizações importantes. Ficou claro que a permeabilidade do solo e da rocha subjacente tem uma influência fundamental sobre a densidade de drenagem. Quanto mais alta for a permeabilidade, tanto mais baixa será a densidade de drenagem. Segundo estes autores, a permeabilidade pode ser primária ou secundária e, como exemplo, explicam que as baixas densidades de drenagem encontradas em granito são devidas em parte à alta permeabilidade secundária que resulta do fraturamento desta rocha. Conforme acrescentou ZINKE (57), co-

mentando o trabalho de Ray e Fischer, também parece razoável admitir que o solo derivado de um tipo de rocha, se for relativamente impermeável, conduzirá a maiores proporções de deflúvio superficial e a altas densidades de drenagem.

Segundo RAY(37), o grau de erodibilidade de um solo se relaciona intimamente com suas características de drenagem. Nas áreas onde a resistência à erosão é mais ou menos uniforme, como em muitos depósitos sedimentares ou mantos de intemperismo sobre embasamentos sem estrutura pronunciada, o padrão de drenagem é comumente dendrítico ou dendrítico modificado. Onde existe maior controle estrutural, desenvolvem-se padrões característicos de drenagem em treliça, anular, retangular, etc.

RAY (37) admitiu que a drenagem é provavelmente mais significativa como indicadora de estrutura do que de litologia, porém sugeriu que o estabelecimento de correlações entre características de drenagem específicas e rochas com certas características litológicas ou físicas, representa um campo de pesquisa interessante, particularmente o estudo quantitativo de dados de cursos d'água que possam ser medidos nas fotografias aéreas, tais como a densidade e a textura de drenagem.

2.4. Composição e características do padrão de drenagem e suas relações com solos

A maioria dos autores tem procurado correlacionar o desenvolvimento e as características das rês de drenagem com fatores como clima, relêvo ou forma de terreno, litologia, estrutura geológica e estágio do ciclo geomórfico (LOBECK, 22; VON ENGELN, 56; SMITH, 44; TATOR, 52; SCHUMM, 41; STRAHLER, 50; RAY e FISCHER, 38; MILLER e MILLER, 28; RAY, 37; RICCI e PETRI, 39).

Alguns autores como BELCHER (5), PARVIS (31), LUEDER(23), FROST (18) fizeram referência ao fator solo, porém num sentido mais amplo, como é comumente usado em engenharia e que corresponde ao conceito de regolito. BELCHER (5) formulou o conceito de "drenagem funcional" para explicar porque certos solos de textura argilosa se comportam como mate-

riais porosos. Esse conceito foi adotado por LUEDER (23) e, por inferência, também por DUNBAR (17) que, em sua discussão sobre os problemas de interpretação fotográfica em regiões tropicais e subtropicais, chamou a atenção para os solos latossólicos que, embora possuindo elevado conteúdo de argila, apresentam características do padrão de drenagem semelhantes às de solos da classe textural areia-barrenta.

PARVIS (31) fez amplo estudo sobre a significância do padrão de drenagem na identificação de solos e substratos rochosos por meio de fotografias aéreas, num nível regional. Segundo FROST (18), os padrões de drenagem refletem a maneira pela qual a água que atinge a superfície do solo se distribui por deflúvio ou infiltração e fornecem indícios sobre a composição e a origem dos materiais de solos.

Por outro lado, BURINGH(8) advertiu que, além da textura e dos processos de deposição dos materiais de origem, ao cientista de solo interessa estudar também a ação dos fatores de formação e saber a que grupo genético pertence um solo. Em vista disso, achou que a fotointerpretação de solos é mais útil em levantamento de reconhecimento do que em levantamento detalhado. Esta mesma opinião foi adotada por BOMBERGER e DILL (6). Contudo, ROURKE e AUSTIN (40) apontaram a forma fisiográfica e o padrão de drenagem como os aspectos fotográficos mais úteis para a identificação e mapeamento de solos ao nível de séries, tipos e fases.

Segundo informação de VERA (55), no levantamento detalhado de solos efetuado na área do projeto OEA/Chile, a rede de drenagem foi previamente traçada por meio do exame estereoscópico das fotografias aéreas e cada tipo ou padrão de drenagem foi descrito e interpretado em termos de suas principais características, conforme a recomendação de LUEDER (23).

HORTON (20) defendeu o ponto de vista de que, além de outros fatores como a precipitação e o relevo, dois fatores importantes nos pro -

cessos de erosão hídrica responsáveis pelo desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem são a capacidade de infiltração do solo e a sua resistência à erosão. Ele não teve dúvida em apontar este último como o fator isolado mais importante. A capacidade de infiltração é sem dúvida importante, porém, considerando longos períodos de tempo, em qualquer área sujeita à erosão por água corrente, acabarão prevalecendo as diferenças em resistência à erosão do solo e da rocha subjacente, conforme admitiram MILLER e MILLER (28), RAY (37), RICCI e PETRI (39).

Da revisão feita por PARR e BERTRAND (30) sobre a infiltração da água em solos, ficou evidenciado que a velocidade de infiltração é governada principalmente pelas condições de superfície e cobertura do solo e, depois, pelas características internas do corpo do solo. Por outro lado, SMITH e WISCHMEIER (46) concluíram que a erodibilidade é influenciada por muitas propriedades do solo, as quais podem ser reunidas em dois grupos: (a) as que exercem influência sobre a permeabilidade e velocidade de infiltração; (b) aquelas que resistem às forças erosivas e de transporte.

Segundo CLINE (11) o cientista de solo deve conceber um modelo do seu objeto de estudo, no qual devem estar incluídos os conceitos básicos das ciências afins como a geologia, geomorfologia, climatologia e biologia. Discutindo as mudanças que ocorreram no modelo de solo, com base nas definições dadas em 1935 por Marbut e vinte e cinco anos depois pelos SOIL SURVEY STAFF (48), demonstrou que a perspectiva do modelo mudou daquela na qual é realçado o todo e suas partes são vagamente definidas, para aquela na qual as partes são claramente focalizadas e o todo é uma coleção organizada das partes. Na opinião de CLINE (11) a maior contribuição do novo modelo reside no fato de que as unidades básicas de solo são definidas em termos quantitativos, na extensão que os conheci -

mentos permitem, obrigando a reajustamentos à medida que novos fatos são descobertos; êste é o caminho pelo qual uma ciência progride.

Da revisão da literatura relacionada com a investigação e aplicação de técnicas de interpretação aerofotográfica aos múltiplos aspectos do terreno, constatou-se que a maior parte das referências é concernente a aspectos geológicos e geomorfológicos ou a solos considerados -- mais sob o ponto de vista da engenharia. Com relação a solos sob o ponto de vista edafológico, os trabalhos são em menor número e feitos quase que apenas em bases descritivas. Além da carência de linhas de estudo quantitativas, é flagrante a falta de pesquisas desta natureza relacionadas a solos das regiões tropicais e subtropicais, especialmente em nosso país.

* * *

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Os materiais utilizados no presente trabalho são descritos a seguir.

3.1.1. Descrição geral das áreas estudadas

De acôrdo com a divisão do Estado de São Paulo segundo Monbeig (COMISSÃO DE SOLOS, 13 e 14), as duas áreas que serviram de base para o presente trabalho acham-se localizadas na região fisiográfica Depressão Paleozóica, sub-região Médio Tietê.

A primeira área está situada na parte oeste do município de Piracicaba, entre os rios Piracicaba e Tietê, nas proximidades da confluência dêsses dois rios. A segunda, situa-se na zona limítrofe entre os municípios de Piracicaba e Iracemópolis, abrangendo ainda pequenos trechos dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

A geologia dessas áreas foi estudada por ALMEIDA e BARBOSA (1 e 2) e por MEZZALIRA (26 e 27). Segundo êsses autores, a primeira área é constituída essencialmente por arenitos finos da formação Botucatu-Pirambóia apresentando estratificação cruzada típica, denunciando -- sua origem eólica; na segunda área afloram rochas efusivas e intrusivas

básicas da formação Serra Geral, constituindo a reunião destas duas formações, o grupo São Bento.

Na primeira área, não se encontram os derrames superficiais ou intercalados característicos da atividade do magma basáltico que acompanhou a sedimentação do arenito Botucatu, a não ser nas cabeceiras do ribeirão Paredão Vermelho, onde já se encontram evidências da "estrutura de Pau d'Alho". Na outra área, porém, são abundantes os corpos intrusivos de diabásio concordantes com os sedimentos permianos. A preferência dos grandes "sills" de diabásio pelos sedimentos permianos, principalmente nos locais em que apresentam maior desenvolvimento os folhêhos e os siltitos finamente estratificados, é um fato que chamou a atenção de ALMEIDA e BARBOSA (1).

O clima dessas duas áreas, segundo o sistema de Köppen, é do tipo mesotérmico, Cwa, isto é, subtropical úmido com estiagem no inverno; a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente é superior a 22°C; o total de chuvas do mês mais seco não atinge 30 mm. O total anual de chuvas está compreendido entre 1200 e 1300 mm. Segundo MAGNANINI (24) e CAMARGO e ORTOLANI (9), em São Paulo este tipo climático não chega a ser verdadeiramente temperado, podendo ser mais --própriamente chamado de "tropical de altitude" pois, afóra o abrandamento das temperaturas do Aw, conserva as demais características tropicais dêste.

3.1.2. Solos

Serviram de base para o presente estudo cinco séries de solos que constam das cartas de solos dos municípios de Piracicaba e Itacemápolis, identificadas e descritas por RANZANI et al. (35 e 36); contudo, algumas áreas de amostragem se localizam, parcialmente, nos municípios de Santa Gertrudes (*) e de Rio Claro (*).

(*) Municípios cujas cartas de solos estão sendo levantadas por RANZANI e colaboradores - ESALQ.

As séries escolhidas representam solos genéticamente diferentes, com morfologia e propriedades diferentes e, por conseguinte, apresentando comportamento diferente quanto às relações infiltração/deflúvio e desenvolvimento da rede de drenagem superficial; representam, também, as principais unidades taxonômicas e de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo (COMISSÃO DE SOLOS, 13 e 14) que ocorrem na região considerada. No Quadro 1 são apresentadas as séries de solo aqui estudadas e a sua correspondência com as unidades taxonômicas e de mapeamento da Comissão de Solos.

QUADRO 1 - Correspondência entre as séries de solos segundo RANZANI et al (35 e 36) e as unidades taxonômicas e de mapeamento utilizadas pela COMISSÃO DE SOLOS (13 e 14).

Séries de solo	Levantamento de reconhecimento	
	Unidades taxonômicas	Unidades de mapeamento
Ribeirão Claro	Regossol	Regossol "intergrade" para Podsolúico Vermelho Amarelo e Regossol "intergrade" para Latossol Vermelho Amarelo-grupo indisciplinado
Paredão Vermelho	Latossol Vermelho Amarelo (*)	
Anhumas	Litossol (**)	Podsolúico Vermelho Amarelo- variação Laras
Ibitiruna	Podsolúico Vermelho Am.	
Iracema	Latossol Roxo	Latossol Roxo

(*) A série Paredão Vermelho, enquadra-se na unidade de mapeamento Latossol Vermelho Amarelo-fase arenosa da COMISSÃO DE SOLOS (13).

(**) A série Anhumas enquadra-se no Litossol-fase substrato arenito eólico e Litossol "intergrade" para Podsolúico Vermelho Amarelo-variação Laras da COMISSÃO DE SOLOS (13).

Com relação ao material de origem, as séries Ribeirão Claro, Paredão Vermelho, Ibitiruna e Anhumas se desenvolveram a partir de arenitos eólicos da formação Botucatu, enquanto a série Iracema se desenvolveu

veu a partir de eruptivas básicas da formação Serra Geral, segundo a nomenclatura geológica usada por MEZZALIRA (26).

Tendo RANZANI et al. (35) feito uma tentativa para classificar as séries de solos, identificadas no município de Piracicaba, de acordo com os critérios quantitativos recomendados pelo SOIL SURVEY STAFF (48) - 7ª Aproximação - é apresentada no Quadro 2 a equivalência aproximada entre as séries de solos utilizadas nesta investigação e a nomenclatura do novo sistema de classificação, conforme a correlação feita por aqueles autores.

QUADRO 2 - Equivalência aproximada entre as séries de solos utilizadas e a nomenclatura da 7ª Aproximação, segundo RANZANI et al. (35)

Séries de solo	Nomenclatura de acordo com a 7ª Aproximação
Anhumas	Lithic Hapludent
Ibitiruna	Psammentic Typochrult
Iracema	Orthic Haplacrox
Paredão Vermelho	Orthic Rhodochrult
Ribeirão Claro	Orthic Orthopsamment

3.1.3. Fotografias aéreas e fotomosaicos

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais provenientes da cobertura aerofotográfica efetuada para a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo pela firma Prospec, em agosto de 1962 (para a região) e na escala aproximada de 1:25 000.

O recobrimento entre as fotografias é de cerca de 60% na mesma faixa de vôo e de 30% entre faixas adjacentes, o que permite a visão este reoscópica, ou seja a percepção da terceira dimensão.

Os fotomosaicos utilizados são reproduções fotográficas dos mo-

saicos originais confeccionados na mesma escala das fotografias, ou seja, 1:25 000.

3.1.4. Estereoscópios

Para a observação estereoscópica dos pares de fotografias aéreas, foram empregados um estereoscópio de espelhos Zeiss e um estereoscópio de bôlso Vasconcellos, aquêle para a observação geral e êste, devido à maior exageração vertical, para o exame de detalhes.

3.1.5. Equipamento de medição e de desenho

Como uma boa parte do trabalho consistiu de diversas medições feitas em mapas decalcados das fotografias aéreas, foram utilizados alguns equipamentos simples de medição, tais como: planímetro polar, curvímetro, escala triangular, bem como esquadros, transferidor e compasso, além de pantógrafo para a redução de escala das amostras circulares para avaliação da densidade de drenagem.

3.2. Métodos

Os métodos empregados nesta pesquisa são descritos a seguir.

3.2.1. Seleção das áreas de estudo

Seguindo o método de pesquisa lógica sugerido por RABBEN (34), as fotografias aéreas foram estudadas tomando como referência as cartas de solos disponíveis. Assim, foram separados grupos de fotografias aéreas que provavelmente seriam representativas das unidades de solos escolhidas e que, portanto, deveriam conter a informação desejada. Após exame rápido das áreas nelas representadas, foi feita a seleção das fotografias nas quais foi realizada minuciosa observação estereoscópica, visando o estudo dos padrões e das características de drenagem.

Preliminarmente, procedeu-se à delimitação da área útil em fo-

tografias alternadas, de acôrdo com o método descrito por RABBEN (34). Optou-se por êste método, em vez daquêle que emprega fotografias sucessivas, por questões de facilidade de trabalho; embora o procedimento usado não concorresse para a distribuição dos deslocamentos de relêvo, ofereceu a vantagem de que uma fotografia de cada par estereoscópico permaneceu isenta de anotações, o que facilitou a observação estereoscópica.

3.2.2. Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Por meio de minucioso exame dos pares estereoscópicos de fotografias aéreas, foram delimitadas pequenas bacias hidrográficas, de tamanhos variáveis, porém de mesma ordem de rios - 4ª ordem e, para solos da série Anhumas, de 4ª e de 5ª ordem, para avaliar também o efeito desta variável. Procurou-se delimitar, para cada série de solo, três bacias de drenagem que fôsem relativamente homogêneas, no que diz respeito à unidade representada e geomêtricamente semelhantes. Após a demarcação dos divisores de água, traçou-se no modelo estereoscópico a rêde de drenagem completa, incluindo todos os canais de drenagem bem definidos e claramente visíveis nas fotografias aéreas, quer fôsem de cursos d'água permanentes, quer temporários.

A seguir, os limites das séries de solos foram transferidos -- das cartas de solos para as fotografias aéreas, após confronto com os limites interpretados pela observação estereoscópica. Êste procedimento foi útil para a aquisição de conhecimento adicional sôbre as relações entre solos no seu ambiente natural de ocorrência e as características das imagens fotográficas.

Finalmente, o resultado dêste trabalho de exame e locação dos aspectos da drenagem, incluindo os limites de bacias hidrográficas, suas respectivas rêdes de drenagem, depressões com ausência de drenagem superficial, bem como os limites das unidades de solos, foram decalcados das

fotografias aéreas para papel transparente.

A fim de obter maior exatidão do que a permitida pelos mosaicos disponíveis, do tipo não controlado, foi feito um contrôlo por meio de triangulação radial, conforme descrito por NAMI e SLEPETYS (29).

Os decalques foram feitos, conforme a sugestão de RAY (37), para facilitar o estudo de certas características da drenagem - libertas da exuberância de imagens da fotografia - tais como tendências ou modificações dos padrões e relações de ordem, número e comprimento de rios e tributários. Todavia, deve-se frizar que o estudo da disposição planimétrica dos cursos d'água foi feito tendo como complemento o estudo do modelo estereoscópico.

3.2.3. Análise das bacias hidrográficas

Nos mapas básicos da drenagem, procedeu-se preliminarmente à análise das bacias hidrográficas ou áreas drenadas por um curso d'água e seus afluentes. Em planta, estas bacias são áreas fechadas, delimitadas por divisores de água que circundam toda a área de drenagem considerada, os quais convergem para o ponto no qual o canal principal desagua em outro maior, do qual é tributário.

A análise feita é do tipo que BURINGH (8) chamou de analítica, em contraposição à análise fisiográfica, baseando-se esta na identificação das unidades fisiográficas.

Dentre os vários aspectos ou elementos analisados nas fotografias aéreas e relacionados aos propósitos desta investigação, procurou-se dar ênfase àquêles mensuráveis e cujos dados fôssem dignos de confiança. Foram analisados os seguintes elementos das bacias de drenagem:

(a) localização ou posição geográfica: indicação da parte do município, rio ao qual a bacia se subordina, vertente ou lado do vale em que se situa.

(b) representatividade: expressa em termos de porcentagem da área total da bacia, ocupada pelo solo predominante.

(c) propriedades dimensionais:

maior comprimento: medido com escala, acompanhando aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas;

maior largura: medida com escala, transversalmente ao vale principal;

desenvolvimento longitudinal ou comprimento do curso principal: medido com curvím^oetro, acompanhando as sinuosidades do rio principal, da foz até à nascente. Seu percurso foi determinado de acôrdo com o sistema proposto por HORTON (20) por meio das ordens de rios e, em casos de dúvida, pela aplicação das duas regras dadas por êsse autor;

perímetro: expresso pelo comprimento da linha do divisor de águas que circunda a bacia, medido com curvím^oetro;

área: medida com planímetro.

(d) propriedades não dimensionais:

forma aproximada: indicada pelo contôrn^o da bacia e referida por designações como ovalada, elíptica, piriforme, reniforme, triangular etc. Segundo HORTON (20), no estágio final de desenvolvimento as bacias de drenagem tendem para a forma ovalada, intercalando-se entre elas, no trecho final, pequenas bacias triangulares;

ordem da bacia: determinada pela ordem do rio principal nela contido e que vem a ser a do segmento de ordem mais elevada, de acôrdo com o sistema adotado. A im-

portância dêste ítem reside no fato de que os dados de bacias de ordens diferentes não são diretamente comparáveis;

simetria das vertentes: indicada pelo declive das encostas em relação ao vale principal e pela disposição dos tributários;

semelhança geométrica: testada para cada grupo de três bacias representando uma e às vezes duas unidades de solo, pela aplicação dos princípios propostos por STRAHLER (50), usando os dados obtidos (os quais, todavia, não constituem a totalidade dos elementos mencionados por êsse autor). Êste teste de semelhança geométrica, entre bacias de mesma ordem, foi usado para dar maior segurança às comparações feitas e maior consistência aos resultados.

3.2.4. Análise das rêdes de drenagem

Após a análise das bacias hidrográficas, procedeu-se à análise das respectivas rêdes de drenagem, incluindo como elementos de estudo tôdas as vias de drenagem com canais bem definidos, quer fôsem cursos d'água permanentes ou temporários. Levou-se em conta ainda a presença ou ausência de depressões fechadas ou pequenas lagôas, indicadoras do grau de integração segundo o conceito de LUEDER (23).

A análise efetuada foi do tipo analítica segundo BURINGH (8); os elementos foram analisados separadamente e/ou em combinação. Os elementos estudados foram reunidos em dois grupos, conforme a sua natureza: aquêles referentes à composição da rêde de drenagem e aquêles referentes ao padrão de drenagem.

3.2.4.1. Composição da rede de drenagem

(a) Ordens de ramificação: como primeiro passo na análise das redes hidrográficas, os segmentos de rios ou canais de drenagem foram -- classificados com base na ordem de ramificação, seguindo o sistema de Horton ligeiramente modificado por STRAHLER (50) e, para maior clareza, representado na Figura 1.

(b) Número de segmentos de rios: em seguida, foram computados os segmentos de rios em cada ordem e o total da bacia. Na Figura 1, pode-se observar que designando por w uma dada ordem de ramificação, o número de segmentos de cada ordem é representado por N_w e o número total de segmentos da bacia, por N.

(c) Razão de bifurcação ou de ramificação: representada por R_b, expressa a relação entre o número de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada, conforme a definição dada por HORTON (20). Segundo a lei do número de rios, estabelecida por esse autor, os números de segmentos de rios das várias ordens de uma bacia formam uma série geométrica inversa ao número de ordem; nesta série, o primeiro termo é a unidade e a razão, é a razão de ramificação.

Em cada grupo de três bacias, os números de rios foram relacionados às ordens de ramificação e a razão de ramificação foi determinada como indicado por STRAHLER (50).

(d) Comprimentos de rios: por meio de um curvímeter, foram medidos os comprimentos dos segmentos de rios de cada ordem e o comprimento total, na bacia. Representando por w uma dada ordem de rios, a soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem é representada por L_w e o comprimento total de todos os rios de uma bacia, por L_t. Os comprimentos médios de segmentos de rios, l_m, foram obtidos dividindo a soma dos comprimentos de rios de cada ordem, L_w, pelo número de segmentos

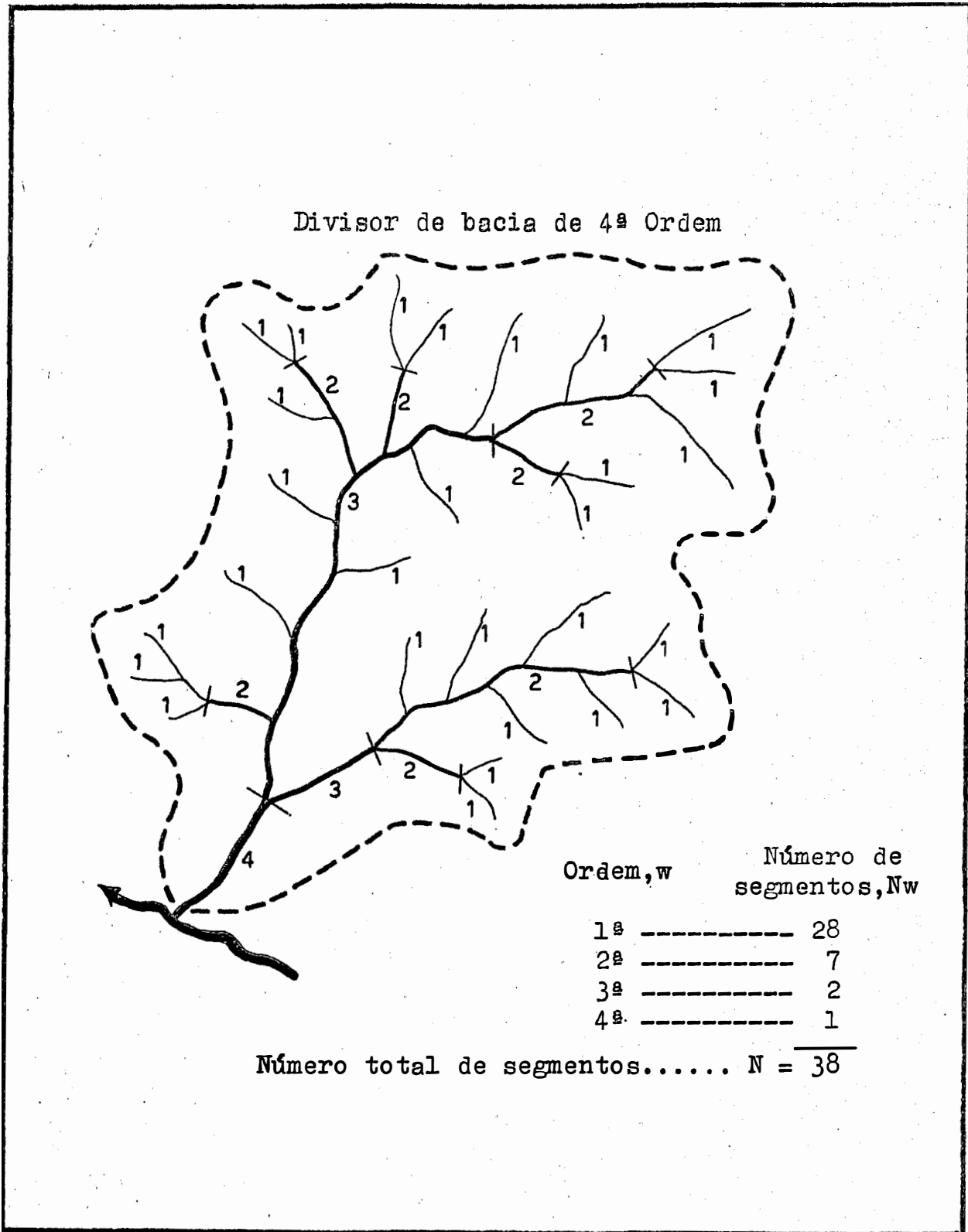


Fig. 1 - Método de designação das ordens de rios
(Adaptado de STRAHLER, 1957).

da respectiva ordem, N_w . Portanto:

$$l_m = \frac{l_w}{N_w}$$

(e) Razão de comprimento: representada por R_l , expressa a relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente inferior, conforme a lei de HORTON (20). Na chamada lei dos comprimentos de rios de Horton, os comprimentos médios de segmentos de rios das diversas ordens formam uma seqüência geométrica direta na qual o primeiro termo é o comprimento médio dos segmentos de 1ª ordem e cuja razão é a razão de comprimento. STRAHLER (50) deu um tratamento diferente, considerando a soma dos comprimentos dos segmentos de rios das várias ordens e cuja razão de comprimentos totais, R_{lw} , não segue uma variação linear.

3.2.4.2. Características do padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi caracterizado da seguinte maneira:

(a) características descritivas segundo LUEDER (23), incluindo o tipo ou modelo segundo PARVIS (21);

(b) características quantitativas, incluindo a frequência de rios e a densidade de drenagem, definidas por HORTON (20) e a razão de textura, definida por SMITH (44) e modificada para ser aplicada a fotografias aéreas. Estas três características quantitativas se referem a bacias hidrográficas individuais; para representar o padrão de drenagem como um todo, foram determinadas outras duas características quantitativas, a saber:

(c) razão de textura média, ponderada em relação à área das respectivas bacias, segundo SMITH (44); este valor médio ponderado da razão de textura representativo das unidades de solo, foi obtido usando a fórmula:

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

onde T_m é a razão de textura média, \sum significa soma, A representa a área e T a razão de textura de cada bacia hidrográfica.

(d) foi testado para solos o método de amostragem proposto por RAY e FISCHER (38) para interpretação litológica, o qual consiste na tomada de amostras circulares, homogêneas, com área de 10 km^2 ; no presente estudo, procurou-se selecionar amostras circulares abrangendo a maior proporção possível de cada unidade de solo.

Cumprе esclarecer que a razão de textura foi definida por SMITH (44) para dados obtidos de mapas topográficos, sendo a textura T , expressa pela razão entre o número de crênulas N , na curva de nível contendo o máximo número delas e o perímetro da bacia P . A equação, portanto é:

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

Por que os sistemas de drenagem podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de fotografias aéreas, conforme recomendado por HOWE (21) e por RAY (37), fez-se a determinação da textura considerando-se N como sendo o número total de segmentos de rios da bacia.

Com base nos valores de textura média, SMITH (44) propôs parâmetros para classificação da textura topográfica. Como êsses parâmetros são referidos a comprimentos de perímetro expressos em milhas, a equivalência referida a perímetro expresso em quilômetros está apresentada no Quadro 3.

QUADRO 3 - Parâmetros para classificação da textura topográfica com base nos valores de razão de textura média.

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

3.2.4.3. Relação entre densidade de drenagem e razão de textura.

O estudo comparativo entre a densidade de drenagem e a razão de textura referentes a bacias hidrográficas, foi feito combinando-se os dados de doze bacias de 4ª ordem e três de 5ª ordem, utilizando-se o método de SMITH (44). Este mesmo método foi aplicado no estudo comparativo entre a média das densidades de drenagem de amostras circulares e a razão de textura média, representativas de cada unidade de solos.

* * *

4 - RESULTADOS

4.1. Séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho

O estudo das características das bacias hidrográficas e das respectivas rês de drenagem forneceu os resultados que são apresentados a seguir.

4.1.1. Características das bacias hidrográficas

(a) Localização

Região oeste do município de Piracicaba, vertente esquerda do rio do mesmo nome. O córrego Ronca e o ribeirão Pinga são afluentes diretos do rio Piracicaba, enquanto que o córrego I é tributário do ribeirão Claro, situando-se na vertente esquerda deste último.

(b) Representatividade

As bacias hidrográficas escolhidas apresentam solos cuja distribuição está indicada no Quadro 4.

(c) Propriedades dimensionais

Algumas propriedades expressas por números dimensionais, selecionadas para caracterização das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 5.

QUADRO 4 - Distribuição das unidades de solo nas bacias hidrográficas representativas das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Unidades de solo	% da área total da bacia		
	Córrego Ronca	Ribeirão Pinga	Córrego I
Ribeirão Claro	----	51,52	15,12
Paredão Vermelho	61,62	32,93	55,49
Anhumas	35,88	13,43	28,05
Solos Aluviais e Hidromórficos	2,50	2,12	1,34

QUADRO 5 - Propriedades dimensionais de bacias hidrográficas representativas das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Bacia hidrográ- fica	Maior comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimento de rios		Perímetro (P) km	Área (A) km ²
			principal (Cp) km	rêde (Cr) km		
Ronca	5,6	4,0	5,1	21,5	15,8	16,39
Pinga	8,6	6,5	8,0	21,7	21,5	32,61
Córrego I	4,9	2,6	4,0	12,7	12,0	8,20

(d) Propriedades não dimensionais

Algumas propriedades descritivas ou representadas por números sem dimensão, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 6.

QUADRO 6 - Propriedades ndimensionais de bacias hidrográficas representativas das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Ordem w	Número de segmentos de rios N	Simetria das vertentes
Ronca	oval invertida	4a	50	ausente
Pinga	oval normal	4a	43	elevada
Córrego I	reniforme	4a	39	baixa

(e) Semelhança geométrica

Aplicando os princípios de análise dimensional e de semelhança geométrica constatou-se que as bacias escolhidas como representativas de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho são planimetricamente semelhantes, diferindo apenas em tamanho, conforme se pode verificar -- examinando os dados apresentados no Quadro 7.

QUADRO 7 - Análise dimensional e semelhança geométrica aplicadas a bacias hidrográficas representativas das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear, R						Razão de escala quadrática, R ²	
	$\frac{C}{C^I}$	$\frac{L}{L^I}$	$\frac{C_p}{C_p^I}$	$\frac{C_r}{C_r^I}$	$\frac{P}{P^I}$	Razão média Rm	$\frac{A}{A^I}$	Rm ²
<u>Pinga</u> Ronca	1,53	1,62	1,57	1,01	1,36	1,42	1,99	2,02
<u>Pinga</u> Córrego I	1,75	2,50	2,00	1,71	1,79	1,95	3,98	3,80
<u>Ronca</u> Córrego I	1,14	1,54	1,27	1,69	1,32	1,39	2,00	1,93

4.1.2. Características das rêsdes de drenagem

4.1.2.1. Composição da rêsde de drenagem

As características referentes à composição das rêsdes de drenagem das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 8.

(a) Análise do número de rios

Os números de segmentos de rios em cada ordem e o total na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 9.

A equação que relaciona o número de rios às ordens de ramificação, é do tipo

$$\log N_w = \log a - \log b \cdot w$$

e que, para os dados observados nas bacias representativas de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, toma a seguinte forma:

$$\log N_w = 1,9533 - 0,5082 w$$

As razões de ramificação observadas variam de 2 a 5,67, dando o valor médio de 3,42; o valor médio calculado, é:

$$R_b = \log^{-1} b = 3,22$$

A regressão do número de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, está representada na Figura 2.

(b) Análise dos comprimentos de rios

A soma dos comprimentos dos segmentos de rios em cada ordem de ramificação e o comprimento total dos mesmos na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 10.

QUADRO 8 - Composição da rédes de drenagem das bacias hidrográficas de 4ª ordem representativas de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Bacia hidrográ- fica	Ordem w	Número de segmentos de rios		Razão de ramificação Rb	Comprimento de rios, em km			Razão de com- primento Rl
		em cada ordem, Nw	total da bacia, N		em cada ordem		total da bacia, Lt	
					total, Lw	médio, Lm		
Ronca	1a	37		---	9,4	0,25	1,60	
	2a	9		4,11	3,6	0,40	5,42	
	3a	3		3	6,5	2,17	0,92	
	4a	1	50	3	2,0	2,00	---	
Pinga	1a	34		---	10,2	0,30	2,23	
	2a	6		5,67	4,0	0,67	3,36	
	3a	2		3	4,5	2,25	1,33	
	4a	1	43	2	3,0	3,00	---	
Córrego I	1a	30		---	6,8	0,23	1,96	
	2a	6		5	2,7	0,45	2,44	
	3a	2		3	2,2	1,10	0,91	
	4a	1	39	2	1,0	1,00	---	
							21,5	
								21,7
								12,7

QUADRO 9 - Número de segmentos de rios em cada ordem e número total, observados e calculados; dados de três bacias de 4ª ordem, representativas de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Ordem w	Número de segmentos de rios em cada ordem, Nw					
	observado				calculado	
	Ronca	Pinga	Córrego I	Média ponderada	equação	Horton
1ª	37	34	30	34,29	27,87	33,39
2ª	9	6	6	6,86	8,65	10,37
3ª	3	2	2	2,29	2,68	3,22
4ª	1	1	1	1	0,83	1
Número total de rios, N	50	43	39	44,44	40,03	47,98

QUADRO 10 - Soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e comprimento total de rios, observados e calculados; dados de três bacias de 4ª ordem, representativas de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Ordem de rios w	Comprimentos de rios em cada ordem, Lw (em km)					
	observados				calculados	
	Ronca	Pinga	Córrego I	Média ponderada	Total da ordem	Médio, Lm
1ª	9,4	10,2	6,8	9,52	8,09	0,29
2ª	3,6	4,0	2,7	3,68	5,46	0,63
3ª	6,5	4,5	2,2	4,74	3,68	1,37
4ª	2,0	3,0	1,0	2,43	2,48	2,98
Comprimento total de rios, Lt	21,5	21,7	12,7	20,37	19,71	---

A equação que relaciona o comprimento de rios às ordens de ramificação, é do tipo

$$\log Lw = \log a - w \log b$$

e que, para os dados observados nas bacias representativas de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, toma a seguinte forma:

$$\log Lw = 1,0788 - 0,1709 w$$

As razões de comprimento são muito variáveis, tendo sido observados valores variando de 0,91 a 5,42. A razão de comprimento calculada, entre comprimentos totais de uma ordem e a seguinte, é:

$$Rlw = \log^{-1} b = 1,48$$

De outro lado, a razão de comprimento entre comprimentos médios de segmentos de rios de uma ordem e os da anterior, é:

$$Rl = 2,17$$

A regressão da soma dos comprimentos de rios sobre as ordens de rios, está representada na Figura 3.

4.1.2.2. Padrão de drenagem

(a) As características descritivas do padrão de drenagem, relativas às rês de drenagem das bacias representando solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, estão resumidas no Quadro 11.

QUADRO 11 - Características descritivas do padrão de drenagem de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Características do padrão	D e s c r i ç ã o
Grau de integração	alto
Densidade	baixa, passando a moderada nas proximidades dos vales dos tributários principais
Uniformidade	uniforme, exceto na bacia do Ronca
Orientação	não orientado
Grau de controle	não controlado
Ângulos de junção	agudos, localmente retos
Angularidade	ausente
Tipo ou modelo	dendrítico, em geral com disposição simétrica dos tributários

log Nw

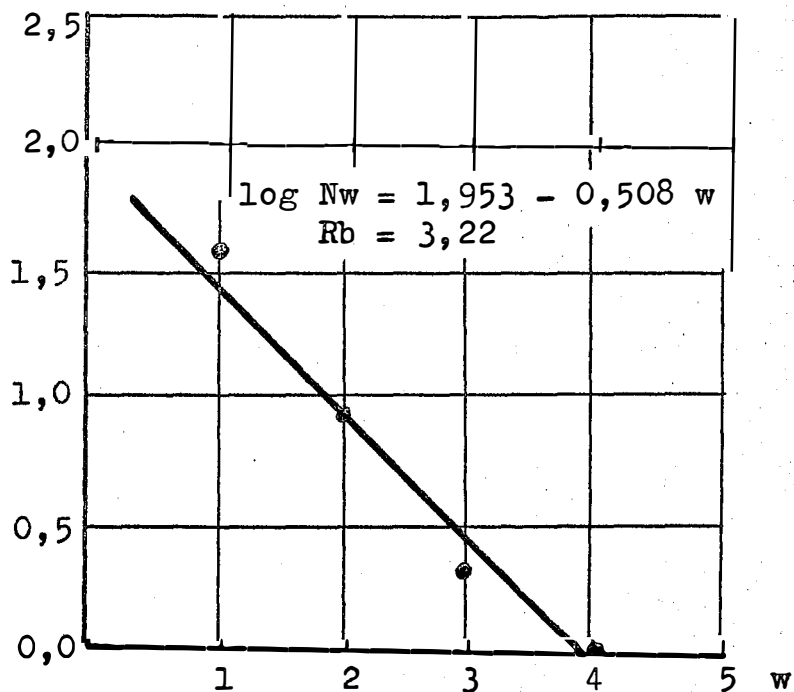


Fig. 2 - Regressão do número de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, em solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

log Lw

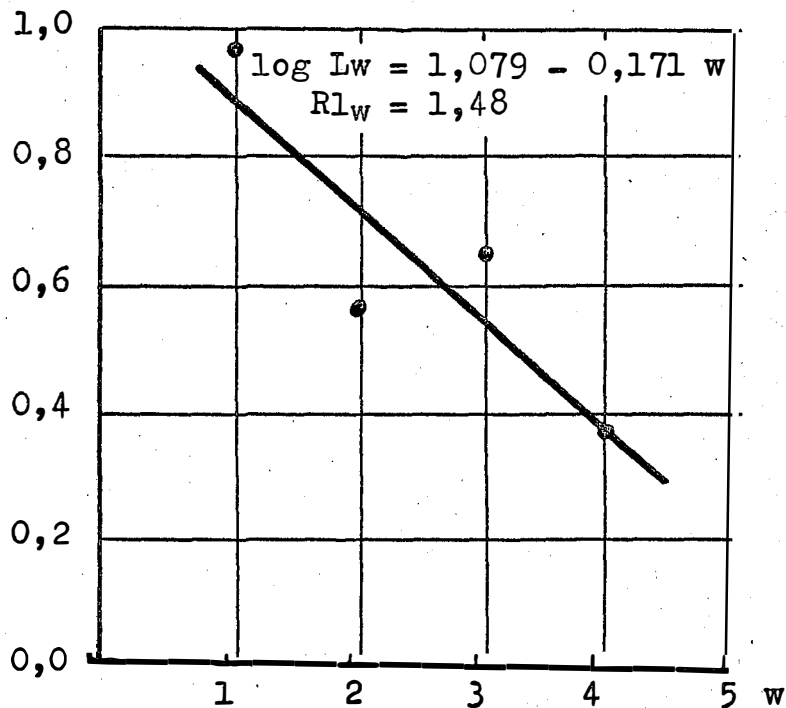


Fig. 3 - Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, em solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

As inferências que as características descritivas permitem são: material de textura grosseira, formando manto espesso e permeável nas partes altas e na meia-encosta; a profundidade do substrato rochoso diminui nas proximidades dos vales dos tributários principais. Na vertente esquerda do córrego Ronca ocorrem afloramentos rochosos (arenitos), formando colinas maciças e resistentes, com declives fortes.

(b) As características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro da bacia hidrográfica, estão indicados no Quadro 12.

QUADRO 12 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Bacia hidrográfica	Frequência de rios, Fr	Densidade de drenagem, Dd	Razão de textura, T
Córrego Ronca	3,05	1,31	3,16
Ribeirão Pinga	1,32	0,66	2,00
Córrego I	4,76	1,55	3,25

(c) As densidades de drenagem determinadas em amostras circulares de 10 km² de área, representativas das duas unidades de solos em tela, estão indicadas no Quadro 13. Foram tomadas três amostras para cada unidade de solo.

QUADRO 13 - Densidades de drenagem obtidas em amostras circulares de 10 km² de área, para duas séries de solo desenvolvidas sobre regolitos espessos da formação Botucatu.

Unidades de solos	Densidades de drenagem, Dd, km/km ²			Desvio padrão
	Determinações		Média	
Ribeirão Claro	0,28	0,32	0,48	0,36 ± 0,09
Paredão Vermelho	0,42	0,50	0,67	0,53 ± 0,10

Na Figura 4 estão reproduzidas as três amostras circulares de 10 km² de área, escolhidas como representativas da densidade de drenagem em solos da série Ribeirão Claro e, na Figura 5, as amostras representativas da densidade de drenagem em solos da série Paredão Vermelho.

4.2. Série Anhumas (bacias de 4ª ordem)

Os resultados obtidos do estudo das características das bacias hidrográficas e das respectivas rêsdes de drenagem são apresentados a seguir.

4.2.1. Características das bacias hidrográficas

(a) Localização

Região oeste do município de Piracicaba, vertente esquerda do rio de mesmo nome. A bacia do córrego IV é tributária do ribeirão da Figueira, pela sua vertente esquerda; a bacia do córrego V é tributária do ribeirão Paredão Vermelho, pela sua vertente direita; e, finalmente, foi considerada a cabeceira do ribeirão Estiva - parte da bacia até atingir a 4ª ordem (a bacia completa deste ribeirão é de 5ª ordem, possuindo mais dois ramos de 4ª ordem).

(b) Representatividade

As bacias hidrográficas selecionadas, apresentam solos cuja distribuição está indicada no Quadro 14.

(c) Propriedades dimensionais

No quadro 15 estão assinaladas algumas propriedades expressas por números dimensionais, selecionadas para caracterização das bacias hidrográficas.

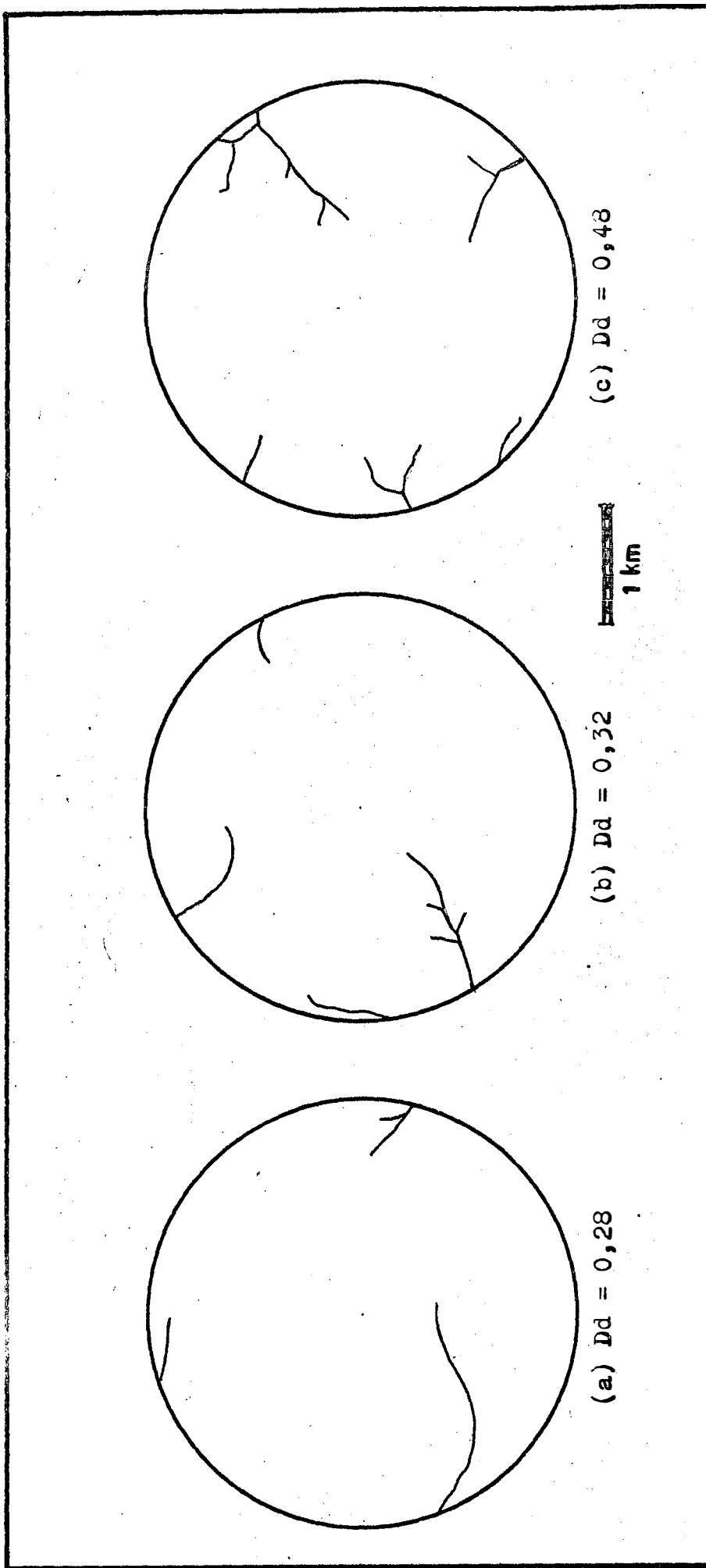


Fig. 4 - Amostragem circular para determinação da densidade de drenagem em solos da serie Ribeirão Claro.

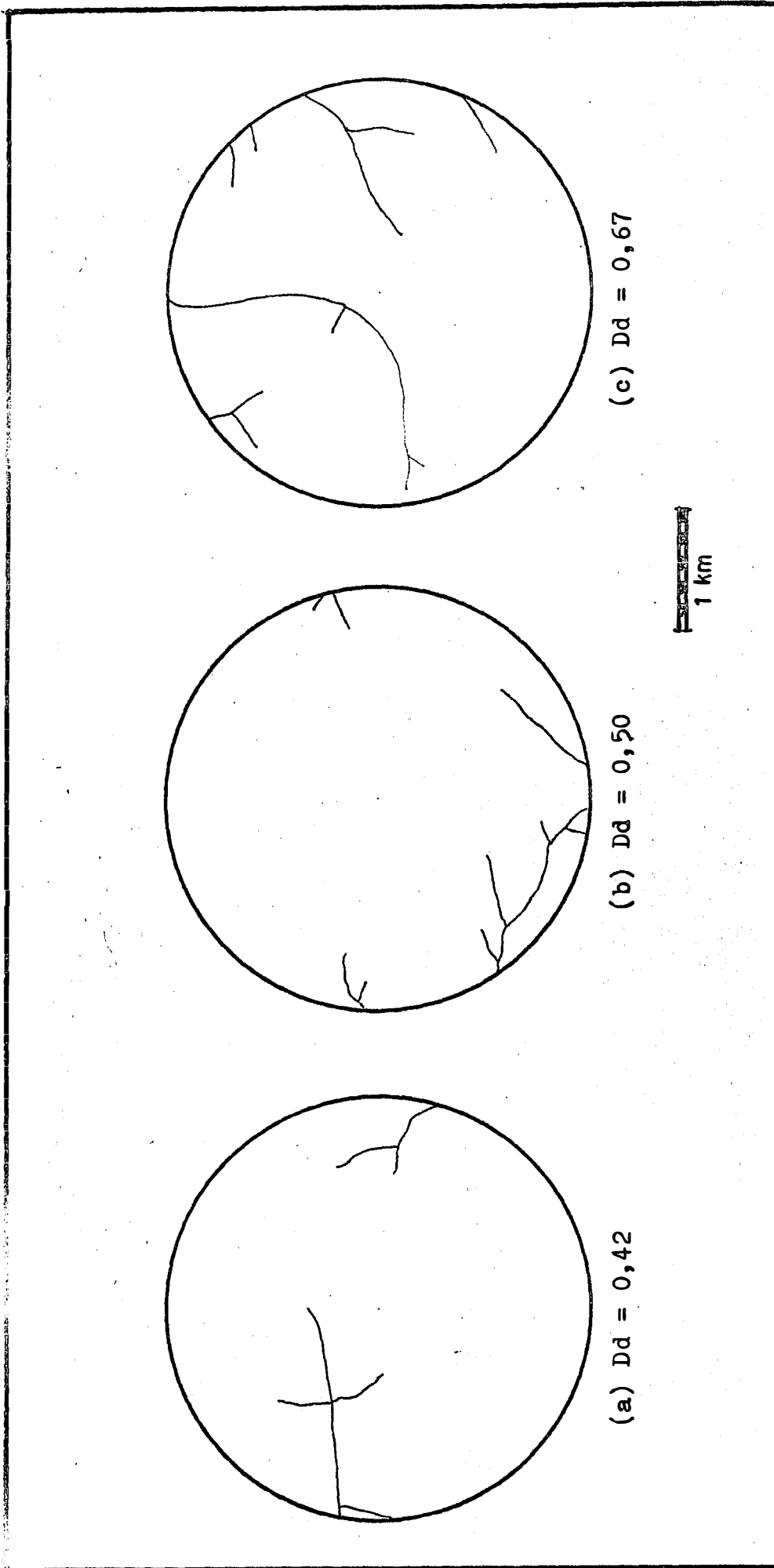


Fig. 5 - Amostragem circular para determinação da densidade de drenagem em solos da série Paredão Vermelho.

QUADRO 14 - Distribuição das unidades de solos nas bacias hidrográficas de 4ª ordem, representativas de solos da série Anhumas.

Unidades de solo	% da área total da bacia		
	Córrego IV	Córrego V	cabeceira do rib. Estiva
Anhumas	49,03	45,18	60,22
Paredão Vermelho	28,83	38,82	6,45
Ribeirão Claro	22,14	13,41	29,09
Solos Aluviais e Hidromórficos	---	2,59	4,24

QUADRO 15 - Propriedades dimensionais de bacias hidrográficas de 4ª ordem, representativas de solos da série Anhumas.

Bacia hidrográfica	Maior comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimento de rios		Perímetro (P) km	Área (A) km ²
			principal (Cp) km	rêde (Cr) km		
Córrego IV	3,1	3,4	2,9	12,3	9,2	5,69
Córrego V	2,5	2,4	2,3	9,8	7,5	4,25
Córrego Estiva	4,4	4,1	4,3	24,5	13,1	10,38

(d) Propriedades não dimensionais

No Quadro 16 estão mencionadas algumas propriedades descritivas ou representadas por números sem dimensão, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas.

QUADRO 16 - Propriedades não dimensionais de bacias hidrográficas de 4ª ordem representativas de solos da série Anhumas.

Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Ordem W	Número de segmentos de rios, N	Simetria das vertentes
Córrego IV	leque	4ª	48	baixa
Córrego V	oval normal	4ª	42	moderada
Cabeceira Estiva	leque	4ª	79	elevada

(e) Semelhança geométrica

A aplicação dos princípios de análise dimensional e de semelhança geométrica, mostra que as bacias de 4ª ordem escolhidas como representativas de solos da série Anhumas possuem razoável grau de semelhança planimétrica, exceto a correspondente à cabeceira do ribeirão Estiva, que difere das outras duas por seu maior tamanho e rede de drenagem mais desenvolvida; isto se constata pelo exame dos dados apresentados nos Quadros 15 e 17.

QUADRO 17 - Análise dimensional e semelhança geométrica aplicada a bacias de 4ª ordem, representativas de solos da série Anhumas.

Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear, R					Razão de escala quadrática, R ²		
	$\frac{C}{C'}$	$\frac{L}{L'}$	$\frac{C_p}{C_p'}$	$\frac{C_r}{C_r'}$	$\frac{P}{P'}$	Razão média R _m	$\frac{A}{A'}$	R _m ²
<u>Córrego IV</u> Córrego V	1,24	1,42	1,26	1,25	1,23	1,28	1,34	1,64
<u>Cabeceira Estiva</u> Córrego IV	1,42	1,21	1,48	1,99	1,42	1,50	1,82	2,25
<u>Cabeceira Estiva</u> Córrego V	1,76	1,71	1,87	2,50	1,75	1,92	2,44	3,69

4.2.2. Características das redes de drenagem

4.2.2.1. Composição da rede de drenagem

As características referentes à composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 18.

(a) Análise do número de rios

Os números de segmentos de rios em cada ordem e o total na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 19.

QUADRO 18 - Composição das rédes de drenagem das bacias hidrográficas de 4ª ordem, representativas de solos da série Anhumas.

Bacia hidrográfica	Ordem w	Número de segmentos de rios		Razão de ramificação Rb	Comprimento de rios (km)			Razão de comprimento Rl
		em cada ordem, Nw	total da bacia, N		em cada ordem	total, Lw	médio, Lm	
Córrego IV	1ª	37		---	6,3	0,17		2,18
	2ª	8		4,62	3,0	0,37		2,97
	3ª	2		4,00	2,2	1,10		0,73
	4ª	1	48	2,00	0,8	0,80	12,3	---
Córrego V	1ª	32		---	5,2	0,16		2,12
	2ª	7		4,57	2,4	0,34		1,47
	3ª	2		3,50	1,0	0,50		2,40
	4ª	1	42	2,00	1,2	1,20	9,8	---
Cabeceira do ribeirão Estiva	1ª	61		---	12,8	0,21		2,14
	2ª	14		4,36	6,3	0,45		2,07
	3ª	3		4,67	2,8	0,93		2,80
	4ª	1	79	3,00	2,6	2,60	24,5	---

QUADRO 19 - Número de segmentos de rios em cada ordem e número total, observados e calculados; dados de três bacias de 4ª ordem, representativas de solos da série Anhumas.

Ordem w	Número de segmentos de rios em cada ordem, Nw					
	observado				calculado	
	Coro IV	Coro V	Cabeceira Estiva	Média ponderada	Equação	Horton
1ª	37	31	61	48,21	42,88	50,65
2ª	8	7	14	10,85	11,58	13,69
3ª	2	3	3	2,51	3,13	3,70
4ª	1	1	1	1	0,84	1
Nº total de rios, N	48	42	79	62,57	58,43	69,04

A equação que relaciona o número de rios às ordens de ramificações, tomando por base os dados observados nas bacias de 4ª ordem representativas de solos da série Anhumas, é a seguinte:

$$\log Nw = 2,2008 - 0,5685 w$$

As razões de ramificação observadas variaram de 2 a 4,67, dando o valor médio de 3,63; o valor médio calculado é:

$$R_b = \log^{-1} b = 3,70$$

A regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de ramificação, está representada na Figura 6.

(b) Análise do comprimento de rios

A soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem de ramificação e o comprimento total dos mesmos na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 20.

QUADRO 20 - Soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e comprimento total de rios, observados e calculados; dados de três bacias hidrográficas de 4ª ordem, representativas de solos da série Anhumas.

Ordem de rios w	Comprimentos de rios em cada ordem, Lw (em km)					
	observados				calculados	
	Coro IV	Coro V	Cabeceira Estiva	Média ponderada	Total da ordem	Médios Lm
1ª	6,3	5,2	12,8	9,38	8,48	0,20
2ª	3,0	2,4	6,3	4,56	4,81	0,41
3ª	2,2	1,0	2,8	2,25	2,73	0,87
4ª	0,8	1,2	2,6	1,80	1,55	1,84
Comprimento total de rios Lt	12,3	9,8	24,5	17,99	17,57	----

A equação que relaciona o comprimento de rios às ordens de ramificação, tomando por base os dados de três bacias de 4ª ordem representativas de solos da série Anhumas, é a seguinte:

$$\log Lw = 1,1740 - 0,2457 w$$

As razões de comprimento observadas variaram de 0,73 a 2,97 dando um valor médio de 2,10. A razão de comprimento calculada entre comprimentos totais de uma ordem e a seguinte, é:

$$Rl_w = \log^{-1} b = 1,76$$

De outro lado, a razão de comprimento entre comprimentos médios de segmentos de rios de uma ordem e os da anterior, é:

$$Rl = 2,09$$

A regressão da soma dos comprimentos de rios sobre as ordens de rios, está representada na Figura 7.

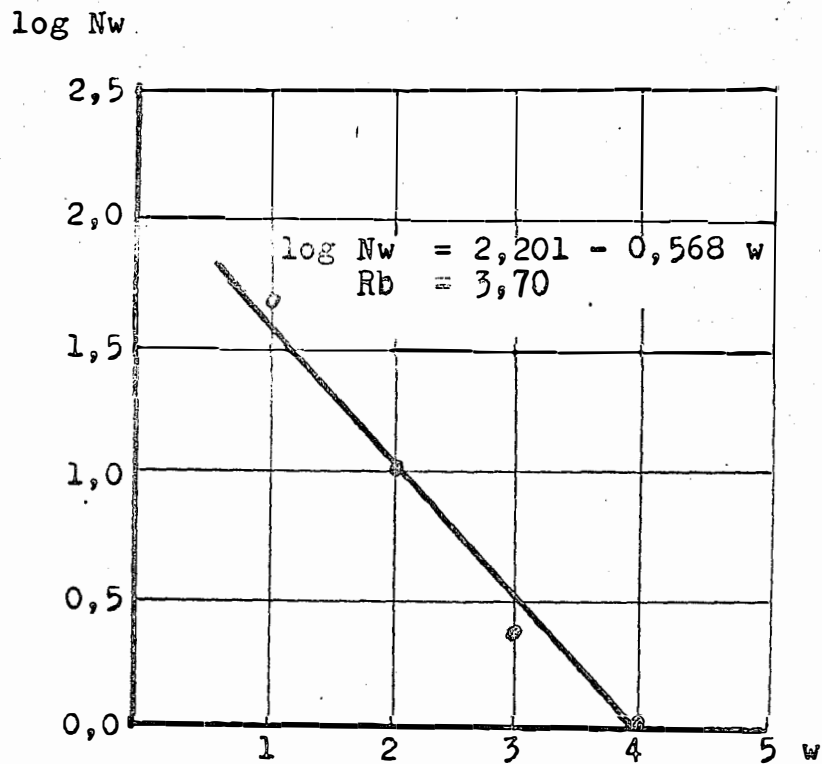


Fig. 6 - Regressão do número de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, em solos da série Anhumas; dados de bacias de 4ª ordem.

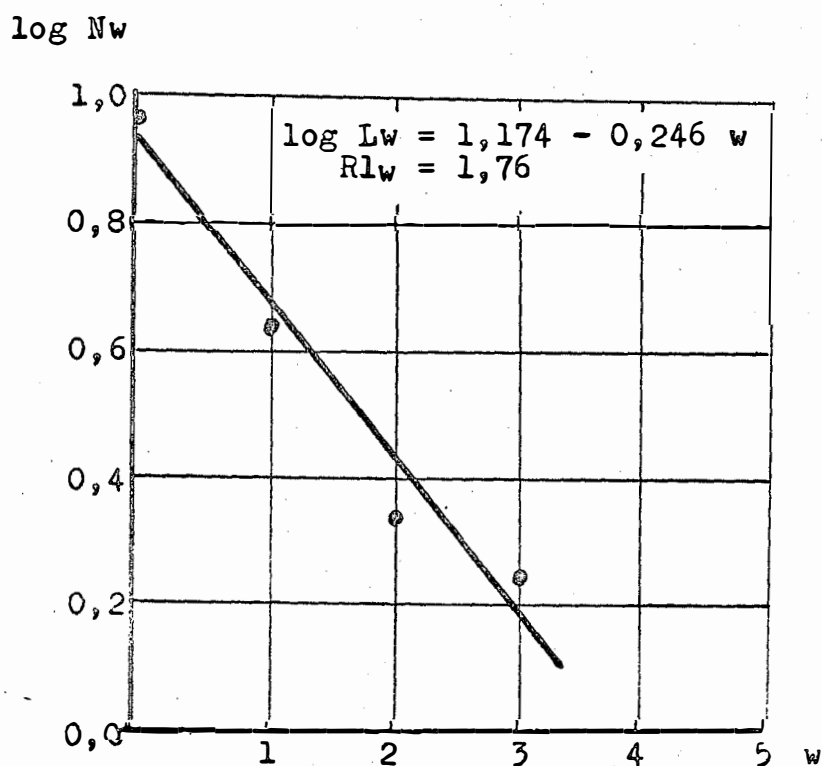


Fig. 7 - Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, em solos da série Anhumas; dados de bacias de 4ª ordem.

4.2.2.2. Padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi caracterizado pelo estudo dos seguintes atributos:

(a) Características descritivas

No Quadro 21 estão resumidas as características descritivas do padrão de drenagem, relativas às rêsdes de drenagem das bacias representando solos da sêrie Anhumas.

QUADRO 21 - Características descritivas do padrão de drenagem de solos da sêrie Anhumas.

Características do padrão	D e s c r i ç ã o
Grau de integração	alto
Densidade	moderada
Uniformidade	uniforme, com ligeira assimetria na disposição dos tributários
Orientação	alguma
Grau de contrôle	baixo a moderado
Ângulos de junção	agudos, localmente retos
Angularidade	baixa
Tipo ou modêlo	Dendrítico, ligeiramente modificado para angulado

As inferências que as características descritivas permitem são: material de textura grosseira, formando manto delgado e pouco permeável, muito susceptível à erosão; evidências de alguma orientação e um certo grau de contrôle litológico, indicando a pequena profundidade do substrato rochoso - arenito eólico com estratificação cruzada.

(b) Características quantitativas

No Quadro 22 estão assinaladas as características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rêsde de drenagem à área

e ao perímetro da bacia hidrográfica.

QUADRO 22 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos da série Anhumas, em bacias hidrográficas de 4ª ordem.

Bacia hidrográfica	Frequência de rios	Densidade de drenagem	Razão de textura
	Fr	Dd	T
Córrego IV	8,44	2,16	5,22
Córrego V	9,88	2,30	5,60
Cabeceira do ribeirão Estiva	7,61	2,36	6,03

(c) Densidade de drenagem determinada em amostras circulares de 10 km² de área:

No Quadro 23 são apresentados os valores da densidade de drenagem determinados em amostras circulares de 10 km².

QUADRO 23 - Valores da densidade de drenagem obtidos em três amostras circulares de 10 km² de área, representativas de solos da série Anhumas.

Unidade de solo	Densidade de drenagem, Dd km/km ²			Desvio padrão	
	Determinações		Média		
Anhumas	3,12	3,38	3,05	3,18	± 0,20

Na Figura 8 estão reproduzidas as três amostras circulares de 10 km², escolhidas como representativas da densidade de drenagem em solos da série Anhumas.

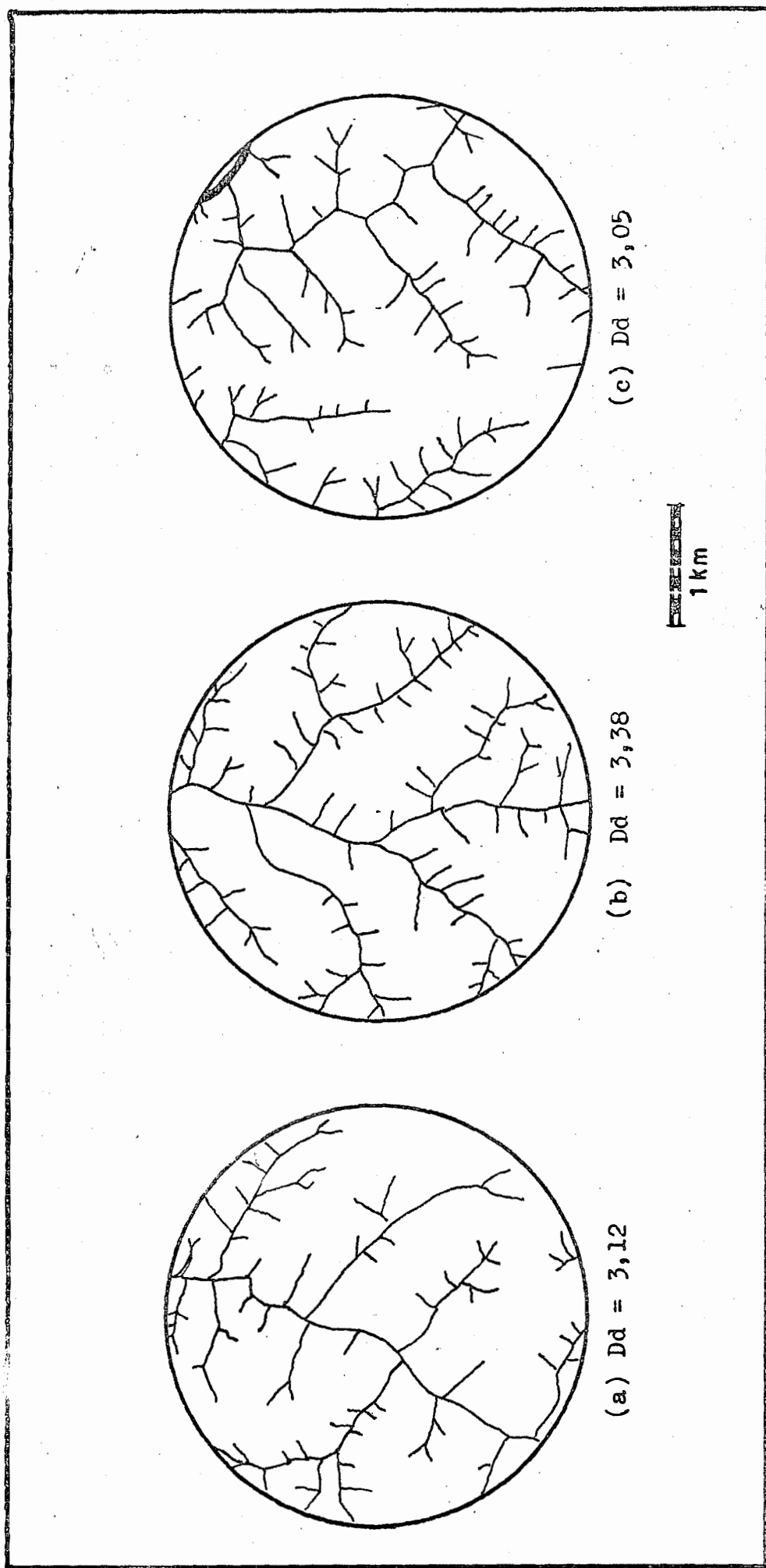


Fig. 8 - Amostragem circular da densidade de drenagem em solos da série Anhumas.

4.3. Série Anhumas (bacias de 5ª ordem)

A fim de avaliar o possível efeito da ordem de rios sobre as características das bacias hidrográficas e suas respectivas redes de drenagem, foram selecionadas seis bacias representativas de solos da série Anhumas, sendo três de 4ª ordem e três de 5ª ordem.

As três bacias de 5ª ordem apresentaram as características que são indicadas a seguir.

4.3.1. Características das bacias hidrográficas

(a) Localização

A mesma das bacias de 4ª ordem, ou seja, região oeste do município de Piracicaba. As três bacias são tributárias do rio Piracicaba.

(b) Representatividade

As bacias hidrográficas escolhidas representam solos cuja distribuição está indicada no Quadro 24.

QUADRO 24 - Distribuição das unidades de solos nas bacias hidrográficas de 5ª ordem representativas da série Anhumas.

Unidades de solo	% da área total da bacia		
	Rib. Claro	Rib. Estiva	Rib.Par.Vermelho
Anhumas	38,10	63,35	32,44
Paredão Vermelho	48,21	4,06	14,21
Ribeirão Claro	8,09	26,16	41,60
Solos Aluviais e Hidromórficos	4,93	6,43	3,35
Outras unidades (*)	--	--	8,40

(*) Nas cabeceiras do ribeirão Paredão Vermelho, ocorrem pequenas áreas de solos pertencentes às séries Pau D'Alho e Lageadinho, originárias de eruptivas básicas e sedimentos finos do grupo Estrada Nova, respectivamente.

(c) Propriedades dimensionais

No Quadro 25 estão assinaladas algumas propriedades expressas por números dimensionais, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas estudadas.

QUADRO 25 - Propriedades dimensionais de bacias hidrográficas de 5ª ordem representativas de solos da série Anhumas.

Bacia hidrográfica	Maior comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimentos de rios		Perímetro (P) km	Área (A) km ²
			principal (Cp) km	rêde (Cr) km		
Ribeirão Claro	9,3	6,2	9,0	65,4	26,4	32,86
Ribeirão Estiva	9,4	5,1	9,3	71,4	24,6	29,09
Ribeirão Paredão Vermelho	12,3	6,6	12,5	91,6	32,1	50,10

(d) Propriedades não dimensionais

No Quadro 26 estão indicadas algumas propriedades descriptivas ou representadas por números sem dimensão, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas estudadas.

(e) Semelhança geométrica

Aplicando os princípios de análise dimensional e de semelhança geométrica, constatou-se que as bacias escolhidas como representativas de solos da série Anhumas são planimetricamente semelhantes, diferindo apenas em tamanho, conforme se pode verificar examinando os dados apresentados no Quadro 27.

4.3.2. Características das rês de drenagem

Nas três bacias hidrográficas escolhidas como representativas de solos da série Anhumas, foram determinadas as características que são apresentadas a seguir.

QUADRO 26 - Propriedades não dimensionais de bacias hidrográficas de 5ª ordem representativas de solos da série Anhumas.

Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Ordem W	Número de segmentos de rios N	Simetria das vertentes
Ribeirão Claro	piriforme	5ª	204	moderada
Ribeirão Estiva	oval normal	5ª	269	elevada
Ribeirão Paredão Vermelho	oval invertida	5ª	270	baixa

QUADRO 27 - Análise dimensional e semelhança aplicadas a bacias hidrográficas de 5ª ordem representativas de solos da série Anhumas.

Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear, R						Razão de escala quadrática, R2	
	$\frac{C}{C1}$	$\frac{L}{L1}$	$\frac{Cp}{Cp1}$	$\frac{Cr}{Cr1}$	$\frac{P}{P1}$	Razão média Rm	$\frac{A}{A1}$	Rm ²
	<u>Claro</u> Estiva	0,99	1,21	0,97	0,92	1,07	1,03	1,13
<u>Paredão Vermelho</u> Claro	1,32	1,06	1,39	1,40	1,22	1,28	1,52	1,64
<u>Paredão Vermelho</u> Estiva	1,31	1,29	1,34	1,28	1,30	1,30	1,72	1,69

4.3.2.1. Composição da rede de drenagem

As características referentes à composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 28.

QUADRO 28 - Composição das rédes de drenagem das bacias hidrográficas de 5ª ordem representativas de solos da serie Anhumas.

Bacia hidrográfica	Ordem w	Número de segmentos de rios		Razão de ramificação Rb	Comprimentos de rios, km			Razão de comprimento R _{compr}
		em cada ordem, Nw	total da bacia, N		em cada ordem		total da bacia, Lt	
					total, Lw	médio, Lm		
Ribeirão Claro	1ª	159		---	31,6	0,20		2,30
	2ª	34		4,68	15,6	0,46		2,76
	3ª	8		4,25	10,2	1,27		1,02
	4ª	2		4	2,6	1,30		4,16
	5ª	1	204	2	5,4	5,40	65,4	---
Ribeirão Estiva	1ª	208		---	33,4	0,16		2,56
	2ª	43		4,84	17,6	0,41		1,58
	3ª	14		3,07	9,1	0,65		3,18
	4ª	3		4,67	6,2	2,07		2,46
	5ª	1	269	3	5,1	5,10	71,4	---
Ribeirão Paredão Vermelho	1ª	205		---	41,7	0,20		2,50
	2ª	48		4,27	24,1	0,50		1,80
	3ª	13		3,69	11,7	0,90		1,81
	4ª	3		4,33	4,9	1,63		5,64
	5ª	1	270	3	9,2	9,20	91,6	---

(a) Análise do número de rios

Os números de segmentos de rios em cada ordem e o total na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 29.

QUADRO 29 - Número de segmentos de rios em cada ordem e número total, observados e calculados; dados de três bacias de 5ª ordem, representativas de solos da série Anhumas.

Ordem w	Número de segmentos de rios em cada ordem, Nw					
	observado				calculado	
	Claro	Estiva	Par.Vermelho	Média ponderada	equação	Horton
1ª	159	208	205	192,37 2,287	168,80	204,20
2ª	34	43	48	42,60 1,623	44,70	54,02
3ª	8	14	13	11,79 1,072	11,84	14,29
4ª	2	3	3	2,71 0,433	3,13	3,78
5ª	1	1	1	1	0,83	1
Número total de rios, N	204	269	270	250,47	229,30	277,29

A equação que relaciona o número de rios às ordens de ramificação, é do tipo

$$\log Nw = \log a - \log b w$$

e que, para os dados observados nas bacias de 5ª ordem representativas de solos da série Anhumas, toma a seguinte forma:

$$\log Nw = 2,8045 - 0,5771 w$$

As razões de ramificação observadas variaram de 2 a 4,89, dando o valor médio de 3,82; o valor médio calculado, é:

$$Rb = \log^{-1} b = 3,78$$

A regressão do número de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, está representada na Figura 9.

(b) Análise do comprimento de rios

A soma dos comprimentos dos segmentos de rios em cada ordem de ramificação e o comprimento total dos mesmos na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 30.

QUADRO 30 - Soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e comprimento total de rios, observados e calculados; dados de três bacias hidrográficas de 5ª ordem representativas de solos da série Anhumas.

Ordem de rios w	Comprimentos de rios em cada ordem, Lw (em km)					
	observados				calculados	
	Claro	Estiva	Par.Vermelho	Média ponderada	Total da ordem	médio, Lm
1a	31,6	33,4	41,7	36,58	30,91	0,18
2a	15,6	17,6	24,1	19,92	19,16	0,43
3a	10,2	9,1	11,7	10,58	11,88	1,00
4a	2,6	6,2	4,9	4,56	7,37	2,35
5a	5,4	5,1	9,2	7,02	4,57	5,51
Comprimen- to total de rios, Lt	65,4	71,4	91,6	78,66	73,89	---

A equação que relaciona o comprimento de rios às ordens de ramificação, é do tipo

$$\log Lw = \log a - w \log b$$

e que, para os dados observados nas bacias de 5ª ordem representativas de solos da série Anhumas, toma a seguinte forma:

$$\log Lw = 1,6976 - 0,2076 w$$

As razões de comprimento são muito variáveis, tendo sido observados valores variando de 1,02 a 5,64. A razão de comprimento calculada, entre comprimentos totais de uma ordem e a seguinte, é:

$$R_{lw} = \log^{-1} b = 1,61$$

De outro lado, a razão de comprimento entre comprimentos médios de segmentos de rios de uma ordem e os da anterior, é:

$$R_l = 2,35$$

A regressão da soma dos comprimentos de rios sobre as ordens de rios, está representada na Figura 10.

4.3.2.2. Padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi caracterizada pelo estudo dos seguintes atributos:

(a) Características descritivas

São as mesmas que constam do Quadro 21, onde estão resumidas as características descritivas do padrão de drenagem relativas às redes de drenagem desenvolvidas em solos da série Anhumas.

(b) Características quantitativas

No Quadro 31 estão assinaladas as características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro de bacias hidrográficas de 5ª ordem.

4.4. Série Ibitiruna

A seguir, são apresentados os resultados obtidos quanto às características das bacias hidrográficas e das respectivas redes de drenagem.

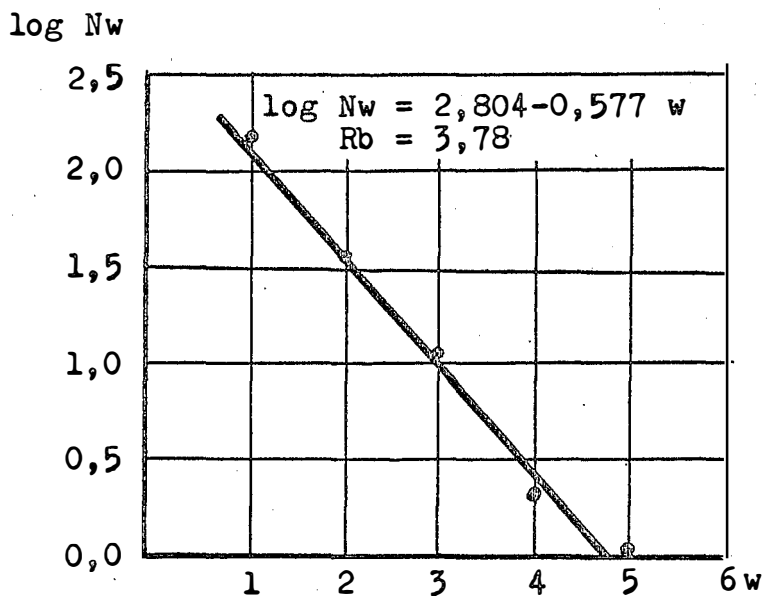


Fig. 9 - Regressão do número de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, em solos da série Anhumas; dados de bacias de 5ª ordem.

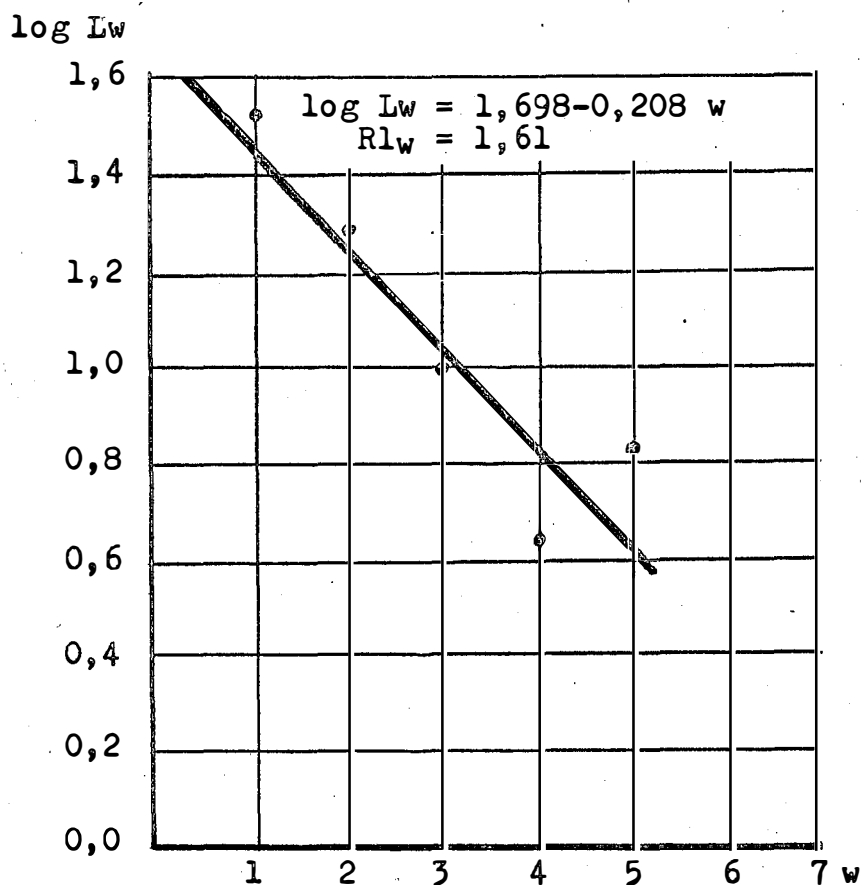


Fig. 10 - Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, em solos da série Anhumas; dados de bacias de 5ª ordem.

QUADRO 31 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos da série Anhumas, em bacias hidrográficas de 5ª ordem.

Bacia hidrográfica	Frequência de rios Fr	Densidade de drenagem Dd	Razão de textura T
Ribeirão Claro	6,21	1,99	7,73
Ribeirão Estiva	9,25	2,45	10,93
Ribeirão Paredão Vermelho	5,39	1,83	8,41

4.4.1. Características das bacias hidrográficas

(a) Localização

Região oeste do município de Piracicaba, vertente direita do rio Tietê. As bacias do Ribeirão dos Pires e do Córrego III são tributárias do Ribeirão dos Patos, vertente direita; enquanto que a bacia do Córrego II é tributária do Ribeirão dos Pintos.

(b) Representatividade

As bacias hidrográficas escolhidas apresentam solos cuja distribuição está indicada no Quadro 32.

(c) Propriedades dimensionais

No Quadro 33 estão apresentadas algumas propriedades dimensionais, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas.

(d) Propriedades não dimensionais

No Quadro 34 estão indicadas algumas propriedades descritivas ou representadas por números sem dimensão, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas.

QUADRO 32 - Distribuição das unidades de solo, nas bacias hidrográficas representativas da série Ibitiruna.

Unidades de solo	% de área total da bacia		
	Ribeirão Pires	Córrego II	Córrego III
Ibitiruna	38,50	42,53	41,36
Anhumas	39,36	12,54	45,23
Artemis	11,43	38,91	---
Paredão Vermelho	3,77	---	8,03
Solos Aluviais e Hidromórficos	6,94	6,02	5,38

QUADRO 33 - Propriedades dimensionais de bacias hidrográficas representativas de solos da série Ibitiruna.

Bacia hidrográfica	Maior comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimento de rios		Perímetro (P) km	Área (A) km ²
			principal (Cp) km	rêde (Cr) km		
Ribeirão Pires	5,2	2,5	5,0	22,5	12,2	7,94
Córrego II	2,5	1,3	2,4	9,1	6,4	2,63
Córrego III	2,7	1,7	2,6	10,9	6,9	2,91

(e) Semelhança geométrica

Aplicando os princípios de análise dimensional e de semelhança geométrica, constatou-se que as bacias escolhidas como representativas de solos da série Ibitiruna apresentam razoável grau de semelhança planimétrica, exceto a bacia do ribeirão Pires, que difere das outras duas por seu maior tamanho e rêde de drenagem mais desenvolvida, conforme se pode verificar nos Quadros 33 e 35.

QUADRO 34 - Propriedades não dimensionais de bacias hidrográficas representativas de solos da série Ibitiruna.

Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Ordem w	Número de segmentos de rios, N	Simetria das vertentes
Ribeirão Pires	oval invertida	4a	71	moderada
Córrego II	reniforme	4a	39	baixa
Córrego III	oval normal	4a	46	moderada

QUADRO 35 - Análise dimensional e de semelhança geométrica aplicadas a bacias hidrográficas representativas de solos da série Ibitiruna.

Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear, R						Razão de escala quadrática, R ²	
	$\frac{C}{C1}$	$\frac{L}{L1}$	$\frac{Cp}{Cp1}$	$\frac{Cr}{Cr1}$	$\frac{P}{P1}$	Razão média Rm	$\frac{A}{A1}$	Rm ²
Ribeirão Pires Córrego II	2,08	1,92	2,08	2,47	1,91	2,09	3,02	4,37
Ribeirão Pires Córrego III	1,93	1,47	1,92	2,06	1,77	1,83	2,73	3,35
Córrego III Córrego II	1,08	1,31	1,08	1,20	1,08	1,15	1,11	1,32

4.4.2. Características das rêsdes de drenagem

4.4.2.1. Composição da rêsde de drenagem

As características referentes à composição das rêsdes de drenagem das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 36.

(a) Análise do número de rios

Os números de segmentos de rios em cada ordem e o total na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 37.

QUADRO 36 -- Composição das rédes de drenagem das bacias hidrográficas de 4ª ordem, representativas de solos da série Ibitiruna.

Bacia hidrográfica	Ordem w	Número de segmentos de rios		Razão de ramificação Rb	Comprimento de rios (km)			Razão de comprimento Rl
		em cada ordem, Nw	total da bacia, N		em cada ordem		total da bacia It	
					total, Lw	médio, Lm		
Ribeirão dos Pires	1ª	56		---	11,6	0,21		2,48
	2ª	11		5,09	5,7	0,52		1,73
	3ª	3		3,67	2,7	0,90		2,78
	4ª	1	71	3	2,5	2,50	22,5	---
Córrego II	1ª	28		---	3,9	0,14		1,71
	2ª	8		3,5	1,9	0,24		2,71
	3ª	2		4	1,3	0,65		1,54
	4ª	1	39	2	1,0	1,00	8,1	---
Córrego III	1ª	34		---	5,1	0,15		2,40
	2ª	9		3,78	3,3	0,37		2,30
	3ª	2		4,5	1,7	0,85		0,94
	4ª	1	46	2	0,8	0,80	10,9	---

QUADRO 37 - Número de segmentos de rios em cada ordem e número total, observados e calculados; dados de três bacias de 4ª ordem representativas de solos da série Ibitiruna.

Ordem W	Número de segmentos de rios em cada ordem, Nw					
	observado				calculado	
	Rib. Pires	Córrego II	Córrego III	Média ponderada	equação	Horton.
1a	56	28	34	45,79	40,12	46,66
2a	11	8	9	9,98	11,13	12,96
3a	3	2	2	2,59	3,09	3,60
4a	1	1	1	1	0,86	1,00
Número total de rios N	71	39	46	59,36	55,20	64,22

A equação que relaciona o número de rios às ordens de ramificação, para bacias de 4ª ordem representativas de solos da série Ibitiruna, é a seguinte:

$$\log Nw = 2,1602 - 0,5668 w$$

As razões de ramificação observadas variam de 2 a 5,09, dando o valor médio de 3,50; o valor médio calculado, é:

$$Rb = \log^{-1} b = 3,60$$

A regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, está representada na Figura 11.

(b) Análise do comprimento de rios

A soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total dos mesmos na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 38.

QUADRO 38 - Soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e comprimento total de rios, observados e calculados; dados de três bacias hidrográficas de 4ª ordem representativas de solos da série Ibitiruna.

Ordem de rios w	Comprimentos de rios em cada ordem, Lw (em km)					
	observados				calculados	
	Pires	Córrego II	Córrego III	Média ponderada	Total da ordem	Médio Lm
1ª	11,6	3,9	5,1	8,69	7,90	0,20
2ª	5,7	1,9	3,3	4,44	4,63	0,42
3ª	2,7	1,3	1,7	2,21	2,71	0,89
4ª	2,5	1,0	0,8	1,84	1,59	1,85
Comprimen to total de rios, Lt	22,5	8,1	10,9	17,18	16,83	---

A equação que relaciona o comprimento de rios às ordens de ramificação, para as bacias de 4ª ordem representativas de solos da série Ibitiruna, é a seguinte:

$$\log Lw = 1,1303 - 0,2325 w$$

As razões de comprimento são muito variáveis, tendo sido observados valores oscilando de 0,94 a 2,78. A razão de comprimento calculada, entre comprimentos totais de uma ordem e a seguinte, é:

$$Rlw = \log^{-1} b = 1,71$$

De outro lado, a razão de comprimento entre comprimentos médios de segmentos de rios de uma ordem e os da anterior, é:

$$Rl = 2,10$$

A regressão da soma dos comprimentos de rios sobre as ordens de rios, está representada na Figura 12.

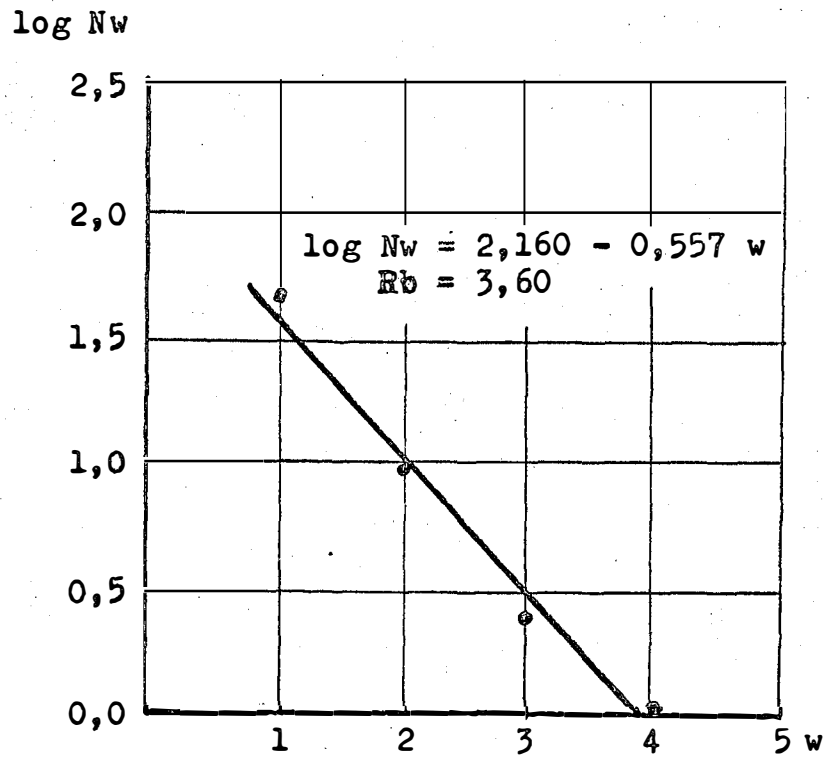


Fig. 11 - Regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da série Ibitiruna.

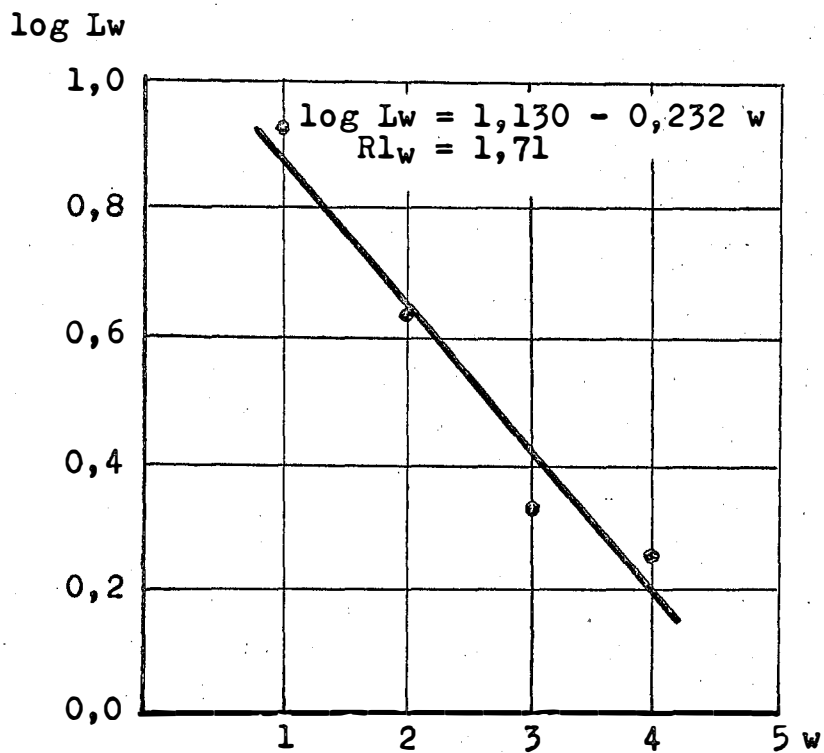


Fig. 12 - Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da série Ibitiruna.

4.4.2.2. Padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi caracterizado pelo estudo das seguintes características:

(a) Características descritivas

No Quadro 39 estão resumidas as características descritivas do padrão de drenagem, relativas às rêsdes de drenagem das bacias representando solos da sêrie Ibitiruna.

(b) Características quantitativas

No Quadro 40 estão assinaladas as características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rêsde de drenagem à área e ao perímetro das bacias hidrográficas.

QUADRO 39 - Características descritivas do padrão de drenagem de solos da sêrie Ibitiruna.

Características do padrão	D e s c r i ç ã o
Grau de integração	alto
Densidade	moderada a alta
Uniformidade	uniforme
Orientação	não orientado
Grau de contrôle	baixo
Ângulos de junção	agudos, localmente retos
Angularidade	ausente
Tipo ou modelo	Dendrítico, com disposição ligeiramente assimétrica dos tributários

As inferências que as características descritivas permitem são: material de textura grosseira formando manto de espessura variável, po-

rém pouco permeável, mesmo quando o substrato rochoso está à profundidade relativamente maior; provavelmente, isto se deve à presença de horizontes iluviais nos solos da série Ibitiruna. O padrão é também influenciado pela presença de solos da série Anhumas, contudo mostra relativa uniformidade.

QUADRO 40 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos da série Ibitiruna

Bacia hidrográfica	Frequência de rios Fr	Densidade de drenagem Dd	Razão de textura T
Ribeirão Pires	8,94	2,83	5,82
Córrego II	14,83	3,08	6,09
Córrego III	15,81	3,74	6,67

(c) Densidades de drenagem determinadas em amostras circulares de 10 km² de área

No Quadro 41 estão apresentados os valores da densidade de drenagem determinados em amostras circulares.

QUADRO 41 - Valores da densidade de drenagem obtidos em três amostras circulares de 10 km² de área, representativas de solos da série Ibitiruna.

Unidade de solo	Densidade de drenagem, Dd km/km ²			Desvio padrão
	Determinações		Média	
Ibitiruna	2,64	2,86	2,94	2,81 ± 0,19

Na Figura 13 estão reproduzidas as três amostras circulares de 10 km², escolhidas como representativas da densidade de drenagem em solos da série Ibitiruna.

4.5. Série Iracema

A seguir, são apresentados os resultados obtidos do estudo das características das bacias hidrográficas e de suas rêsdes de drenagem.

4.5.1. Características das bacias hidrográficas

(a) Localizaçãõ

Região norte do município de Piracicaba, incluindo parte de municípios vizinhos - Iracemápolis, Santa Gertrudes e Rio Claro. As bacias do córrego da Roseira e do ribeirão Boa Vista são tributárias da vertente direita do ribeirão Cachoeirinha. A cabeceira do ribeirão Assistência, ou seja, a parte da bacia até atingir a 4ª ordem (a bacia completa dêste ribeirão é de 6ª ordem), é tributária do rio Corumbataí.

(b) Representatividade

As bacias hidrográficas escolhidas apresentam solos cuja distribuição está indicada no Quadro 42.

(c) Propriedades dimensionais

No Quadro 43 estão apresentadas algumas propriedades dimensionais, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas.

(d) Propriedades não dimensionais

No Quadro 44 estão indicadas algumas propriedades des_{critivas} ou representadas por números sem dimensão, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas.

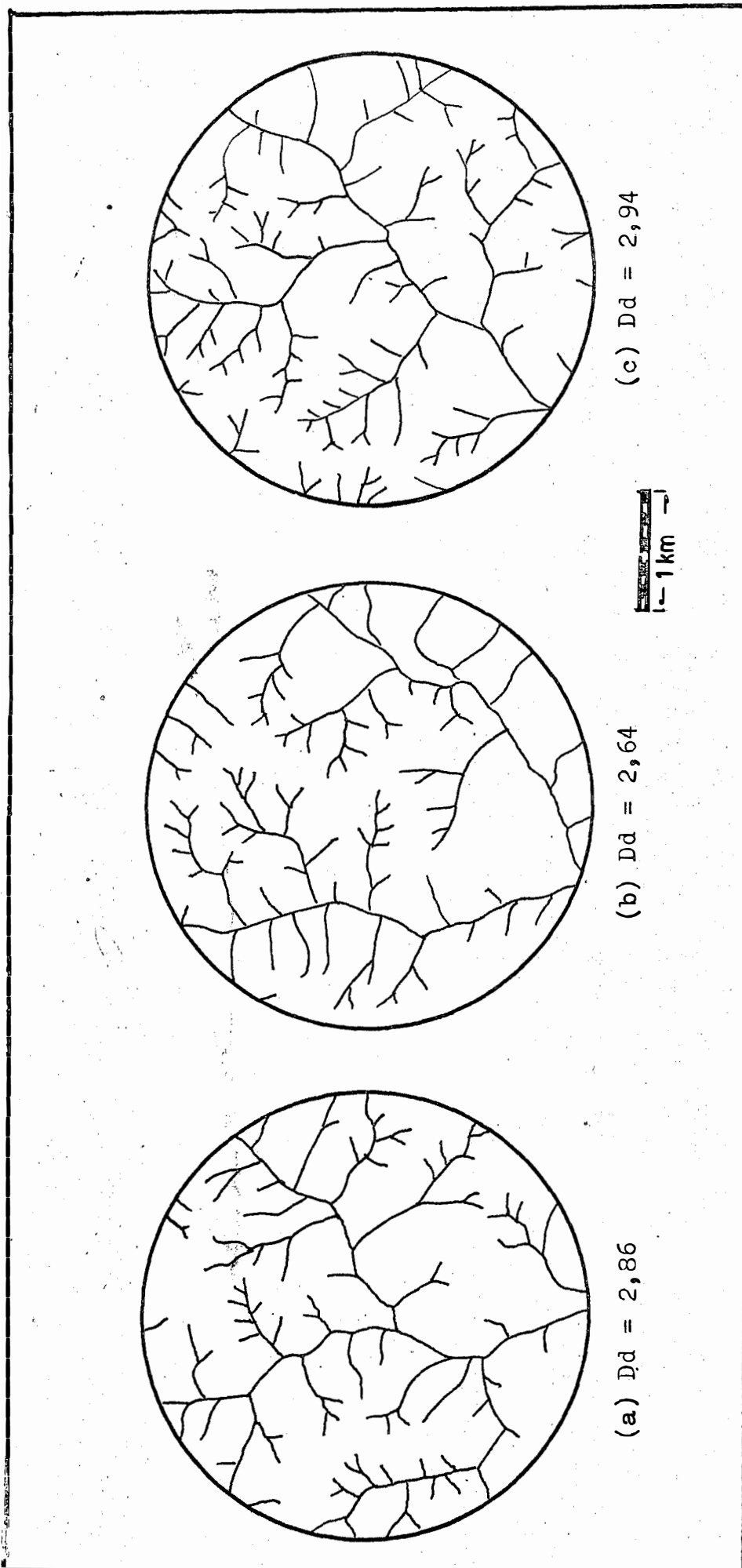


Fig. 13 - Amostragem circular para determinação da densidade de drenagem em solos da Série Ibitiruna.

QUADRO 42 - Distribuição das unidades de solo, nas bacias hidrográficas representativas da série Iracema.

Unidades de solo	% de área total da bacia		
	Córrego Roseira	Ribeirão Boa Vista	Cabeceira do Assistência
Iracema	32,29	40,16	40,14
Guamium	57,68	42,48	30,44
Solos Aluviais e Hidromórficos	7,28	11,09	8,47
Outras unidades(*)	2,75	6,27	20,95

(*) Solos com horizonte B textural e Litossóis associados

QUADRO 43 - Propriedades dimensionais de bacias hidrográficas representativas de solos da série Iracema

Bacia hidrográfica	Maior comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimentos de rios		Perímetro (P) km	Área (A) km ²
			principal (Cp) km	rêde (Cr) km		
Córrego Roseira	9,1	4,5	8,9	21,2	23,7	28,03
Rib. Boa Vista	9,6	5,4	12,8	37,4	25,8	37,15
Cabeceira do ribeirão Assistência	8,9	3,4	9,3	32,2	22,8	21,48

(e) Semelhança geométrica

Aplicando os princípios de análise dimensional e de semelhança geométrica, constatou-se que as bacias escolhidas como representativas de solos da série Iracema, apresentam razoável grau de semelhança planimétrica, com a bacia do córrego Roseira diferindo um pouco das outras duas, principalmente pelo menor desenvolvimento da rede de drena-

gem, conforme se observa examinando os Quadros 43 e 45.

QUADRO 44 - Propriedades não dimensionais, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas representativas de solos da série Iracema.

Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Ordem w	Nº de segmentos de rios, N	Simetria das vertentes
Roseira	triângulo invertido	4a	22	baixa
Boa Vista	piriforme	4a	69	baixa
Cabeceira do Assistência	reniforme	4a	74	moderada

QUADRO 45 - Análise dimensional e de semelhança geométrica aplicadas a bacias hidrográficas representativas de solos da série Ibitiruna.

Bacia hidrográficas comparadas	Razão de escala linear, R					Razão média, Rm	Razão de escala quadrática, R2	
	$\frac{C}{C'}$	$\frac{L}{L'}$	$\frac{C_p}{C_p'}$	$\frac{C_r}{C_r'}$	$\frac{P}{P'}$		$\frac{A}{A'}$	Rm2
<u>Boa Vista</u> Roseira	1,05	1,20	1,44	1,76	1,09	1,31	1,32	1,72
<u>Boa Vista</u> Assistência	1,08	1,59	1,38	1,16	1,13	1,27	1,73	1,61
<u>Roseira</u> Assistência	1,02	1,32	0,96	0,66	1,04	1,00	1,30	1,00

4.5.2. Características das rêsdes de drenagem

4.5.2.1. Composiçãõ da rêsde de drenagem

As características referentes à composiçãõ da rêsde de drenagem das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 46.

(a) Análise do número de rios

Os números de segmentos de rios em cada ordem e o total na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 47.

QUADRO 47 - Número de segmentos de rios em cada ordem e o número total, observados e calculados; dados de três bacias de 4ª ordem, representativas de solos da série Iracema.

Ordem w	Número de segmentos de rios em cada ordem, Nw					
	observado				calculado	
	Roseira	Boa Vista	Cabeceira Assistên- cia	Média ponderada	equaçãõ	Horton
1ª	15	54	58	42,38	36,57	41,78
2ª	4	11	12	8,98	10,53	12,04
3ª	2	3	3	2,68	3,03	3,47
4ª	1	1	1	1	0,87	1,00
Nº total de rios, N	22	69	74	55,04	51,00	58,29

A equaçãõ que relaciona o número de rios às ordens de ramifi-
caçãõ, para bacias de 4ª ordem representativas de solos da sêrie Irace-
ma, é a seguinte:

$$\log Nw = 2,1038 - 0,5407 w$$

As razões de ramificaçãõ observadas variaram de 2 a 4,91, dan-
do o valor médio de 3,46; a razão de ramificaçãõ calculada, é:

$$Rb = \log^{-1} b = 3,47$$

QUADRO 46 - Composição das rédes de drenagem das bacias hidrográficas de 4ª ordem representativas de solos da serie Iracema.

Bacia hidrográfica	Ordem w	Número de segmentos de rios		Razão de ramificação Rb	Comprimento de rios (km)			Razão de comprimento Rl
		em cada ordem, Nw	total da bacia, N		em cada ordem		total da bacia, Lt	
					total, Lw	médio, Lm		
Córrego da Roseira	1ª	15		---	6,2	0,41		4,92
	2ª	4		3,75	8,1	2,02		1,51
	3ª	2		2	6,1	3,05		0,20
	4ª	1	22	2	0,8	0,80	21,2	---
Ribeirão da Boa Vista	1ª	54		---	16,7	0,31		2,68
	2ª	11		4,91	9,1	0,83		2,61
	3ª	3		3,67	6,5	2,17		2,35
	4ª	1	69	3	5,1	5,10	37,4	---
Cabeceira do ribeirão da Assistência	1ª	58		---	14,7	0,25		3,52
	2ª	12		4,83	10,6	0,88		1,82
	3ª	3		4	4,8	1,60		1,31
	4ª	1	74	3	2,1	2,10	32,2	---

A regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, está representada na Figura 14.

(b) Análise dos comprimentos de rios

A soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e o comprimento total dos mesmos na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 48.

QUADRO 48 - Soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e comprimento total de rios; dados de três bacias hidrográficas de 4ª ordem, representativas de solos da série Iracema.

Ordem de rios w	Comprimentos de rios em cada ordem, Lw (km)					
	observados				calculados	
	Roseira	Boa Vista	Cabeceira Assistência	Média ponderada	total da ordem	Médios Lm
1ª	6,2	16,7	14,7	12,81	22,52	0,62
2ª	8,1	9,1	10,6	9,15	7,33	0,70
3ª	6,1	6,5	4,8	5,95	3,79	1,24
4ª	0,8	5,1	2,1	2,96	2,38	2,73
Comprimento total de rios, Lt	21,2	37,4	32,2	30,87	36,01	---

A equação que relaciona o comprimento de rios às ordens de ramificação, tomando por base os dados de três bacias de 4ª ordem representativas de solos da série Iracema, é a seguinte:

$$\log Lw = 1,3526 - 0,2096 w$$

As razões de comprimento observadas variaram de 0,20 a 4,92, dando um valor médio de 2,32; ambos os valores extremos foram observados na bacia do córrego da Roseira, onde parece ser maior o controle es

trutural da drenagem pelos corpos intrusivos de diabásio.

A razão de comprimento calculada, entre comprimentos totais de uma ordem e a seguinte, é:

$$R_{lw} = \log^{-1} b = 1,62$$

De outro lado, a razão de comprimento entre comprimentos médios de segmentos de rios de uma ordem e os da anterior, é:

$$R_l = 2,15$$

A regressão da soma dos comprimentos de rios sôbre as ordens de rios, está representada na Figura 15.

4.5.2.2. Padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi caracterizado pelo estudo dos atributos que são apresentados a seguir:

(a) Características descritivas

No Quadro 49 estão resumidas as características descritivas do padrão de drenagem, relativas às redes de drenagem das bacias representando solos da série Iracema.

QUADRO 49 - Características descritivas do padrão de drenagem de solos da série Iracema.

Características do padrão	Descrição
Grau de integração	baixo, sendo comum a presença de depressões e baixadas úmidas
Densidade	baixa
Uniformidade	uniforme
Orientação	orientado
Grau de contrôle	moderado
Ângulos de junção	aproximadamente retos
Angularidade	alguma, nos trechos finais, onde afloram rochas de outras formações
Tipo ou modelo	paralelo ou subparalelo, moderadamente arqueado

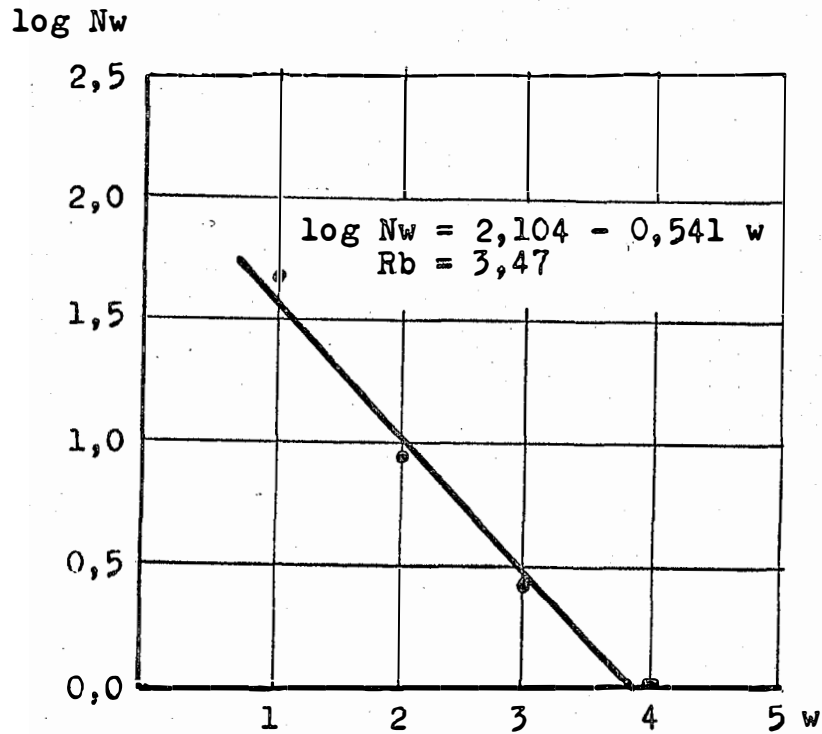


Fig. 14 - Regressão do número de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, em solos da série Iracema.

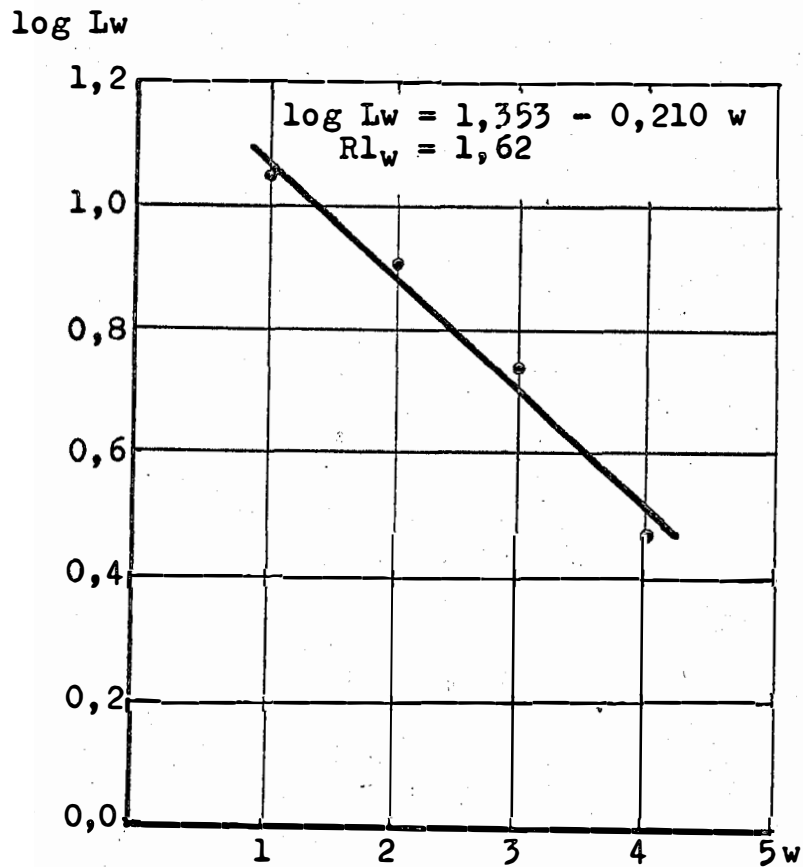


Fig. 15 - Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sôbre as ordens de rios, em solos da série Iracema.

As inferências que as características descritivas permitem são: a resistência à erosão e a alta permeabilidade indicam tratar-se de material de textura fina com estrutura porosa - perfil latossólico.

A presença de trechos de rios arqueados sugere controle da drenagem por estrutura geológica - corpos intrusivos de diabásio nos sedimentos permianos, causando deformações nestes últimos.

(b) Características quantitativas

No Quadro 50 estão indicadas as características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro da bacia hidrográfica.

QUADRO 50 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos da série Iracema.

Bacia hidrográfica	Frequência de rios Fr	Densidade de drenagem Dd	Razão de textura T
Córrego Roseira	0,78	0,76	0,93
Rib. Boa Vista	1,86	1,01	2,67
Cabeceira do Assistência	3,44	1,50	3,24

(c) Densidade de drenagem determinadas em amostras circulares

No Quadro 51 estão apresentados os valores da densidade de drenagem determinados em amostras circulares de 10 km² de área.

Na Figura 16, estão reproduzidas as três amostras circulares de 10 km², escolhidas como representativas da densidade de drenagem em solos da série Iracema.

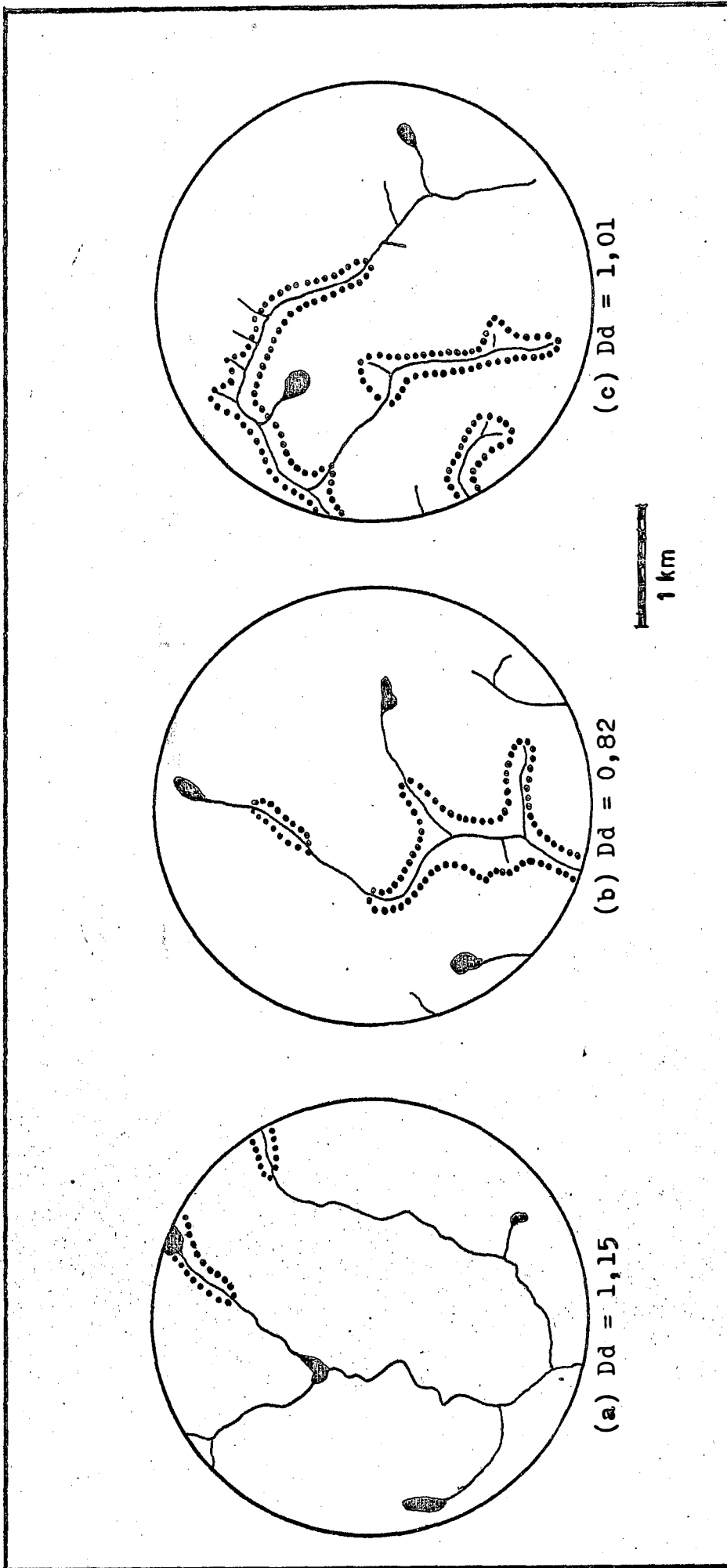


Fig. 16 - Amostragem circular da densidade de drenagem em solos da série Iracema

QUADRO 51 - Valores da densidade de drenagem obtidos em amostras circulares de 10 km² de área, representativas de solos da série Iracema.

Unidade de solo	Densidade de drenagem, Dd			Desvio padrão	
	determinações		média		
Iracema	0,82	1,15	1,01	0,99	± 0,16

4.6. Diferenças entre solos

Os dados obtidos em áreas representativas das unidades edafológicas estudadas foram comparados com o propósito de se verificar que características das bacias hidrográficas e das rêsdes de drenagem poderiam ser tomadas como critérios de distinção entre solos, para uso em fotointerpretação.

Tomando por base as observações e medições efetuadas em bacias hidrográficas de 4ª ordem, selecionadas como representativas de séries de solo, verificou-se que a forma, perímetro, área, simetria das vertentes e outros atributos de bacias individuais são muito variáveis. Apenas se pode dizer, em termos muito gerais, que bacias hidrográficas de mesma ordem são freqüentemente de maior tamanho quando desenvolvidas em solos mais permeáveis, como é o caso das série Iracema, Ribeirão Claro e Paredão Vermelho e, comparativamente, menores em solos menos permeáveis, como é o caso das séries Anhumas e Ibitiruna.

Por outro lado, constatou-se que as rêsdes de drenagem fornecem indícios mais sugestivos de diferenças entre solos. Embora a rêsde de drenagem desenvolvida na área de ocorrência de um solo possa ser localmente modificada pela inclusão de outras unidades ou por fatores como posição topográfica, contrôle estrutural e variação na profundidade do substrato rochoso, quando se considera uma amostra de tamanho suficiente obtêm-se

valores médios que diferem sensivelmente de uma unidade edafológica para outra.

Para descrever os padrões de drenagem, foram investigadas algumas características quantitativas, mostrando-se mais promissoras para a fotointerpretação de solos, as seguintes: (a) razão de ramificação; (b) comprimento médio dos segmentos de rios; (c) razão de comprimento; (d) razão de textura média; (e) densidade de drenagem de amostras circulares.

4.6.1. Razão de ramificação

A razão de ramificação, indicando quantas vezes aumenta o número de segmentos de rios quando se passa de uma ordem para outra mais baixa, variou com a natureza do solo, mostrando que se relaciona com o comportamento hidrológico do mesmo. Assim, foi constatado que a razão de ramificação é mais alta para os solos menos permeáveis - séries Anhumas e Ibitiruna; e apresenta valores mais baixos para os solos mais permeáveis - séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, bem como a série Iracema. Estes resultados estão apresentados no Quadro 52.

QUADRO 52 - Variação observada e valores médios calculados e observados para a razão de ramificação, em rês de drenagem de 4ª ordem desenvolvidas nas unidades de solo estudadas.

Unidade de solo	Razão de ramificação, Rb				
	Variação observada			Valor médio	
	w1/w2	w2/w3	w3/w4	observado	calculado
Ribeirão Claro e Paredão Vermelho	4,11-5,67	3	2 - 3	3,42	3,22
Anhumas	4,36-4,62	3,50-4,67	2 - 3	3,63	3,70
Ibitiruna	3,50-5,09	3,67-4,50	2 - 3	3,50	3,60
Iracema	3,75-4,91	2 - 4	2 - 3	3,46	3,47

4.6.2. Comprimento médio dos segmentos de rios

O comprimento médio dos segmentos de rios, classificados segundo a ordem de ramificação, é outra característica relacionada ao comportamento hidrológico do solo, embora seja mais susceptível de variação por controle geológico ou topográfico. Para os solos estudados, o comprimento médio de rios parece estar associado à declividade do terreno, à capacidade de infiltração e à resistência do solo à erosão. Assim, os solos da série Iracema são os que apresentam os maiores comprimentos médios de rios, seguidos pelos solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho. Os solos da série Anhumas e da série Ibitiruna são, dentre os solos estudados, os que condicionam o desenvolvimento de segmentos de rios com os menores comprimentos médios. Estes resultados estão apresentados no Quadro 53.

4.6.3. Razão de comprimento

A razão de comprimento segundo HORTON (20), indicando quantas vezes aumenta o comprimento médio dos segmentos de rios ao se passar de uma ordem para outra mais alta, variou com a natureza do solo, sugerindo que se relaciona com o comportamento hidrológico do mesmo. Os dados obtidos, porém, mostram que a razão de comprimento não apresenta a mesma consistência que a razão de ramificação; isto tende a indicar que o comprimento de rios é mais susceptível a controle geológico ou topográfico do que o número de rios. Estes resultados estão apresentados no Quadro 54.

Assim, foi constatado que a razão de comprimento, contrariamente ao que ocorre com a razão de ramificação, tende a ser maior para os solos mais permeáveis - séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho e série Iracema e apresenta valores menores para os solos menos permeáveis - séries Anhumas e Ibitiruna.

QUADRO 53 - Variação encontrada e valor médio calculado e observado para os comprimentos médios dos segmentos de rios de cada ordem, em rêsdes de drenagem de 4ª ordem, desenvolvidas nos solos estudados.

Unidade de solo	Ordem w	Comprimento médio dos segmentos de rios, Lm (km)		
		Variação encontrada	Valor médio	
			observado	calculado
Ribeirão Claro e Paredão Vermelho	1ª	0,23 - 0,30	0,28	0,29
	2ª	0,40 - 0,67	0,54	0,63
	3ª	1,10 - 2,25	2,07	1,37
	4ª	1,00 - 3,00	2,43	2,98
Anhumas	1ª	0,16 - 0,21	0,19	0,20
	2ª	0,34 - 0,45	0,42	0,41
	3ª	0,50 - 0,93	0,90	0,87
	4ª	0,80 - 2,60	1,80	1,84
Ibitiruna	1ª	0,14 - 0,21	0,19	0,20
	2ª	0,24 - 0,52	0,44	0,42
	3ª	0,65 - 0,90	0,85	0,89
	4ª	0,80 - 2,50	1,84	1,85
Iracema	1ª	0,25 - 0,41	0,30	0,38
	2ª	0,83 - 2,02	1,02	0,81
	3ª	1,60 - 3,05	2,22	1,74
	4ª	0,80 - 5,10	2,96	3,76

QUADRO 54 - Variação observada e valores médios calculados e observados para a razão de comprimento, em rês de drenagem de 4ª ordem desenvolvidas nas unidades de solo estudadas.

Unidade de solo	Razão de comprimento, Rl				
	Variação encontrada			Valor médio	
	w4/w3	w3/w2	w2/w1	observado	calculado
Ribeirão Claro e Paredão Vermelho	0,91-1,33	2,44-5,42	1,60-2,23	2,31	2,17
Anhumas	0,73-2,80	1,47-2,97	2,12-2,18	2,12	2,09
Ibitiruna	0,94-2,78	1,73-2,71	1,71-2,48	2,13	2,10
Iracema	0,20-2,35	1,51-2,61	2,68-4,92	2,30	2,15

Foi verificado, também, que a razão de comprimentos médios, Rl, vem a ser a relação entre a razão de ramificação, Rb e a razão de comprimentos totais de segmentos das diversas ordens, Rlw, ou seja:

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

As relações que existem entre razão de comprimento total, razão de comprimento médio e razão de ramificação, estão indicadas no Quadro 55.

4.6.4, Razão de textura média

No Quadro 56 são apresentados os valores médios ponderados da razão de textura para as unidades de solo estudadas. Na elaboração desse quadro foram utilizados dados de seis bacias hidrográficas para representar solos da série Anhumas, sendo três bacias de 4ª ordem e três de 5ª; para as outras unidades de solo, foram usados dados de três bacias de 4ª ordem para cada uma.

QUADRO 55 - Relações entre razão de ramificação, razão de comprimento total e razão de comprimento médio, para rêsdes de drenagem de 4ª ordem desenvolvidas nas unidades de solo estudadas.

Unidade de solo	Razão de ramificação Rb	Razão de comprimento total Rlw	$Rl = \frac{Rb}{Rlw}$	Razão de comprimento médio(*) Rl
Ribeirão Claro e Paredão Vermelho	3,22	1,48	2,17	2,17
Anhumas	3,70	1,76	2,10	2,09
Ibitiruna	3,60	1,71	2,10	2,10
Iracema	3,47	1,62	2,14	2,15

(*) Valores calculados conforme constam do Quadro 54.

QUADRO 56 - Valores médios ponderados da razão de textura para áreas típicas das unidades edafológicas.

Unidade de solo	Soma das áreas das bacias representativas	Soma dos produtos área x textura	Valor médio ponderado da razão de textura
Ribeirão Claro e Paredão Vermelho	57,20	143,6624	2,51
Anhumas	132,37	1109,3957	8,38
Ibitiruna	13,48	81,6372	6,06
Iracema	86,66	194,8536	2,25

4.6.5. Densidade de drenagem determinada em amostras circulares

Os valores de densidade de drenagem obtidos em bacias hidrográficas individuais foram muito variáveis, sendo influenciados pelo tamanho

da área e pela distribuição proporcional das unidades de solos na área de cada bacia. Em vista disso, procedeu-se à determinação da densidade de drenagem em amostras circulares de 10 km², abrangendo a maior proporção possível de cada unidade edafológica. Os resultados obtidos, que estão apresentados no Quadro 57, foram mais consistentes do que aqueles determinados em bacias hidrográficas.

QUADRO 57 - Valores de densidade de drenagem obtidos em amostras circulares de 10 km² de área, representativas dos solos estudados.

Unidade de solo	Densidade de drenagem, em km/km ²		
	Determinação	Média	Erro da média
Paredão Vermelho	0,42		
	0,50	0,53	± 0,10
	0,67		
Ribeirão Claro	0,28		
	0,32	0,36	± 0,09
	0,48		
Anhumas	3,12		
	3,38	3,18	± 0,20
	3,05		
Ibitiruna	2,64		
	2,86	2,81	± 0,19
	2,94		
Iracema	0,82		
	1,15	0,99	± 0,16
	1,01		

4.7. Relação entre densidade de drenagem e razão de textura

4.7.1. Dados de bacias hidrográficas

Reunindo os dados de densidade de drenagem (Dd) e de razão de textura (T) determinados para as quinze bacias hidrográficas que serviram de base para o presente trabalho, foi feito um estudo comparativo entre essas duas características quantitativas, por serem elas as mais usadas para expressar o grau de desenvolvimento das rêsdes de drenagem.

O gráfico construído com os dados obtidos, colocando os valores de densidade como ordenadas e os de razão de textura como abcissas, apresentou grande dispersão, conforme está indicado na Figura 17. Como se po de observar, os resultados são pouco consistentes para o estabelecimento da relação funcional entre as duas variáveis confrontadas, porém sugerem, como mais provável, uma tendência exponencial, cuja equação de regressão é do tipo

$$y = ab^x \quad (1)$$

ou, sob forma logarítmica:

$$\log y = \log a + x \log b \quad (2)$$

onde y é a densidade de drenagem e x, a razão de textura. Usando o método dos quadrados mínimos, com os dados disponíveis foram calculadas as seguintes constantes:

$$\log a = - 0,063$$

$$\log b = 0,060$$

Substituindo êstes valores na equação geral (2) obtém-se, para os solos estudados, a equação:

$$\log y = 0,060 x - 0,063$$

cujo coeficiente de correlação $r = 0,737$ mostra que a regressão exponencial explica 54,3% da variância do log y.

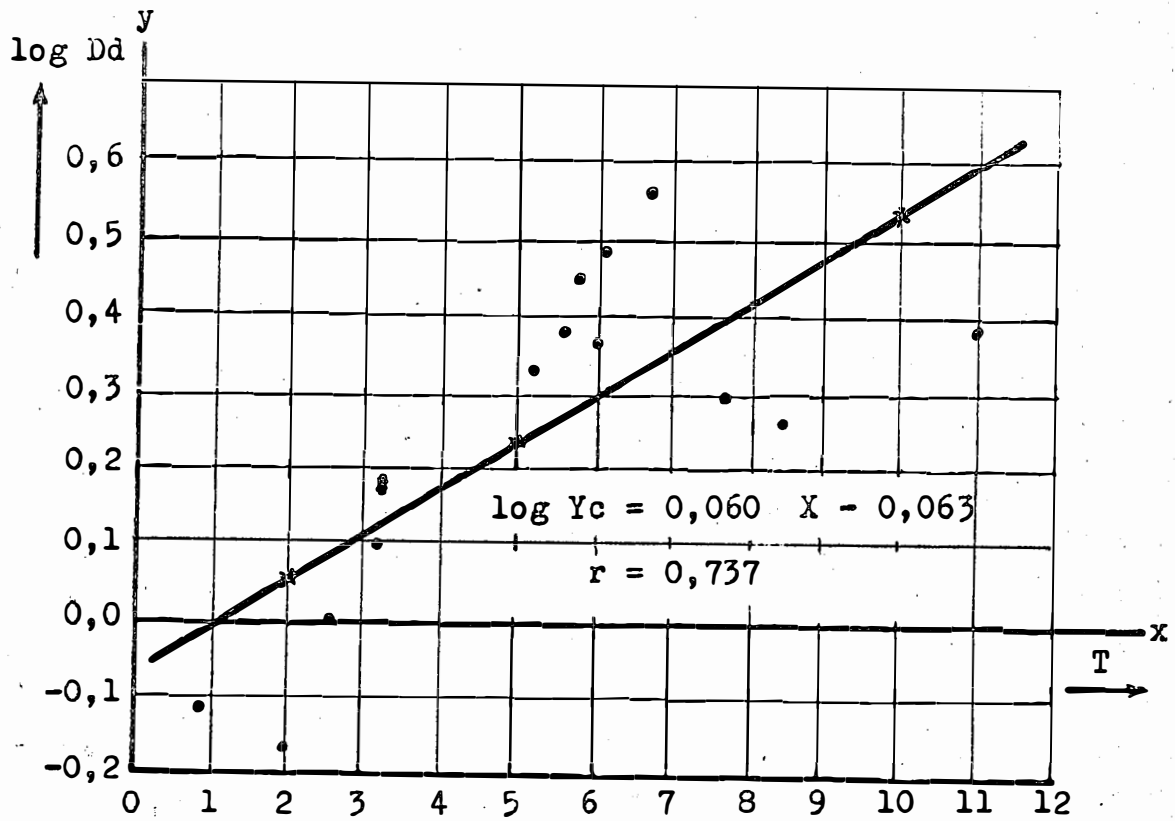


Fig. 17 - Relação entre densidade de drenagem e razão de textura; dados de quinze bacias hidrográficas representando as cinco unidades de solo estudadas.

4.7.2. Dados de razão de textura média ponderada comparados com médias de densidade de drenagem de amostras circulares

Face ao resultado da relação funcional entre as densidades de drenagem e as razões de textura referentes a bacias hidrográficas, foi feito um outro estudo, procurando correlacionar a razão de textura média ponderada e os valores médios da densidade de drenagem obtidos em amostras circulares de 10 km^2 , representando cada unidade edafológica.

Preliminarmente, foi feita uma tentativa de decomposição proporcional do valor da razão de textura média ponderada $T_m = 2,51$ entre as áreas das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho. Porém, isto mostrou-se difícil de ser conseguido, porque nas bacias hidrográficas representativas desta associação de séries, ocorrem solos da série Anhumas, em proporção superior à permitida para ser considerada como simples inclusão; além disso, os valores mais elevados da razão de textura da série Anhumas tendem a alterar aqueles obtidos nas áreas de ocorrência de solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho.

Por tais motivos, procedeu-se à determinação da razão de textura média para solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, separadamente, considerando não mais bacias hidrográficas, porém, áreas de ocorrência desses solos. Desta maneira foram obtidos os valores 0,69 e 1,03 correspondentes à razão de textura média ponderada para as séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, respectivamente, mostrados no Quadro 58.

De posse desses dados, construiu-se um gráfico de dispersão que evidenciou uma tendência linear, conforme está representado na Figura 18. A equação de regressão correspondente, calculada pelo método dos quadrados mínimos, resultou ser a seguinte:

$$y = 0,15 + 0,39 x$$

cujo coeficiente de correlação $r = 0,985$ significa que a regressão linear

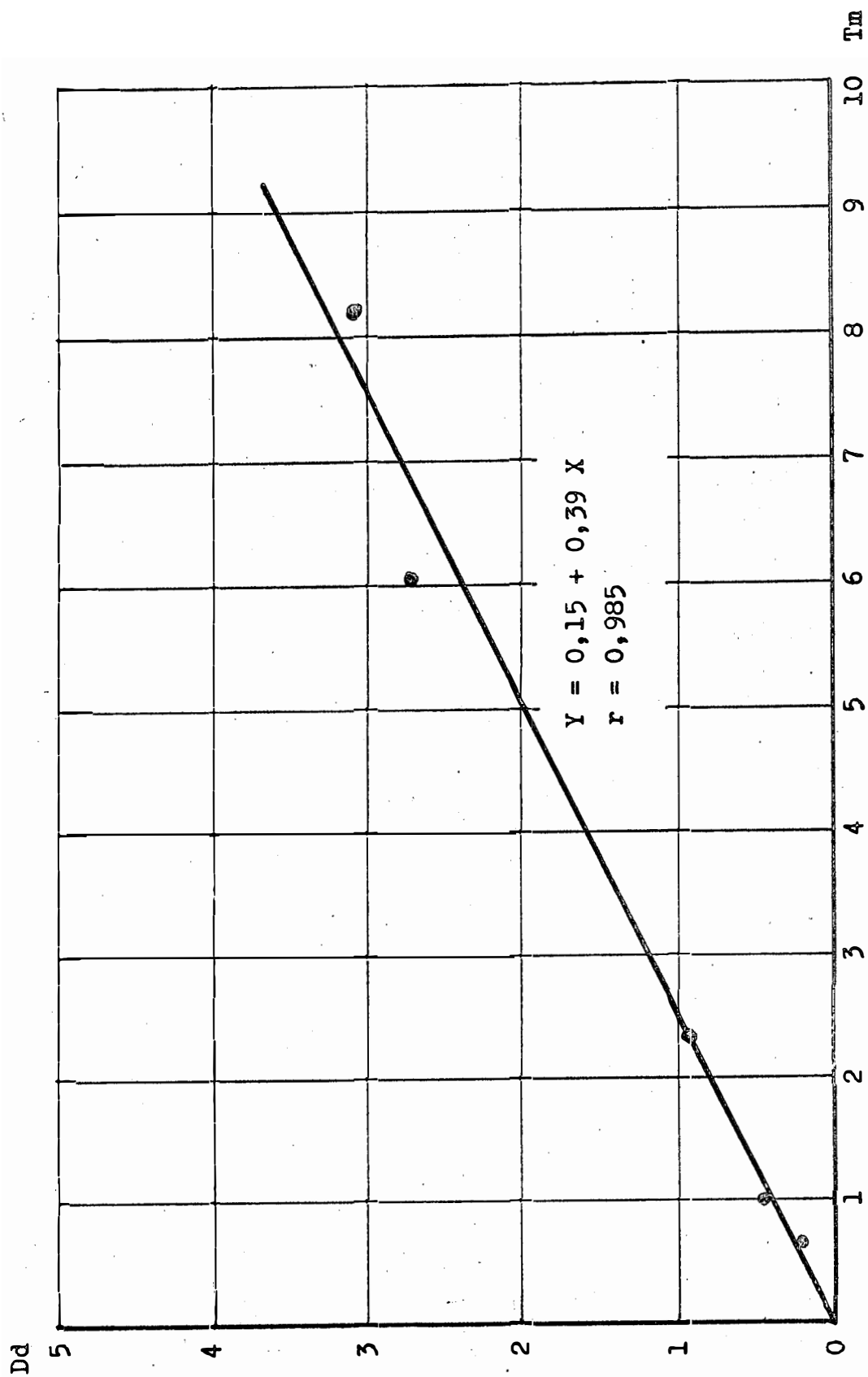


Fig. - 18 - Relação entre razão de textura média ponderada e valores médios da densidade de drenagem das amostras circulares, para as cinco séries de solos estudadas.

explica 97% da variância de y.

QUADRO 58 - Razão de textura média ponderada e densidade média de drenagem determinada em amostras circulares de 10 km² de área, para os solos estudados.

Unidade de solo	Razão de textura média ponderada	Densidade média de drenagem
Anhumas	8,38	3,18
Ibitiruna	6,06	2,81
Iracema	2,25	0,99
Paredão Vermelho	1,03	0,53
Ribeirão Claro	0,69	0,36

4.7.3. Razão de textura média e textura topográfica

Com base nos resultados apresentados no Quadro 56 e de acordo com os parâmetros de razão de textura média constantes do Quadro 3, os solos das séries Ribeirão Claro, Paredão Vermelho e Iracema têm textura topográfica grosseira; os solos da série Ibitiruna, textura topográfica média; e os solos da série Anhumas, textura topográfica fina.

4.8. Efeito da ordem de grandeza da bacia hidrográfica

Para avaliar os efeitos da ordem de grandeza das bacias hidrográficas na composição e nas características do padrão de drenagem, foram comparados os dados de três bacias de 4ª ordem e três de 5ª ordem de solos da série Anhumas. Esta unidade de solos foi escolhida para este estudo, pelos seguintes motivos: (a) é a de mais larga distribuição no município de Piracicaba - ocupando cerca de 14% da área total desse município, segundo RANZANI et al. (35); (b) é, dentre os solos estudados, o que melhor satisfaz às condições exigidas pelos princípios de semelhança geométrica

e de semelhança de solos.

Da comparação feita entre os valores médios das propriedades dimensionais, foram obtidos os resultados que são apresentados a seguir.

4.8.1. Propriedades com dimensão linear

Quando a grandeza das bacias de drenagem passou de 4ª para 5ª ordem, constatou-se que as propriedades com dimensão linear, como maior comprimento, perímetro e comprimento do rio principal, aumentaram de cerca de três vezes, enquanto que a maior largura da bacia aumentou de apenas duas vezes, conforme se pode observar no Quadro 59.

QUADRO 59 - Variação das propriedades com dimensão linear segundo a ordem de grandeza de bacias hidrográficas de solos da série Anhumas.

Propriedades lineares	Bacias de 5ª ordem		Bacias de 4ª ordem		Razão de aumento
	Valores observados	Média	Valores observados	Média	
Maior comprimento	9,3-9,4-12,3	10,33	3,1-2,5-4,4	3,33	3,10
Maior largura	6,2-5,1-6,6	5,97	3,4-2,4-4,1	3,30	1,81
Rio principal	9,0-9,3-12,5	10,27	2,9-2,3-4,3	3,17	3,24
Perímetro	26,4-24,6-32,1	27,70	9,2-7,5-13,1	9,93	2,97

Uma explicação para o menor aumento observado na largura máxima seria o fato de, em igualdade de condições, ser mais fácil uma dada bacia crescer em comprimento do que em largura, porque em comprimento sofre erosão competitiva de uma bacia que lhe é oposta em relação ao divisor transversal enquanto em largura, de duas bacias laterais, que lhe são adjacentes em relação aos divisores longitudinais.

4.8.2. Área da bacia hidrográfica

A área de uma dada bacia hidrográfica, sendo uma propriedade do quadrado de uma dimensão linear, aumenta exponencialmente com a ordem de rios, conforme estabelecido na lei das áreas de SCHUMM (41), parafraseando a lei de Horton dos comprimentos de rios.

Embora os dados obtidos e analisados não tenham incluído as áreas e a composição das rês de drenagem desenvolvidas em bacias de grandeza inferior à 4ª ordem, os resultados indicam que, quando se passou de bacias de 4ª para bacias de 5ª ordem, a área aumentou em média de cinco vezes e meia. A influência da ordem de grandeza sobre a área das bacias hidrográficas, bem como sobre a composição das respectivas rês de drenagem, está apresentada no Quadro 60.

QUADRO 60 - Áreas, números totais e comprimentos totais de segmentos de rios, observados e calculados, em função da ordem de grandeza de bacias hidrográficas desenvolvidas em solos da série Anhumas.

Bacias, médias, razão de aumento	Área e composição da rês de drenagem				
	Valores observados			Valores calculados	
	Área	Número de rios	Comprimento de rios	Número de rios	Comprimento de rios
Bacias de 5ª ordem	32,86	204	65,4	---	---
	29,09	269	71,4	---	---
	50,10	270	91,6	---	---
M é d i a	37,35	247,67	76,13	229,30	73,89
Bacias de 4ª ordem	5,69	48	12,3	---	---
	4,25	42	9,8	---	---
	10,38	79	24,5	---	---
M é d i a	6,78	56,33	15,53	58,43	17,57
Razão de aumento	5,51	4,40	4,91	3,92	4,20

4.8.3. Composição da rede de drenagem

Aumentando a área de drenagem, o aumento da ordem de grandeza das bacias hidrográficas influi também na composição da rede de drenagem, através do aumento do número total e do comprimento total dos segmentos de rios. Tomando os valores observados, constatou-se que os números e comprimentos totais de segmentos aumentaram de quase cinco vezes, ao passo que os valores calculados aumentaram de cerca de quatro vezes, conforme mostram os dados do Quadro 60.

Como indicado nos itens 4.2.2.1. e 4.3.2.1, as razões de ramificação e de comprimento médio também aumentaram, passando respectivamente de 3,70 e 2,09 nas bacias de 4ª ordem, para 3,78 e 2,35 nas bacias de 5ª ordem, enquanto a razão entre comprimentos totais das diversas ordens diminuiu de 1,76 nas bacias de 4ª ordem, para 1,61 nas bacias de 5ª ordem. Isto significa que as bacias de 5ª ordem são mais ramificadas e apresentam maior comprimento médio dos segmentos do que as bacias de 4ª ordem. Portanto, a soma dos comprimentos de segmentos das diversas ordens, sendo o produto do comprimento médio pelo número de segmentos, atinge valores relativamente mais altos nas bacias de 5ª ordem, o que redundava numa razão de comprimento total entre ordens, menor do que aquela correspondente às bacias de 4ª ordem.

4.8.4. Características quantitativas do padrão de drenagem

Com relação às características quantitativas do padrão, que relacionam o número e o comprimento total de rios à área e ao perímetro da bacia, os resultados apresentados nos Quadros 22 e 31, mostram que, considerando os valores médios, houve diminuição naquelas relacionadas com a área - densidade de drenagem e frequência de rios - e aumento naquelas relacionadas ao perímetro. Assim é que a densidade de drenagem e a frequên-

cia de rios diminuíram de 2,27 e 8,64 nas bacias de 4ª ordem, para 2,09 e 6,95 nas bacias de 5ª ordem. A razão de textura aumentou de 5,62 nas bacias de 4ª ordem para 9,02 nas bacias de 5ª ordem.

* * *

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados obtidos nesta investigação é apresentada a seguir.

5.1. Limitações da análise de bacia hidrográficas

O estudo da composição de rêsdes hidrográficas e das características do padrão de drenagem para uso na fotointerpretação de solos e substratos rochosos é, em linhas gerais, baseado na delimitação, análise e comparação de dados obtidos em pequenas bacias hidrográficas de mesma ordem de rios. Obviamente, para que sejam válidas a comparação de dados e as conclusões tiradas, é necessário que as amostras de bacias hidrográficas tenham suficiente homogeneidade geológica e edafológica ou, no dizer de FROST (18), apresentem solos semelhantes.

Além da homogeneidade de rochas e de solos, outra condição necessária, postulada por STRAHLER (50), é a semelhança geométrica entre as bacias a comparar. Existindo semelhança geométrica, embora as bacias sejam de tamanho diferente, tôdas as medições feitas guardarão razões de escala aproximadamente constantes.

Como era de se esperar, nem sempre foi possível encontrar bacias

hidrográficas de mesma ordem para representar cada unidade de solo escolhida e que preenchessem satisfatoriamente essas duas condições - homogeneidade e semelhança geométrica - pois, como muito bem frizou SMITH (43), a natureza não se submete a esquemas simplificados. Conseqüentemente, muitos aspectos do terreno são complexos e heterogêneos, particularmente no que se refere à geometria das bacias hidrográficas, distribuição das unidades de solo e grau de desenvolvimento das rês de drenagem.

Assim é que não foi possível ao selecionar amostras consistindo de bacias hidrográficas de mesma ordem, estudar separadamente as séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho. Ambas foram inicialmente consideradas como uma associação de séries e, portanto, os resultados sobre a composição das rês hidrográficas e características do padrão de drenagem foram apresentados conjuntamente. Contudo, apesar de possuírem certo grau de parentesco, estas duas séries de solos puderam ser posteriormente separadas com auxílio da determinação da razão de textura média ponderada em áreas de ocorrência de cada unidade e determinação da densidade de drenagem em amostras circulares de 10 km² de área.

Com relação à série Ibitiruna, que normalmente ocorre em áreas descontínuas e relativamente pequenas, não foi possível conseguir representatividade satisfatória; porém esta unidade geralmente está associada a outros solos, incluídos nas séries Anhumas e Artemis (RANZANI et al., 35) e todos êles se enquadram no mesmo grande grupo Podsolico Vermelho Amarelo - variação Laras (COMISSÃO DE SOLOS, 13 e 14) e, por esta razão, provavelmente os resultados obtidos não sofreram grande alteração.

No tocante à série Anhumas, foi possível obter-se boa amostragem, tanto de bacias hidrográficas de 4ª como de 5ª ordem, estas últimas estudadas com o propósito de verificar o efeito do aumento do número de ordens.

Finalmente, quanto à amostragem da série Iracema, as bacias hi-

drográficas escolhidas incluíram proporção quase equivalente de solos da série Guanium, porém, são ambas agrupadas entre os solos com horizonte B latossólico (COMISSÃO DE SOLOS, 13 e 14) ou, pela 7ª Aproximação, com Oxissóis (RANZANI *et al.*, 35). Além disso, o que é muito importante para os propósitos deste trabalho, estas séries apresentam características de drenagem bastante semelhantes. Em apoio a esta afirmativa, adiantamos -- que a densidade média de drenagem, determinada em três amostras circulares de 10 km², foi de 0,99 ± 0,16 km de rios por km² para a série Iracema e 0,79 ± 0,08 km/km² para a série Guanium.

Apesar das limitações apontadas, a análise de bacias hidrográficas forneceu resultados que sugerem diferenças significativas entre solos quanto à drenagem. Estas diferenças na composição das redes de drenagem foram realçadas pelo estudo de outras características quantitativas como a razão de textura média ponderada e a densidade de drenagem determinada em amostras circulares.

5.2. Composição das redes de drenagem

Os resultados obtidos mostram que a composição das redes de drenagem, envolvendo número e comprimento dos segmentos de rios das diversas ordens, tem alta significância hidrológica e reflete melhor as diferenças entre solos, do que o padrão de drenagem em si. O padrão, por ligar-se mais aos modelos de distribuição de rios e tributários, tem mais significância com respeito a controles geológico e topográfico dos sistemas de drenagem. Estas observações corroboram as de HORTON (20) e apoiam os métodos de análise de bacias hidrográficas preconizados por STRAHLER (49 e 50). De outro lado divergem, até certo ponto, das conclusões de PARVIS (31) e das recomendações de LUEDER (23), pertinentes ao estudo dos padrões de drenagem.

Foi constatado que podem existir várias combinações de ordens,

número e comprimento de rios, formando modelos semelhantes de padrão de drenagem, porém com razão de textura e densidade muito diferentes. Isto ficou bem evidenciado com relação aos solos estudados, provenientes de arenitos da formação Botucatu.

5.2.1. Ordens de ramificação de rios

Os resultados obtidos mostram a vantagem do sistema de HORTON (20) para a classificação das ordens de rios, pois iniciando pelos menores tributários, mantém imutável a designação das ordens, mesmo que se considerem rês hidrográficas cada vez mais complexas. Isto permite a análise dos elementos semelhantes de diferentes rês de drenagem, bem como a comparação de dados, nos moldes preconizados por esse autor e posteriormente por SMITH (44), SCHUMM (41), STRAHLER (49 e 50), além de outros como Coates, citado por STRAHLER (50). Por outro lado, desaconselham o emprêgo do sistema clássico discordando, neste particular, de LUEDER (23) que preferiu este último, embora reconhecendo a utilidade dos dois sistemas.

Conforme salientaram HORTON (20), SMITH (44), STRAHLER (50) e outros autores, a ordem de rios proporciona uma base quantitativa simples para a comparação do grau de desenvolvimento das rês de drenagem: se duas bacias hidrográficas são de tamanho comparáveis, a rês de drenagem mais desenvolvida é a que atinge ordem mais elevada. Em igualdade das demais condições, a ordem de ramificação aumenta com o tamanho das bacias. Porém, a principal vantagem do sistema de classificar os segmentos de rios de acordo com a ordem de ramificação, conforme frizou STRAHLER (50), é que duas bacias hidrográficas diferindo bastante em tamanho, podem ser comparadas com respeito a elementos correspondentes em sua geometria, desde que dentro do mesmo número de ordem. Desta maneira, o primeiro passo na análise de uma rês de drenagem é a computação dos segmentos de rios de cada ordem, seguindo-se a medição dos comprimentos dos segmentos de rios das di-

versas ordens. Comprovou-se a afirmativa feita pelos autores atrás citados, de que o número e o comprimento total de rios diminuem à medida que aumenta a ordem de ramificação, enquanto o comprimento médio dos segmentos aumenta com a ordem de rios.

5.2.2. Relação entre número de segmentos de rios e ordens de ramificação.

Segundo a lei de Horton os números de segmentos de rios de cada ordem formam uma série geométrica inversa àquela do número de ordem. Os resultados obtidos confirmam esta lei e concordam, de maneira geral, com os dados apresentados por HORTON (20), STRAHLER (49), Smith (STRAHLER, 50), SCHUMM (41) e outros.

A observação de MAXWELL (25), de que equação ou regressão obtida relacionando-se os logaritmos dos números de rios com as ordens de rios produz u'a linha reta com muito pouca dispersão dos dados, também foi -- constatada. A equação de regressão é do tipo:

$$\log N_w = a - b w$$

Convém frizar, entretanto, que em vez de reunir os dados obtidos e usar médias gerais de um número suficientemente grande de amostras de bacias hidrográficas, preferimos usar amostras pequenas, porém representativas de unidades de solo. Ao invés de procurar generalizações, como por exemplo trabalhar ao nível de grande grupo de solos, tivemos a -- preocupação de empregar unidades edafológicas mais homogêneas, visando obter maior consistência dos dados e assim poder atribuir aos solos, as variações observadas. Os resultados sugerem a existência de significância edafológica nas diferenças encontradas, as quais são discutidas a seguir.

5.2.3. Razão de ramificação

Como era de se esperar, a razão de ramificação ou de bifurcação

mostrou ser um índice útil para expressar a composição de um sistema de drenagem.

A lei de Horton estabelece que o número de rios das diversas ordens em uma dada bacia hidrográfica tende a se aproximar estreitamente de uma série geométrica inversa na qual o primeiro termo é a unidade e cuja razão é a razão de ramificação. Foi constatado que o número de rios calculado de acôrdo com HORTON (20) foi sempre ligeiramente superior ao obtido a partir das médias ponderadas observadas.

Os valores encontrados para a razão de ramificação neste trabalho (Quadro 52), pouco diferem dos mencionados na literatura. É interessante observar que tanto a média geral dos valores observados como dos calculados, embora não sejam êles idênticos, dão praticamente o mesmo valor 3,55 e, portanto, muito próximo do valor 3,52 apresentado por STRAHLER (50), com base nos dados de Smith. Contudo, o emprêgo de unidades edafológicas detalhadas que distingue êste trabalho dos demais, demonstrou que os valores da razão de ramificação diferem sensivelmente de uma unidade de solo para outra.

As diferenças encontradas na razão de ramificação em função dos solos, estão em desacôrdo com a afirmativa feita por STRAHLER (50) de que a razão de ramificação é um número altamente estável e apresenta pequena amplitude de variação de uma região para outra, ou de um ambiente para outro, exceto onde domina poderoso contrôle geológico. Não existe, na área de ocorrência do arenito eólico da formação Botucatu, contrôle geológico que explique os valores médios extremos de 3,22 e 3,78 encontrados para a razão de ramificação. Existem porém, diferenças acentuadas nos solos que se desenvolveram sôbre êsses arenitos. Os solos pertencentes às séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, responsáveis pelo valor médio mais baixo, apresentam perfís profundos, de textura grosseira, sem diferenciação de horizontes no caso da série Ribeirão Claro e com pequena diferenciação

na série Paredão Vermelho, segundo RANZANI et al., (35). Quanto aos solos pertencentes à série Anhumas, responsáveis pelos valores mais elevados da razão de ramificação - 3,70 em bacias de 4ª ordem e 3,78 em bacias de 5ª ordem - apresentam perfis rasos, raramente atingindo 60 cm; nos perfis mais profundos aparece um horizonte B incipiente, evidenciando tendência à podsolização (RANZANI et al., 35). Embora estes solos sejam arenosos e possam ter a mesma capacidade de infiltração, os pertencentes às séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho devem possuir permeabilidade mais rápida e, em consequência, apresentar uma rede de drenagem superficial menos ramificada. Os solos da série Anhumas, cuja permeabilidade é condicionada pela profundidade do substrato rochoso, desenvolvem rede de drenagem superficial mais ramificada.

Além do exposto, cumpre acrescentar que também concorre para explicar as diferenças observadas nos valores da razão de ramificação, o próprio padrão de distribuição desses solos, nos moldes sugeridos por SMITH e AANDAHL (45). Os solos da série Ribeirão Claro colocam-se nas partes mais elevadas dos divisores de água, os da série Paredão Vermelho na meia-encosta e os da série Anhumas, nas partes mais baixas. Assim, a água subterrânea, alimentada pela percolação através dos perfis das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, aflora e origina os numerosos canais que se encontram nas áreas de ocorrência da série Anhumas. Esta hipótese tende a explicar porque a razão de ramificação passa de 3,70 nas bacias de 4ª ordem, para 3,78 nas bacias de 5ª ordem, nas áreas de solos da série Anhumas. É que, em igualdade de condições, o aumento do número de ordens implica no aumento do tamanho da bacia hidrográfica, isto é, na área de captação de água e, portanto, no aumento da vazão dos canais principais e no aprofundamento destes, interceptando novos aquíferos e favorecendo a formação de outros canais. Estes mesmos argumentos foram usados por Mac Guinness et al., (VAN DOREN, 54) e também por URBAN (53), para explicar as

relações entre vazão e área.

Nos solos da série Ibitiruna, apesar de arenosos e profundos, -- foi constatada uma razão de ramificação relativamente alta, aproximando-se mais daquela dos solos da série Anhumas do que das séries Paredão Vermelho e Ribeirão Claro. Isto pode ser atribuído ao fato de se tratarem de solos sujeitos a mecanismos de podsolização e possuírem horizonte B textural.

Finalmente, os solos da série Iracema, apesar de tipicamente argilosos, apresentaram um valor relativamente baixo para a razão de ramificação, o que se explica pelo fato de serem muito profundos e apresentarem horizonte B latossólico, com estrutura porosa, o que lhes confere grande permeabilidade. Estes solos constituem um bom exemplo para o que BELCHER (5) chamou de drenagem funcional, ou ainda, no dizer de RAY e FISCHER(38), permeabilidade secundária.

5.2.4. Relação entre comprimentos e ordens de rios

A lei de Horton estabelece que os comprimentos médios dos segmentos de rios das diversas ordens tende a se aproximar de uma série geométrica direta na qual o primeiro termo é o comprimento médio dos rios de 1ª ordem e cuja razão é a razão de comprimento. Por outro lado o comprimento total de rios de cada ordem, sendo o produto do comprimento médio pelo número de rios, tende a formar uma seqüência inversa aos números de ordem, de acordo com o tratamento dado por STRAHLER (50) às relações entre ordem de rios e soma dos comprimentos dos segmentos de rios.

Pelo exame das Figuras 3, 7, 10, 12 e 15 observa-se que os resultados obtidos mostram que a lei dos comprimentos de rios em geral não é obedecida com a mesma aproximação da lei dos números de rios, confirmando assim as observações de HORTON (20), SCHUMM (41) e STRAHLER (50). Para corrigir os desvios, este último autor preconizou o emprêgo de formas lo-

garítmicas de expressão, relacionando o comprimento total de rios com as ordens. Sua equação adquiriu a seguinte forma:

$$\log L_w = \log a - b \log w \quad (1)$$

STRAHLER (50) sugeriu que a inclinação b da linha de regressão forneceria uma medida útil da variação do comprimento dos segmentos de rios ao se passar de uma ordem para outra. Todavia, esse mesmo autor, embora reconhecendo que muitos dados de comprimentos de rios disponíveis parecessem produzir ajustes consistentemente bons para linhas retas, achou que a variação não é linear, concluindo que a semelhança geométrica não é preservada com o aumento da ordem de grandeza da bacia hidrográfica.

Para os dados obtidos nas bacias hidrográficas de 4ª ordem, lançando mão das vantagens oferecidas pelo emprêgo de fotografias aéreas, em que se buscou, além da semelhança geométrica das bacias, a homogeneidade de solos e de substratos rochosos, verificou-se que se ajusta melhor uma equação exponencial do tipo:

$$L_w = a b^{-w} \quad (2)$$

ou,

$$\log L_w = \log a - w \log b \quad (3)$$

em que w representa as várias ordens de uma dada bacia hidrográfica e L_w , a soma dos comprimentos dos segmentos de rios de cada ordem.

Como se pode observar, esta equação difere daquela de STRAHLER (50), provavelmente porque este autor se baseou apenas na semelhança geométrica das bacias hidrográficas. Ainda se pode verificar que essa equação é análoga à usada por MAXWELL (25) e STRAHLER (50) para expressar outras relações, isto é, entre ordem e número de segmentos de rios.

Segundo MAXWELL (25), o antilogaritmo de b na equação relacionando o número de segmentos às ordens de rios pode ser tomado como expressão empírica da razão de ramificação. Comparando com os resultados apresentados no Quadro 55 verifica-se que o antilogaritmo de b na equação (3)

pode ser tomado como equivalente à razão de comprimentos totais R_{lw} , isto é, considerando a soma dos comprimentos em lugar dos comprimentos médios. Assim:

$$R_{lw} = \text{antilog } b \quad (4)$$

HORTON (20) considerou a relação R_l/R_b como sendo um fator importante, relacionado tanto à composição da rede de drenagem como ao estágio de desenvolvimento da bacia hidrográfica. Os resultados apresentados no Quadro 55 sugerem que o valor R_l se relaciona com as razões de ramificação e de comprimento total, segundo a equação:

$$R_l = \frac{R_b}{R_{lw}} \quad (5)$$

Usando dados combinados de seis bacias de 4ª ordem, STRAHLER (50) encontrou o valor $b = 1,67$. Com os dados obtidos nas bacias hidrográficas de 4ª ordem (Quadro 55), encontramos o valor médio $R_{lw} = 1,64$, bem próximo, portanto, daquele atribuído a b . Contudo, semelhantemente ao que acontece com a razão de ramificação, ocorrem variações sensíveis nos valores de R_{lw} de acordo com a natureza do solo. Assim é que o valor mais baixo 1,48 corresponde às bacias desenvolvidas em solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, enquanto o valor mais elevado 1,76 foi encontrado nas bacias representativas de solos da série Anhumas.

Como se constata no Quadro 54, os valores médios da razão de comprimentos médios, observados e calculados, foram respectivamente 2,21 e 2,13, valores estes próximos da média 2,3 obtida por HORTON (20).

5.3. Padrão de drenagem

Inúmeras tentativas têm sido feitas para analisar e diferenciar padrões de drenagem superficial, para uso na identificação de solos, de tipos de rocha ou de estruturas geológicas por meio de fotografias aéreas. Neste sentido, várias linhas gerais de estudo são seguidas: (a) procuran-

do descrever o padrão por meio de modêlos, como fez PARVIS (31) para a identificação de solos e de substratos rochosos em bases regionais; (b) análise detalhada de várias características do padrão para estabelecer diferenças significativas entre os materiais presentes numa área, como propôs LUEDER (23); (c) procura de uma base quantitativa para expressar as diferenças litológicas e edafológicas, como fizeram HORTON (20) com a densidade de drenagem e frequência de rios e SMITH (44) com a razão de textura.

As duas primeiras linhas de estudo serão discutidas conjuntamente, uma vez que tratam de características qualitativas ou descritivas do padrão de drenagem.

5.3.1. Características descritivas do padrão

Os resultados apresentados nos Quadros 11, 21, 39 e 49 mostram que a simples designação do padrão por meio de termos descritivos, distinguindo tipos ou modêlos que sugerem o arranjo de vários rios e seus tributários, não pode servir de base para o estabelecimento de diferenças entre solos. Em primeiro lugar porque, além dos seis modêlos básicos, são já bastante numerosos os modêlos modificados, reconhecidos e descritos -- por vários autores (Zernitz, 1932; LOBECK, 22; VON ENGELN, 56; HORTON, 20; PARVIS, 31; ZINKE, 57; MILLER e MILLER, 28; RICCI e PETRI, 39; em segundo lugar, porque são freqüentes as anomalias de drenagem, envolvendo um ou vários rios que fogem das características dominantes ou prevaescentes do padrão de drenagem normal de uma área (TATOR, 52; MILLER e MILLER, 28; RAY, 37; RICCI e PETRI, 39).

Por outro lado, como advertiu HORTON (20), embora apresentando composição semelhante, dois padrões de drenagem podem ser classificados em tipos ou modêlos diferentes, como é provável que ocorra entre solos da série Paredão Vermelho, cujo modêlo é dendrítico e solos da série Iracema,

cujo modelo é paralelo, com alguns trechos de rios arqueados. Também podem existir várias combinações de ordens, números e comprimentos de rios, resultando no mesmo tipo ou modelo, porém com densidades de drenagem muito diferentes. Este é o caso dos solos desenvolvidos sobre arenitos da formação Botucatu, onde o padrão é sempre dendrítico ou dendrítico modificado e cuja densidade de drenagem cresce na seguinte ordem: Ribeirão Claro, Pare-dão Vermelho, Ibitiruna e Anhumas. Estes resultados concordam com as observações de HORTON (20), porém discordam dos autores que sugerem o uso combinado do padrão e da densidade de drenagem para a interpretação litológica (MILLER e MILLER, 28; RAY, 37; RICCI e PETRI, 39), uma vez que esta característica do padrão, para uma dada rocha, varia com a natureza do solo.

Além disso os padrões de drenagem, bem como as eventuais anomalias, são tidos pela maioria dos autores já citados, como indicadores mais de estrutura do que propriamente de litologia ou de solos. Assim, provavelmente os rios arqueados presentes nas bacias hidrográficas representativas de solos da série Iracema, estejam correlacionados a deformações causadas pelas intrusões de diabásio nos sedimentos permianos, referidas por ALMEIDA e BARBOSA (1) e MEZZALIRA (26).

Afora a diversidade de condições em que podem ocorrer alguns modelos, como por exemplo o dendrítico, às vezes não é fácil classificar um padrão de drenagem: a natureza muitas vezes forma arranjos complexos de rios e tributários, cujos modelos devem ser considerados como modificados ou intermediários. Utilizando fotografias aéreas de várias regiões dos Estados Unidos, PARVIS (31) catalogou trinta modelos de padrão de drenagem, incluindo os seis considerados básicos, o que certamente torna muito difícil não só a classificação dos padrões que estão sendo examinados, como também o discernimento das relações significantes que os mesmos guardam com os solos e substratos rochosos sobre os quais se desenvolveram.

A descrição detalhada do padrão de drenagem, em termos de suas principais características, conforme sugestão feita por LUEDER (23), facilita a análise do padrão, porém, como ele mesmo reconheceu, a interpretação de sua significância não é fácil; requer, no dizer desse autor, uma combinação de avaliação teórica com experiência no processo de correlacionar aspectos da imagem fotográfica com as condições reais do terreno.

Além disso, uma descrição de características do padrão, por mais detalhada que seja, sempre permanecerá um tanto vaga para permitir a identificação e delimitação de solos por fotointerpretação, a não ser em trabalhos conduzidos a um nível de generalização muito grande.

5.3.2. Características quantitativas do padrão

Os resultados obtidos mostram a necessidade e a importância das características quantitativas que, baseando-se em medições simples, exatas e reproduzíveis, colocam a descrição do padrão de drenagem em termos mais objetivos. Isto permite fazer comparações e interpretações em bases mais concretas, desde que sejam superadas certas dificuldades na amostragem, as quais já foram discutidas no item 5.1.

5.3.2.1. Características baseadas no estudo de bacias hidrográficas.

O exame da literatura mostra que muitos autores empregaram as características quantitativas incorretamente ou num sentido meramente qualitativo, motivo pelo qual a discussão deste item merecerá mais atenção.

Dentre os autores que fizeram uso incorreto dessas características estão LUEDER (23), que deu ao termo densidade uma definição que cabe à frequência de rios de Horton, utilizando-o ainda num sentido qualitativo; PARVIS (31) usou o termo textura, ligado ao tipo ou modelo do padrão de drenagem, como indicativo do espaçamento entre os tributários de um --

sistema fluvial. Além destes há, segundo SMITH (44), outros autores que não fizeram distinção entre densidade de drenagem e razão de textura.

É muito comum o emprêgo de termos subjetivos como alta e baixa para a densidade de drenagem (LUEDER, 23; MILLER e MILLER, 28; RAY, 37), bem como fina e grosseira para a textura (VON ENGELN, 56; PARVIS, 31; RAY, 37; RICCI e PETRI, 39). Óbviamente, êsses termos perdem muito do significado que poderiam ter, por não se referirem a valores numéricos.

Os resultados apresentados nos Quadros 12, 22, 31, 40 e 50 dão apoio à observação feita por HORTON (20), de que para caracterizar quantitativamente um padrão de drenagem, são necessárias duas relações, uma vez que duas rêdes hidrográficas com as mesmas densidades de drenagem, podem ter diferentes números e comprimentos de rios. Foi o que se constatou, nos Quadros 12 e 50, com a bacia hidrográfica do córrego I, representando solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho e a bacia correspondente à cabeceira do ribeirão Assistência (até a 4ª ordem), representando solos da série Iracema. As densidades de drenagem são respectivamente 1,55 e 1,50 km/km², portanto, praticamente a mesma nas duas bacias; porém, a primeira tem 39 segmentos de rios perfazendo um comprimento total de 12,7 km, ao passo que a segunda tem 74 segmentos de rios e um comprimento total de 32,2 km.

Horton propôs em 1945 o uso da densidade de drenagem e da frequência de rios, as quais relacionam à área, respectivamente o comprimento total de rios e o número de segmentos de rios. Enquanto a densidade de drenagem passou a ser de uso corrente na literatura sobre estudos geomórficos em geral e de bacias hidrográficas em particular, o mesmo não ocorreu com a frequência de rios. Em lugar desta, uma outra relação passou a ser preferida - a razão de textura, proposta em 1950 por Smith, talvez pelo fato de servir também para a classificação de topografias de regiões dissecadas por rios.

Voltando às duas bacias atrás mencionadas, os dados obtidos mostram que, se a densidade de drenagem não foi suficiente para distingui-las, a frequência de rios ρ é: 4,76 e 3,44 segmentos de rios por km^2 de área, respectivamente para a primeira bacia, representando solos das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, e para a segunda, representando solos da série Iracema. Não sabemos como se comportaria a razão de textura caso fôsse determinada pelo método original de Smith, aplicável a mapas topográficos com curvas de nível, porém a razão de textura determinada pelo método modificado, para permitir sua aplicação a fotografias aéreas, não conseguiu distingui-las: os valores encontrados foram 3,25 e 3,24 segmentos de rios por km de perímetro da bacia.

Segundo se depreende do exame dos dados apresentados nos Quadros 22 e 40, referentes às bacias do córrego IV, e do ribeirão Pires, as frequências de rios têm valores próximos, sendo respectivamente 8,44 e 8,94 segmentos de rios por km^2 de área; porém, a primeira bacia tem 48 segmentos de rios e um comprimento total de 12,3 km, enquanto a segunda apresenta 71 segmentos de rios e um comprimento total de 22,5 km. Neste caso, as densidades de drenagem as distinguem satisfatoriamente: 2,16 e 2,83 km/km^2 . As razões de textura, determinadas pelo método modificado, pouco diferem em seus valores: 5,22 e 5,82 segmentos de rios por km^2 de comprimento de perímetro da bacia, respectivamente.

Assim, os resultados concordam com a sugestão de HORTON (20) no sentido de se empregarem a densidade de drenagem e a frequência de rios, quando o propósito é caracterizar quantitativamente rês de drenagem de bacias hidrográficas, pois estas duas características relacionam a composição da rês (comprimento total e número de segmentos de rios) à área da bacia, uma variável muito mais importante do que o comprimento do perímetro.

Partindo da definição de textura topográfica apresentada em 1933

por Johnson, com sendo o tamanho médio das unidades compondo uma dada topografia, SMITH (44) restringiu seu uso a regiões dissecada por rios e derivou a razão de textura, adaptando-a a mapas topográficos com curvas de nível. Contudo, essa razão de textura torna-se inadequada ao emprego em fotografias aéreas.

O método original tem o grande inconveniente, aliás reconhecido pelo próprio SMITH (44), de depender da existência de mapas topográficos com curvas de nível e em escala grande, com precisão suficiente para indicar todos os canais de drenagem significantes. Na atualidade, é em geral mais fácil contar com coberturas aerofotográficas do que com tais mapas topográficos, principalmente em nosso meio. Em seu estudo, Smith usou mapas padronizados do Serviço Geológico dos Estados Unidos, na escala de 1:24000.

É oportuno lembrar aqui, os comentários feitos por RICCI e PETRI (39) salientando que, mesmo quando se dispõe de cartas topográficas bastante fidedignas e em escala suficientemente grande, em geral não são elas satisfatórias para a análise de rêsdes de drenagem, em virtude de serem geralmente desenhadas de modo a formar um conjunto relativamente homogêneo, implicando na supressão de parte dos detalhes quando êstes são em grande número. Isto se aplica a pequenos tributários (segmentos de 1ª ordem) e também às crênulas ou inflexões de curvas de nível que indicariam a existência de canais de drenagem não representados por símbolos hidrográficos.

Utilizando-se de fotografias aéreas em lugar de mapas topográficos, foi feita uma tentativa para obter a razão de textura entre o número total de segmentos de rios das várias ordens e o comprimento do perímetro da bacia. O exame dos dados apresentados nos Quadros 12, 22, 31, 40 e 50, mostra que houve grande variação na razão de textura, bem como na frequência de rios e na densidade de drenagem, quando referidas a bacias hidro -

gráficas.

Com o propósito de contornar essa limitação, além dos refinamentos nos critérios de seleção das bacias hidrográficas - mesma ordem de -- grandeza (HORTON, 20), semelhança geométrica (STRAHLER, 50), semelhança de solos (FROST, 18) - outras técnicas de análise e outros métodos de -- amostragem têm sido propostos.

5.3.2.2. Razão de textura média e densidade de drenagem determinada em amostras circulares.

Levando em conta a pouca consistência dos dados obtidos em bacias hidrográficas individuais (item 5.3.2.1.), mesmo usando mais rigor na seleção das mesmas, foram testados dois outros métodos: a razão de textura média ponderada em relação à área (SMITH, 44) e o emprêgo de amostras circulares para a determinação da densidade de drenagem (RAY e FISCHER, 38).

Os resultados do valor médio ponderado da razão de textura estão indicados no Quadro 56. Observa-se que o menor valor é apresentado pela série Iracema, seguindo-se os da associação Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, Ibitiruna e Anhumas. Contudo, a razão de textura média ponderada calculada com auxílio das áreas de ocorrência das séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho, permitiu estabelecer para êstes solos os valores 0,69 e 1,03 conforme se observa no Quadro 58. Os valores da razão de textura média mostraram-se suficientemente bons para caracterizar a textura de drenagem de cada unidade de solo estudada.

Os resultados obtidos relativamente à densidade de drenagem em amostras circulares, estão apresentados no Quadro 57. Conforme se observa no Quadro 58, êsses valores se correlacionam com aquêles da razão de textura média ponderada.

As vantagens do método de Ray e Fischer na determinação da den-

sidade de drenagem resultam do seguinte: (a) elimina a influência da área, uma vez que tôdas as medições de comprimentos de rios são referidas à mesma área circular de 10 km²; (b) a área circular de amostragem pode ser deslocada, dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem consideração dos limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis, da unidade que está sendo amostrada.

5.3.2.3. Relação entre densidade de drenagem e razão de textura

Na Figura 17, observa-se que os dados obtidos em quinze bacias hidrográficas apresentam grande dispersão e pouca consistência para determinar a natureza da equação relacionando densidade de drenagem e razão de textura. Por outro lado, não foi constatada a relação logarítmica sugerida por SMITH (44). Este autor usou dados obtidos em quarenta e cinco bacias de 2ª e 3ª ordens, com áreas relativamente pequenas - variando de 0,014 a 2,336 milhas quadradas - fator que certamente contribuiu para os valores relativamente elevados que obteve para a densidade de drenagem, resultando ser esta uma função logarítmica da razão de textura. A equação de regressão por êle obtida foi do tipo:

$$\log y = \log a + b \log x$$

ou:

$$y = a x^b$$

Com os dados obtidos neste trabalho, em bacias de 4ª e 5ª ordens, apresentando áreas relativamente maiores e, portanto, valores bem menores de densidade de drenagem, mostrou-se mais provável uma tendência exponencial, com uma equação de regressão do tipo

$$y = a b^x$$

ou, sob a forma logarítmica:

$$\log y = \log a + x \log b$$

A Figura 18 mostra a relação entre textura média (ponderada em relação à área) e os valores médios da densidade de drenagem (determinada em amostras circulares de 10 km²). Como resultado, foi evidenciada uma tendência linear com elevado coeficiente de correlação. A equação de regressão calculada é

$$y = 0,15 + 0,39 x$$

com um coeficiente de correlação $r = 0,985$.

A revisão da literatura não apresenta estudos de correlação entre razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares. Esta relação demonstrou ser a mais consistente e de grande utilidade para a fotointerpretação de solos. Parafraseando RAY (37), pode-se dizer que, sendo fácil determinar a densidade de drenagem, as fotografias aéreas serão úteis num estudo da textura topográfica de solos.

5.4. Fatores que exercem influência sobre a composição e características das rêsdes de drenagem.

Dentre os diversos fatores que influem na composição e características das rêsdes de drenagem, dois dêles - o tamanho da bacia hidrográfrica e a natureza do solo - pela importância que revelaram nesta investigação, serão discutidos a seguir.

5.4.1. Tamanho da bacia hidrográfrica

A quase totalidade dos autores põe em destaque a importância do tamanho da área de drenagem em estudos de bacias hidrográbricas, quer geomórficos (HORTON, 20; SMITH, 44; SCHUMM, 41; STRAHLER, 49 e 50; MILLER e MILLER, 28); quer hidrológicos (HORTON, 20; STRAHLER, 50; ANDERSON, 3; HOWE, 21; ZINKE, 57; URBAN, 53; Mc Guinness et al., citados por VAN DOREN, 54).

Os valores médios apresentados no Quadro 60 concordam com as

observações de HORTON (20) de que a área da bacia de drenagem é um dos fatores fisiográficos que determinam a composição das redes hidrográficas, através da relação que existe entre o tamanho da área da bacia e a ordem do rio principal. Em igualdade das demais condições - clima, geologia, relevo, solo, vegetação e uso da terra - a ordem do rio principal e, portanto, o número e o comprimento dos segmentos de rios, tendem à aumentar com o tamanho da área de drenagem. Este fato dá apoio a SMITH (44) que, ao propor parâmetros para a razão de textura de drenagem com o objetivo de classificar texturas topográficas, recomendou o uso de valores médios ponderados em relação à área.

Embora sem pretender testar a validade da lei das áreas, estabelecida por SCHUMM (41), pois os dados obtidos neste trabalho não incluíram a análise das áreas e da composição das redes hidrográficas correspondentes a bacias de ordem de grandeza inferior à 4ª ordem, a variação observada nos resultados referentes à área, número e comprimento de rios parece confirmar, por analogia, aquela lei. Assim é que, quando se passou de bacias de 4ª para bacias de 5ª ordem, desenvolvidas em solos da série Anhumas, a razão de aumento da área da bacia de drenagem foi ligeiramente superior à correspondente ao número total e à soma total dos comprimentos de segmentos de rios, conforme se observa no Quadro 60. Uma vez que o número e o comprimento total de segmentos de rios aumentam exponencialmente com a ordem de rios, conforme estabelecem as leis de Horton, o mesmo deve acontecer com as áreas, conforme propôs Schumm.

Como está indicado no item 4.8.3., as razões de ramificação e de comprimento médio também aumentaram quando se passou de 4ª para 5ª ordem. Isto significa que, com o aumento da ordem de grandeza da bacia, a rede de drenagem se torna mais ramificada e apresenta segmentos de maior comprimento médio, desde que sejam preservadas as semelhanças geométrica (STRAHLER, 50) e edafológica (FROST, 18).

Com relação às características quantitativas do padrão de drenagem, considerando apenas os valores médios conforme indicados no item 4.8.4., observa-se que a densidade de drenagem e a frequência de rios diminuíram, ao passo que a razão de textura aumentou, quando se passou de bacias de 4ª para as de 5ª ordem. A explicação provável parece residir no seguinte: a densidade de drenagem e a frequência de rios relacionam à área, respectivamente o comprimento total e o número total de segmentos de rios, enquanto que a razão de textura relaciona o número de segmentos de rios ao perímetro da bacia hidrográfica. Ora, os dados apresentados nos Quadros 59 e 60 indicam que os valores numéricos dessas grandezas aumentam em proporções diferentes, quando se passa de uma ordem para outra mais elevada. Para as bacias apresentadas no Quadro 60, quando se passou de 4ª para a 5ª ordem, a área aumentou de cinco vezes e meia, o número e o comprimento de segmentos de quatro a cinco vezes (mais próximos de cinco para os valores observados e mais próximos de quatro para os valores calculados), enquanto o perímetro aumentou de apenas três vezes.

Os resultados apresentados nos Quadros 22 e 31 concordam com as observações feitas por HORTON (20) com respeito à densidade: esta característica deve variar inversamente com o tamanho da área de drenagem, em -- igualdade das demais condições. Todavia, êsse autor advertiu que, sendo difícil manter constantes as outras condições, a densidade de drenagem poderia tanto aumentar como diminuir, ou ainda permanecer invariável.

STRAHLER (50), argumentando que a divisão do comprimento pela área produz um número com a dimensão do inverso do comprimento, admitiu que, a um aumento do valor numérico da densidade de drenagem deve corresponder uma diminuição proporcional no tamanho das áreas de drenagem. Contudo, examinando os dados apresentados nos Quadros 22 e 31 observa-se que o ribeirão Estiva, do qual foram consideradas duas áreas de drenagem, uma de 4ª e outra de 5ª ordem, constitui uma exceção: houve aumento na densi-

dade de drenagem e também na frequência de rios, além do esperado aumento na razão de textura.

Uma explicação plausível para êsse fato seria a de que não foi preservada a semelhança geométrica, pois as duas áreas diferem quanto à forma, como está indicado nos Quadros 16 e 26 - leque na de 4ª e oval na de 5ª ordem - e também quanto ao controle topográfico da drenagem: a área de 4ª ordem corresponde à cabeceira do ribeirão Estiva, onde o relêvo é mais acentuado e são mais numerosos os canais de drenagem.

Acreditamos que os princípios de semelhança geométrica de STRAHLER (50) e de semelhança de solos de FROST (18), seguidos neste trabalho para a seleção das bacias a comparar, embora difíceis de serem plenamente conseguidos, conforme foi discutido no item 5.1., concorrem para reduzir as variações desses fatores a um mínimo razoável e para dar relativa consistência aos resultados obtidos.

5.4.2. Natureza do solo

Os resultados obtidos evidenciaram grande influência da natureza do solo, fator ao qual ainda não foi dada a devida importância.

A maioria dos autores - dentre os quais LOBECK (22), VON ENGELN (56), SMITH (44), TATOR (52), SCHUMM (41), STRAHLER (49 e 50), RAY e FISCHER (38), MILLER e MILLER (28), RAY (37), RICCI e PETRI (39) - focalizou o desenvolvimento e as características das redes de drenagem considerando fatores como clima, relêvo ou forma de terreno, litologia, estrutura geológica e estágio do ciclo geomórfico.

Alguns autores como BELCHER (5), PARVIS (31), LUEDER (23), FROST (18), fizeram referência ao fator solo, porém num sentido mais amplo, como é comumente empregado em engenharia. As observações feitas geralmente dizem respeito à origem e natureza dos materiais não consolidados que recobrem as rochas e, portanto, referem-se mais propriamente aos materiais

de origem dos solos, segundo o ponto de vista pedológico. Como advertiu BURINGH (8), além da textura e do processo de deposição do material de -- origem, ao cientista de solo interessa saber a que grupo genético pertence um dado solo.

O acêrto desta observação ficou plenamente demonstrado pelos resultados obtidos nesta investigação e referentes às quatro séries de solos que se desenvolveram a partir de arenitos eólicos da formação Botucatu: materiais de textura semelhante e depositados pelos mesmo agente de transporte deram origem a solos diferentes, cujas diferenças se refletiram também na composição e nas características do padrão de drenagem, conforme se pode observar nos Quadros 52 a 57.

Êsses resultados confirmam as previsões de ZINKE (57) ao admitir que, para um dado tipo de rocha, se o solo derivado for relativamente impermeável, conduziria a maiores proporções de deflúvio e a altas densidades de drenagem.

Além de muito reduzido o número de trabalhos sôbre fotointerpretação de solos, é geralmente aceito que esta técnica é mais útil em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados (BOMBERGER e DILL, 6; BURINGH, 8). A complexidade da classificação dos solos e a insuficiência de detalhes da maioria dos levantamentos de solos realizados, são em grande parte responsáveis pela falta de precisão das correlações entre rêdes de drenagem e os solos sôbre os quais se desenvolveram.

Até certo ponto, os resultados obtidos concordam com as observações de HORTON (20) que deu ênfase às condições do solo, reconhecendo como fatores importantes no desenvolvimento de sistemas hidrográficos, a capacidade de infiltração do solo e a sua resistênciã à erosão; ôbviamente, o grau de manifestação dêstes atributos varia de uma unidade de solo para outra, em função do conjunto de propriedades que caracteriza cada unidade.

Os resultados concordam, em parte, com as observações de BELCHER

(5), PARVIS (31), LUEDER (23) e FROST (18), uma vez que êstes autores fizeram referência à capacidade de infiltração ou à relação infiltração-de-flúvio, bem como à resistência do solo ou da rocha à erosão. De certo modo, confirmam as previsões de DUNBAR (17) com relação às características peculiares do padrão de drenagem de certos solos latossólicos - neste estudo representados pela série Iracema.

Contudo, os autores citados tiraram conclusões de caráter geral, sem se aprofundarem em maiores detalhes, uma vez que o material de estudo não era pedològicamente bem definido.

O emprêgo de unidades de solos suficientemente detalhadas que distingue êste trabalho dos demais e que possibilitou o estabelecimento das correlações, reforça os conceitos emitidos por CLINE (11), com relação à mudança no modelo de solo, antes considerado como um "continuum" para o de uma "coleção de corpos naturais". Esta mudança de perspectiva do modelo de solo, focalizando as partes e não o todo, implicou numa definição clara e precisa das unidades básicas, permitindo a incorporação quantitativa de novos fatos, na proporção e medida de sua descoberta ou obtenção.

Esta foi a perspectiva considerada por RANZANI et al. (35 e 36) nos trabalhos de levantamento das cartas de solo utilizadas neste estudo e que possibilitaram a obtenção dos resultados e conclusões aqui apresentados.

* * *

6 - CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado e com os materiais e métodos empregados, os dados obtidos, analisados e interpretados permitiram que se chegasse às conclusões apresentadas a seguir.

6.1. Série Anhumas

Dentre os solos originários de arenitos Botucatu, esta série -- foi a que apresentou:

- a) a maior razão de ramificação e, portanto, rês de drenagem com maior número de segmentos de rios, para bacias de drenagem de uma dada ordem de grandeza;
- b) a menor razão de comprimentos médios de segmentos de rios, se bem que, neste particular, não tenha diferido significativamente da série Ibitiruna;
- c) o valor mais elevado de razão de textura média, sendo a única série dentre as estudadas que pôde ser incluída na classe de textura topográfica fina;
- d) o valor médio de derividade de drenagem mais elevado, determinado pela baixa permeabilidade e alta erodibilidade resultantes da natureza do perfil - solo raso sôbre rocha consolidada;

- e) padrão de drenagem de tipo dendrítico ligeiramente orientado e com certo grau de controle, concordando perfeitamente com o fator responsável - solo raso sobre arenito mostrando estratificação diagonal ou cruzada;
- f) aumento da área da bacia hidrográfica e modificações na composição e nas características quantitativas do padrão, quando aumentou a ordem de grandeza da rede de drenagem.

6.2. Série Ibitiruna

Estes solos apresentaram:

- a) razão de ramificação relativamente alta, porém inferior à da série Anhumas tendendo, pois, a desenvolver redes de drenagem menos ramificadas;
- b) razão de comprimento e comprimentos médios de segmentos de rios praticamente iguais aos da série Anhumas;
- c) razão de textura média relativamente elevada, próxima do limite superior correspondente à classe de textura topográfica média;
- d) valor médio de densidade de drenagem relativamente alto, devido à presença de horizonte B textural no perfil de solo;
- e) padrão de drenagem de tipo dendrítico, em geral não orientado e com baixo grau de controle;
- f) apesar de se desenvolverem sobre mantos relativamente espessos estes solos, devido ao mecanismo de podsolização a que estão sujeitos, mostraram comportamento hidrológico semelhante, sob certos aspectos, aos solos da série Anhumas.

6.3. Séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho

Estas duas séries de solo apresentaram:

- a) a menor razão de ramificação e, portanto, redes de drenagem com

- menor número de segmentos de rios, para bacias de uma dada ordem de grandeza;
- b) a maior razão de comprimento e os maiores comprimentos médios de segmentos de rios, dentre os solos originários de arenitos Botucatu;
 - c) em comparação com solos da série Iratema, provenientes de eruptivas básicas, a razão de comprimento foi um pouco maior, porém os comprimentos médios de segmentos de rios das diversas ordens, foram sensivelmente menores;
 - d) os valores mais baixos de razão de textura média, incluindo-se ambas na classe de textura topográfica grosseira; neste particular, o menor valor encontrado coube à série Ribeirão Claro;
 - e) os valores médios de densidade de drenagem mais baixos, especialmente na série Ribeirão Claro;
 - f) padrão de drenagem de tipo dendrítico, não orientado e não controlado;
 - g) levando em conta as conclusões (a), (b), (d) e (e), pode-se inferir que estes solos, especialmente aqueles da série Ribeirão Claro, desempenham papel importante no regime hidrológico de áreas da formação Botucatu com distribuição semelhante de solos: a sua alta permeabilidade favorece a infiltração profunda durante a estação chuvosa, abastecendo os aquíferos que alimentam as nascentes, as quais se localizam nas posições mais baixas do relêvo, geralmente ocupadas por solos da série Anhumas.

6.4. Série Iracema

Estes solos apresentaram:

- a) razão de ramificação relativamente baixa, porém maior do que nas séries Ribeirão Claro e Paredão Vermelho;

- b) razão de comprimento relativamente alta e os maiores comprimentos médios de segmentos de rios;
- c) razão de textura média relativamente baixa, próxima do limite superior correspondente à classe de textura topográfica grosseira;
- d) valor médio de densidade de drenagem relativamente baixo;
- e) padrão de drenagem de tipo paralelo ou subparalelo, pouco integrado, com alguns trechos de rios arqueados, indicando controle estrutural - deformações causadas nos sedimentos permianos pela presença de corpos intrusivos de diabásio;
- f) tendo em conta as conclusões (a), (b), (c) e (d), bem como o baixo grau de integração do padrão de drenagem, pode-se inferir que estes solos, apesar de tipicamente argilosos, possuem permeabilidade alta devida à estrutura porosa que apresentam ao longo do perfil.

6.5. Conclusões gerais

A comparação dos resultados obtidos das cinco séries de solo estudadas possibilitou que se tirassem as seguintes conclusões gerais:

- a) a composição e as características do padrão de drenagem variaram, em primeiro lugar, com a natureza do solo e, depois, com a posição topográfica e com a natureza e profundidade do substrato rochoso;
- b) a análise e a interpretação do padrão de drenagem forneceram indícios suficientes para a distinção entre os solos estudados; contudo, para a realização de trabalhos de fotointerpretação aplicada a solos, os outros elementos do padrão aerofotográfico também deverão ser considerados;
- c) dentre os elementos da drenagem que permitiram fazer a distinção entre os solos estudados, revelaram-se parâmetros úteis: a razão

- de ramificação, a razão de comprimento e o comprimento médio dos segmentos de rios das diversas ordens, a razão de textura média, a densidade de drenagem determinada em amostras circulares e, em menor extensão, o tipo e certos aspectos do padrão de drenagem;
- d) observou-se uma correlação linear altamente significativa entre a densidade de drenagem determinada em amostras circulares e a razão de textura média;
- e) a obtenção destes resultados foi possível devido à utilização de unidades de solo suficientemente detalhadas para o estabelecimento de correlações e para o emprêgo da metodologia de trabalho utilizada.

* * *

7 - RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de estudar, com o auxílio de fotografias aéreas, a significância das diferenças na composição e nas características do padrão de drenagem de alguns solos da região de Piracicaba, identificados e mapeados ao nível de série.

A revisão da literatura refere-se principalmente à análise e interpretação da drenagem de solos e rochas de regiões de climas temperados, sendo mais frequentes as referências sobre geologia e geomorfologia.

Foram escolhidas cinco unidades de solo com gênese, morfologia e propriedades diferentes, representando duas formações geológicas: quatro unidades são originárias de arenitos eólicos da formação Botucatu e uma, de eruptivas básicas da formação Serra Geral, constituindo a reunião destas duas formações o grupo São Bento.

As áreas que serviram de base para os estudos se situam na Depressão Paleozóica, sub-região Médio Tietê. O clima dessas áreas é do tipo mesotérmico, Cwa, denominado tropical de altitude.

Para representar cada unidade de solo foram selecionadas três bacias hidrográficas de 4ª ordem, procurando obedecer-se aos princípios de semelhança geométrica e de semelhança de solos. O efeito da ordem de grandeza foi estudado escolhendo-se três bacias de 5ª ordem, representan

do solos da série Anhumas.

A comparação dos resultados obtidos das cinco séries de solos permitiu que se tirassem as seguintes conclusões gerais:

- a) a composição e as características do padrão de drenagem variaram, em primeiro lugar, com a natureza do solo e, depois, com a posição topográfica e com a natureza e profundidade do substrato rochoso;
- b) a análise e a interpretação do padrão de drenagem forneceram indícios suficientes para a distinção entre os solos estudados; contudo, para a realização de trabalhos de fotointerpretação aplicada a solos, os outros elementos do padrão aerofotográfico também deverão ser considerados;
- c) dentre os elementos da drenagem que permitiram fazer a distinção entre os solos, revelaram-se parâmetros úteis: a razão de ramificação, a razão de comprimento e o comprimento médio dos segmentos de rios das diversas ordens, a razão de textura média, a densidade de drenagem determinada em amostras circulares e, em menor extensão, o tipo e certos aspectos descritivos do padrão de drenagem;
- d) observou-se uma correlação linear altamente significativa entre a densidade de drenagem determinada em amostras circulares e a razão de textura média;
- e) constatou-se, em solos da série Anhumas, aumento da área da bacia hidrográfica e modificações na composição e nas características quantitativas do padrão, quando aumentou a ordem de ramificação da rede de drenagem.
- f) a obtenção destes resultados foi possível devido à utilização de unidades de solos suficientemente homogêneas para o estabelecimento de correlação e para o emprêgo da metodologia de trabalho utilizada.

8 - SUMMARY

The scope of this work was to study, by means of aerial photographs, the significance of differences in composition and general characteristics of the drainage patterns of some of the soils occurring in the Piracicaba municipality identified and mapped at the series level.

The review of the literature is concerned mainly with the analysis and interpretation of soil drainage and rock formations occurring in temperate regions. References to works on geology and geomorphology are more frequent reflecting their predominance in the literature.

Five soil series differing in their genesis, morphology and properties were selected. These represented two geological formations. Four of the soil series originate from Botucatu formation and one from basic eruptives of the Serra Geral formation. These two geological formations comprise the São Bento group.

The areas utilized for this study are located in the Paleozoic Depression, in the sub-region Median Tietê. The climate in these areas is of the mesothermic type, Cwa, designated tropical of altitude.

Three drainage basins of the 4th. order were selected to represent each of the soil series. The criteria for selecting these

basins were similar in soil and geometry. The effect of order of magnitude was studied by means of three drainage basins of the 5th order representing soils of the Anhumas series.

The results obtained with the five soil series when compared and analysed led to the following conclusions:

- a) the composition and characteristics of the drainage patterns varied with soil nature, topographic position and the nature and depth of the bedrock;
- b) the analysis and interpretation of the drainage patterns yielded sufficient information to distinguish between the soils studied. It is recognized, however, that for photointerpretation studies on soils the various elements of the aerophotographic pattern should be considered;
- c) of the various drainage elements used to distinguish between soils those considered to be the better parameters were branching ratio, length ratio, average length of stream segments in the various orders, average texture ratio, drainage density determined from circular samples and to a lesser degree the type and certain descriptive aspects of the drainage pattern;
- d) a highly significant linear correlation was found between drainage density determined from circular samples and the average texture ratio;
- e) soils belonging to Anhumas series showed an increase in the drainage basin area and modifications in composition and quantitative characteristics of the drainage patterns associated with an increase in the order of branching in the drainage network;
- f) the presentation of these results was made possible because homogeneous soil units were used in determining the correlations and in developing the methodology.

9 - LITERATURA CITADA

1. ALMEIDA, F.M.M. e O. BARBOSA - Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Divisão de Geologia e Mineralogia. 1953. 96 p. (Boletim nº 143).
2. _____ - Cartas geológicas das quadriculas de Piracicaba (nº 2762) e de Rio Claro (nº 2731). Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Divisão de Geologia e Mineralogia. 1952
3. ANDERSON, H.W. - Relating sediment yield to watershed variables. Trans. Amer. Geophys. Union, 38: 921 - 924. 1957.
4. BASTOS, S.A. - Soils mapping and aerial photography in soils conservation. In I Congresso Pan Americano de Conservação do Solo. São Paulo. 1966. 13p. (mimeografado).
5. BELCHER, D.J. - The engineering significance of soil patterns. Photogram. Eng., 11: 115 - 148. 1945.

6. BOMBERGER, E.H. and H.W. DILL (JR.) - Photo interpretation in agriculture. In Manual of photographic interpretation, Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 561-632. (Chapter 11).
7. BURINGH, P. and W.J. VAN LIÈRE - Example of a reconnaissance soil map produced by the pedological analysis of aerial photographs, followed by study of soils in the field. Leopoldville, Trans. Vth Intern. Cong. Soil Sci. 1954. Vol. IV: 338-342.
8. BURINGH, P. - The applications of aerial photographs in soil surveys. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 633 - 666. (Appendix A to chapter 11).
9. GAMARGO, A.P. e A.A. ORTOLANI - Clima das zonas canavieiras do Brasil. In Cultura e adubação da cana-de-açúcar. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa. 1964. p. 121 - 138.
10. Climatologia Agrícola - Carta climática do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico. 1963.
11. CLINE, M.G. - The changing model of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25: 442 - 446. 1961.
12. COLWELL, R.N. - Photographic interpretation for civil purposes. In Manual of Photogrammetry. Washington, American Society of Photogrammetry. 1952. Sec. Ed., p. 535 - 602.
13. COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. 1964. 634 p. (Boletim nº 12).

14. COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. - Carta dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, C.N.E.P.A. - S.N.P.A. 1960.
15. CRESWICK, W.J. and W.H. ROCKWELL - Applications of aerial-photographic techniques to agricultural surveys. In Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, McGraw-Hill Book Co., Inc. 1959. p. 373-385.
16. CURTIS, L.F., J.C. DOORNKAMP and K.J. GREGORY - The description of relief in field studies of soils. J. Soil Sci., 16: 16-30. 1965.
17. DUNBAR, R.A. - Problems of interpretation in tropical regions. In Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, Mc Graw-Hill Book Co., Inc. 1959. p. 426 - 427.
18. FROST, R.E. - Photointerpretation of soils. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 343-402 (Chapter 5).
19. GUNN, R.H. - The use of aerial photography in soil survey and mapping in the Sudan. Soils and Fertilizers, XVIII:104-106. 1955.
20. HORTON, R.E. - Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bul. Geol. Soc. Amer., 56: 275 - 370. 1945.
21. HOWE, R.H.L. - The application of aerial photographic interpretation to the investigation of hidrologic problems. Photogram. Eng., 26: 85 - 95. 1960.

22. LOBEK, A.K. - Geomorphology: an introduction to the study of landscapes. New York, Mc Graw-Hill Book Co., Inc. 1939. 731 p.
23. LUEDER, D.R. - Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, Mc Graw-Hill Book Co., Inc. 1959. 462 p.
24. MAGNANINI, R.L.C. - Observações sôbre o clima da Bacia Paraná-Uruguai. In Condições geográficas e aspectos geoeconômicos da Bacia Paraná-Uruguai. São Paulo, Associação dos Geógrafos Brasileiros, Vol. I: 103 - 110. 1955.
25. MAXWELL, J.C. - The bifurcation ratio in Horton's law of stream numbers (Abstract). Trans. Amer. Geophys. Union, 36: 520. 1955.
26. MEZZALIRA, S. - Descrição Geológica e Geográfica das fôlhas de Piracicaba e São Carlos, S.P. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 1965. 41 p. (Boletim nº 43).
27. Instituto Geográfico e Geológico - Fôlha geológica de Piracicaba. São Paulo, edição de 1966.
28. MILLER, V.C. and C.F. MILLER - Photogeology. New York, McGraw-Hill Book Co., Inc. 1961. 248 p.
29. NAMI, A.J. e Z. SLEPETYS - Mosaicos aerofotográficos. Revista de Engenharia Fotogramétrica, São Paulo. Ns 2, 3, 4 e 5, 1953. Ns 6, 1954.
30. PARR, J.F. and A.R. BERTRAND - Water infiltration into soils. Adv. Agron., 12: 311 - 363. 1960.
31. PARVIS, M. - Drainage pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks. Photogram.Eng.,16:387-409.1950.

32. PASTO, F.K. - Soil mapping by stereoscopic interpretation of air-photos. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 17: 135-138. 1953.
33. QUACKENBUSH (JR), R.S. - Development of photo interpretation. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 1 - 18 (Chapter 1).
34. RABBEN, E.L. - Fundamentals of photo interpretation. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 99-168 (Chapter 3).
35. RANZANI, G., O. FREIRE e T. KINJO - Carta de solos do município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, E.S.A. "Luiz de Queiroz", U.S.P. - Piracicaba, 1966. 85 p. (mimeog.)
36. _____, T. KINJO, O. FREIRE, G.V. FRANÇA, Z.Z. MARCOS e J.L.I. DEMATTÊ - Carta de solos do município de Iracemápolis. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, julho de 1967.
37. RAY, R.G. - Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológicos. Traduzido por Jesuino Felicissimo Jr. (U.S. Geological Survey professional paper 373, 1960). São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 1963. 88 p., 75 fotografamas.
38. _____ and W.A. FISCHER - Quantitative photography: a geologic research tool. Photogram. Eng., 26: 143-150. 1960.
39. RICCI, M. e S. PETRI - Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Cia. Editôra Nacional. 1965. 226 p.
40. ROURKE, J.D. and M.E. AUSTIN - The use of air-photos for soil classification and mapping in the field. Reprinted from Photogrammetric Engineering, December. 1951. p. 738-747.

41. SCHUMM, S.A. - Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bul. Geol. Soc. Amer.*, 67: 597-646. 1956.
42. SIMONSON, R.W. - Use of aerial photographs in soil surveys. *Photogram. Eng.*; 16: 308-315. 1950.
43. SMITH, H.T.U. - Aerial photographs and their applications. New York, D. Appleton - Century Co. 1943. 372 p.
44. SMITH, K.G. - Standards for grading texture of erosional topography. *Amer. J. Sci.*, 248: 655-668. 1950.
45. SMITH, G.D. and A.R. AANDAHL - Soil classification and surveys. In *Soil*. Washington, U.S. Dept. Agric. 1957. p. 396-400. (Yearbook of agriculture).
46. SMITH, D.D. and W.H. WISCHMEIER - Rainfall erosion. *Adv. Agron.*, 14: 109-148. 1962.
47. SOIL SURVEY STAFF - Soil Survey Manual. Washington. U.S. Dept. Agric. 1951. 503 p. (Handbook no 18).
48. _____ - Soil classification: a comprehensive system, 7th. approximation. Washington, U.S. Dept. Agric. 1960. 265 p.
49. STRAHLER, A.N. - Hypsometric (area - altitude) analysis erosional topography. *Bul. Geol. Soc. Amer.*, 63: 1117 - 1142, 1952.
50. _____ - Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 38: 913 - 920. 1957.
51. SUMMERSON, C.H. - A philosophy for photo interpreters. *Photogram. Eng.*, 20: 396 - 397. 1954.

52. TATOR, B.A. - Drainage anomalies in Coastal Plains Regions.
Photogram. Eng., 20: 412-417. 1954.
53. URBAN, J.B. - Geologic and hydrologic significance of springs and seeps in Eastern Ohio. J. Soil & Water Cons., 20: 178-179.
1965.
54. VAN DOREN, C.A. - Soil and water research in a area of intensive agriculture. In I Congresso Pan Americano de Conservação do Solo. São Paulo. 1966. 20 p. (mimeog.)
55. VERA, L. - Tecnicas de inventário de la tierra agrícola: el proyecto aerofotogramétrico OEA/Chile. Washington, Unión Panamericana. 1964. 136 p. (Manuales técnicos, X).
56. VON ENGELN, O.D. - Geomorphology: systematical and regional. New York, The Mc Millan Company. 1942. 655 p.
57. ZINKE, P.J. - Photo interpretation in hidrology and watershed management. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 539-560 (Chapter 10).

* * *