

**FOTOINTERPRETAÇÃO DE BACIAS E DE REDES DE DRENAGEM  
DE TRÊS SÉRIES DE SOLOS DA FAZENDA IPANEMA  
MUNICÍPIO DE ARAÇOIABA DA SERRA ( S. P. )**

**HÉRMES FADEL**  
eng.<sup>o</sup> agrônomo

**GERALDO VICTORINO DE FRANÇA**  
orientador

Tese apresentada à Escola Superior  
de Agricultura "Luiz de Queiroz" da  
Universidade de São Paulo, para obtenção  
do título de Mestre.

**PIRACICABA**  
**ESTADO DE SÃO PAULO**  
**1972**

À memória de minha mãe

Ao meu pai

À minha espos

À minha filha

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

O autor expressa seus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

Ao Prof. Dr. Geraldo Victorino de França, pela orientação e colaboração prestadas na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Luiz Ioriatti Demattê, pelas sugestões e incentivos oferecidos.

Ao Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos, pela tradução do texto para o inglês.

Ao Prof. Dr. Guido Ranzani, pelas facilidades oferecidas no uso dos equipamentos necessários para o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos demais docentes do Departamento de Solos e Geologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", pelo apoio e conselhos proporcionados.

Ao Prof. Dr. Delmar Antonio Bandiera Marchetti, do Departamento de Engenharia Rural da E.S.A. "Luiz de Queiroz", pelo estímulo e conselhos oferecidos.

Ao Mestre em Solos e Nutrição de Plantas Antonio Elísio Meneses Lobo, pela ajuda prestada no desenvolvimento dos cálculos necessários.

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão de Bolsa de Estudo de Pós-Graduação, possibilitando a realização do presente trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Geologia e Centro de Estudos de Solos da ESALQ, pela constante ajuda e colaboração.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que o presente trabalho pudesse ser realizado.

# C O N T E Ú D O

Página

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 redes de drenagem</u> . . . . .	6
2.3 - <u>Padrão de drenagem - tipos, características, significado</u> . . . . .	15
2.4 - <u>Composição e características do padrão de drenagem e suas relações com solos</u> . . . . .	19
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u> . . . . .	21
3.1 - <u>Material</u> . . . . .	21
3.1.1 - Descrição geral da área estudada . . . . .	21
3.1.2 - Solos . . . . .	22
3.1.2.1 - Série Varnhagen . . . . .	23
3.1.2.2 - Série Araçoiaba . . . . .	24
3.1.2.3 - Série Realengo . . . . .	24
3.1.3 - Fotografias aéreas . . . . .	25
3.1.4 - Estereoscópio . . . . .	25
3.1.5 - Equipamento de medição e desenho . . . . .	25
3.2 - <u>Métodos</u> . . . . .	26
3.2.1 - Seleção das áreas de estudo . . . . .	26
3.2.2 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem . . . . .	26
3.2.3 - Análise das bacias hidrográficas . . . . .	27
3.2.4 - Análise da rede de drenagem . . . . .	28
3.2.4.1 - Composição da rede de drenagem . . . . .	29
3.2.4.2 - Características do padrão de drenagem . . . . .	30
4 - <u>RESULTADOS</u> . . . . .	32
4.1 - <u>Série Varnhagen</u> . . . . .	32
4.1.1 - Características das bacias hidrográficas . . . . .	32

4.1.2 - Características das redes de drenagem . . . . .	34
4.1.2.1 - Composição da rede de drenagem . . . . .	34
4.1.2.2 - Padrão de drenagem . . . . .	37
4.2 - <u>Série Araçoiaba</u> . . . . .	39
4.2.1 - Características das bacias hidrográficas . . . . .	41
4.2.2 - Características das redes de drenagem . . . . .	42
4.2.2.1 - Composição da rede de drenagem . . . . .	42
4.2.2.2 - Padrão de drenagem . . . . .	45
4.3 - <u>Série Realengo</u> . . . . .	49
4.3.1 - Características das bacias hidrográficas . . . . .	49
4.3.2 - Características das redes de drenagem . . . . .	51
4.3.2.1 - Composição da rede de drenagem . . . . .	51
4.3.2.2 - Padrão de Drenagem . . . . .	55
4.4 - <u>Comparação entre solos</u> . . . . .	56
4.4.1 - Razão de ramificação . . . . .	58
4.4.2 - Comprimento médio dos segmentos de rios . . . . .	58
4.4.3 - Razão de comprimento . . . . .	60
4.4.4 - Razão de textura média . . . . .	61
4.4.5 - Razão de textura média e textura topográfica . . . . .	62
4.4.6 - Densidade de drenagem determinada em amostras circulares . . . . .	62
4.4.7 - Relação entre razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares . . . . .	63
4.4.8 - Relação entre características quantitativas determinadas em bacias hidrográficas . . . . .	63
5 - <u>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u> . . . . .	67
5.1 - <u>Limitações da análise de bacias hidrográficas</u> . . . . .	67
5.2 - <u>Composição das redes de drenagem</u> . . . . .	68
5.2.1 - Ordens de ramificação de rios . . . . .	69
5.2.2 - Relação entre número de segmentos de rios e ordem de ramificação . . . . .	70
5.2.3 - Razão de ramificação . . . . .	70
5.2.4 - Relação entre comprimento e ordens de rios . . . . .	72

5.3 - <u>Padrão de drenagem</u> . . . . .	74
5.3.1 - Características qualitativas do padrão de drenagem . . . . .	75
5.3.2 - Características quantitativas do padrão de drenagem . . . . .	76
5.3.2.1 - Características baseadas no estudo de bacias hidrográficas . . . . .	76
5.3.2.2 - Razão de textura média e densidade de drenagem determinada em amostras circulares . . . . .	78
5.3.2.3 - Relação entre densidade de drenagem e razão de textura . . . . .	78
6 - <u>CONCLUSÕES</u> . . . . .	81
6.1 - <u>Série Varnhagen</u> . . . . .	81
6.2 - <u>Série Araçoiaba</u> . . . . .	82
6.3 - <u>Série Realengo</u> . . . . .	83
6.4 - <u>Conclusões gerais</u> . . . . .	83
7 - <u>RESUMO</u> . . . . .	85
8 - <u>SUMMARY</u> . . . . .	87
9 - <u>LITERATURA CITADA</u> . . . . .	89

## 1 - INTRODUÇÃO

A necessidade e importância do levantamento de solos de uma determinada região, é mundialmente reconhecida. Uma avaliação das possibilidades e limitações para a exploração agrícola, o estabelecimento de normas adequadas para o uso e manejo e a condução de pesquisas relacionadas ao comportamento de solos, não podem dispensar um prévio levantamento de solos.

O grau de detalhamento taxonômico e/ou cartográfico fornecido por um levantamento de solos, nos dá uma dimensão da sua utilidade prática. Presentemente, a execução de levantamento de solos combinando fotointerpretação com controle de campo, é um método muito difundido; isto se explica tanto pela riqueza de detalhes que as fotografias aéreas apresentam, como também pela facilidade na condução dos trabalhos.

O uso de fotografias aéreas em levantamento de solos, baseia-se no estabelecimento de correlações entre determinados aspectos do terreno e as características de sua imagem fotográfica.

Este trabalho visa contribuir para o estudo dos critérios aplicáveis a levantamento de solos pelo método de fotointerpretação e controle de campo e tem como objetivos principais:

- a) estudar as correlações entre características da rede de drenagem e de bacias hidrográficas em áreas representativas de algumas unidades de solos que ocorrem na Fazenda Ipanema, e a natureza e propriedades dos solos;

- b) analisar e verificar a significância de alguns elementos do padrão de drenagem observáveis nas fotografias aéreas, em termos de diferença entre solos, dando atenção especial às características mensuráveis.

Destá maneira espera-se fornecer alguma contribuição para o estabelecimento de critérios que possam permitir a identificação e mapeamento de solos semelhantes por fotointerpretação, em outras áreas de ocorrência.



## 2 - REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 - Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos

De acordo com SIMONSON (31) e ROURKE e AUSTIN (28), foram Bushnell e seus colaboradores quem usaram pela primeira vez, em 1929, fotografias aéreas em mapeamento de solos. Em virtude da grande riqueza de detalhes que as mesmas registravam, logo passaram a ser usadas pelos cientistas do solo como fonte adicional de informações.

SIMONSON (31) e Lueder (citação de RAY, 25), consideram que nas décadas de 1930 e 1940, a utilização das fotografias aéreas foi um dos maiores avanços nos métodos de levantamento de solos.

COLWELL (6) define fotointerpretação como o ato de examinar imagens fotográficas de objetos, com o propósito de identificá-los e avaliar a sua significância.

SUMMERSON (36) define interpretação como a previsão do que não pode realmente ser visto. Esta definição se ajusta perfeitamente à interpretação fotográfica de solos, visto que o perfil do solo não pode realmente ser notado nas fotografias aéreas mas somente a sua superfície e, em geral, esta ainda aparece coberta pela vegetação. Contudo, vários aspectos do terreno como formas topográficas, padrões e características de drenagem, de vegetação, de erosão, uso e ainda a tonalidade fotográfica, podem indicar diferenças entre solos e o seu padrão de distribuição.

A forma fisiográfica, segundo alguns autores como Schultz e Cleaves, citados por RAY (25), é tida como o elemento - mais importante para fotointerpretação de solos, uma vez que esta se baseia, em grande parte, nas afinidades entre solos e aspectos geomórficos. Entretanto, outros elementos como as características de drenagem, de relevo e de erosão, fornecem informações igualmente importantes.

Segundo COLWELL (6), a fotointerpretação se apoia no princípio da convergência de evidências, segundo o qual, se vários elementos de reconhecimento conduzem a uma determinada conclusão, haverá grandes probabilidades desta ser correta.

LUEDER (17) afirma que, depois da forma fisiográfica, o melhor indicador das condições do terreno à disposição do fotointerprete, é provavelmente, a drenagem superficial. Entretanto, advertiu que, além de conhecimentos teóricos sobre fotointerpretação, é necessário muita experiência no processo de correlacionar detalhes do terreno com sua imagem fotográfica, para poder interpretar corretamente a significância do padrão de drenagem.

Segundo RABBEN (23), RAY (25), RICCI e PETRI (27), a fotointerpretação é considerada geralmente, como um processo em duas etapas. A primeira, consta da observação, coleta de dados, - medição e identificação dos aspectos registrados nas fotografias - aéreas. Na segunda etapa, incluem-se os processos mentais dedutivos e/ou indutivos, fazendo uso da informação obtida na solução de um problema. Usando este processo, FRANÇA (10) obteve sucesso na avaliação da significância das características de redes de drenagem, na diferenciação entre solos na região de Piracicaba. De maneira análoga, MARCHETTI (18) conseguiu estabelecer diferenças entre solos analisando características de redes de drenagem e também atributos do relevo.

Embora a fotointerpretação venha sendo usada em escala crescente em trabalhos de levantamento de solos, os autores não concordam entre si no que diz respeito à quantidade de informações que esta técnica fornece. A maioria dos autores, entre os quais se encontram BOMBERGER e DILL (3), BURINGH (4), CRESWICK e ROCKWELL (8), ROURKE e AUSTIN (28), GOOSEN (13), reconhecem a grande utili-

dade das fotografias aéreas no traçado mais exato dos limites das unidades de solos e também no maior rendimento dos mapeamentos, embora não possam substituir completamente os trabalhos de campo. De uma maneira geral, todos eles reconhecem a maior utilidade da foto interpretação em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados.

GOOSEN (13) descreve e comenta a interpretação de fotografias aéreas e sua relativa importância nos três tipos de levantamentos de solos (reconhecimento, semi-detalhado e detalhado).

BURINGH (4) considera três etapas na realização de um levantamento de solos. As duas primeiras são: o estudo dos solos no laboratório e no campo e a classificação dos mesmos em unidades taxonômicas e/ou de mapeamento. A terceira etapa consiste em se fazer o mapeamento da distribuição das unidades de solo, sendo nesta etapa que as fotografias aéreas desempenham papel de alta importância.

Segundo RABBEN (23), a grande utilidade das fotografias aéreas pode ser explicada por três fatos fundamentais: (a) cada fotografia aérea cobre uma área de aproximadamente  $33 \text{ km}^2$  na escala de 1:25.000 e aproximadamente  $20 \text{ km}^2$  na escala de 1:20.000; (b) os pares estereoscópicos possibilitam a visualização de imagens tridimensionais do terreno e dos objetos que nele se encontram; (c) as imagens fotográficas são representações permanentes dos objetos originais, permitindo ao fotointérprete um exame cuidadoso e detalhado da área, no momento em que ele deseja, em condições de trabalho mais cômodas e favoráveis do que aquelas normalmente conseguidas no campo.

FROST (11) afirma que a foto interpretação de solos pode ser conduzida baseada em três princípios básicos: (a) solos semelhantes aparecem nas fotografias aéreas com padrões semelhantes; (b) solos diferentes aparecem com padrões diferentes; (c) desde que as características da imagem fotográfica tenham sido correlacionadas com as propriedades do solo observadas no campo e no laboratório, várias propriedades importantes de solos semelhantes podem ser deduzidas por meio de foto interpretação.

De acordo com RAY e FISCHER (26), a medição de dados experimentais é uma etapa fundamental da pesquisa em todos os campos da ciência. Segundo estes autores, dentre as várias fontes de informação quantitativa, a fotografia aérea é uma dos principais instrumentos de pesquisas, particularmente importante devido à riqueza de dados dimensionáveis que elas podem fornecer ao fotointérprete, dos diferentes aspectos da superfície do solo. Ainda segundo estes autores, a fotografia aérea vertical supera os mapas topográficos, como fonte de informação devido à quantidade de detalhes nela contida, embora tenham os mapas topográficos servido de base para a maioria dos estudos de geomorfologia quantitativa.

HOWE (15), discutindo alguns aspectos da aplicação e interpretação de fotografias aéreas na investigação de problemas hidrológicos, assegura ser ela de grande utilidade no estudo dos problemas de água superficial e subterrânea. Dentre os primeiros problemas, cita: o estudo dos padrões de drenagem superficial, avaliação do potencial hidrográfico de uma determinada bacia e a preparação de mapas básicos de drenagem.

ZINKE (39) demonstra, de maneira semelhante, a utilidade da interpretação aerofotográfica em estudos de hidrologia e manejo de bacias hidrográficas.

## 2.2 - Estudos de bacias hidrográficas e da composição de redes de drenagem

Há muitos anos, os pesquisadores em ciências da terra, principalmente geólogos e geomorfólogos, mostraram interesse em desenvolver estudos sobre as bacias hidrográficas e as redes de drenagem. Mais recentemente, os sistemas fluviais têm sido objeto de estudos por parte de outros pesquisadores como: hidrólogos, engenheiros de estradas e pedólogos, os quais todavia, conduziram seus estudos para uma linha puramente descritiva, uma vez que seus principais objetivos eram descrever as formas do relevo atual ou então identificar a natureza dos solos ou das rochas subjacentes. Como resultados destes estudos, padrões de drenagem foram descritos e classificados, procurando sempre estabelecer uma relação entre eles e a natureza dos solos e dos substratos rochosos e/ou a presença de estruturas geológicas.

Segundo a lei das junções concordantes de Playfair citado por VON ENGELN (38), todo rio se compõe 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 possuem um ajustamento às suas declividades, de maneira que nenhum deles se une ao vale principal em um nível nem muito alto, nem muito baixo. Esta afirmativa de Playfair tem um carater meramente descritivo. Coube a HORTON (14) em 1945, fazer a interpretação desta lei em bases quantitativas, seguindo uma aproximação hidrofísica em que considerou as relações defluvio-infiltração e os processos erosivos provocados pelas águas correntes; estabeleceu leis fundamentais onde correlaciona o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica.

Gravelius, citado por HORTON (14), foi quem estabeleceu em 1914, o sistema europeu de classificação de rios em ordens. Segundo este sistema, o rio principal ou tronco é designado como o de 1ª ordem e seus tributários imediatos como de 2ª ordem e assim sucessivamente. Por este sistema de classificação, aos tributários menores, não ramificados, era atribuída a ordem mais elevada. HORTON (14) inverteu esta notação, considerando os tributários menores e não ramificados como sendo de 1ª ordem, atribuindo ao rio principal a ordem mais elevada. Isto trouxe grandes vantagens e facilidades na análise e comparação das redes de drenagem, visto que somente são comparáveis os elementos de mesma ordem de ramificação.

Vários pesquisadores adotaram este sistema, dentre eles STRAHLER (35), SCHUMM (29), MAXWELL (19), Coates - citado por STRAHLER (35), CURTIS et al. (9), FRANÇA (10) e MARCHETTI (18).

HORTON (14) propôs a expressão "composição da rede de drenagem" para indicar os números e comprimentos de rios e tributários de diferentes classes ou ordens, independentemente do padrão; segundo ele, nem o padrão nem a densidade de drenagem, separadamente ou combinados, são suficientemente bons para uma caracterização perfeita da rede hidrográfica de uma determinada bacia de drenagem. Com os mesmos comprimentos e números de rios, o padrão de drenagem pode sofrer uma variação muito grande no tipo, podendo haver várias

combinações de ordens, números e comprimentos de rios que darão valores de densidade de drenagem muito próximos, ou podem existir - ainda tipos semelhantes de padrões de drenagem com densidades muito diferentes.

HORTON (14) afirma que a composição da rede de drenagem tem alto grau de significância hidrológica, enquanto o padrão isolado tem pouca ou nenhuma significância; contudo reconhece que, como indicador de controle geológico, o padrão de drenagem tem grande significado.

FRANÇA (10) obteve bons resultados em seu estudo sobre a significância das diferenças na composição e características do padrão de drenagem de cinco séries de solos da região de Piracicaba, comprovando as afirmações de HORTON (14).

A lei dos números de rios de HORTON (14) expressa a relação entre o número de rios de cada ordem e as ordens de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, onde a razão de ramificação é a base desta série.

A lei dos comprimentos de rios também de HORTON (14), é expressa pela relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e as ordens de ramificação, agora como uma série geométrica direta, onde o primeiro termo da série é o comprimento médio dos rios de 1ª ordem.

Segundo MAXWELL (19), a regressão linear dos logaritmos dos números de rios de cada ordem (ordenadas) sobre as ordens de rios (abscissas) resulta numa linha reta com pequena dispersão. A equação linear é a seguinte:

$$\log N_w = a - bw$$

onde  $N_w$  é o número de segmentos de rios de uma dada ordem e  $w$  é a ordem de segmentos de rios.

MAXWELL (19) propôs ainda, esta outra equação:

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

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

De maneira análoga, STRAHLER (35) obteve uma regressão logarítmica expressa pelas equações:

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

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

as quais relacionam os logaritmos dos comprimentos totais de rios às ordens de rios, onde  $w$  é a ordem de segmentos de rios e  $Lw$ , a soma dos comprimentos de rios de uma dada ordem.

FRANÇA (10) encontrou uma regressão exponencial, como medida da variação apresentada pelos comprimentos de rios das várias ordens, a qual é expressa pelas equações:

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

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

Na equação de STRAHLER (35), a inclinação  $b$  da linha de regressão é o expoente em uma função exponencial que relaciona as somas dos comprimentos de rios às ordens de rios, sendo que este autor encontrou para os dados combinados de seis bacias de 4ª ordem, um valor para  $b = 1,67$ .

Coates, citado por STRAHLER (35), encontrou valores variando de 4,0 a 5,1 para razões de ramificações de rios de 1ª para 2ª ordem; e valores variando de 2,8 a 4,9 para razões de ramificações de rios de 2ª para 3ª ordem. Tomando por base os dados acumulados, este autor encontrou um valor médio de 3,52 para a razão de ramificação.

HORTON (14) encontrou valores para a razão de ramificação variando de 2,22 a 3,91 para bacias suavemente onduladas e bacias montanhosas, respectivamente.

FRANÇA (10), em um estudo realizado em bacias de 4ª ordem para quatro séries de solos da região de Piracicaba, encontrou valores variando entre 3,22 a 3,70 para a razão de ramificação. Para estas mesmas bacias, os valores para razão de comprimento médio,  $R_l$ , encontrados por FRANÇA (10), variaram entre 2,09 e 2,17.

HORTON (14) deu uma explicação sobre o desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, por meio de processos erosivos. Acha ele que, para um certo ambiente, os processos de erosão hídrica dependem, em primeiro lugar, da proporção entre infiltração e deflúvio. Na opinião deste autor, existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície para cada terreno, comprimento este, necessário para acumular um volume de deflúvio capaz de iniciar a formação de canais. Admite ainda, que este "comprimento crítico" depende da velocidade do deflúvio, capacidade de infiltração, resistência do solo à erosão e declive da superfície. Para Horton, a resistência à erosão é o fator isolado mais importante envolvido no desenvolvimento das redes de drenagem.

Segundo HORTON (14), o grau de desenvolvimento da drenagem na superfície de uma bacia hidrográfica, além da ordem de ramificação atingida, pode ser expresso quantitativamente por meio de duas relações:

- a) densidade de drenagem;
- b) frequência de rios.

Foi Horton quem definiu, pela primeira vez em 1932, densidade de drenagem como sendo o comprimento médio de segmentos de rios por unidade de área. Esta característica pode ser expressa pela equação:

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

onde  $Dd$  é a densidade de drenagem,  $Lt$  é o comprimento total de segmentos de rios das várias ordens e  $A$  é a área da bacia. O comprimento total de segmentos de rios e a área devem ser expressas em unidades do mesmo sistema.

A frequência de rios,  $Fr$ , também proposta por HORTON (14), foi definida como sendo o número de segmentos de rios por unidade de área. Esta relação pode ser expressa pela equação:

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

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



Tanto SMITH (33), como o próprio HORTON (14), admitiram não serem diretamente comparáveis os valores da frequência de rios e da densidade de drenagem para pequenas e grandes bacias hidrográficas, uma vez que, estes valores variam também com o tamanho da área de drenagem.

De acordo com STRAHLER (35), só bacias de mesma ordem de ramificação devem ser comparadas, para se obter resultados significativos. Deste modo, ao medirmos as áreas de bacias de 3ª ordem por exemplo, estaremos medindo elementos pertencentes a um mesmo sistema de drenagem, isto é, são elementos correspondentes. Este autor tentou estabelecer um sistema de geomorfologia quantitativa baseado nos princípios de análise dimensional e semelhança geométrica. Diz ele que, existindo uma certa semelhança geométrica entre duas bacias, deve ser mantida uma razão de escala constante entre todas as medições de comprimento entre os pontos correspondentes. Assim, se medirmos as áreas de bacias de drenagem de 3ª ordem, estaremos medindo elementos correspondentes, onde a razão é o quadrado da razão da escala linear.

Para STRAHLER (35), a densidade de drenagem é um índice importante de escala linear, para representar a topografia de uma bacia hidrográfica, já que a relação entre o comprimento total de canais e a área resulta em um número com a dimensão do inverso do comprimento. Para as mesmas condições, à medida que o valor numérico da densidade de drenagem aumenta, a área das bacias de 1ª ordem diminui proporcionalmente.

Estudando a textura topográfica de regiões dissecadas por rios, SMITH (33) derivou um índice ao qual chamou de razão de textura. A expressão textura topográfica foi definida por Johnson, conforme citação de SMITH (33), como sendo o tamanho médio das unidades componentes de um determinado relevo. Smith limitou o uso da textura topográfica apenas para regiões dissecadas por rios, com a finalidade de expressar o espaçamento entre os canais de drenagem, em mapas topográficos contendo curvas de nível. Os mapas topográficos geralmente não representam, por meio de convenções, os canais de drenagem menores; porém, em um bom mapa topográfico, as crênulas ou inflexões das curvas de nível indicam a presença de canais de drenagem, sejam eles temporários ou permanentes. Assim,

Smith propôs a escolha da curva de nível possuindo o maior número de crênulas dentro da bacia de drenagem. A equação seguinte, expressa a razão de textura,  $T$ :

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

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

FRANÇA (10) propôs uma modificação, para tornar aplicável à fotografias aéreas, a idéia de SMITH (33), visto que os sistemas hidrográficos podem ser melhor estudados em mapas básicos de drenagem obtidos pelo exame estereoscópico de fotografias aéreas. A modificação proposta consiste em se fazer a determinação da razão de textura, considerando-se  $N$  como sendo o número total de segmentos de rios da bacia.

ANDERSON (1) afirma que a área é a variável mais importante de uma bacia de drenagem, dado que a maioria das outras características da bacia, estão a ela relacionadas.

Segundo RAY (25), em um determinado ambiente climático, a densidade de drenagem relaciona-se principalmente com a resistência à erosão dos materiais presentes. Diminuindo a resistência à erosão, aumenta a densidade de drenagem.

Tecendo comentários sobre as generalizações que podem ser feitas sobre o caráter litológico das rochas sedimentares, quando examinadas por fotointerpretação, RAY (25) afirmou que folhos e outras rochas semelhantes de granulação fina, têm uma tendência a apresentar drenagem de textura fina, enquanto que os arenitos e outras rochas sedimentares de granulação grossa, tendem a apresentar drenagem de textura grosseira. No entanto, este autor admitiu que podem ocorrer muitas exceções.

FRANÇA (10) admite que muitas destas exceções são devidas à natureza dos solos que se desenvolveram sobre essas rochas.

Segundo SCHUMM (29), a área da bacia de drenagem aumenta exponencialmente com a ordem de ramificação de rios, à semelhança da lei dos comprimentos de rios de Horton.

De acordo com FRANÇA (10), a área de drenagem e as modificações na composição e nas características quantitativas do padrão, aumentam quando se aumenta a ordem de ramificação da rede de drenagem. A tendência natural é aumentar a razão de textura e diminuir a densidade de drenagem e frequência de rios, uma vez que a área da bacia aumenta proporcionalmente mais que o perímetro.

A densidade de drenagem é, segundo ZINKE (39), uma expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração do solo, podendo ser considerada como uma característica física quantitativa da bacia hidrográfica.

Segundo LUEDER (17), a análise da rede de drenagem superficial tem como justificativa principal, o fato de fornecer indicações sobre a relação infiltração-deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais presentes. Assim, materiais relativamente permeáveis como cascalho e arenitos, em virtude da sua textura grosseira, têm uma capacidade de infiltração relativamente alta e resistem à formação de redes de drenagem superficial, a não ser que recebam influências de fatores extras, como o desenvolvimento de planos de menor resistência, escoamento rápido de elevada quantidade de água, etc. Por outro lado, materiais relativamente impermeáveis como folhelhos e argilitos, em virtude de sua textura fina, dificultam a infiltração favorecendo o deflúvio, provocando assim, a erosão dos canais de drenagem e resultando como consequência, uma rede de drenagem relativamente densa. Porém, o autor adverte que se trata de uma regra geral, e assim, sempre podem existir exceções. Cita como exemplo, a existência de camadas densas no subsolo, profundidade do substrato rochoso e fatores de controle geral ou localizados.

Segundo STRAHLER (35), recentemente foram desenvolvidos métodos geomórficos quantitativos, os quais propiciam recursos para medir as propriedades de tamanho e forma das bacias hidrográficas. Segundo este autor, os números descritivos compreendem duas classes gerais: (a) medições de escala linear, pelos quais as unidades topográficas geometricamente semelhantes podem ser comparadas de acordo com o seu tamanho; (b) números não dimensionáveis, em geral razões de medidas de comprimento ou ângulos, pelos quais as formas das unidades semelhantes podem ser comparadas sem levar em conta a escala. Na primeira classe incluem-se os compri-

mentos de rios de uma dada ordem, perímetro da bacia, densidade de drenagem. Quando duas bacias de drenagem são geomêtricamente semelhantes, todas as suas dimensões de comprimento correspondentes devem estar numa razão constante. Na segunda classe incluem-se as razões de ramificação e de comprimento, ângulos de junção, números de ordem de rios e certos atributos do relevo. Existindo semelhança geométrica entre duas bacias de drenagem, haverá identidade entre os números sem dimensão, embora possa haver uma variação grande no tamanho.

GARCEZ (12) preconiza os índices de conformação e de compacidade como sendo importantes no estudo comparativo de bacias hidrográficas. O índice de conformação é uma relação entre a área de uma bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial, - medido ao longo do curso principal, da desembocadura ou secção de referência à cabeceira mais distante, no divisor de águas.

O índice de compacidade é a relação entre o perímetro de uma bacia hidrográfica e a circunferência do círculo de área igual à da bacia. Da definição, resulta que, para uma bacia circular ideal, o índice de compacidade  $K_c = 1$ . Para uma bacia qualquer, chamando de  $P$  o seu perímetro,  $C$  a circunferência do círculo de área  $A$  igual à da bacia, tem-se:

$$K_c = \frac{P}{C}$$

e, sendo  $r$  o raio do círculo de área  $A$ , segue-se que:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

donde resulta finalmente:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi} \frac{P}{\sqrt{A}}} \cong 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Segundo GARCEZ (12),  $K_c$  é uma medida do grau de irregularidade da bacia. Quanto menor o seu valor, maior a probabilidade de ocorrência de picos de enchentes elevados.

RAY e FISCHER (26) comentam que são ainda muito escassos os trabalhos de pesquisa baseados em medições obtidas por foto

interpretação. Segundo eles, as fotografias aéreas fornecem melhores meios para a determinação da densidade de drenagem e medições a ela relacionadas, visando o estudo dos efeitos da litologia e da estrutura no desenvolvimento de bacias de drenagem e formas topográficas de erosão. Contudo, citam autores, dentre eles Miller, - que preferiram o uso de mapas topográficos para estudos de geomorfologia quantitativa.

Segundo RICCI e PETRI (27), mesmo que uma determinada área possua cartas topográficas dignas de confiança e em uma escala suficientemente grande, as informações que podem ser fornecidas por estas cartas para estudos da análise da rede de drenagem são, em geral, insuficientes. Isto porque, as cartas topográficas geralmente obedecem a um padrão de estética, obrigando o desenhista a desprezar alguns, ou mesmo grande parte dos rios menores, quando trabalha com uma rede de drenagem densa. Desta maneira, muitos indícios significativos da natureza dos solos e dos substratos rochosos, são perdidos. O mesmo fato não ocorre quando o desenhista - trabalha com uma rede de drenagem pouco densa, caso em que ele não suprime os cursos d'água menores; nestas condições, as cartas topográficas retratam melhor a rede de drenagem da área.

### 2.3 - Padrão de drenagem - tipos, características, significado

O termo padrão de drenagem é usado na literatura para designar a maneira pela qual os cursos d'água se distribuem dentro de uma dada área de drenagem, lembrando a configuração de um objeto conhecido e que empresta seu nome para a classificação do padrão. Em um sentido bem amplo, o padrão de drenagem pode ser definido como o arranjo espacial de elementos ou aspectos peculiares. Segundo a própria definição, isto implica na repetição de forma ou relações, como por exemplo, aspectos de erosão, cursos d'água, afloramentos de rochas, vegetação, uso da terra, etc. Se os cursos d'água se distribuem à semelhança de galhos de uma árvore, o padrão é denominado dendrítico ou arborescente; se eles podem ser comparados aos ramos de uma videira, tem-se o padrão em treliça; - se os cursos d'água se distribuem mais ou menos paralelamente uns aos outros, o padrão é denominado paralelo ou sub-paralelo, e assim por diante. Zernitz, estabeleceu as relações gerais entre pa

drões de drenagem e estruturas geológicas. Este seu trabalho foi citado e complementado por vários autores, entre os quais LOBECK (16), HORTON (14), PARVIS (22), VON ENGELN (38), LUEDER (17) RICCI e PETRI (27), MILLER e MILLER (20).

LOBECK (16) definiu genéticamente rios consequentes, subsequentes, ressequentes e obsequentes, relacionando-os à direção de camadas em declives assimétricos.

Segundo PARVIS (22), dos muitos padrões de drenagem que se formaram pela ação das forças naturais em constante atuação sobre os materiais da superfície do terreno, seis têm sido considerados como básicos: dendrítico, paralelo, radial, retangular, treliça e anular. Este autor admite que um dos principais fatores no desenvolvimento destes seis padrões básicos é a estrutura geológica, concordando, neste ponto, com VON ENGELN (38).

HORTON (14) afirma que quando se constata afastamentos das leis dos números e dos comprimentos de rios onde as condições de clima, topografia, solo e geologia são normais, estes afastamentos de uma maneira geral, podem ser atribuídos a efeitos de controle por estruturas geológicas.

Segundo LUEDER (17) o objetivo principal da análise da rede de drenagem superficial é fornecer indicações sobre a relação infiltração-deflúvio, capacidade de infiltração, erodibilidade e textura dos materiais presentes em uma dada área. Este autor propôs a descrição das seguintes características, como indicativas dos aspectos significativos do padrão de drenagem: (a) grau de integração; (b) densidade; (c) grau de uniformidade; (d) orientação; (e) grau de controle; (f) angularidade; (g) ângulos de confluência e (h) tipo ou modelo do padrão.

FROST (11) e LUEDER (17) consideram que os padrões de drenagem podem ser facilmente observados e analisados nos pares estereoscópicos de fotografias aéreas; e que os mesmos refletem a maneira pela qual a água que atinge a superfície do solo se distribui em termos de infiltração e deflúvio, fornecendo indicações sobre a origem e composição dos materiais presentes no solo.

TATOR (37) estudou regiões de planícies costeiras, onde a interpretação se torna mais difícil pelo fato de serem as rochas geralmente inconsolidadas. O autor mostrou que eventuais anomalias de drenagem podem fornecer indícios importantes de estruturas geológicas e diferenças entre rochas. Este autor chegou à conclusão que, em alguns casos, eventuais desvios de uma norma do padrão de drenagem regional, ou anomalias, podem ser tão ou mais importantes para a interpretação, do que o próprio padrão de drenagem. Segundo TATOR (37), os padrões de drenagem refletem o controle exercido pela estrutura subjacente e pelo tipo de rocha.

BURINGH (4) adverte que o pesquisador em ciência do solo deve estudar, também, a ação dos fatores de formação e identificar o grupo genético a que o solo pertence, além do estudo da textura e dos processos de deposição dos materiais de origem. Estudando a composição e as características do padrão de drenagem de solos desenvolvidos a partir de arenitos eólicos da formação Botucatu, FRANÇA (10) comprovou plenamente a importância desta observação. Segundo constatou este autor, materiais de textura semelhante e depositados pelo mesmo agente de transporte, deram origem a solos diferentes, cujas diferenças se refletiram também, na composição e nas características do padrão de drenagem.

Segundo PARVIS (22), um padrão de drenagem regional pode ser formado de linhas retas e linhas curvas. Onde o controle estrutural está ausente, os canais de drenagem são curvos. Em regiões onde existem rochas sedimentares, o controle pelo relevo exerce papel importante, pois os declives serão mais acentuados, quanto mais resistente for o material. Em locais de material residual, a rede de drenagem superficial depende da distribuição do substrato rochoso, de sua profundidade relativa e suas superfícies de menor resistência. Geralmente, os folhelhos são menos resistentes à erosão que os arenitos, o que dá origem a padrões de drenagem sinuosos naquelas rochas e padrões de drenagem com angularidade em áreas onde ocorrem arenitos próximos à superfície.

Para caracterizar a razão de textura média de uma determinada área como um todo, SMITH (33) preconiza o uso do valor médio ponderado em relação às áreas das bacias, o qual é obtido pela equação:

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

onde  $T_m$  é a razão de textura média  $\Sigma$  indica soma,  $A$  e  $T$  representam respectivamente a área e a razão de textura de cada bacia hidrográfica.

Este autor propõe o emprego de parâmetros para os valores da razão de textura média, com a finalidade de classificar a textura topográfica nas classes grosseira, média e fina, sendo os seus valores, respectivamente: menos de 4,0; entre 4,0 e 10,0 e mais de 10,0. Como esses parâmetros são referidos a comprimentos de perímetro expressos em milhas e áreas expressas em milhas quadradas, FRANÇA (10) apresenta a equivalência para aqueles valores referidos a quilômetros e quilômetros quadrados. Assim, os parâmetros correspondentes às classes de textura topográfica grosseira, média e fina passam a ser, respectivamente: menos de 2,5; entre 2,5 e 6,2 e mais de 6,2.

SMITH (33) chega ainda à conclusão de que existe uma função logarítmica entre a razão de textura e a densidade de drenagem, referidas a bacias hidrográficas.

RAY e FISCHER (26), fazendo estudos e medições referentes a comprimentos de rios e áreas de drenagem, sobre mapas básicos de drenagem decalcados de fotografias aéreas, relacionaram os comprimentos de rios com as áreas das bacias hidrográficas e áreas circulares de 10 km<sup>2</sup>. Chegaram a conclusão de que as amostras circulares fornecem resultados mais consistentes com referência à densidade de drenagem, para qualquer tipo de rocha, do que as amostras representadas por bacias hidrográficas. Estes autores fizeram algumas generalizações importantes quanto à significância geológica da densidade de drenagem, ficando claramente evidenciado que esta característica é altamente dependente da permeabilidade do solo e da rocha subjacente. A densidade de drenagem será tanto mais alta quanto mais baixa for a permeabilidade dos materiais.

De acordo com RAY (25), as características de um solo e o seu grau de erodibilidade estão intimamente relacionados. Em áreas onde a resistência à erosão é relativamente acentuada, comumente ocorre o padrão de drenagem tipo dendrítico ou dendrítico modificado. Nas áreas onde o controle estrutural é maior, desenvolvem-se outros padrões de drenagem, tais como: retangular, anular, treliça, etc.



Segundo muitos autores, como HORTON (14), RAY (25) e SMITH (33), a rede de drenagem será tanto mais desenvolvida, quanto mais elevadas forem os valores da frequência de rios  $\underline{Fr}$ , densidade de drenagem  $\underline{Dd}$  e textura média  $\underline{Tm}$ .

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

Grande número de autores, entre os quais SCHUMM (29), SMITH (32), STRAHLER (35), VON ENGELN (38), LOBECK (16), RICCI e PETRI (27), TATOR (37), RAY (25), MILLER e MILLER (20), RAY e FISCHER (26), procuraram correlacionar o desenvolvimento e características das redes de drenagem com aspectos da paisagem tais como: litologia, estrutura geológica, clima, relevo e estágio do ciclo geomórfico. No que diz respeito ao solo, este foi citado por alguns autores como LUEDER (17), FROST (11), BELCHER (2) e PARVIS (22), - porém em um sentido bem amplo, correspondendo mais propriamente ao conceito de regolito. FRANÇA (10) e MARCHETTI (18), mais recentemente, estudaram a composição e características das redes de drenagem, relacionando-as com solos considerados do ponto de vista pedológico.

De acordo com FROST (11) e LUEDER (17), os padrões de drenagem indicam a maneira pela qual a água que atinge a superfície do terreno e se distribui por deflúvio ou infiltração fornecendo indicações sobre a composição e origem dos materiais presentes no solo.

A significância do padrão de drenagem na identificação de solos e substratos rochosos por meio de fotointerpretação, do ponto de vista regional, foi estudada por PARVIS (22).

Segundo HORTON (14), o fator mais importante no processo de erosão provocada pela água e conseqüente desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, é sem dúvida alguma, a resistência do solo à erosão, muito embora outros fatores como a capacidade de infiltração do solo, a precipitação e o relevo tenham grande influência. A capacidade de infiltração é importante, porém, considerando um longo período de tempo.

FRANÇA (10) e MARCHETTI (18) constataram que tanto a composição como as características do padrão de drenagem dependem, em primeiro lugar, da natureza do solo e, depois, da posição topográfica e da natureza e profundidade do substrato rochoso.

CLINE (5), discutindo as mudanças que ocorrem no modelo do solo, baseado nos conceitos emitidos por Marbut em 1935 e, mais recentemente pelo SOIL SURVEY STAFF (34), mostrou que houve uma grande mudança. Segundo esse autor, a grande vantagem do novo modelo, está no fato de que a ênfase é dada na melhor definição das unidades básicas de solo, permitindo o estabelecimento de correlações e aquisição de novos conhecimentos.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Material

##### 3.1.1 - Descrição geral da área estudada

A área que serviu de base para o presente trabalho pertence à Fazenda Ipanema, do Ministério da Agricultura, localizada no município de Araçoiaba da Serra, Estado de São Paulo, entre 23°25'24" S e 47°35'43" W de Greenwich. Possui, de acordo com a Carta elaborada pelo Serviço Geográfico Militar (30), altitudes compreendidas entre 500 e 1 000 m acima do nível do mar.

O município de Araçoiaba da Serra pertence à Grande Região Sul do Brasil(\*), estando situado na depressão Paleozóica. A área total da Fazenda Ipanema é de 6 778,4 ha, dos quais cabem 376,8 ha aos Campos Realengos.

O clima dessa área é do tipo úmido, com pequena ou nenhuma deficiência de água, mesotérmico com concentração de chuvas de verão, evapotranspiração potencial menor do que 48% podendo ser representado de acordo com Thornthwaite da seguinte maneira: B<sub>1r</sub> B<sub>3a</sub> (RANZANI et al., 24).

A cobertura vegetal da área se distribui entre espécies predominantes rasteiras e arbóreas de pequeno e elevado porte (COMISSÃO DE SOLOS, 7).

---

(\*) Enciclopédia dos Municípios Brasileiros, I.B.G.E., Vol. X, p. 341. 1938.

De acordo com o trabalho realizado por Felicissimo Jr. (RANZANI et al., 24), a coluna geológica da Fazenda Ipanema pode ser assim representada:

#### ALGONQUIANO

Série São Roque ..... filitos, quartzitos, calcários.

#### CALENDONIANO

Intrusivas ácidas ..... granitos, gnais-granitos.

#### PERMIANO

Intrusivas básicas e alcalinas .. diabásios, sienitos, augitos, jacupiranguitos, sienitos-pórfiros, arenitos.

#### QUATERNÁRIO

Produtos residuais ..... solos vermelhos com blocos de - calcedônia e de magnetita.

Segundo Davino (RANZANI et al., 24) à Fazenda Ipanema correspondem as seguintes formações geológicas:

#### MESOZÓICO

Intrusivas alcalinas ..... shonkinito-pórfiro, rochas silicificadas relacionadas à intrusão alcalina.

#### PERMO-CARBONÍFERO

Grupo Tubarão ..... arenito conglomerático, tilito - silito, folhelho e varvito.

#### PRÉ-CAMBRIANO

Embasamento cristalino ..... quartzito, filito, micaxisto, - calcário, anfibólito e granito.

### 3.1.2 - Solos

Três unidades de solos foram selecionadas e utilizadas como base para o presente trabalho, as quais constam da Carta de Solos da Fazenda Ipanema (RANZANI et al., 24).

As unidades de solos escolhidas são geneticamente diferentes entre si, com características morfológicas, físicas e químicas distintas. No Quadro 1 estão apresentadas as três séries de solo e a sua classificação segundo o sistema adotado pela COMISSÃO DE SOLOS (7) e pelo SOIL SURVEY STAFF (34).

QUADRO 1 - Séries de solos utilizadas e sua correspondência com outras classificações de solos.

Série de Solo	Classificação	
	COMISSÃO DE SOLOS	7ª Aproximação
Varnhagen	Podzólico Vermelho Amarelo	Ultissol
Realengo	Latossol Vermelho Escuro	Oxissol
Araçoiaba	Latossol Vermelho Escuro	Oxissol

Segundo RANZANI et al. (24), as principais características assinaladas para os solos estudados são:

### 3.1.2.1 - Série Varnhagen

Origem - Solos desenvolvidos sobre sedimentos arenosos do glacial (grupo Tubarão), apresentando seixos de quartzo rolados e linhas de concreções ferruginosas.

Relevo - Normal, ondulado a fortemente ondulado, com declives mistos, médios a longos e irregulares; altitudes entre 600 e 650m e localização entre a baixada e a Serra de Araçoiaba.

Drenagem - moderada.

Características dos perfis - bem desenvolvidos, caracterizados pela presença de horizonte B textural, de aproximadamente 50 cm de espessura; textura variável de acordo com a profundidade do solo, devido ao próprio processo genético.

Fertilidade aparente - baixa.

Erosão - Laminar severa e sulcos frequentes; são bem visíveis nas fotografias aéreas os indícios de erosão laminar e, principalmente, os sinais de erosão em sulcos.

### 3.1.2.2 - Série Araçoiaba

Origem - Os solos desta série se originaram do embasamento cristalino de rochas pré-cambrianas, - representadas principalmente por anfibólitos.

Relevo - normal, ondulado, com declives convexos, médios a longos e uniformes; formam calotas - que se sucedem desordenadamente, apresentando declividade entre 8 e 15%.

Drenagem - boa.

Características dos perfis - bem desenvolvidos, caracterizados pela presença de horizonte B latosólido, com aproximadamente 60 cm de espessura, apresentando algumas características comuns a horizontes B texturais (aumento no conteúdo de argila e presença de cerosidade fraca).

Fertilidade aparente - média a boa.

Erosão - Nas áreas de solos da série Araçoiaba, à semelhança do que ocorre na série Realengo, - não se notam sinais evidentes de erosão acelerada.

### 3.1.2.3 - Série Realengo

Origem - Solos desenvolvidos sobre sedimentos argilosos glaciais (grupo Tubarão), não apresentando seixos.

Relevo - suavemente ondulado, com declives convexos, longos e uniformes, com declividade até 8%, ocorrendo com frequência estrangulamento de vazão das depressões, ocasionando com isto o aparecimento de banhados associados a solos hidromórficos.

Drenagem - boa.

Características dos perfis - bem desenvolvidos, apresentando horizonte B latossólico típico: textura argilosa, estrutura maciça porosa que se desfaz em blocos subangulares, médio a grande, moderado.

Fertilidade aparente - média.

Erosão - Não se notam na área de ocorrência desta série de solo, sinais evidentes de erosão acelerada, mesmo nas áreas cultivadas, sendo isto indicativo de que estes solos são resistentes à erosão.

### 3.1.3 - Fotografias aéreas

As fotografias aéreas usadas no presente trabalho, são provenientes da cobertura aerofotográfica efetuada para a Secretaria da Agricultura do Estado de S. Paulo, pela firma Aerofoto Natividade Ltda., no ano de 1962 (para a região) na escala aproximada de 1: 25 000.

O recobrimento entre as fotografias é de aproximadamente 60% para a mesma faixa de vôo e de 30% entre faixas adjacentes, sendo assim permitida a visão estereoscópica.

### 3.1.4 - Estereoscópio

O estereoscópio usado para a observação estereoscópica dos pares de fotografias aéreas foi o de bôlso marca Vasconcellos.

### 3.1.5 - Equipamento de medição e de desenho

As medições foram feitas em mapas decalcados das fotografias aéreas, sendo, em consequência disso, usados equipamentos simples, tais como: planímetro polar, curvímetro, régua com escala, compasso, além de pantógrafo para a redução de escala das amostras circulares para a medição da densidade de drenagem.

### 3.2 - Métodos

#### 3.2.1 - Seleção das áreas de estudo

De acordo com o método de pesquisa lógica sugerido - por RABBEN (23), as fotografias aéreas foram analisadas tomando como referência as cartas topográfica e de solos disponíveis. Por este método, foram separados grupos de fotografias aéreas que deveriam conter as unidades de solos escolhidas e, em consequência, as informações desejadas. Inicialmente, procedeu-se a um breve exame das áreas nela representadas e, em seguida, à seleção das fotografias nas quais foi efetuada rigorosa observação estereoscópica, - com a finalidade de estudar a composição e as características do padrão de drenagem. Optou-se pela separação da área útil em fotografias alternadas, de acordo com o método preconizado por RABBEN (23), em virtude da facilidade de trabalho: por este método, uma das fotos de um par estereoscópico, fica isenta de anotações, o que favorece o exame do modelo estereoscópico.

#### 3.2.2 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem

Fez-se um cuidadoso exame dos pares de fotografias - aéreas com o fim de separar pequenas bacias hidrográficas, de tamanho variáveis, mas sempre com a mesma ordem de rios (3ª ordem) para as três séries de solo escolhidas. Para cada uma destas, foram separadas três bacias de drenagem relativamente homogêneas quanto a unidade de solo representada e de forma geométrica a mais semelhante possível. Traçaram-se, com base no modelo estereoscópico, os divisores de água e a rede de drenagem completa, com todos os canais de drenagem bem definidos, visíveis nas fotografias aéreas, permanentes ou temporários.

O resultado deste trabalho de exame e locação dos diferentes aspectos da drenagem, incluindo os limites das bacias hidrográficas com suas respectivas redes, bem como os limites das - unidades de solo, foram decalcados das fotografias aéreas para papel transparente. Para maior precisão dos mapas básicos, utilizou-se o método de controle radial gráfico, conforme preconizado por NAMI e SLEPETYS (21). Tais decalques foram feitos, segundo a sugestão de RAY (25), com a finalidade de libertar os detalhes sob



estudo, da complexidade e exuberância de imagens da fotografia aérea, a fim de facilitar o estudo de algumas características de drenagem (número e comprimento de rios e tributários, tendências ou mudanças dos padrões e relações com as ordens de ramificação).

### 3.2.3 - Análise das bacias hidrográficas

Inicialmente, procedeu-se nos mapas básicos de drenagem ao estudo das bacias hidrográficas ou áreas drenadas por um curso d'água e seus respectivos afluentes. Em planta, estas bacias aparecem como áreas fechadas, as quais são delimitadas por divisores de água que circundam toda a área de drenagem em questão; os divisores de água convergem para um ponto no qual o canal principal da bacia desagua em outro canal de ordem igual ou superior.

Dos diferentes aspectos ou elementos analisados nas fotografias aéreas e que se relacionam com o propósito deste trabalho, procurou-se dar maior atenção àqueles mensuráveis e cujos resultados fossem dignos de confiança. Dentre os elementos analisados nas bacias de drenagem incluem-se os seguintes:

- a) localização - situação geográfica da bacia;
- b) representatividade - proporção das áreas ocupadas pela unidade de solo em estudo e por inclusões de outros solos;
- 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 água;

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

desenvolvimento longitudinal ou comprimento do curso principal - medido com curvímeter, acompanhando as sinuosidades do curso principal, da foz até a nascente;

perímetro - expresso pelo comprimento da linha do divisor de água que circunda a bacia, medido com curvímeter;

área - medida com planímetro;

índice de compacidade - determinado segundo a fórmula (GARCEZ, 12):

$$Kc \cong 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

onde  $Kc$  é o índice de compacidade,  $P$  é o perímetro da bacia e  $A$  é a área da mesma.

d) propriedades não dimensionais:

forma aproximada indicada pelo contorno da bacia e designada por termos descritivos (ovalada, elíptica, piriforme, reniforme, triangular, retangular etc.);

ordem da bacia - determinada pela ordem do rio principal nela contido, sendo este o segmento de ordem mais elevada, de conformidade com o sistema adotado;

simetria das vertentes - avaliada pelos declives das encostas em relação ao vale principal e pela disposição dos tributários;

semelhança geométrica - de acordo com os princípios propostos por STRAHLER (35) esta característica foi testada para cada grupo de três bacias representativas de cada unidade de solo. Pretendeu-se com este teste de semelhança geométrica, dar uma segurança maior às comparações entre as diferentes bacias e também mais consistência na análise dos resultados obtidos.

#### 3.2.4 - Análise da rede de drenagem

Após ter sido realizada a análise das bacias hidrográficas, fez-se a análise das respectivas redes de drenagem, tomando para estudo todas as vias de drenagem que apresentassem canais bem definidos, quer fossem cursos d'água temporários ou permanentes.

A ausência ou presença de depressões fechadas ou pequenas lagôas, indicadoras do grau de integração (LUEDER, 17) também foram levadas em consideração.

A análise efetuada foi do tipo analítica (BURINGH, 4) ou elementar (GOOSEN, 13). Os elementos estudados foram divididos em dois grupos, conforme sua natureza: aqueles que dizem respeito à composição da rede de drenagem e aqueles referentes ao padrão de drenagem.

### 3.2.4.1 - Composição da rede de drenagem

- a) ordem de ramificação - os segmentos de rios ou canais de drenagem foram classificados tomando como base a ordem de ramificação segundo o sistema de HORTON (14) modificado por STRAHLER (35);
- b) número de segmentos de rios - foram designados e computados os segmentos de rios em cada ordem e o total da bacia. Designando por  $w$  uma dada ordem de ramificação, o número de segmentos de cada ordem será representado por  $N_w$  e o número total de segmentos da bacia, por  $N$ .
- c) razão de ramificação - é representada por  $R_b$  e expressa a relação entre o número de segmentos de rios de uma determinada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada, conforme definição de HORTON (14);
- d) comprimento de rios - com curvímeter, foram medidos os comprimentos dos segmentos de rios de cada ordem e o comprimento total dos rios contidos na bacia. Representando por  $w$  uma dada ordem de rios, a soma dos comprimentos dos segmentos de rios em cada ordem é representada por  $L_w$  e o comprimento total de rios contidos na bacia por  $L_t$ . Os comprimentos médios de segmentos de rios,  $l_m$ , foram obtidos dividindo-se a soma dos comprimentos de rios de cada ordem,  $L_w$ , pelo número de segmentos da ordem respectiva,  $N_w$ . Assim :

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

- e) razão de comprimento - é representada por  $R_l$  e expressa a relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma determinada ordem e o da or-

dem imediatamente inferior. Esta definição corresponde à razão de comprimento médio, segundo HORTON (14). Determinou-se também a razão entre os comprimentos totais das ordens de rios,  $R_{lw}$ , segundo a modificação feita por STRAHLER (35).

#### 3.2.4.2 - Características do padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi caracterizado da seguinte maneira:

- a) características descritivas - analisadas segundo LUEDER (17) e incluindo o tipo ou modelo segundo PARVIS (22);
- b) características quantitativas - incluindo frequência de rios e a densidade de drenagem, definidas por HORTON (14) e a razão de textura, definida por SMITH (33) e modificada por FRANÇA (10) para serem aplicadas a fotografias aéreas.

Estas três características quantitativas são referidas a bacias hidrográficas individuais; para representar o padrão de drenagem como um todo, foram determinadas outras duas características quantitativas, a saber:

- razão de textura média - expressa pela média ponderada em relação às áreas das respectivas bacias, segundo SMITH (33); este valor médio foi obtido usando-se a fórmula:

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

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

- densidade de drenagem determinada em amostras circulares - o método de amostragem proposto por RAY e FISCHER (26) para interpretação litológica, foi testado para solos por FRANÇA (10) com bons resultados. Este método consiste na tomada de amostras

circulares, relativamente homogêneas quanto a solos, com área de 10 km<sup>2</sup>.

c) textura topográfica

Tomando por base os valores da textura média, SMITH (33) propôs parâmetros para classificação da textura topográfica. Estes parâmetros são referidos a comprimentos de perímetro em milhas e a áreas em milhas quadradas; a transformação para perímetro expresso em quilômetros e área em quilômetros quadrados foi feita segundo a sugestão de FRANÇA (10), apresentada no Quadro 2.

QUADRO 2 - Parâmetros para a classificação da textura topográfica com base nos valores da razão de textura média.

Classe de textura topográfica	Razão de textura média	
	medidas expressas em milhas	medidas expressas 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

d) relação entre densidade de drenagem e razão de textura.

No estudo comparativo entre a densidade de drenagem e a razão de textura das bacias hidrográficas individuais, combinou-se os dados das nove bacias de 3ª ordem, usando-se para isso o método de SMITH (33) modificado por FRANÇA (10). Também para o estudo comparativo entre a média das densidades de drenagem de amostras circulares e a razão de textura média, representativas de cada unidade de solo, aplicou-se o método de SMITH (33).

e) relação entre densidade de drenagem e frequência de rios

Comparou-se os dados de razão de textura das bacias hidrográficas com os de frequência de rios, empregando ainda o método de SMITH (33) atrás mencionado.

## 4 - RESULTADOS

### 4.1 - Série Varnhagen

O estudo das características das bacias hidrográficas e das respectivas redes de drenagem dos solos desta unidade forneceu os resultados apresentados a seguir :

#### 4.1.1 - Características das bacias hidrográficas

##### a) Localização

As bacias escolhidas para representar a série Varnhagen situam-se na parte central da Fazenda, nas encostas próximas dos cursos d'água maiores; ocupam posição intermediária entre a baixada e a Serra de Araçoiaba.

##### b) Representatividade

As três bacias hidrográficas escolhidas apresentam boa representatividade, com dominância de solos semelhantes - Série Varnhagen e a sua fase rasa ou Litossol Varnhagen, ocorrendo pequenas inclusões de outros solos, além de afloramentos de rochas (arenito conglomerático).

##### c) Propriedades dimensionais

As propriedades expressas por números dimensionais, escolhidas para caracterizar as bacias hidrográficas estudadas estão indicadas no Quadro 3.

QUADRO 3 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas da série Varnhagen.

Bacia hidrográfica	Maior comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimento de rios		Perímetro (P) km	Área (A) km <sup>2</sup>	Índice de compactidade (Kc)
			principal (CP) km	rede (CR) km			
I	1,50	0,90	1,10	3,50	3,60	0,87	1,08
II	1,60	0,80	1,40	3,10	3,80	0,99	1,07
III	1,70	0,75	1,50	3,20	3,90	0,79	1,22

d) Propriedades não dimensionais

As propriedades descritivas ou representadas por números não dimensionais, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 4.

QUADRO 4 - Propriedades não dimensionais de bacias hidrográficas representativas da série Varnhagen.

Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Ordem (w)	Nº de segmentos de rios (N)	Simetria das vertentes
I	reniforme	3ª	14	assimétrica
II	piriforme	3ª	11	simétrica
III	reniforme	3ª	10	assimétrica

e) Semelhança geométrica

Pelo princípio da análise dimensional e semelhança geométrica, as bacias escolhidas para representar os solos da série Varnhagen são semelhantes, embora apresentando ligeiras diferenças entre si no tamanho, como se verifica pelos Quadros 3 e 5.

QUADRO 5 - Análise dimensional e semelhança geométrica aplicadas a bacias hidrográficas representativas da série Varnhagen.

Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear (R)					Razão média	Razão de escala quadrática	
	$\frac{C}{C_1}$	$\frac{L}{L_1}$	$\frac{CP}{CP_1}$	$\frac{CR}{CR_1}$	$\frac{P}{P_1}$	Rm	$\frac{A}{A_1}$	Rm <sup>2</sup>
$\frac{I}{II}$	0,94	1,12	0,78	1,13	0,95	0,99	0,89	0,98
$\frac{I}{III}$	0,88	1,20	0,73	1,09	0,92	0,96	1,10	0,92
$\frac{II}{III}$	0,94	1,06	0,93	0,97	0,97	0,97	1,24	0,94

#### 4.1.2 - Características das redes de drenagem

##### 4.1.2.1 - Composição da rede de drenagem

As características referentes à composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 6.

QUADRO 6 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3ª ordem representativas da série Varnhagen.

Bacia hidrográfica	Ordem (w)	Nº de segmentos de rios		Razão de ramificação (Rb)	Comprimento de rios em km			Razão de comprimento médio (Rl)
		em cada ordem (Nw)	total da bacia (N)		em cada ordem		total da bacia (Lt)	
					total (Lw)	medido (Lm)		
I	1ª	10		-	2,10	0,21		0,95
	2ª	3		3,33	0,60	0,20		4,00
	3ª	1	14	3,00	0,80	0,80	3,50	-
II	1ª	8		-	1,60	0,20		1,25
	2ª	2		4,00	0,50	0,25		4,00
	3ª	1	11	2,00	1,00	1,00	3,10	-
III	1ª	7		-	1,70	0,24		2,29
	2ª	2		3,50	1,10	0,55		0,73
	3ª	1	10	2,00	0,40	0,40	3,20	-



a) Análise do número de rios

Os segmentos de rios em cada ordem e o total da bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 7.

QUADRO 7 - Número de segmentos de rios em cada ordem e número total da bacia, observados e calculados; dados de três bacias de 3ª ordem representativas da série Varnhagen.

Ordem de rios (w)	Número de segmentos de rios em cada ordem (Nw)					
	observados				calculados	
	I	II	III	média ponderada	equação	HORTON
1ª	10	8	7	8,36	7,77	8,35
2ª	3	2	2	2,33	2,69	2,89
3ª	1	1	1	1,00	0,93	1,00
nº total de rios (N)	14	11	10	11,69	11,39	12,24

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

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

Para os dados observados nas bacias representativas dos solos da série Varnhagen, toma a seguinte forma:

$$\log Nw = 1,35164 - 0,46111 \cdot w$$

As razões de ramificação observadas variam de 3,00 a 4,00 tendo como valor médio 2,97. O valor médio calculado foi:

$$Rb = \text{antilog } b = 2,89$$

A regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, é representada pela Figura 1.

b) Análise dos comprimentos 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 8.

QUADRO 8 - Soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e comprimento total de rios na bacia, observados e calculados; dados de três bacias de 3ª ordem representativas de solos da série Varnhagen.

Ordem de rios (w)	Comprimento de rios em cada ordem, Lw (km)					
	observados				calculados	
	I	II	III	média ponderada	total da ordem (Lt)	medio (Lm)
1ª	2,10	1,60	1,70	1,79	1,62	0,21
2ª	0,60	0,50	1,10	0,71	1,05	0,39
3ª	0,80	1,00	0,40	0,75	0,68	0,73
Comprimento total de rios (Lt)	3,50	3,10	3,20	3,25	3,74	-

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

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

Para os dados observados nas bacias representativas dos solos da série Varnhagen, a equação toma a seguinte forma:

$$\log Lw = 0,39862 - 0,18889 \cdot w$$

As razões de comprimento observadas são muito variáveis estando entre os valores de 0,73 a 4,00. A razão de comprimento calculada, entre os comprimentos totais de uma ordem e a seguinte é:

$$Rlw = \text{antilog } b = 1,54$$

Por sua vez, a razão de comprimento entre os comprimentos médios de segmentos de rios de uma ordem e o da anterior, é:

$$Rl = 1,86$$

A regressão da soma dos comprimentos de rios sobre as ordens de rios, está representada na Figura 2.

#### 4.1.2.2 - Padrão de drenagem

a) As características descritivas do padrão de drenagem, relacionadas às redes de drenagem das bacias representativas dos solos da série Varnhagen, estão indicadas no Quadro 9.

QUADRO 9 - Características descritivas do padrão de drenagem de solos da série Varnhagen.

Características do padrão	Descrição
Grau de integração	alto
Densidade	alta
Uniformidade	uniforme, ligeiramente assimétrico
Orientação	não orientado
Grau de controle	moderado (litológico)
Ângulos de junção	agudos, localmente retos
Angularidade	alguma
Tipo ou modelo	dendrítico

As inferências que as características descritivas permitem, são: trata-se de material facilmente erodível, de permeabilidade relativamente baixa. Estas inferências estão de acordo com a natureza do solo - textura arenosa nos horizontes superficiais e presença de horizonte B textural que reduz a permeabilidade do perfil, favorecendo o deflúvio. Outra inferência possível, diz respeito à variação na profundidade do substrato rochoso, ligada à presença da fase rasa (Litossol Varnhagen) que ocorre associada aos solos desta unidade.

b) As características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro das bacias hidrográficas, estão indicadas no Quadro 10.

log Nw

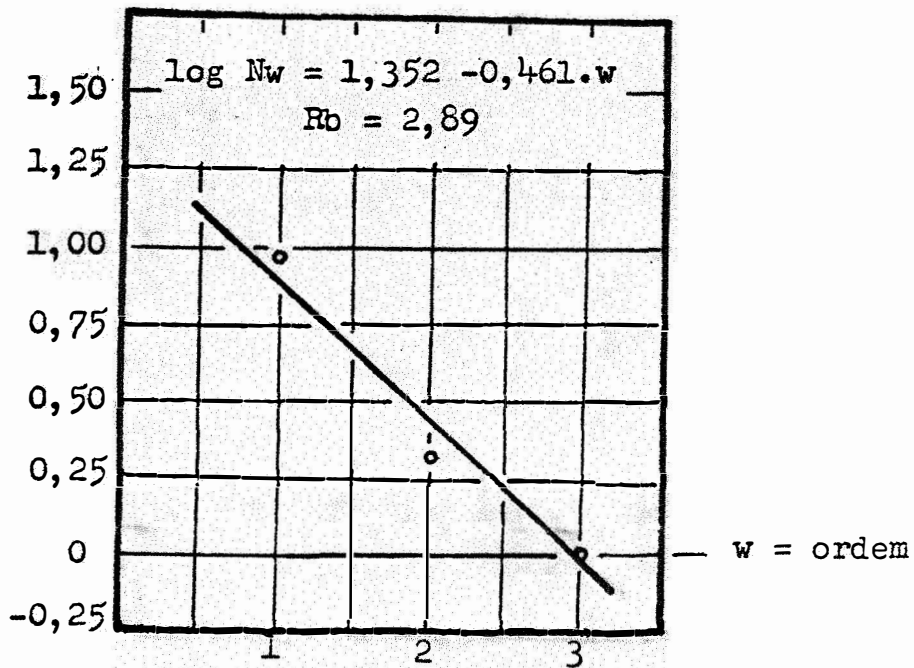


Fig. 1 - Regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da série Varnhagen.

log Lw

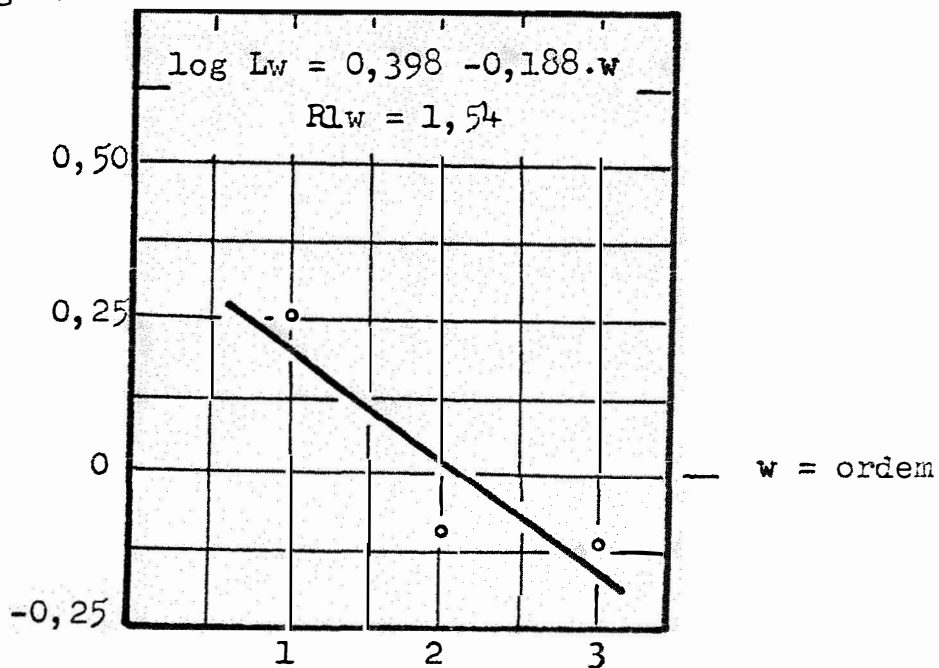


Fig. 2 - Regressão da soma dos comprimentos dos segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da série Varnhagen.

QUADRO 10 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos da série Varnhagen.

Bacia hidrográfica	Frequência de rios (Fr)	Densidade de drenagem (Dd)	Razão de Textura (T)
I	16,00	4,00	3,89
II	11,14	3,14	2,89
III	12,59	4,03	2,56

c) A razão de textura média, ponderada em relação às áreas das bacias, apresenta o valor  $T_m = 3,12$ .

d) As densidades de drenagem determinadas em amostras circulares de  $10 \text{ km}^2$  de área, representativas dos solos da série Varnhagen, estão indicadas no Quadro 11.

QUADRO 11 - Densidades de drenagem obtidas em amostras circulares de  $10 \text{ km}^2$  de área para a série Varnhagen.

Unidade de solo	Densidade de drenagem $Dd = \text{km}/\text{km}^2$			Desvio padrão
	determinações		média	
Varnhagen	2,93	3,00	3,68	$\pm 0,41$

A Figura 3 reproduz as três amostras circulares de  $10 \text{ km}^2$  de área, escolhidas para representar a densidade de drenagem dos solos da série Varnhagen.

#### 4.2 - Série Araçoiaba

Os resultados obtidos no estudo das características das bacias hidrográficas e das redes de drenagem dos solos desta unidade, são apresentadas a seguir:

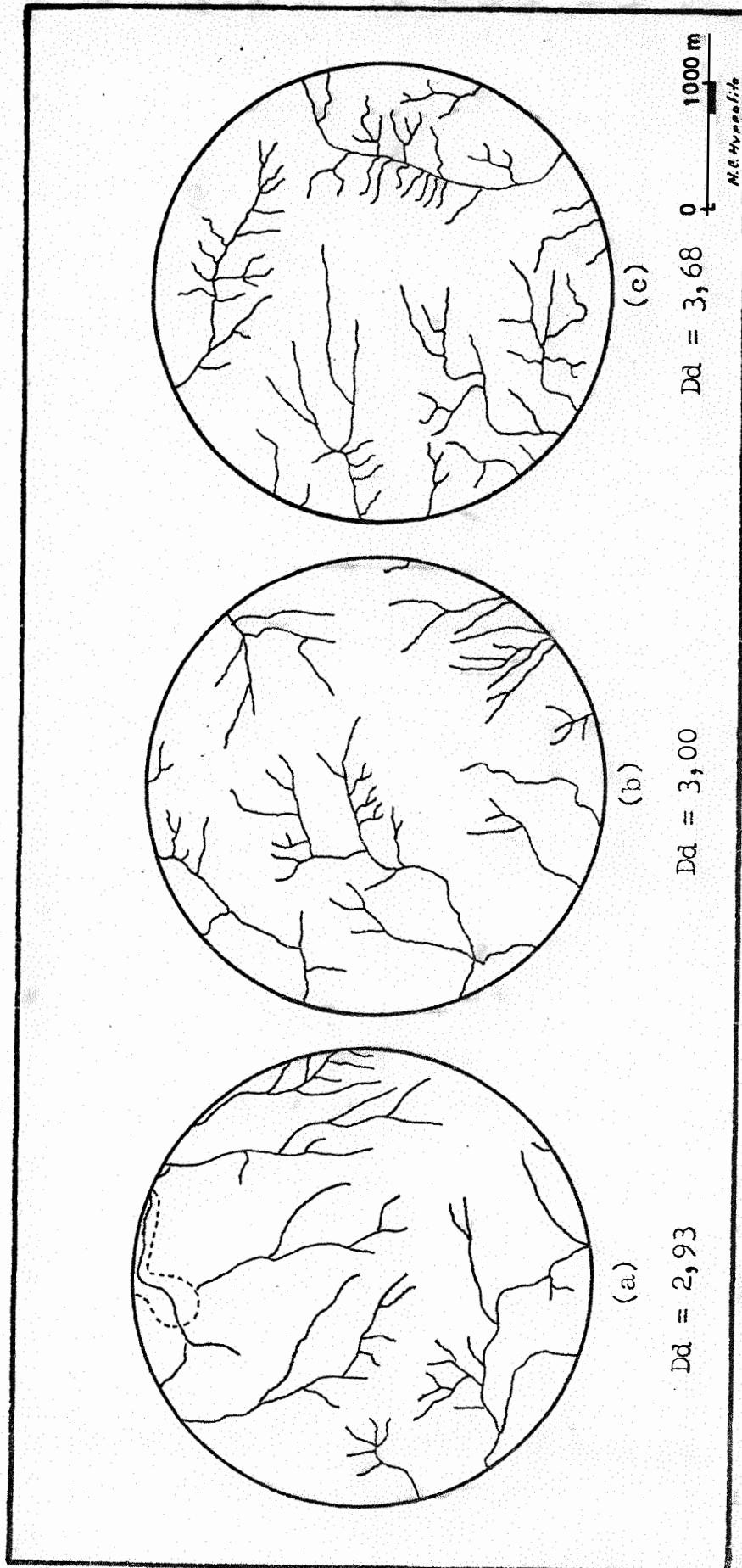


Fig. 3 - Amostragem circular da densidade de drenagem em solos da série Varnhagen.

#### 4.2.1 - Características das bacias hidrográficas

##### a) Localização

Os solos pertencentes à esta unidade de mapeamento, ocupam pequena área na parte sul da Fazenda, estendendo-se para as terras vizinhas, onde adquirem maior expressão geográfica. Assim, as bacias escolhidas estão localizadas fora da área da Fazenda Ipanema.

##### b) Representatividade

As bacias hidrográficas escolhidas para representarem a série Araçoiaba apresentam alta representatividade, com dominância quase que exclusiva de solos pertencentes a esta unidade de mapeamento; as inclusões que ocorrem são de solos Aluviais e Hidromórficos associados.

##### c) Propriedades dimensionais

As propriedades expressas por números dimensionais, selecionadas para a caracterização das bacias hidrográficas estudadas são apresentadas no Quadro 12.

QUADRO 12 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas da série Araçoiaba.

Bacia hidrográ- fica	Maior compri- mento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimento de rios		Perí- metro (P) km	Área (A) km <sup>2</sup>	Índice de compaci- dade (Kc)
			principal (CP) km	rede (CR) km			
I	1,50	1,25	1,30	2,75	4,10	1,33	0,99
II	1,83	1,70	1,70	4,90	5,30	1,76	1,12
III	2,00	1,10	2,00	5,20	4,90	1,42	1,15

##### d) Propriedades não dimensionais

As propriedades descritivas ou representadas por números sem dimensão, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas estudadas, estão indicadas no Quadro 13.

QUADRO 13 - Propriedades não dimensionais de bacias hidrográficas representativas da série Araçoiaba.

Bacia hidrográfica	Forma aproximada	Ordem (w)	Nº de segmentos de rios (N)	Simetria das vertentes
I	oval	3ª	8	assimétrica
II	pentagonal	3ª	11	simétrica
III	reniforme	3ª	9	simétrica

e) Semelhança geométrica

Aplicando o princípio da análise dimensional e semelhança geométrica, as bacias selecionadas para representar os solos da série Araçoiaba são muito semelhantes, embora diferindo ligeiramente quanto ao tamanho conforme se pode observar nos Quadros 12 e 14.

QUADRO 14 - Análise dimensional e semelhança geométrica aplicadas às bacias hidrográficas representativas de solos da série Araçoiaba.

Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear (R)					Razão média	Razão de escala quadrática	
	$\frac{C}{C_1}$	$\frac{L}{L_1}$	$\frac{CP}{CP_1}$	$\frac{P}{P_1}$	$\frac{CR}{CR_1}$	Rm	$\frac{A}{A_1}$	Rm <sup>2</sup>
$\frac{I}{II}$	0,82	0,73	0,76	0,77	0,56	0,73	0,76	0,53
$\frac{I}{III}$	0,75	1,15	0,65	0,83	0,53	0,78	0,93	0,62
$\frac{II}{III}$	0,92	1,55	0,85	1,08	1,08	1,09	1,23	1,18

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 analisadas, estão indicadas - no Quadro 15.



a) Análise do número de rios

Os segmentos de rios em cada ordem e o total da bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 16.

QUADRO 15 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3ª ordem, representativas de solos da série Araçoiaba.

Bacia hidrográ- fica	Ordem (w)	Nº de segmentos de rios		Razão de ramifi- cação (Rb)	Comprimento de rios em km			Razão de compri- mento médio (Rl)
		em cada ordem (Nw)	total da bacia (N)		em cada ordem		total da bacia (Lt)	
					total (Lw)	medio (Lm)		
I	1ª	5		-	1,85	0,37		0,67
	2ª	2		2,50	0,50	0,25		1,60
	3ª	1	8	2,00	0,40	0,40	2,75	-
II	1ª	8		-	2,80	0,35		2,14
	2ª	2		4,00	1,50	0,75		0,80
	3ª	1	11	2,00	0,60	0,60	4,90	-
III	1ª	9		-	3,10	0,34		0,97
	2ª	3		3,00	1,00	0,33		3,33
	3ª	1	13	3,00	1,10	1,10	5,20	-

QUADRO 16 - Número de segmentos de rios em cada ordem e número total da bacia, observados e calculados; dados de três bacias de 3ª ordem representativas da série Araçoiaba.

Ordem de rios (w)	Número de segmentos de rios em cada ordem -Nw					
	observados				calculados	
	I	II	III	média ponderada	equação	HORTON
1ª	5	8	9	7,43	7,04	7,45
2ª	2	2	3	2,32	2,32	2,73
3ª	1	1	1	1,00	0,95	1,00
nº total de rios (N)	8	11	13	10,75	10,31	11,18

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

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

Para os dados observados nas bacias representativas dos solos da série Araçoiaba, a equação toma a seguinte forma:

$$\log N_w = 1,28315 - 0,43550 \cdot w$$

As razões de ramificação observadas variam de 2,00 a 4,00, com um valor médio de 2,75. O valor médio calculado foi:

$$R_b = \text{antilog } b = 2,73$$

A regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, é representada pela Figura 4.

b) Análise dos comprimentos de rios

A soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem de ramificação e o comprimento total na bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 17.

QUADRO 17 - Soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e comprimento total de rios na bacia, observados e calculados; dados de três bacias de 3ª ordem, representativas de solos da série Araçoiaba.

Ordem de rios (w)	Comprimento de rios em cada ordem, Lw (km)					
	observados				calculados	
	I	II	III	media ponderada	total da ordem (Lt)	medio, (Lm)
1ª	1,85	2,80	3,10	2,61	2,40	0,34
2ª	0,50	1,50	1,00	1,05	1,24	0,53
3ª	0,40	0,60	1,10	0,70	0,64	0,67
comprimento total de rios (Lt)	2,75	4,90	5,20	4,36	4,28	-

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

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

Para os dados observados nas bacias representativas desta série, a equação toma a seguinte forma:

$$\log L_w = 0,66576 - 0,28577 \cdot w$$

As razões de comprimento observadas variam entre 0,80 e 3,33. A razão de comprimento calculada entre os comprimentos totais de uma ordem e a seguinte, é:

$$R_{lw} = \text{antilog } b = 1,93$$

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

$$R_l = 1,41$$

A regressão da soma dos comprimentos de rios sobre as ordens de rios, está representada na Figura 5.

#### 4.2.2.2 - Padrão de drenagem

a) As características descritivas do padrão de drenagem, relacionadas as redes de drenagem das bacias representativas dos solos da série Araçoiaba, estão indicadas no Quadro 18.

As inferências que as características descritivas permitem, são: trata-se de material relativamente resistente à erosão, apesar da permeabilidade não ser muito rápida. Isto concorda com a natureza do solo - textura argilosa com tendência ao desenvolvimento de boa estrutura; perfil latossólico porém apresentando algumas características comuns ao horizonte B textural (aumento do conteúdo de argila e presença de cerosidade fraca).

b) As características quantitativas do padrão de drenagem relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro das

log Nw

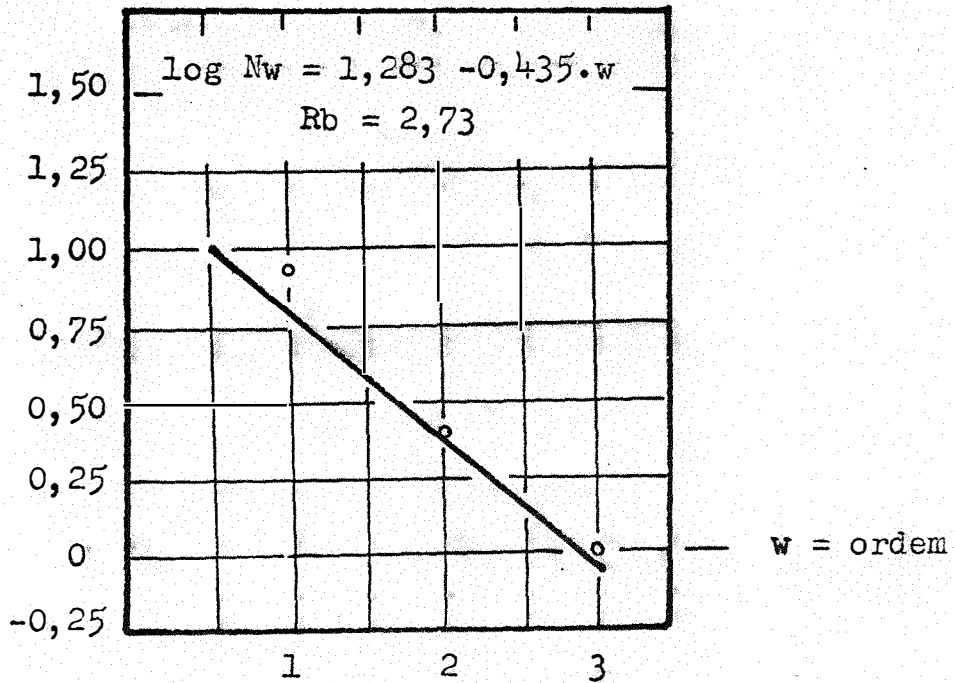


Fig. 4 - Regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da série Araçoiaba.

log Lw

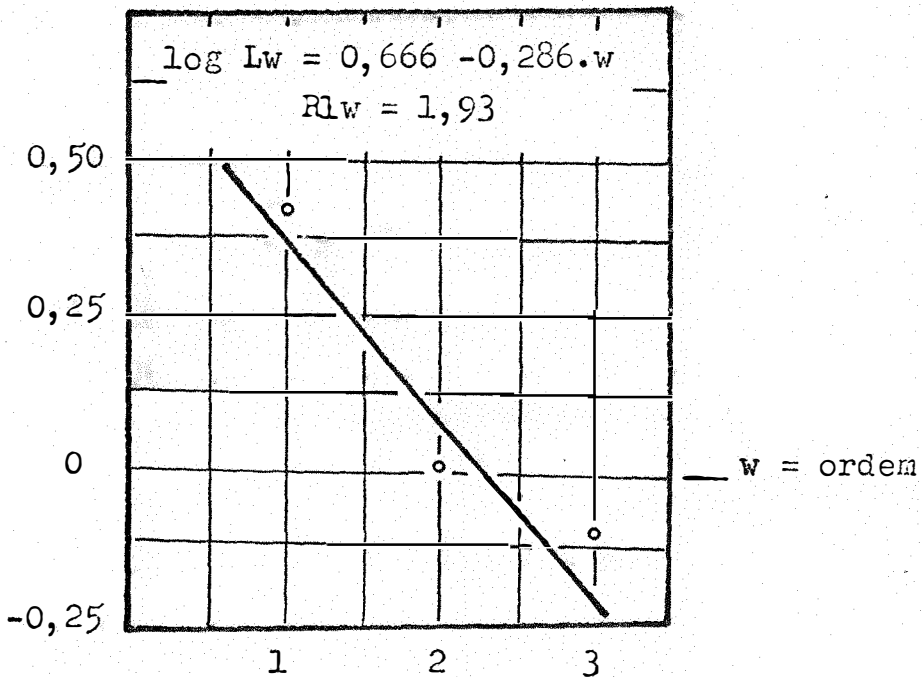


Fig. 5 - Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da série Araçoiaba.

bacias hidrográficas, estão indicados no Quadro 19.

QUADRO 18 - Características descritivas do padrão de drenagem dos solos da série Araçoiaba.

Característica do padrão	Descrição
Grau de integração	moderado
Densidade	média a alta
Uniformidade	uniforme
Orientação	não orientado
Grau de controle	não controlado
Ângulos de junção	variáveis, tendendo para retos
Angularidade	ausente
Tipo ou modelo	dendrítico modificado

QUADRO 19 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos da série Araçoiaba.

Bacia hidrográfica	Frequência de rios (Fr)	Densidade de drenagem (Dd)	Razão de Textura (T)
I	6,01	2,07	1,95
II	6,26	2,79	2,07
III	9,13	3,65	2,65

c) A razão de textura média, ponderada em relação às áreas das bacias, apresenta o valor  $T_m = 2,21$ .

d) As densidades de drenagem determinadas em amostras circulares de  $10 \text{ km}^2$  de área, representativas de solos da série Araçoiaba, estão indicadas no Quadro 20.

A Figura 6 representa as três amostras circulares de  $10 \text{ km}^2$  de área, selecionadas como representativas da densidade de drenagem dos solos da série Araçoiaba.

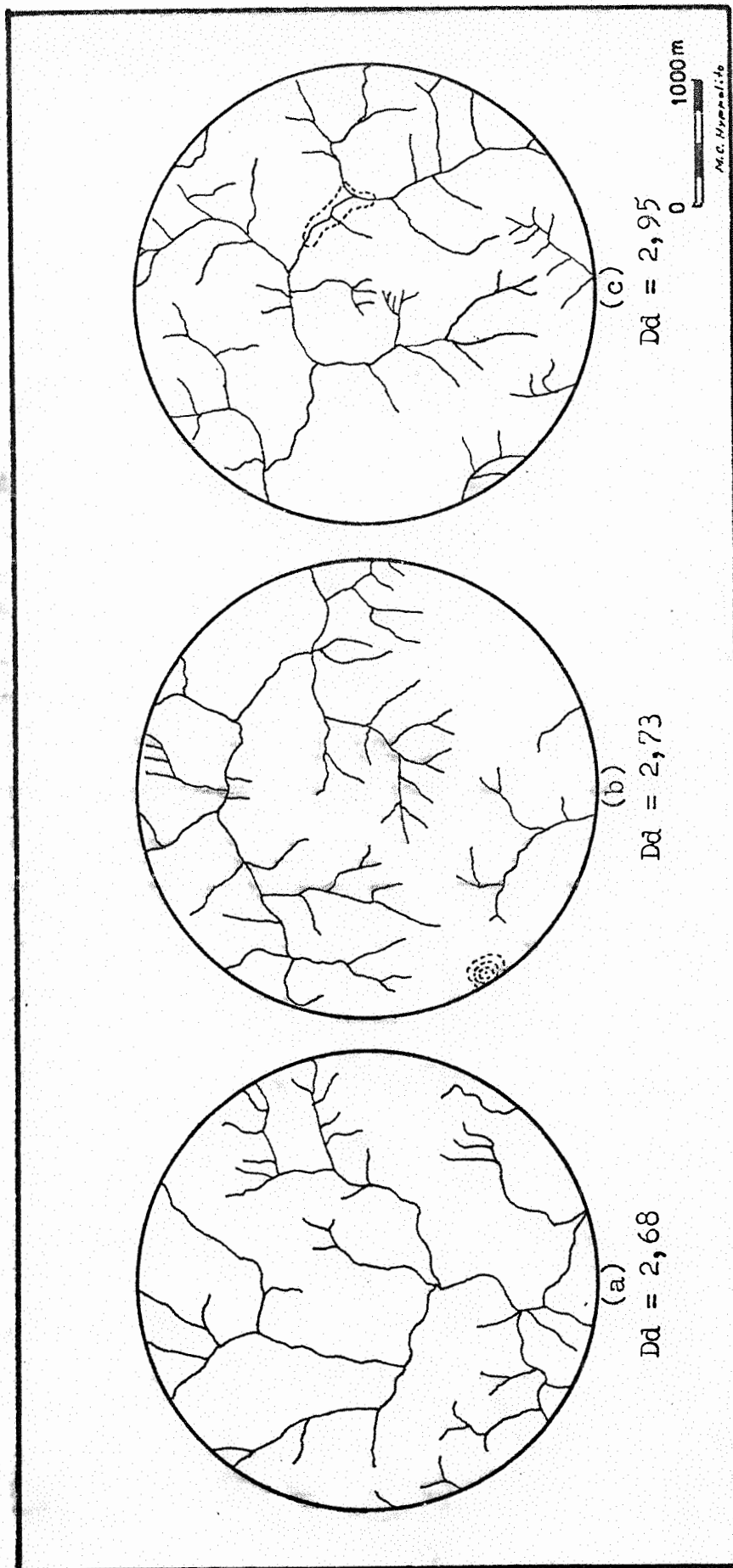


Fig. 6 - Amostragem circular da densidade de drenagem em solos da série Araçoiaba.

QUADRO 20 - Densidades de drenagem obtidas em amostras circulares de 10 km<sup>2</sup> de área para solos da série Araçoiaba.

Unidade de solo	Densidade de drenagem, Dd= km/km <sup>2</sup>			Desvio padrão	
	determinações		média		
Araçoiaba	2,68	2,73	2,95	2,79	± 0,14

#### 4.3 - Série Realengo

Os resultados do estudo das características das bacias hidrográficas e das respectivas redes de drenagem dos solos desta unidade, são apresentados a seguir:

##### 4.3.1 - Características das bacias hidrográficas

###### a) Localização

A área ocupada pelos solos pertencentes a esta unidade de mapeamento situa-se na parte leste da Fazenda Ipanema e abrange a quase totalidade da área denominada Campos Realengos. As bacias escolhidas estão localizadas principalmente nos Campos - Realengos e adjacências.

###### b) Representatividade

As três bacias hidrográficas escolhidas para representar os solos da série Realengo apresentam alta representatividade, com dominância acentuada de solos desta unidade; as inclusões que ocorrem são de solos Aluviais e Hidromórficos associados.

###### c) Propriedades dimensionais

As propriedades dimensionais selecionadas para a caracterização das bacias hidrográficas estudadas estão indicadas no Quadro 21.

QUADRO 21 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas de solos da série Realengo.

Bacia hidrográ- fica	Maior comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimento de rios		Perímetro (P) km	Área (A) km <sup>2</sup>	Índice de compaci- dade (Kc)
			principal (CP) km	rede (CR) km			
I	1,80	1,70	1,90	3,70	5,10	1,96	1,02
II	2,10	1,80	2,40	5,80	6,60	2,58	1,15
III	3,30	1,30	2,90	4,30	9,60	3,25	1,49

d) Propriedades não dimensionais

As propriedades descritivas ou representadas por números sem dimensão, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas estudadas, são apresentadas no Quadro 22.

QUADRO 22 - Propriedades não dimensionais de bacias hidrográficas representativas de solos da série Realengo.

Bacia hidrográ- fica	Forma aproximada	Ordem (w)	Nº de segmentos de rios (N)	Simetria das vertentes
I	oval	3ª	8	assimétrica
II	triangular	3ª	13	assimétrica
III	reniforme	3ª	8	assimétrica

e) Semelhança geométrica

Pelo princípio da análise dimensional e semelhança geométrica, as bacias escolhidas para representar os solos da série Realengo são muito semelhantes, embora apresentando diferenças quanto ao tamanho, como pode se verificar pelos Quadros 21 e 23.



QUADRO 23 - Análise dimensional e semelhança geométrica aplicadas às bacias hidrográficas representativas dos solos da série Realengo.

Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear (R)					Razão média	Razão de escala quadrática	
	$\frac{C}{C_1}$	$\frac{L}{L_1}$	$\frac{CP}{CP_1}$	$\frac{CR}{CR_1}$	$\frac{P}{P_1}$	Rm	$\frac{A}{A_1}$	Rm <sup>2</sup>
$\frac{I}{II}$	0,86	0,94	0,79	0,64	0,77	0,80	0,76	0,64
$\frac{I}{III}$	0,54	1,31	0,65	0,84	0,53	0,77	0,60	0,59
$\frac{II}{III}$	0,64	1,38	0,83	1,35	0,69	0,98	0,71	0,96

#### 4.3.2 - Características das redes de drenagem

##### 4.3.2.1 - Composição da rede de drenagem

As características referentes à composição das redes de drenagem das bacias representativas da série Realengo, são apresentadas no Quadro 24.

QUADRO 24 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas de 3ª ordem, representativas de solos da série Realengo.

Bacia hidrográfi- ca	Ordem (w)	Nº de segmentos de rios		Razão de ramifi- cação (Rb)	Comprimento de rios em km			Razão de compri- mento médio (Rl)
		em cada ordem (Nw)	total da bacia (N)		em cada ordem total	médio	total da bacia (Lt)	
I	1ª	5		-	2,20	0,44		1,14
	2ª	2		2,50	1,00	0,50		1,00
	3ª	1	8	2,00	0,50	0,50	3,70	-
II	1ª	9		-	2,80	0,31		1,61
	2ª	3		3,00	1,50	0,50		3,00
	3ª	1	13	3,00	1,50	1,50	5,80	-
III	1ª	5		-	2,00	0,40		2,12
	2ª	2		2,50	1,70	0,85		0,71
	3ª	1	8	2,00	0,60	0,60	4,30	-

a) Análise do número de rios

Os segmentos de rios em cada ordem e o número total da bacia, observados e calculados, estão indicados no Quadro 25.

QUADRO 25 - Número de segmentos de rios em cada ordem e número total da bacia, observados e calculados; dados de três bacias de 3ª ordem representativas da série Realengo.

Ordem de rios (w)	Número de segmentos de rios em cada ordem - Nw					
	observados				calculados	
	I	II	III	média ponderada	equação	HORTON
1ª	5	9	5	6,32	6,26	6,30
2ª	2	3	2	2,45	2,49	2,51
3ª	1	1	1	1,00	0,99	1,00
nº total de rios (N)	8	13	8	9,77	9,74	9,81

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

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

Para os dados observados nas bacias representativas - de solos da série Realengo, a equação toma a forma:

$$\log Nw = 1,19694 - 0,40036 \cdot w$$

As razões de ramificação observadas variam entre 2,00 e 3,00, com um valor médio de 2,50. O valor médio calculado foi:

$$Rb = \text{antilog } b = 2,51$$

A regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, é representada pela Figura 7.

b) Análise dos comprimentos 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 26.

QUADRO 26 - Soma dos comprimentos de segmentos de rios em cada ordem e comprimento total de rios, observados e calculados, dados de três bacias de 3ª ordem representativas de solos da série Realengo.

Ordem de rios (w)	Comprimento de rios em cada ordem, Lw (km)					
	observados				calculados	
	I	II	III	média ponderada	total da ordem (Lt)	médio (Lm)
1ª	2,20	2,80	2,00	2,31	2,32	0,37
2ª	1,00	1,50	1,70	1,46	1,43	0,58
3ª	0,50	1,50	0,60	0,87	0,88	0,89
comprimento total de rios (Lt)	3,70	5,80	4,30	4,64	4,63	-

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

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

Para os dados observados nas bacias representativas de solos da série Realengo, a equação toma a seguinte forma:

$$\log Lw = 0,57751 - 0,21120 \cdot w$$

As razões de comprimento observadas variam de 0,71 a 3,00. A razão de comprimento calculada entre os comprimentos totais de uma ordem e a seguinte, é:

$$Rlw = \text{antilog } b = 1,63$$

A razão de comprimento entre os comprimentos médios de segmentos de rios de uma ordem e a anterior, é:

$$Rl = 1,52$$

A regressão da soma dos comprimentos de rios sobre as ordens de rios, é indicada na Figura 8.

log Nw

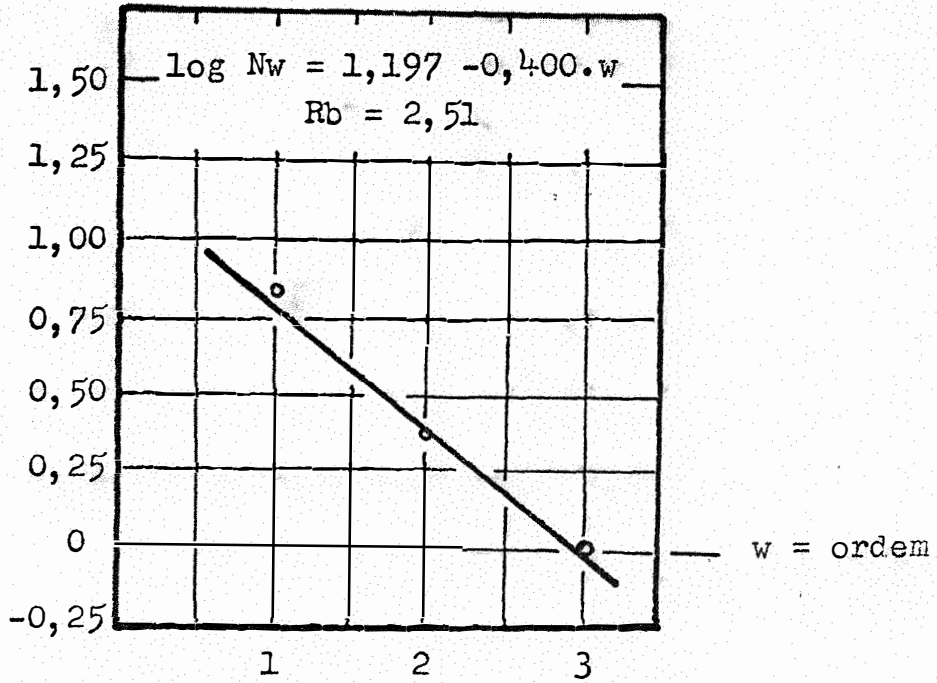


Fig. 7 - Regressão do número de segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da série Realengo.

log Lw

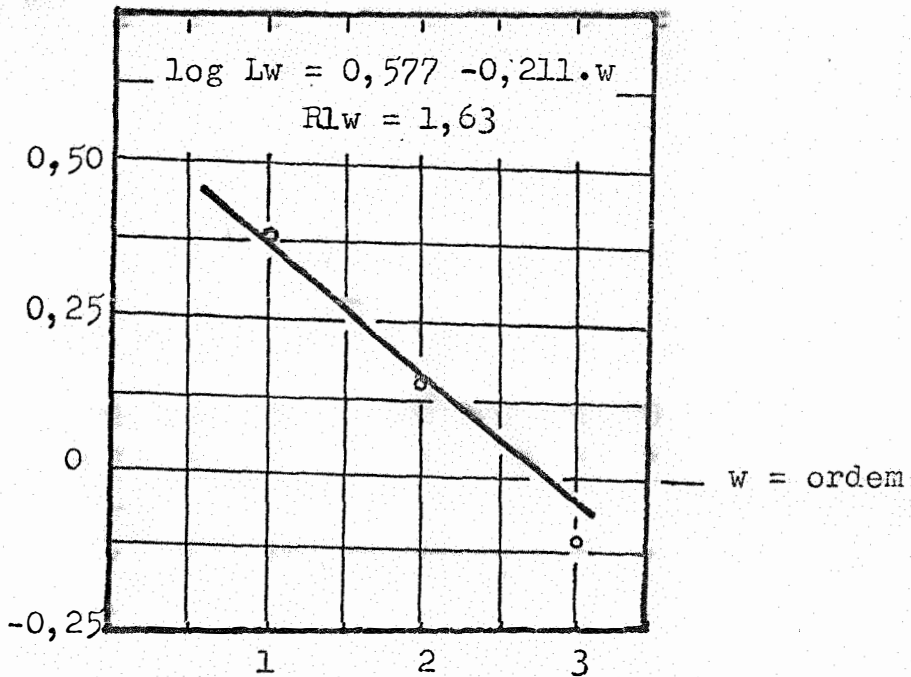


Fig. 8 - Regressão da soma dos comprimentos de segmentos de rios sobre as ordens de rios, em solos da série Realengo.

#### 4.3.2.2 - Padrão de drenagem

a) As características descritivas do padrão de drenagem, relacionadas às redes de drenagem das bacias representativas de solos da série Realengo, estão indicadas no Quadro 27.

As inferências que as características descritivas permitem, são: material resistente à erosão, permeabilidade rápida, perfil bem desenvolvido, provavelmente de textura argilosa e estrutura porosa. Estas inferências concordam com a natureza do solo, que apresenta perfil latossólico típico.

QUADRO 27 - Características descritivas do padrão de drenagem de solos da série Realengo.

Características do padrão	Descrição
Grau de integração	baixo
Densidade	baixa
Uniformidade	uniforme
Orientação	não orientado
Grau de controle	não controlado
Ângulos de junção	aproximadamente retos
Angularidade	ausente
Tipo ou modelo	sub paralelo

b) As características quantitativas do padrão de drenagem, relacionando a rede de drenagem à área e ao perímetro das bacias hidrográficas, estão indicadas no Quadro 28.

QUADRO 28 - Características quantitativas do padrão de drenagem de solos da série Realengo.

Bacia hidrográfica	Frequência de rios (Fr)	Densidade de drenagem (Dd)	Razão de textura (T)
I	3,57	1,88	1,57
II	5,43	2,25	1,98
III	2,46	1,32	0,83

c) A razão de textura média, ponderada em relação às áreas das bacias, apresenta o valor  $T_m = 1,40$ .

d) As densidades de drenagem determinadas em amostras circulares de  $10 \text{ km}^2$  de área, representativas de solos da série Realengo, estão indicadas no Quadro 29.

QUADRO 29 - Densidade de drenagem obtidas em amostras circulares - de  $10 \text{ km}^2$  de área para a série Realengo.

Unidade de solo	Densidade de drenagem, $D_d \text{ km/km}^2$			Desvio padrão	
	determinações		média		
Realengo	1,41	1,53	1,77	1,57	$\pm 0,18$

Na Figura 9 estão apresentadas as três amostras circulares de  $10 \text{ km}^2$  de área, selecionadas para representar a densidade de drenagem dos solos da série Realengo.

#### 4.4 - Comparação entre solos

Os resultados obtidos nas áreas representativas das unidades estudadas, foram comparados com o propósito de se verificar quais as características das bacias hidrográficas e/ou das redes de drenagem poderiam servir como critérios de diferenciação entre solos, com a finalidade de serem aplicados em fotointerpretação.

Considerando as medições e observações realizadas em bacias hidrográficas de 3ª ordem, escolhidas para representar as séries de solo, notou-se que a forma variou quando se compararam bacias de solos diferentes; porém, a variação é muito pequena quando se comparam bacias dentro de uma mesma unidade de solo. Com referência à simetria das vertentes, não houve grande variação, mesmo quando se analisaram, conjuntamente, as nove bacias representativas das três unidades de solos. Quanto à área e ao perímetro, houve uma variação relativamente acentuada entre as unidades de solos, principalmente no caso da série Realengo, que apresentou valores bem maiores tanto para a área como para o perímetro, comparati

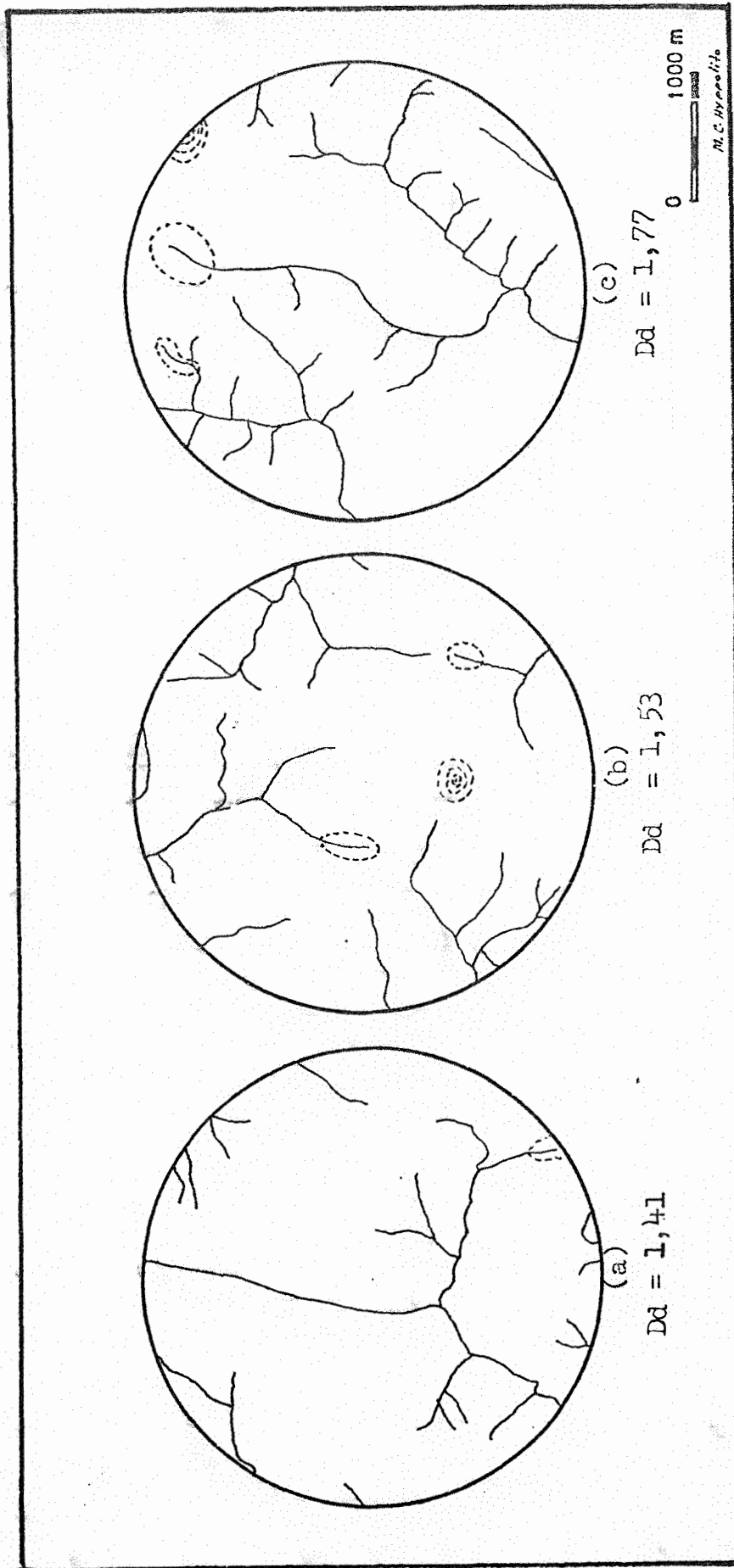


Fig. 9 - Amostragem circular da densidade de drenagem em solos da série Realengo.

vamente, às outras duas unidades de solo. Isto provavelmente ocorre, em virtude de serem os solos da série Realengo, mais permeáveis em relação aos outros dois solos considerados.

De um modo geral a rede de drenagem forneceu melhores indícios do que as bacias para a distinção entre os solos estudados.

Com relação ao padrão de drenagem, foram comparadas várias características quantitativas, dentre as quais, a razão de ramificação, comprimento médio de segmentos de rios, razão de comprimento, razão de textura média e densidade de drenagem em amostras circulares, foram as que melhores indícios forneceram para diferenciar os solos estudados.

#### 4.4.1 - Razão de ramificação

A razão de ramificação indica quantas vezes aumenta o número de segmentos de rios quando se passa de uma ordem para outra imediatamente inferior.

Esta característica apresentou ligeira variação com a natureza do solo, sugerindo que se relaciona com o comportamento hidrológico do mesmo. Notou-se que a razão de ramificação é menor, tanto para os valores observados como os calculados, para os solos mais permeáveis (série Realengo), o que se explica pela presença de perfis latossólicos nos solos desta série; os solos da série Varnhagen apresentaram o maior valor para a razão de ramificação, o que se explica por serem os solos menos permeáveis, em virtude da presença de horizonte B textural; e os solos da série Araçoiaba, apresentaram valores intermediários, conforme se pode observar no Quadro 30.

#### 4.4.2 - Comprimento médio dos segmentos de rios

O comprimento médio dos segmentos de rios, foi analisado segundo as ordens de ramificação e, embora seja muito provável que ocorram variações nesta característica por controle geológico ou topográfico, ela revelou-se importante, indicando que se



relaciona com o comportamento hidrológico do solo. Houve uma variação apreciável nos valores observados e calculados desta característica para as três unidades de solo. Assim, a série Realengo apresentou valores maiores para os comprimentos médios de rios, enquanto a série Varnhagen apresentou os menores valores, ficando a série Araçoiaba em uma posição intermediária, conforme está demonstrado no Quadro 31.

QUADRO 30 - Variação encontrada e valores médios observados e calculados para a razão de ramificação, em redes de drenagem de 3ª ordem para as unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Razão de ramificação, Rb			
	variação encontrada		valor médio	
	$\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{w_2}{w_3}$	observado	calculado
Varnhagen	3,33 - 4,00	2,00 - 3,00	2,97	2,89
Araçoiaba	2,50 - 4,00	2,00 - 3,00	2,75	2,73
Realengo	2,00 - 3,00	2,00 - 3,00	2,50	2,51

QUADRO 31 - Variação encontrada e valores médios observados e calculados para os comprimentos médios dos segmentos de rios de cada ordem, em redes de drenagem de 3ª ordem - desenvolvidos nos solos estudados

Unidade de solo	Ordem (w)	Comprimento médio de segmentos de rios, Lm (km)		
		variação encontrada	valor médio	
			observado	calculado
Varnhagen	1ª	0,20 - 0,28	0,22	0,21
	2ª	0,20 - 0,55	0,33	0,39
	3ª	0,40 - 1,00	0,73	0,73
Araçoiaba	1ª	0,34 - 0,37	0,35	0,34
	2ª	0,25 - 0,75	0,44	0,53
	3ª	0,40 - 1,10	0,70	0,67
Realengo	1ª	0,31 - 0,44	0,38	0,37
	2ª	0,50 - 0,85	0,62	0,58
	3ª	0,50 - 1,50	0,87	0,88

#### 4.4.3 - Razão de comprimento

Segundo HORTON (14), a razão de comprimento indica quantas vezes o comprimento médio de segmentos de rios aumenta ao se passar de uma ordem para outra mais elevada.

Esta característica variou com a natureza do solo, sugerindo uma correlação entre ela e o comportamento hidrológico dos solos. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 32.

QUADRO 32 - Variação encontrada e valores médios observados e calculados para a razão de comprimento, em redes de drenagem de 3ª ordem desenvolvidas nas três séries de solos estudadas.

Unidade de solo	Razão de comprimento, $R_l$			
	variação encontrada		valor médio	
	$\frac{w_3}{w_2}$	$\frac{w_2}{w_1}$	observado	calculado
Varnhagen	0,73 - 4,00	0,95 - 2,29	2,20	1,86
Araçoiaba	0,80 - 3,33	0,67 - 2,14	1,58	1,41
Realengo	0,71 - 3,00	1,14 - 2,12	1,59	1,52

Verifica-se que a razão de comprimento se comporta de modo diferente à razão de ramificação, tendendo o valor médio calculado a ser maior para os solos menos permeáveis (série Varnhagen) e adquirindo valores menores para os solos mais permeáveis (séries Araçoiaba e Realengo). Considerando estes dados, pode-se admitir que houve influência de controle geológico ou topográfico, mais provavelmente do primeiro, em virtude de ocorrerem os solos da série Varnhagen associados com a sua fase rasa e Litossol Varnhagen.

Constatou-se ainda, que a razão de comprimentos médios,  $R_l$ , pode ser expressa pela relação entre a razão de ramificação,  $R_b$ , e a razão de comprimentos totais de segmentos de rios das várias ordens,  $R_{lw}$ . Assim:

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

Estas relações são mostradas no Quadro 33

QUADRO 33 - Relações entre razão de ramificação, razão de comprimento total e razão de comprimento médio, para as redes de drenagem de 3ª ordem desenvolvidas nas três unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Razão de ramificação (Rb)	Razão de comprimento total (RLw)	$RL_1 = \frac{Rb}{RLw}$	Razão de comprimento médio (RL)*
Varnhagen	2,89	1,54	1,87	1,86
Araçoiaba	2,73	1,93	1,41	1,41
Realengo	2,51	1,63	1,54	1,52

\* Valores calculados conforme constam do Quadro 32.

#### 4.4.4 - Razão de textura média

Os valores médios ponderados da razão de textura para as unidades de solos estudadas são apresentados no Quadro 34.

QUADRO 34 - Valores médios ponderados da razão de textura para as séries das unidades de solo estudadas.

Unidade de solo	Soma das áreas - das bacias representativas	Soma dos produtos área x razão de textura	Valor médio ponderado da razão de textura
Varnhagen	2,656	8,289	3,12
Araçoiaba	4,511	10,003	2,21
Realengo	7,781	10,867	1,40

Esta característica mostrou-se útil para evidenciar diferenças entre os solos estudados, traduzindo comportamentos hidrológicos diferentes. Assim, o maior valor da razão de textura média coube ao solo menos permeável (série Varnhagen) e o menor, ao solo mais permeável (série Realengo). A série Araçoiaba colocou-se numa posição intermediária, de acordo com as características peculiares destes solos.

#### 4.4.5 - Razão de textura média e textura topográfica

Levando-se em consideração os parâmetros apresentados no Quadro 2 e, tomando-se por base os resultados do Quadro 34, os solos da série Varnhagen podem ser classificados como de textura topográfica média, enquanto que os solos das séries Araçoiaba e Realengo apresentam textura topográfica grosseira.

#### 4.4.6 - Densidade de drenagem determinada em amostras circulares

A densidade de drenagem foi determinada em três amostras circulares de 10 km<sup>2</sup> de área, para cada unidade de solo, procurando-se sempre selecionar áreas que abrangessem a maior proporção possível de cada unidade. Os resultados obtidos estão indicados no Quadro 35.

QUADRO 35 - Valores da densidade de drenagem obtidos em amostras circulares de 10 km<sup>2</sup> de área, representativas das redes de drenagem dos solos estudados.

Unidade de solo	Densidade de drenagem, Dd, em km/km <sup>2</sup>		
	determinações	média	erro da média
Varnhagen	2,93	3,20	± 0,41
	3,00		
	3,68		
Araçoiaba	2,68	2,79	± 0,14
	2,73		
	2,95		
Realengo	1,41	1,57	± 0,18
	1,53		
	1,77		

Como era de se esperar, os maiores valores da densidade de drenagem correspondem aos solos menos permeáveis (série Varnhagen) e os valores menores, aos solos mais permeáveis (série Realengo).

lengo). Da mesma forma que a razão de textura média, a densidade de drenagem determinada em amostras circulares revelou ser um bom índice das diferenças entre solos, refletindo diferenças no comportamento hidrológico dos mesmos.

No Quadro 36 estão reunidos os valores médios da densidade de drenagem de amostras circulares e da razão de textura média.

QUADRO 36 - Valores médios da densidade de drenagem de amostras circulares e da razão de textura média, para os solos estudados.

Unidade de solo	Valor médio da densidade de drenagem	Razão de textura média
Varnhagen	3,20	3,12
Araçoiaba	2,79	2,21
Realengo	1,57	1,40

#### 4.4.7 - Relação entre razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares

Reunindo os dados de razão de textura média ( $T_m$ ) apresentados no Quadro 34 e os de densidade de drenagem ( $D_d$ ) obtidos em amostras circulares, apresentados no Quadro 35, procedeu-se ao estudo comparativo entre essas duas características quantitativas do padrão de drenagem. A análise efetuada mostrou a existência de uma correlação linear positiva e altamente significativa, conforme mostra a Figura 10.

#### 4.4.8 - Relação entre características quantitativas determinadas em bacias hidrográficas

Finalmente, procurou-se investigar as relações entre características quantitativas do padrão de drenagem, referidas às bacias hidrográficas estudadas. Conforme mostra a Figura 11, há uma boa correlação entre os dados da densidade de drenagem e razão de textura. Analogamente, a Figura 12 mostra que também existe uma boa correlação linear entre os dados de frequência de rios e razão de textura. Contudo, esta última mostrou-se mais significativa que a relação anterior.

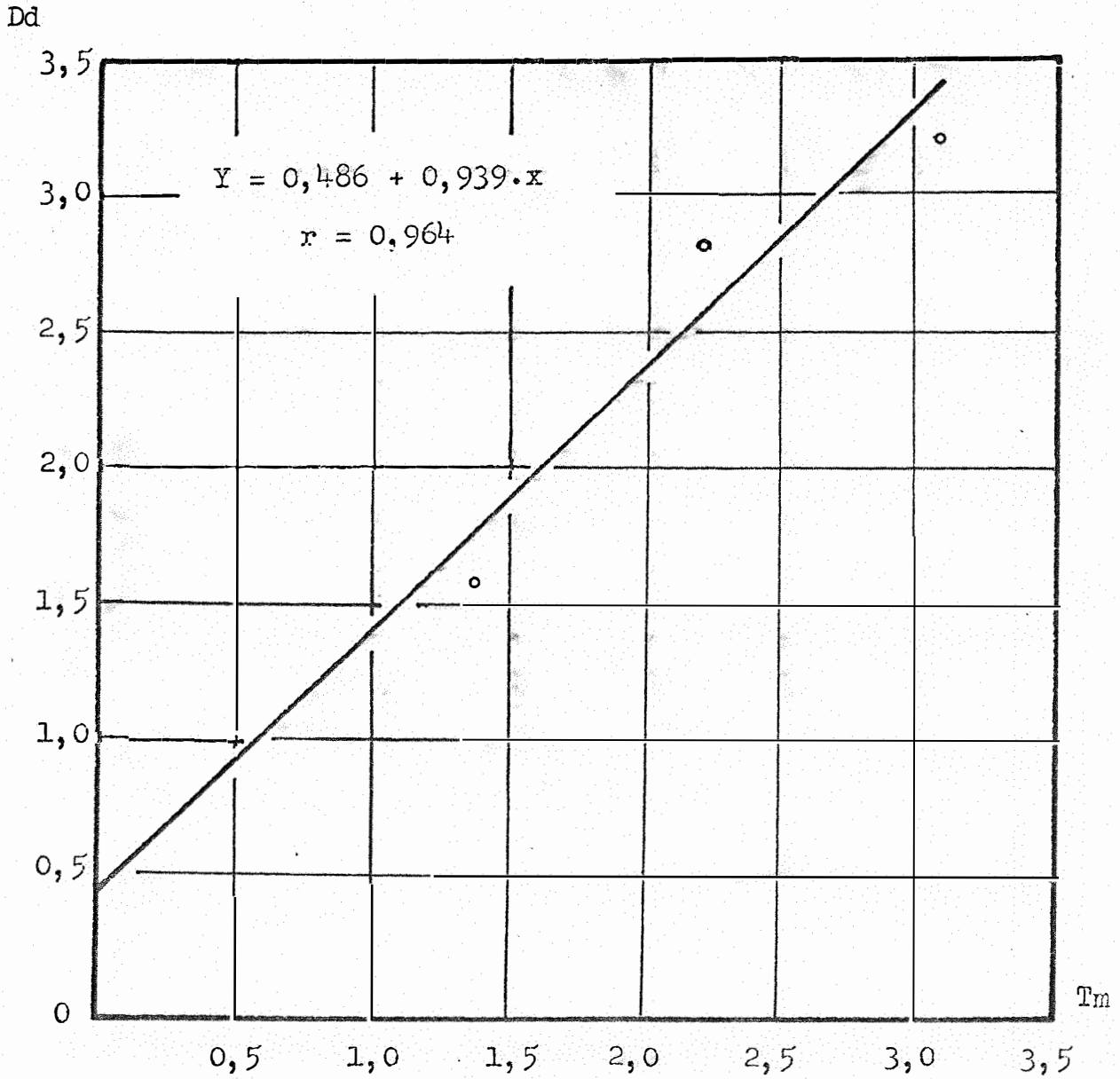


Fig. 10 - Relação entre a razão de textura média ponderada e valores médios de densidade de drenagem de amostras circulares, para as três séries de solos estudadas.

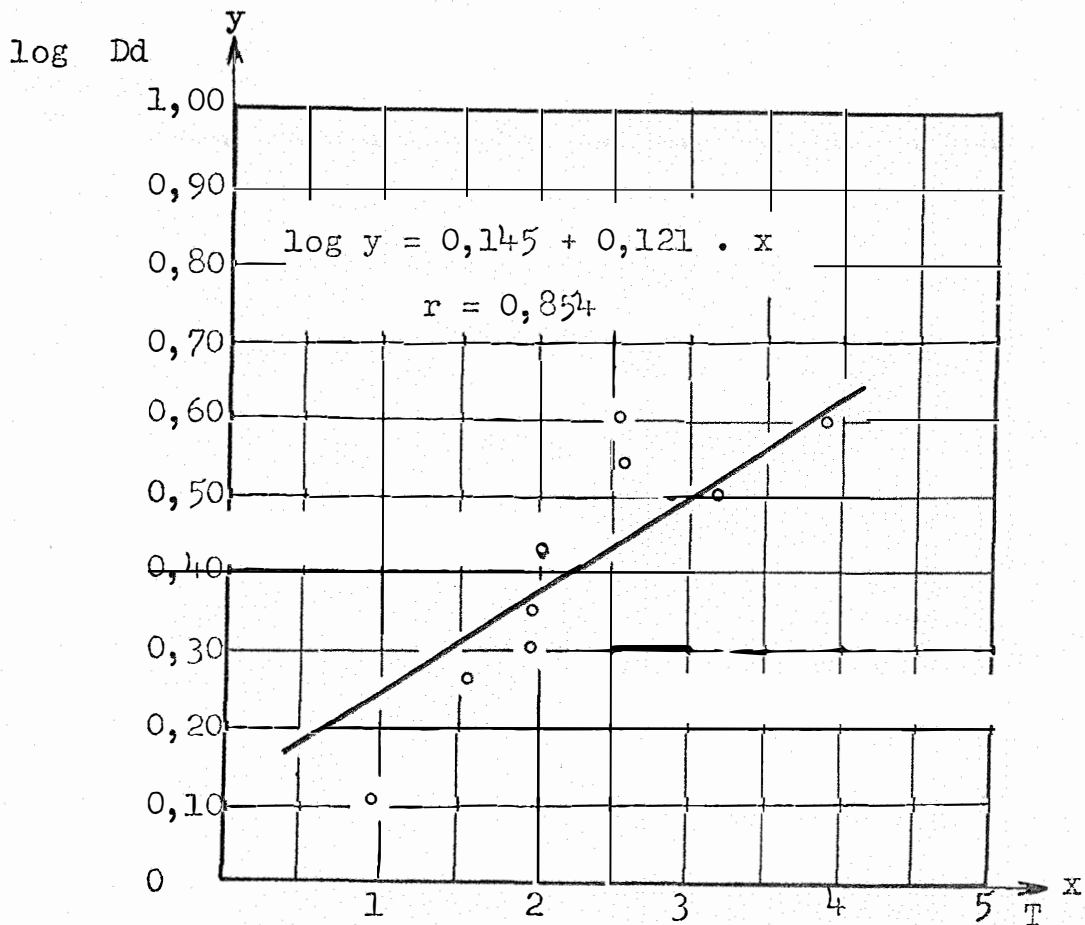


Fig. 11 - Relação entre densidade de drenagem e razão de textura; dados de nove bacias hidrográficas representando as três unidades de solo estudadas.

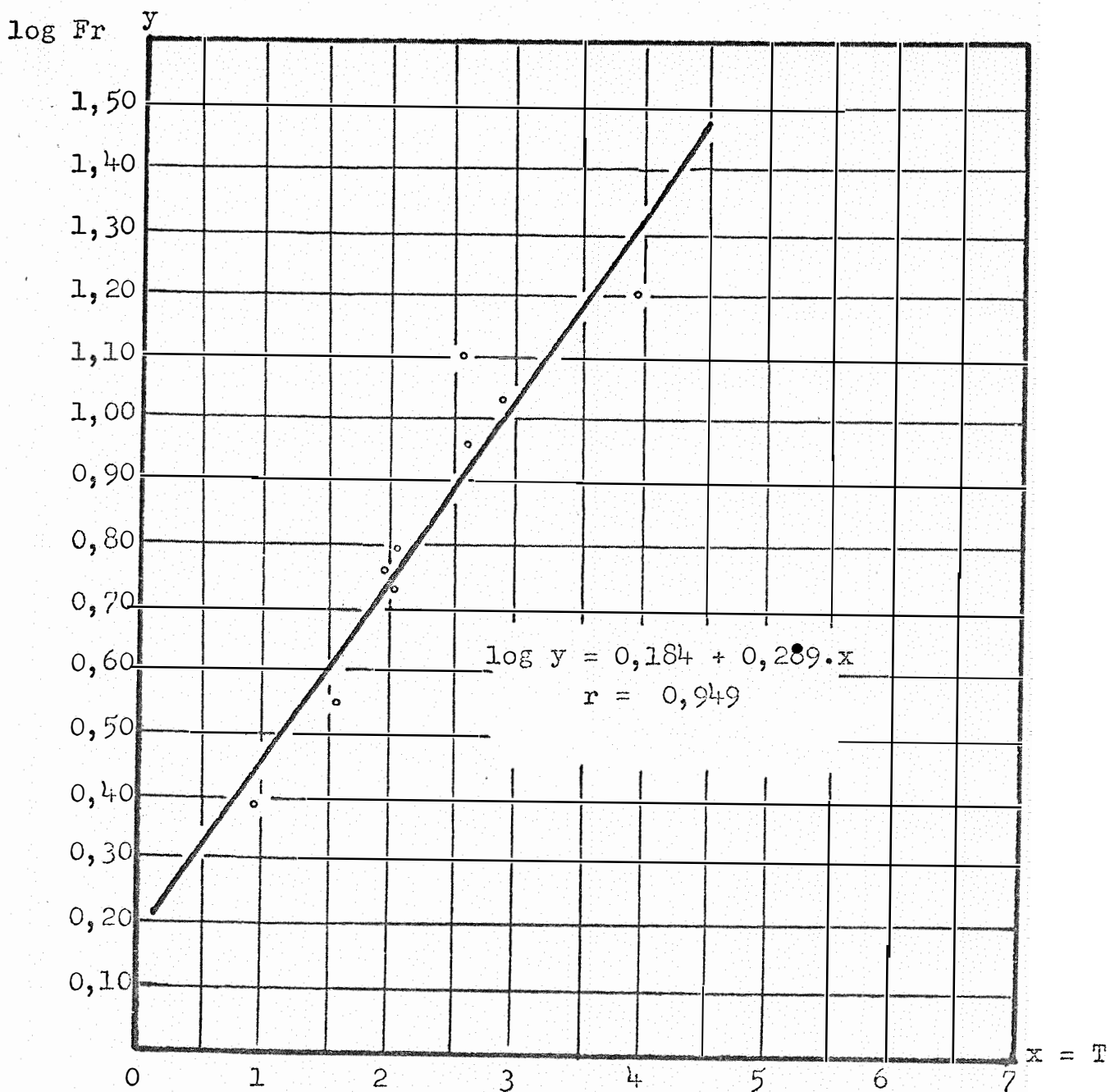


Fig. 12 - Relação entre razão de textura e frequência de rios; dados de nove bacias hidrográficas representando as três unidades de solo estudadas.



## 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

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

### 5.1 - Limitações da análise de bacias hidrográficas

O estudo da composição de redes hidrográficas e das características do padrão de drenagem visando a sua aplicação em fotointerpretação de solos e substratos rochosos é, de um modo geral, fundamentado na delimitação, análise e comparação de dados obtidos em pequenas bacias hidrográficas de mesma ordem de rios. Logicamente, para que a comparação de dados e as conclusões tiradas sejam válidas, é necessário que as amostras de bacias hidrográficas sejam suficientemente homogêneas quanto à geologia e edafologia ou, no dizer de FROST (11), apresentem semelhança de solos.

STRAHLER (35) afirma ser necessário uma outra condição, além da homogeneidade de rochas e de solos, para que se possa comparar bacias hidrográficas. Esta condição é a semelhança geométrica entre as bacias.

Segundo STRAHLER (35), mesmo que duas bacias apresentem diferenças quanto ao tamanho, sempre guardarão razões de escala aproximadamente constantes em todas as medições realizadas, desde que exista semelhança geométrica entre elas.

Selecionando-se bacias hidrográficas de 3ª ordem, procurou-se satisfazer, na medida em que foi possível, aquelas duas

outras condições - homogeneidade de solos e semelhança geométrica. De um modo geral, as bacias escolhidas para representar cada unidade de solo, preenchem satisfatoriamente as duas últimas condições.

Com relação à série Varnhagen, a representatividade - pode ser considerada como alta, uma vez que nesta unidade de solos, as três bacias apresentam dominância de solos semelhantes - série Varnhagen e sua fase rasa ou Litossol Varnhagen (RANZANI et al., 24). Ocorrem, porém, pequenas inclusões de outros solos, além de afloramentos de rochas (arenito conglomerático).

No tocante à série Araçoiaba, a representatividade - também é alta, com dominância quase que total de solos pertencentes a esta unidade de mapeamento, ocorrendo pequenas inclusões de solos Aluviais e Hidromórficos.

Finalmente, da mesma forma que na unidade anterior, a série Realengo apresenta alta representatividade, com marcante dominância de solos desta série; as inclusões que nela ocorrem, são de solos Aluviais e Hidromórficos, embora em proporção maior do que a apresentada pela série Araçoiaba.

No que diz respeito à semelhança geométrica, as bacias escolhidas para representar a série Realengo são muito semelhantes, o mesmo ocorrendo com as bacias hidrográficas representativas da série Araçoiaba. Para as bacias da série Varnhagen, a semelhança é satisfatória, embora não tanto quanto nas outras duas unidades de solos.

Apesar das pequenas limitações apontadas, a análise - das bacias hidrográficas forneceu resultados consistentes, que sugerem diferenças significativas entre solos, com respeito à rede de drenagem. Estas diferenças foram evidenciadas pelas características quantitativas do padrão de drenagem, especialmente a razão - de textura média ponderada e a densidade de drenagem determinada - em amostras circulares.

## 5.2 - Composição das redes de drenagem

A expressão "composição das redes de drenagem" propõe

ta por HORTON (14), diz respeito às ordens de ramificação, número de segmentos de rios em cada ordem e o total da bacia, comprimento total e comprimentos médios dos segmentos de rios em cada ordem, - bem como as relações entre número e comprimento de rios e as respectivas ordens de ramificação. A análise dos dados assim obtidos, mostrou diferenças significativas entre os solos estudados, evidenciando alta significância hidrológica. Estes resultados concordam com as observações de HORTON (14) e de FRANÇA (10). Por outro lado, divergem dos autores que atribuíram maior significância ao padrão de drenagem, como PARVIS (22) e LUEDER (17) e, até certo ponto, STRAHLER (35).

### 5.2.1 - Ordens de ramificação de rios

O sistema de HORTON (14) para a classificação das ordens de rios, mostrou-se muito vantajoso, permitindo comparações e a obtenção dos resultados apresentados. Este sistema, iniciando a classificação pelos tributários menores, conserva invariável a designação dada às ordens de rios, mesmo quando se trabalha com redes de drenagem complexas. Assim, os elementos semelhantes de diferentes redes de drenagem podem ser analisados e, como aconselhou este autor e mais tarde SCHUMM (29), SMITH (32), STRAHLER (35) e MAXWELL (19), é possível fazer-se a comparação de resultados. FRANÇA (10) e MARCHETTI (18) também utilizaram o sistema de HORTON (14) para a classificação das ordens de rios, obtendo bons resultados em seus estudos aplicados a solos.

O sistema clássico citado por LUEDER (17), embora tenha utilidade relativa, não se aplica quando se pretende fazer uma análise quantitativa.

HORTON (14), SMITH (32), STRAHLER (35) e outros autores, mencionam a ordem de rios como um índice quantitativo simples e seguro, indicador do grau de desenvolvimento de redes de drenagem. Quando duas bacias hidrográficas têm aproximadamente o mesmo tamanho, aquela que atinge ordem mais elevada, será a de rede de drenagem mais desenvolvida. Considerando as demais condições invariáveis, aumentando a área da bacia, aumenta a ordem de ramificação.

Como lembra STRAHLER (35), a grande vantagem do sistema de classificar os segmentos de rios de acordo com a ordem de ramificação, está no fato de que, os elementos correspondentes de duas bacias hidrográficas podem ser comparados, desde que elas tenham a mesma ordem de ramificação, embora o tamanho seja diferente. Assim, assume grande importância a medida dos comprimentos dos segmentos de rios de cada ordem e o comprimento total, quando se quer analisar uma rede de drenagem qualquer. A afirmativa feita pelos autores atrás mencionados, de que o número e o comprimento total de segmentos de rios diminuem com o aumento da ordem de ramificação, enquanto o comprimento médio dos segmentos tende a aumentar foi confirmada, embora existam algumas exceções quando se passa da 2ª para a 3ª ordem.

#### 5.2.2 - Relação entre número de segmentos de rios e ordem de ramificação

Os resultados obtidos confirmam a lei de Horton, segundo a qual os números de segmentos de rios de cada ordem formam uma série geométrica inversa àquela do número de ordem.

De maneira geral, os dados obtidos estão de acordo com aqueles apresentados por HORTON (14), STRAHLER (35), SCHUMM (29), FRANÇA (10) e MARCHETTI (18).

Também foi comprovada a afirmativa de MAXWELL (19), de que é uma linha reta com pequena dispersão, o resultado da relação entre os logaritmos dos números de rios e as ordens de ramificação. A equação de regressão é do tipo:

$$\log N_w = a - bw$$

Os resultados obtidos confirmam as observações de FRANÇA (10), de que, trabalhando com amostras de unidades de solo suficientemente homogêneas, as variações encontradas nos valores numéricos podem ser atribuídas aos solos.

#### 5.2.3 - Razão de ramificação

Os dados obtidos mostram ser a razão de ramificação -

um bom índice para diferenciar os solos quanto aos sistemas de drenagem que neles se desenvolvem.

Os dados encontrados na literatura para a razão de ramificação, variam em torno de 3,52 (STRAHLER, 35), com pequena amplitude de variação. FRANÇA (10) encontrou um valor médio de 3,55 para a razão de ramificação, porém variando de 3,22 a 3,78, de acordo com a natureza do solo. Convém esclarecer, contudo, que estes valores são referentes a bacias de 4ª ordem. Como os dados deste trabalho referem-se a bacias de 3ª ordem, resultaram valores médios de 2,71 (dados calculados); portanto, inferiores àqueles citados. Estes resultados parecem confirmar as observações de HORTON (14) e de FRANÇA (10) de que a composição das redes de drenagem se modifica com a ordem de grandeza das bacias hidrográficas, inclusive o número de segmentos em cada ordem e a razão de ramificação.

As diferenças encontradas para a razão de ramificação em função das unidades de solos estudadas, podem ser consideradas como significativas. Este fato, confirma as observações de FRANÇA (10) e, até certo ponto, discorda da afirmativa de STRAHLER (35), segundo a qual a razão de ramificação é um número altamente estável e que somente apresenta variações acentuadas, no caso de ocorrer forte controle geológico.

Não havendo forte controle geológico para explicar as diferenças observadas entre os solos estudados, devem as mesmas serem atribuídas a variações nas características dos solos, que se refletem no comportamento hidrológico dos mesmos.

Os solos pertencentes à série Varnhagen foram os que apresentaram valor médio calculado mais alto para a razão de ramificação - 2,89. Estes solos são os menos permeáveis, apresentando horizonte B textural, perfis pouco profundos, com nítida diferenciação de horizontes. Além disso, nas bacias representativas destes solos, ocorrem a sua fase rasa ou Litossol Varnhagen, sendo comuns os afloramentos de rochas.

Os solos da série Realengo foram os que apresentaram o valor médio calculado mais baixo para a razão de ramificação - 2,51. Os solos desta unidade apresentam perfis latossólico típi-

cos, com profundidades relativamente grandes e maior permeabilidade.

Quanto aos solos da série Araçoiaba, apresentam um valor médio calculado para a razão de ramificação intermediário entre as duas outras unidades - 2,73. Estes solos apresentam perfil profundo, com algumas características comuns ao horizonte B latossólico e outras ao horizonte B textural. Embora apresentando permeabilidade relativamente alta, é inferior àquela apresentada pelos solos da série Realengo, daí se colocarem numa posição intermediária quanto ao seu comportamento hidrológico.

#### 5.2.4 - Relação entre comprimentos e ordens de rios

A lei de Horton referente ao comprimento de rios, diz que os comprimentos médios dos segmentos de rios das diversas ordens tende a formar uma série geométrica direta, onde o primeiro termo é o comprimento médio dos rios de 1ª ordem e cuja razão é a própria razão de comprimento, RI.

HORTON (14), STRAHLER (35) e SCHUMM (29) comentam que a lei dos comprimentos de rios geralmente não é obedecida com a mesma precisão daquela observada na lei dos números de rios. Os resultados obtidos comprovam isso, pois os desvios observados, realmente são maiores que aqueles verificados para a lei dos números de rios. Entretanto, estes desvios são inferiores àqueles apresentados por FRANÇA (10). Convém lembrar entretanto, que este autor utilizou bacias de 4ª ordem sendo talvez por este motivo, que os desvios referentes à regressão da soma dos comprimentos de rios - por ele observados, sejam maiores que os apresentados neste trabalho, referentes a bacias de 3ª ordem.

Os desvios ocorridos e atrás comentados, podem ser observados nas Figuras 2, 5 e 8.

Segundo STRAHLER (35), pode-se corrigir em parte estes desvios pelo emprego de expressões logarítmicas, onde se relaciona o comprimento total de rios às ordens de ramificação.

A equação por ele utilizada toma a forma:

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

Ainda segundo este autor, a inclinação  $b$  da linha de regressão representaria uma variação do comprimento dos segmentos de rios ao se passar de uma ordem para outra. Embora admitindo que muitos dos comprimentos de rios apresentam realmente uma variação linear, concluiu que nem sempre estes dados se ajustam a este tipo de equação, visto que a semelhança geométrica pode se alterar com o aumento da ordem de grandeza da bacia hidrográfica.

FRANÇA (10) encontrou uma regressão exponencial do tipo:

$$Lw = ab^{-w} \quad (2)$$

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

como medida da variação apresentada pelos comprimentos de rios das várias ordens. Segundo ele, este tipo de equação se ajusta melhor à variação desta característica. Nesta equação,  $w$  representa as várias ordens de rios de uma determinada bacia, e  $Lw$ , a soma dos comprimentos dos segmentos de cada ordem.

Os resultados obtidos sugerem que a variação dos comprimentos de segmentos de rios de cada ordem, se ajustam melhor à equação do tipo exponencial obtida por FRANÇA (10); os valores calculados utilizando-se a equação preconizada por STRAHLER (35), apresentaram certa disparidade em relação aos dados observados para os comprimentos de rios.

A equação exponencial preconizada por FRANÇA (10) para medir a variação dos comprimentos de segmentos de rios, é semelhante à usada por MAXWELL (19) e STRAHLER (35) para expressar relações entre o número de segmentos de rios e as ordens de rios.

De acordo com MAXWELL (19), o antilogaritmo de  $b$  na equação que relaciona o número de segmentos de rios às ordens de ramificação pode ser considerado como a melhor expressão empírica da razão de ramificação,  $R_b$ . Por analogia, STRAHLER (35) sugeriu que o antilogaritmo de  $b$  na equação que relaciona a soma dos com -

primentos de segmentos de rios às ordens de ramificação, fosse tomado como expressão da razão de comprimentos totais,  $R_{Lw}$ . Este procedimento foi empregado também por FRANÇA (10).

HORTON (14) considerou a relação entre razão de comprimentos médios e razão de ramificação,  $\frac{R_l}{R_b}$ , como sendo muito importante, uma vez que tanto o estágio de desenvolvimento como a composição da rede de drenagem, estão a ela relacionados. FRANÇA (10) verificou que a razão de comprimentos médios,  $R_l$ , está relacionada com as razões de ramificação e de comprimentos totais, segundo a equação:

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

Os resultados apresentados no Quadro 33 mostram que os valores desta relação são praticamente iguais aos valores da razão de comprimentos médios,  $R_l$ , calculados conforme constam no Quadro 32, confirmando assim as observações de FRANÇA (10).

STRAHLER (35), usando dados combinados de seis bacias de 4ª ordem, obteve um valor para  $b = 1,67$  e que corresponderia à razão de comprimentos totais,  $R_{Lw}$ . De modo semelhante, FRANÇA (10) encontrou um valor médio para  $R_{Lw} = 1,64$ . Os resultados por nós obtidos dão um valor médio de  $R_{Lw} = 1,70$ , ligeiramente superior aos encontrados por aqueles dois autores. Todavia convem lembrar novamente que este trabalho se refere a bacias de 3ª ordem.

O valor médio calculado para a razão de comprimentos médios foi 1,60, inferior aos obtidos por FRANÇA (10) e HORTON (14), que foram 2,13 e 2,3, respectivamente. Contudo, esta diferença provavelmente seja devida ao fato destes dois autores terem trabalhado com bacias de 4ª ordem, enquanto nós trabalhamos com bacias de 3ª ordem.

### 5.3 - Padrão de Drenagem

Inúmeros autores têm seguido várias linhas gerais de estudo, na tentativa de analisar e diferenciar padrões de drenagem superficial, para aplicá-los na identificação de solos, de estrutu



ras geológicas ou tipos de rochas por meio de fotointerpretação. PARVIS (22) procurou classificar o padrão de drenagem através de tipos ou modelos, visando a identificação de solos e substratos rochosos em escala regional; LUEDER (17) preconizou uma análise minuciosa das características do padrão de drenagem, com o propósito de estabelecer diferenças significantes entre os materiais encontrados numa determinada área; SMITH (32) propôs a razão de textura e HORTON (14) a frequência de rios e a densidade de drenagem, visando estabelecer uma base quantitativa para detectar diferenças entre solos ou entre rochas, no tocante às redes de drenagem desenvolvidas sobre diferentes materiais.

Tendo em vista que, tanto PARVIS (22) como LUEDER (17) seguiram linha de estudo puramente descritiva para a caracterização do padrão de drenagem analisamos, além das características quantitativas, também as características qualitativas ou descritivas, segundo a linha de estudos adotada por aqueles autores.

### 5.3.1 - Características qualitativas do padrão de drenagem

A simples descrição do padrão de drenagem por meio de termos descritivos, onde se tenta diferenciar tipos ou modelos, os quais indicam a tendência de distribuição dos rios principais e seus tributários, não é suficiente para estabelecer diferenças entre solos. Isto pode ser confirmado pelo exame dos Quadros 9, 18 e 27. Além dos seis tipos básicos, existem vários outros tipos, modificados ou intermediários, sugeridos e descritos por diversos autores. Outro fator que dificulta esta distinção de solos por meio da descrição dos padrões, é o fato de que, segundo as observações de TATOR (37), frequentemente ocorre que um ou mais rios fogem do padrão de drenagem normal de uma área, nos quais as características principais não são obedecidas; o aparecimento de anomalias de drenagem pode ser importante para a interpretação de certos aspectos do terreno.

HORTON (14) advertiu que podem ocorrer várias combinações de ordens, números e comprimentos de rios, ocasionando o aparecimento de tipos ou modelos semelhantes, embora com densidades -

de drenagem muito diferentes. Nestes caso situam-se os solos das séries Varnhagen e Araçoiaba, onde ambas apresentam o padrão de tipo dendrítico e densidades de drenagem respectivamente de 3,20 e 2,79. Estes resultados concordam com HORTON (14) e FRANÇA (10) e discordam daqueles autores como PARVIS (22) que aconselham o uso do padrão isolado e dos autores que aconselham o uso do padrão combinado com a densidade de drenagem como base para a interpretação litológica e de solos, como RAY (25), RICCI e PETRI (27), MILLER e MILLER (20).

Como frizou LUEDER (17), mesmo que se faça uma descrição detalhada do padrão, a sua interpretação é bem difícil, requerendo conhecimentos tanto teóricos como práticos para poder correlacionar os aspectos da imagem fotográfica com as condições reais do terreno. Por mais minuciosa que seja a descrição das características do padrão, o seu uso sempre será limitado para a caracterização de solos por fotointerpretação.

### 5.3.2 - Características quantitativas do padrão de drenagem

Desde que a amostragem seja cuidadosa, os dados obtidos quantitativamente, através de medições simples das características do padrão, mostram-se vantajosos e de grande importância, permitindo fazer-se uma descrição do padrão de drenagem em termos mais concretos e objetivos, colocando as interpretações e comparações em bases mais seguras.

#### 5.3.2.1 - Características baseadas no estudo de bacias hidrográficas

LUEDER (17) usou o termo densidade em um sentido descritivo, referindo-se vagamente a números de rios por unidade de área, definição esta que cabe à frequência de rios de HORTON (14). O termo textura foi empregado num sentido um tanto vago por PARVIS (22) relacionado ao tipo ou modelo do padrão de drenagem, para indicar o espaçamento entre os tributários de um sistema fluvial.

Pelo exame da literatura, nota-se que muitos autores

empregam as características quantitativas de maneira incorreta, ou seja, como um meio de descrever determinados aspectos de uma bacia hidrográfica. Segundo SMITH (33), há outros autores que também não fizeram a distinção entre densidade de drenagem e razão de textura.

Além do uso incorreto de propriedades quantitativas, há ainda o emprego de termos semiquantitativos, de significado vago, como alta e baixa para caracterizar a densidade de drenagem como o fizeram LUEDER (17), RAY (25), MILLER e MILLER (20). Para caracterizar semiquantitativamente a textura, outros autores como VON ENGELN (38), PARVIS (22), RICCI e PETRI (27), RAY (25), empregaram os termos finas e grosseiras. Como se pode observar, estes termos pouco ou nada dizem e estas propriedades seriam melhor interpretadas se fossem expressadas por meio de números.

HORTON (14) afirmou que para caracterizar quantitativamente um padrão de drenagem, são necessárias duas relações, pois pode ocorrer que duas redes hidrográficas tenham densidades de drenagem iguais, embora apresentando diferentes números e comprimentos de segmentos de rios. Esta afirmativa foi comprovada pelas observações de FRANÇA (10) e, até certo ponto, de MARCHETTI (18), porém não foi confirmada neste trabalho. Examinando-se os dados dos Quadros 10, 19 e 28, pode-se notar que a frequência de rios foi suficiente para distinguir as redes de drenagem desenvolvidas nos solos estudados, enquanto que a densidade de drenagem, embora útil, não ofereceu a mesma segurança.

A razão de textura, determinada pelo método de SMITH (33) modificado por FRANÇA (10), para permitir o seu emprego em fotografias aéreas, também mostrou-se útil para diferenciar as redes de drenagem desenvolvidas nos solos estudados, conforme se pode observar pelo exame dos Quadros 10, 19 e 28. Contudo, a razão de textura determinada em bacias hidrográficas, apresenta certa variação nos dados obtidos para cada solo conforme se pode observar pelo exame dos Quadros 10, 19 e 28. Estes resultados concordam com os apresentados por SMITH (33), FRANÇA (10) e MARCHETTI (18). Isto já era de se esperar, uma vez que esta característica relaciona número de segmentos de rios com perímetro da bacia.

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

Levando-se em consideração a pouca consistência dos dados obtidos para a razão de textura em bacias hidrográficas individuais, discutidas no ítem anterior, procedeu-se ao estudo da razão de textura média ponderada em relação às áreas, conforme preconizado por SMITH (33), bem como à determinação da densidade de drenagem em amostras circulares, conforme a sugestão de RAY e FISCHER (26). Os valores médios ponderados da razão de textura, foram: 1,40; 2,21 e 3,12 para a séries Realengo, Araçoiaba e Varnhagen, - respectivamente, conforme estão indicados no Quadro 34. Estes resultados concordam com os de SMITH (33), FRANÇA (10) e MARCHETTI (18), mostrando que a razão de textura média é um bom índice para caracterizar os solos.

O Quadro 35 mostra os resultados obtidos referentes às densidades de drenagem de amostras circulares e no Quadro 36, pode-se observar a variação destes valores paralelamente com aqueles referentes à razão de textura média ponderada. Os resultados da densidade de drenagem de amostras circulares confirmam aqueles apresentados por RAY e FISCHER (26), FRANÇA (10) e MARCHETTI (18), revelando ser um bom índice para a caracterização de solos.

O emprego do método de Ray e Fischer na determinação da densidade de drenagem, oferece as seguintes vantagens: a) - a área circular de amostragem pode ser deslocada, dentro da área em que ocorre a unidade de solo, sem levar em consideração os limites de bacias hidrográficas, procurando-se abranger a maior proporção e homogeneidade possíveis, da unidade de solo que está sendo amostrada; b) - a influência da área é eliminada, uma vez que todas as medições de comprimentos de rios são referidas à mesma área circular de 10 km<sup>2</sup>.

#### 5.3.2.3 - Relação entre densidade de drenagem e razão de textura

A Figura 10 mostra a relação entre a razão de textura média ponderada em relação à área e os valores médios da densidade

de drenagem de amostras circulares de 10 km<sup>2</sup>. Da análise feita, - resultou uma tendência linear com um alto coeficiente de correlação  $r = 0,964$ .

De toda a literatura consultada, apenas FRANÇA (10) - apresenta dados de estudos referentes a este tipo de correlação. Trabalhando com cinco unidades de solos e bacias hidrográficas até 4ª ordem de grandeza, este autor também encontrou um valor elevado para o coeficiente de correlação,  $r = 0,985$ .

Analogamente, procurou-se determinar a natureza da - equação que relaciona a densidade de drenagem à razão de textura - para as nove bacias hidrográficas, das três séries de solos estudadas.

Embora não se encontrasse aqui a mesma consistência - elevada dos resultados verificados na relação anterior, o mesmo - ainda pode ser considerado muito bom, visto que o valor para o coeficiente de correlação, foi  $r = 0,854$ . Aliás, este valor foi superior àquele encontrado por FRANÇA (10) em estudo semelhante, cujo coeficiente foi  $r = 0,737$ .

SMITH (33), trabalhando com dados de 45 pequenas bacias de 2ª e 3ª ordem, sugeriu que a relação entre a densidade de drenagem e a razão de textura seria uma equação logarítmica do tipo

$$y = a x^b$$

ou

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

Utilizando dados de 15 bacias hidrográficas de 4ª ordem, FRANÇA (10), diz ser mais provável, para este tipo de correlação, uma equação exponencial do tipo

$$y = a b^x$$

ou

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

e atribui a relação logarítmica encontrada por Smith aos valores -

demasiado altos encontrados por aquele autor para a densidade de drenagem.

Neste trabalho, foi encontrada uma equação exponencial semelhante àquela apresentada por FRANÇA (10) para a relação entre densidade de drenagem e razão de textura; e não a equação logarítmica sugerida por SMITH (33).

## 6 - CONCLUSÕES

Em função dos materiais e métodos empregados, dos dados obtidos, analisados e interpretados e nas condições de realização deste trabalho, foi possível tirar as seguintes conclusões:

### 6.1 - Série Varnhagen

Dentre as três unidades de solos estudadas, esta foi a que apresentou :

- a) a maior razão de ramificação;
- b) a maior razão de comprimento médio de segmentos de rios, cujo valor é bem superior ao das outras duas séries;
- c) a menor razão de comprimento total;
- d) o maior valor para a razão de textura média, sendo a única série dentre as três estudadas que pode ser classificada como de textura topográfica - média;
- e) o maior valor médio para a densidade de drenagem determinada em amostras circulares;
- f) os maiores valores para a frequência de rios e densidade de drenagem de bacias hidrográficas;
- g) padrão de drenagem tipo dendrítico, algo orientado, apresentando um grau de controle moderado, de natureza litológica (presença da fase rasa e Litolossol Varnhagen);

- h) com base nas conclusões anteriores, pode-se inferir que estes solos são os menos permeáveis dentre os três estudados e os que apresentam menor resistência à erosão, o que concorda com a natureza do perfil e com suas características físicas.

## 6.2 - Série Araçoiaba

Os solos desta série apresentaram :

- a) razão de ramificação relativamente alta, embora menor que a da série Varnhagen;
- b) o menor valor para a razão de comprimento médio de segmentos de rios;
- c) a maior razão de comprimento total;
- d) razão de textura média colocando-se em uma posição intermediária, podendo ser incluída na classe de textura topográfica grosseira;
- e) valor médio da densidade de drenagem determinada em amostras circulares, embora relativamente alto, inferior àquele apresentado pela série Varnhagen;
- f) os valores de frequência de rios e densidade de drenagem de bacias hidrográficas colocando-se em uma posição intermediária em relação às outras duas séries de solos estudadas;
- g) padrão de drenagem tipo dendrítico modificado, não orientado e não controlado;
- h) com base nas conclusões anteriores, pode-se inferir que, no tocante à permeabilidade e resistência à erosão, estes solos se colocam numa posição intermediária em relação às outras duas séries de solos; isto concorda com a natureza destes solos - perfil latossólico, porém apresentando algumas características comuns ao horizonte B textural (aumento do conteúdo de argila e presença de cerosidade fraca).



### 6.3 - Série Realengo

Os solos desta série apresentaram :

- a) o menor valor para a razão de ramificação;
- b) o valor para a razão de comprimentos médios de segmentos de rios colocando-se em uma posição intermediária, porém bem mais próxima da série Araçoiaba;
- c) o valor da razão de comprimento total também intermediário, porém mais próximo da série Varnha - gen;
- d) o menor valor para a razão de textura média, permitindo sua inclusão na classe de textura topográfica grosseira;
- e) o menor valor médio para a densidade de drenagem determinada em amostras circulares;
- f) os menores valores para a frequência de rios e densidade de drenagem de bacias hidrográficas;
- g) padrão de drenagem tipo sub-paralelo, com baixo grau de integração, não orientado e não controlado;
- h) com base nas conclusões anteriores, pode-se inferir que estes solos apresentam alta permeabilidade e grande resistência à erosão, o que concorda com a natureza do solo-perfil latossólico típico, de textura argilosa e estrutura porosa no horizonte B.

### 6.4 - Conclusões gerais

Da comparação dos resultados obtidos nas três séries de solos estudadas, foi possível tirar as seguintes conclusões gerais :

- a) tanto as características das bacias hidrográficas como, e principalmente, as características das redes de drenagem, dependem da natureza dos solos;

- b) a análise e a interpretação da composição e das características do padrão de drenagem, forneceram indícios suficientes para a distinção entre os solos estudados, os quais deverão figurar entre os elementos a serem utilizados em trabalhos de foto interpretação aplicada a solos;
- c) dentre as características quantitativas das redes de drenagem, as que melhor evidenciaram as diferenças entre os solos estudados, foram: a razão de ramificação, a razão de comprimento médio e a razão de comprimento total, a frequência de rios e a densidade de drenagem de bacias hidrográficas, a razão de textura média e a densidade de drenagem de amostras circulares;
- d) o tipo e as características descritivas do padrão de drenagem, embora também forneçam informações úteis, são menos seguros que os índices quantitativos;
- e) observou-se uma correlação linear altamente significativa entre a razão de textura média e a densidade de drenagem de amostras circulares;
- f) observou-se também uma correlação linear bastante significativa tanto entre a razão de textura e frequência de rios, como entre a razão de textura e a densidade de drenagem, características estas determinadas em bacias hidrográficas.

## 7 - RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de estudar, por meio de fotografias aéreas, a significância das diferenças na composição e nas características do padrão de drenagem de alguns solos da Fazenda Ipanema, pertencente ao Ministério da Agricultura e localizada no município de Araçoiaba da Serra - S.P.

A área que serviu de base para o presente estudo situa-se na Depressão Paleozóica, na Grande Região Sul do Brasil. O clima dessa área é do tipo mesotérmico úmido.

Dos solos dessa área, identificados e mapeados ao nível de série, foram escolhidas três unidades geneticamente diferentes e com características morfológicas, físicas e químicas distintas, representando duas formações geológicas: série Araçoiaba, originária de rochas pré-cambrianas; série Varnhagen originária de sedimentos arenosos do grupo Tubarão e série Realengo, desenvolvida sobre sedimentos argilosos desta última formação.

Para representar cada unidade de solo, foram selecionadas três bacias de 3ª ordem levando em conta os princípios de semelhança geométrica e de semelhança de solos, a partir das quais foi feita a análise da composição e das características dos respectivos padrões de drenagem.

A comparação dos resultados obtidos nas três séries de solos permitiu chegar às seguintes conclusões gerais:

- a) tanto as características das bacias hidrográficas

como, e principalmente, as características da rede de drenagem, dependem da natureza dos solos;

- b) a análise e a interpretação da composição e das características do padrão de drenagem forneceram indícios suficientes para a distinção entre os solos estudados, os quais deverão figurar entre os elementos a serem utilizados em trabalhos de fotointerpretação aplicada a solos;
- c) dentre as características quantitativas das redes de drenagem, as que melhor evidenciaram as diferenças entre os solos estudados, foram: a razão de ramificação, a razão de comprimento médio e a razão de comprimento total, a frequência de rios e a densidade de drenagem de bacias hidrográficas, a razão de textura média e a densidade de drenagem de amostras circulares;
- d) o tipo e as características descritivas do padrão de drenagem, embora também forneçam informações úteis, são menos seguros que os índices quantitativos;
- e) observou-se uma correlação linear altamente significativa entre a razão de textura média e a densidade de drenagem de amostras circulares;
- f) observou-se também uma correlação linear bastante significativa tanto entre a razão de textura e a frequência de rios, como entre a razão de textura e a densidade de drenagem, características estas determinadas em bacias hidrográficas.

## 8 - SUMMARY

Aerial photographs were used with the purpose of studying the significance of differences observed in the composition and characteristics of the drainage pattern of some of the soils occurring in the Fazenda Ipanema of the Ministry of Agriculture. The farm is located in the Municipality of Araçoiaba da Serra in the State of São Paulo. The area is located in the Paleozoic Depression in the Great Southern Region of Brazil. The climate of this region is humid mesothermic.

The soils of Fazenda Ipanema had been previously mapped at the series level. Three of these series were chosen for this study on the basis of their genetic, morphologic, chemical and physical differences, namely:

- a) Araçoiaba series - Pre-Cambrian parent material
- b) Varnhagen series - Tubarão Group sandy sediments
- c) Realengo series - Tubarão Group clayey sediments.

Each of these soil units were represented by three third order basins selected on the basis of their similarity in geometry and soil characteristics. These basins were analysed as to their composition and individual drainage patterns.

A comparative study of the results obtained for the three soil series allowed the following conclusions:

- a) the river basins and drainage network characteristics depend on the individual nature of

the soil.

- b) the fact that the three soil series could be distinguished through the analysis of their respective drainage patterns is indicative of the usefulness of considering the informations in photointerpretation applied to soil studies.
- c) the quantitative characteristics of the drainage patterns that better showed soil series differences were branching ratio, average length ratio, total length ratio, river frequency, drainage density, average texture ratio and drainage density of circular samples.
- d) the type and descriptive characteristics of drainage pattern though yielding useful information are less reliable than the quantitative indexes.
- e) a highly significant linear correlation was found and between average texture ratio and drainage density of circular samples.
- f) a significant linear correlation was found between texture ratio and river frequency and between texture ratio and drainage density. These characteristics were determined for river basins.

9 - LITERATURA CITADA

- 1 - ANDERSON, H.W. Relating sediment yield to watershed variables. Trans. Amer. Geophys. Un., Washington. 38: 921-924. 1967
- 2 - BELCHER, D.J. The engineering significance of soil patterns. Photogramm. Engng., 11: 115-148. 1945
- 3 - BOMBERGER, E.H. & DILL, H.W., Jr. Photointerpretation in agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photographic interpretation. Washington. 1960. cap. 11. 561-632.
- 4 - BURINGH, P. The applications of aerial photographs in soil surveys. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photographic interpretation. Washington. 1960. cap. 11. 633-666.
- 5 - CLINE, M.G. The changing model of soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 25: 442-446. 1961
- 6 - COLWELL, R.N. Photographic interpretation for civil purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photogrammetry. Washington. 1952. 2ª ed. 535-602.
- 7 - COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Rio de Janeiro. 634 p. 1960. (Boletim nº 12).

- 8 - CRESWICK, W.J. & ROCKWELL, W.H. Applications of aerial photographic techniques to agricultural surveys. In: LUEDER, D.R. Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, McGraw-Hill. 1959. cap. 21. 373-385.
- 9 - CURTIS, L.F.; DOORNKAMP, J.C.; GREGORY, K.J. The description of relief in field studies of soils. J. Soil Sci. 16: 16-30. 1965
- 10 - FRANÇA, G.V. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba. 1968. 151 p. (Tese - ESALQ).
- 11 - FROST, R.E. Photointerpretation of soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photographic interpretation. Washington. 1960. cap. 5. 343-402.
- 12 - GARCEZ, L.N. Hidrologia. São Paulo, Ed. Univ. S. Paulo, 1967. 249 p.
- 13 - GOOSEN, D. Interpretación de fotos aéreas y su importancia en levantamiento de suelos. Traduzido por Izabel Diagostini. Roma, FAO. 1968. 58 p. (Boletim sobre suelos, nº 6).
- 14 - HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bul. geol. Soc. Amer., 56: 275-370. 1945
- 15 - HOWE, R.H.L. The application of aerial photographic interpretation to the investigation of hydrologic problems. Photogramm. Engng., 26: 85-95. 1960
- 16 - LOBECK, A.K. Geomorphology: an introduction to the study of landscapes. New York, McGraw-Hill. 1939. 731 p.
- 17 - LUEDER, D.R. Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, McGraw-Hill. 1959. 162 p.
- 18 - MARCHETTI, D.A.B. Fotointerpretação de atributos do relevo aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba. 1969. 58 p. (Tese - ESALQ).



- 19 - MAXWELL, J.C. The bifurcation ratio in Horton's law stream numbers. Trans. Amer. geophys. Un., Washington, 36: 520. 1955. (Resumo).
- 20 - MILLER, V.C. & MILLER, C.F. Photogeology. New York. McGraw-Hill. 1961. 248 p.
- 21 - NAMI, A.J. & SLEPETYS, Z. Mosaicos aerofotográficos. R. Eng. Fotogram., São Paulo. (2-6). 1953-1954
- 22 - PARVIS, M. Drainage pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks. Photogramm. Engng., 16: 387-409. 1950
- 23 - RABBEN, E.L. Fundamentals of photointerpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photographic interpretation. Washington. 1960. cap. 3. 99-168.
- 24 - RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T.; FRANÇA, G.V. Carta de solos da Fazenda Ipanema. Piracicaba. Centro de Estudos de Solos. 1965. 53 p. (Projeto ETA-70).
- 25 - RAY, R.G. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológicos. Traduzido por Jesuino Felicissimo Jr. São Paulo. Inst. Geográfico e Geológico. 1963. 88p. 75 fotogramas.
- 26 - \_\_\_\_\_ & FISCHER, W.A. Quantitative photographic: a geologic research tool. Photogramm. Engng., 26: 143-150. 1960
- 27 - RICCI, M. & PETRI, S. Principios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo. Ed. Nacional. 1965. 226 p.
- 28 - ROURKE, J.D. & AUSTIN, M.E. The use of air-photos for soil classification and mapping in the field. Separata de Photogramm. Engng., 17: 738-747. 1951
- 29 - SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. New Jersey. Bul. geol. Soc. Amer., 67: 597-646. 1956

- 30 - SERVIÇO GEOGRÁFICO MILITAR. Planta da Fazenda Ipanema. Estado de São Paulo. 1928. Escala 1:10 000.
- 31 - SIMONSON, R.W. Use of aerial photographs in soil surveys. Photogramm. Engng., 16: 308-315. 1950
- 32 - SMITH, H.T.U. Aerial photographs and their applications. New York. Appleton-Century. 1943. 372 p.
- 33 - SMITH, K.G. Standards for grading texture of erosional topography. Amer. J. Sci., 248: 655-668. 1950
- 34 - SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, U.S. Dept. Agric. 1951. 503 p. (Handbook, nº 18).
- 35 - STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis of erosional topography. Bul. geol. Soc. Amer., 63: 1117-1142. 1952
- 36 - SUMMERSON, C.H. A philosophy for photointerpreters. Photogramm. Engng., 20: 396-397. 1954
- 37 - TATOR, B.A. Drainage anomalies in Coastal Plains Regions. Photogramm. Engng., 20: 412-417. 1954
- 38 - VON ENGELN, O.D. Geomorphology: systematical and regional. New York. McMillan. 1942. 655 p.
- 39 - ZINKE, P.J. Photointerpretation of soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of photographic interpretation. Washington. 1960. cap. 10. 539-560.