

**CRITÉRIOS MORFOMÉTRICOS APLICADOS À FOTOINTERPRETAÇÃO DE REDES
DE DRENAGEM EM TRÊS UNIDADES DE SOLOS NO
MUNICÍPIO DE PIRACICABA (SP)**

Júlio Vasques Filho
Engenheiro Agrônomo

Dr. 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 Doutor em
Agronomia.

PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO — BRASIL
— 1972 —

E R R A T A

Página	Linha	Onde se lê	Leia-se																
Conteúdo	14		2.3.3. Composição das re des de drenagem . 29																
12	13	de pode assinalar	se pode assinalar																
12	28	de drenagem	da drenagem																
17	27	textural	textura																
18	23	consequências	consequência																
21	12/13	estrutura	estruturas																
37	5	de novo	do novo																
38	2	localizadas	localizada																
38	6/7	indicados	indicadas																
39	13	Cruzeiros	Cruzeiro																
41	2	Cartas de Solos	Carta de Solos																
43	28/29		comparando-as																
45	5/6	lei do números	lei dos números																
52	Quadro 8	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><u>(I.C.)</u></th> <th style="text-align: center;"><u>(Kc)</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0,36</td> <td style="text-align: center;">1,27</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,27</td> <td style="text-align: center;">1,28</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,58</td> <td style="text-align: center;">1,04</td> </tr> </tbody> </table>	<u>(I.C.)</u>	<u>(Kc)</u>	0,36	1,27	0,27	1,28	0,58	1,04	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><u>(I.C.)</u></th> <th style="text-align: center;"><u>(Kc)</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0,27</td> <td style="text-align: center;">1,28</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,36</td> <td style="text-align: center;">1,27</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,58</td> <td style="text-align: center;">1,04</td> </tr> </tbody> </table>	<u>(I.C.)</u>	<u>(Kc)</u>	0,27	1,28	0,36	1,27	0,58	1,04
<u>(I.C.)</u>	<u>(Kc)</u>																		
0,36	1,27																		
0,27	1,28																		
0,58	1,04																		
<u>(I.C.)</u>	<u>(Kc)</u>																		
0,27	1,28																		
0,36	1,27																		
0,58	1,04																		
53	Quadro 7	<u>C/C'</u>	<u>C/C'</u>																
	Saltinho	B/A 0,76	B/A 0,93																
74	7	considerando-se três	considerando-se as três																
78	9 e 13	comprimento totais	comprimentos totais																
81	Quadro 23	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><u>R² x 100</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">96,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">94,8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">70,9</td> </tr> </tbody> </table>	<u>R² x 100</u>	96,1	94,8	70,9	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><u>R² x 100</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">96,1 %</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">94,8 %</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">70,9 %</td> </tr> </tbody> </table>	<u>R² x 100</u>	96,1 %	94,8 %	70,9 %								
<u>R² x 100</u>																			
96,1																			
94,8																			
70,9																			
<u>R² x 100</u>																			
96,1 %																			
94,8 %																			
70,9 %																			
87	27/28	no Quadro 10 e ilustrado	no Quadro 9 e ilustrados																
89	4	correlacionar e desenvol vimento	correlacionar o desenvol - vimento																
95	25	troca na posições	troca nas posições																
107	21	average lenth	average length																

PENSAMENTO

"We are looking into stereoscopes as pretty toys and wondering about the photograph as charming novelty, but before another generation has passed away it will be recognized that a new epoch has started in history of human progress" ...

Oliver Wendell Holmes

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Geraldo Victorino de França, pela valiosa orientação e colaboração.

Ao Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos, pela ajuda, sugestões e incentivo.

Ao Prof. Dr. José Luiz Ioriatti Dematté e a Prof^a Dr^a Margarida Maria Penteado pela ajuda.

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

Aos funcionários do Centro de Estudos de Solos e do Departamento de Solos e Geologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz" que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização desta pesquisa.

DEDICATÓRIA

A meu avô

À memória de meus avós

A meus pais

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>Desenvolvimento das redes de drenagem - o fator solo</u>	11
2.3. <u>Análise das redes de drenagem</u>	19
2.3.1. Características descritivas das redes de drenagem	19
2.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem	23
3. <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	36
3.1. <u>Material</u>	36
3.1.1. Solos	36
3.1.1.1. Descrição geral das áreas estudadas	37
3.1.1.1.1. Localização	37
3.1.1.1.2. Classes de relevo	38
3.1.1.1.3. Geologia	38
3.1.1.1.4. Clima	39
3.1.2. Fotografias aéreas e fotomosaicos	39
3.1.3. Outros materiais	39
3.2. <u>Métodos</u>	39
3.2.1. Escolha das fotografias aéreas	40
3.2.2. Seleção das bacias hidrográficas	40
3.2.3. Análise das bacias hidrográficas	42
3.2.4. Análise das redes de drenagem	44
3.2.4.1. Composição das redes de drenagem	44
3.2.4.2. Características descritivas das redes de drenagem	47
3.2.4.3. Características quantitativas das redes de drenagem	47

3.2.4.4. Relação entre características quantitativas das redes de drenagem	48
4. <u>RESULTADOS</u>	50
4.1. <u>Características das bacias hidrográficas</u>	50
4.1.1. Propriedades dimensionais	50
4.1.2. Análise dimensional - teste de semelhança geométrica	52
4.1.3. Índices de conformação e compacidade	52
4.2. <u>Características das redes de drenagem</u>	54
4.2.1. Características descritivas das redes de drenagem	54
4.2.2. Características quantitativas das redes de drenagem	59
4.2.3. Relação entre características quantitativas das redes de drenagem	65
4.2.4. Composição das redes de drenagem	65
4.2.4.1. Análise do número de segmentos de rios	71
4.2.4.2. Análise dos comprimentos de rios	75
5. <u>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	84
5.1. <u>Características das bacias hidrográficas</u>	84
5.2. <u>Características das redes de drenagem</u>	87
5.2.1. Características descritivas das redes de drenagem	87
5.2.2. Características quantitativas das redes de drenagem	89
5.2.3. Relação entre características quantitativas das redes de drenagem	93
5.2.4. Composição das redes de drenagem	94
5.2.4.1. Análise dos números de segmentos de rios	94
5.2.4.2. Análise dos comprimentos de rios	96

6.	<u>CONCLUSÕES</u>	98
6.1.	<u>Associação de séries Quebra Dente e Tijuco Preto</u>	98
6.2.	<u>Série Cruz Alta</u>	99
6.3.	<u>Série Saltinho</u>	100
6.4.	<u>Conclusões gerais</u>	101
7.	<u>RESUMO</u>	103
8.	<u>SUMMARY</u>	106
9.	<u>LITERATURA CITADA</u>	108

1. INTRODUÇÃO

Qualquer iniciativa criteriosa, desenvolvida de forma científica, envolvendo a participação do solo, deve ser precedida de um levantamento de solos. Este verdadeiro princípio, que apoia atividades diversas - entre as quais a ciência agronômica - adquiriu caráter formal, com o aparecimento do atual conceito de solo, proposto pelo Soil Survey Staff em 1960, em que se estabelece ser o solo uma "coleção de corpos naturais localizados à superfície terrestre, contendo matéria viva e suportando ou capaz de suportar plantas".

Assim, o levantamento de solos passou a ser o ponto de partida, para uma gama variada de atividades e base de sustentação dos resultados da pesquisa em diversos setores técnico-científicos, permitindo pela consistência que imprime a esses resultados, sua aplicação em áreas de solos semelhantes.

Tais levantamentos devem encerrar um conhecimento mais ou menos profundo das limitações e potencialidades de

uma área em termos de solos, pois é a partir dele que se esquemematizam os programas de assistência técnica e aumento de produção e produtividade agrícolas e é a partir dele que se delineam os projetos de obras de infra-estrutura. .

O advento das fotografias aéreas e sua aplicação nos levantamentos de solos trouxe uma sensível economia de tempo e recursos para aqueles levantamentos, outrora mais morosos e onerosos. Passaram então os pesquisadores que operam na aquelas áreas assim beneficiadas, a buscar um aumento da eficiência de uma técnica florescente: a fotointerpretação de solos. Este trabalho tem o objetivo de se colocar entre aqueles que colaboraram para esse fim, visando especificamente:

- 1 . estabelecer o dimensionamento de certos critérios morfométricos de identificação, por fotointerpretação, das unidades de solos estudadas.
- 2 . estudar certas relações de causa e efeito na composição e características das redes de drenagem, destacando o papel do perfil de solos nessas relações de causalidade.
- 3 . contribuir para o aumento do acervo de critérios definidores das unidades de solos estudadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento de solos

Segundo AVERY (2), no início do ano de 1850 um engenheiro do exército francês, Aime Laussedat, conduziu uma série de experimentos com fotografias aéreas tomadas de balões cativos. Por isso Laussedat tem, por vezes, recebido o epíteto de "pai da fotogrametria".

QUACKENBUSH (28) descreveu a evolução da fotografia aérea seguindo pari-passo o desenvolvimento do material e do equipamento fotográfico, desde os idos de 1840, diversificando sua utilização em tempo de guerra ou de paz, nos quatro cantos do mundo e entrando pelo século XX para encontrar o apoio da aeronáutica, cuja evolução iria permitir até as visões inusitadas do nosso globo, através das fotografias tomadas das espaçonaves.

Dentre suas múltiplas aplicações, a fotografia

aérea encontraria no mapeamento de solos uma de suas maiores utilidades e segundo SIMONSON (37) e ROURKE e AUSTIN (34) já em 1929 teriam sido assim utilizadas por Bushnell e seus colaboradores. De início servindo apenas como mapa básico para o levantamento de solos, não tardaria para que os cientistas vissem nela uma fonte de informações adicionais das condições do terreno, inclusive dos solos. SIMONSON (37) considera a utilização de fotografias aéreas como um dos maiores avanços em levantamento de solos, conseguido nas duas décadas anteriores a 1950.

LUEDER (20) atribuiu, como das maiores importâncias das fotografias aéreas, a vantagem de mostrarem mais detalhes de uma área do que se poderia discernir no próprio local; tais detalhes podem ser avaliados com sucesso para fornecer uma estimativa das condições do terreno.

RABBEN (29) destacou entre esses detalhes, os padrões de drenagem, os quais anteriormente só estudados através de trabalhosa observação terrestre, são agora instantânea e claramente visíveis em fotografias aéreas; lembra ainda que esses padrões de drenagem estão geralmente associados com a estrutura geológica, litologia e propriedades do solo, acrescentando FROST (15) que esses padrões refletem a maneira pela qual a água, que atinge a superfície do solo, se distribui em termos das proporções de infiltração e deflúvio, fornecendo assim indícios da origem e composição dos materiais do solo. Cabe aqui lembrar a afirmação de RICCI e PETRI (33), de que na análise das redes de drenagem, as fotografias aéreas superam as cartas topográficas em precisão, por estarem livres da influência do desenhista.

Segundo RAY e FISCHER (32), embora a maioria dos estudos de geomorfologia quantitativa tenham sido feitos com base em mapas topográficos, a fotografia aérea é melhor fonte de dados, devido à exuberância de detalhes e informação adicional nela contida.

Encerrando a opinião de vários autores, RABBEN (29) atribuiu a utilidade incomparável da fotografia a três fatos fundamentais:

- a) . a grande área da superfície terrestre repreresentada em cada fotografia - cerca de 33 km² na escala de 1:25.000 e pouco mais de 20 km² na de 1:20.000;
- b) . os pares estereoscópicos de fotografias aéreas proporcionam imagens tridimensionais da superfície terrestre e dos objetos localizados sobre ela;
- c) . as imagens fotográficas são representações permanentes e não tendenciosas dos objetos originais. O primeiro destes fatos permite, ao fotointérprete, perceber relações entre o objeto de estudo e o ambiente em que ocorre, as quais poderiam não ser evidentes a um observador situado no próprio local. O segundo fato diz respeito a ilusão de profundidade (efeito estereoscópico) que permite, ao fotointérprete, perceber a forma de objetos, que em uma única fotografia pareceriam amorfos. A percepção da forma torna fácil a detecção e identificação de importantes objetos e permite medir alturas e ângulos verticais. O terceiro fato sugere, que a permanência e fidelidade da imagem permitem uma investigação detalhada e cuidadosa da área, no momento que o fotointérprete desejar e em condições de trabalho mais cômodas e mais favoráveis do que aquelas, normalmente encontradas na observação direta.

Da consulta a vários autores, percebe-se que em complementação às explicações em torno da fotografia aérea, a-

plicada a levantamento de solos, surgem sempre termos como interpretação, fotointerpretação ou fotointérprete; é que, como advertiu BURINGH (6), a fotografia aérea não retrata todo o solo, mas apenas sua superfície, e frequentemente nem ela é visível. Contudo, prossegue, muitos aspectos físicos da superfície da terra (geomorfologia, padrões de drenagem, erosão) revelam ou sugerem a distribuição de solos e seus materiais de origem. Entretanto, no dizer de ROURKE e AUSTIN (34), em poucos lugares pode a fotografia aérea fornecer todos os indícios necessários para a identificação do solo, porque ela revela, principalmente, aspectos externos (paisagem) e não características internas, (características do perfil) essenciais para a identificação do solo. Em vista do exposto, estes mesmos autores concluem que apesar das fotografias aéreas serem muito úteis, como base para trabalho de campo em mapeamento de solos, pouco se pode saber a respeito dos solos, através das fotografias, sem o estudo cuidadoso no terreno, pois aquele material mostra as paisagens de solos, não os perfis. Para o pedólogo competente que estudou os solos de cada paisagem, no terreno, as fotos sugerem a natureza dos perfis existentes.

COLWELL (8) definiu fotointerpretação, como o ato de examinar imagens fotográficas de objetos, com o propósito de identificá-los e avaliar a sua significância. De um modo mais geral, SUMMERSON (43) definiu interpretação, como a previsão do que não pode ser realmente visto. Para se ajustar tais definições à interpretação fotográfica de solos, há que se aceitar, a priori, o estabelecimento de correlações entre a natureza do perfil de solo e seus aspectos externos, revelados pela fotografia aérea, segundo o modo de entender de vários autores, dentre os quais BURINGH (6), ROURKE e AUSTIN (34), FROST (15) e LUEDER (20).

SMITH e AANDAHL (38) afirmaram, que as relações entre solos e seus ambientes de ocorrência, variam em detalhes de uma região para outra, porém, as relações geralmente existem. Na opinião desses autores, um especialista em solos fami-

liarizado com solos de uma região, observando a paisagem, pode predizer onde estão os limites entre solos ou examinando um mapa de solos, visualizar a paisagem. ROURKE e AUSTIN (34) ainda acrescentaram, que um pedólogo com experiência em determina da área, pode fazer certas estimativas a respeito dos aspectos internos do solo, por meio das fotografias, mas não pode transferir seus critérios interpretativos de uma área para outra, porque muitos dos indícios, que ele usa, têm diferente significação em áreas distintas. Se faz presente, então, a advertência de LUEDER (20) de que a interpretação da significância de um padrão de drenagem, por exemplo, não é fácil, envolvendo além da apreciação teórica, a aplicação da fotoexperiência; isto é, experiência adquirida no processo de correlacionar detalhes do terreno com sua imagem fotográfica.

Uma vez aceita a validade das correlações estabelecidas, é intuitivo aceitar-se a afirmação de LUEDER (20), de que padrões de drenagem, significativamente diferentes, indicam a localização e extensão da área de materiais com características significativamente diferentes, em termos de textura, permeabilidade, etc.; e de forma igualmente óbvia, um padrão uniformemente desenvolvido, em todos os seus detalhes, indica um material com um certo grau de uniformidade nas características físicas, nessa área uniforme. As idéias supra mencionadas servem de base aos três princípios, em que FROST (15) apoia a fotointerpretação de solos e que são:

1. solos semelhantes aparecem nas fotografias aéreas com padrões semelhantes;
2. solos diferentes aparecem com padrões diferentes;
3. desde que as características da imagem fotográfica tenham sido correlacionadas com as propriedades do solo, observadas no campo e no laboratório, muitas propriedades importantes, de solos semelhantes, podem ser inferidas por meio de fotointerpretação.

Do exposto nos princípios de FROST (15), depreende-se que esse autor considerou, que cada solo é definido na fotografia aérea por um conjunto de padrões, o que vem de encontro a opinião de LUEDER (20), que afirmou, que ao se identificar solos por fotointerpretação, os padrões exibidos por cada um dos elementos fotográficos: geomorfologia, tipo de rocha, padrão de drenagem, aspectos de erosão, são avaliados individualmente e finalmente o peso de cada elemento é comparado com o de todos os outros, tirando-se uma conclusão com base na convergência de evidências. Em outras palavras, autores como RABEN (29), RAY (31) e RICCI e PETRI (33) consideraram a interpretação de fotografias aéreas, como um processo em duas etapas. A primeira incluindo a observação, coleta de dados, medição e identificação de aspectos visíveis nas fotografias, a segunda, envolvendo processos mentais dedutivos e/ou indutivos, utilizando a informação obtida na solução de um problema.

Apesar das divergências em torno da quantidade de informações, que se podem obter das fotografias aéreas, a verdade é que a fotointerpretação vem sendo cada vez mais utilizada em trabalhos de levantamento de solos.

ROURKE e AUSTIN (34) acreditam que em muitas áreas é bem possível localizar um grande número de limites de solos através do estereoscópio, no escritório; o trabalho de campo ficaria reduzido a uma verificação dos limites assim desenhados, acrescentando-se outros ainda necessários e identificando-se os solos dentro das áreas delineadas. Depois de haver adquirido experiência em determinada área, o pedólogo pode delinear e classificar áreas de padrão de fotografia, sem visitá-las no campo; mas, continua sendo imprescindível examinar a maioria das áreas no campo, para a devida identificação. Generalizando, BURINGH (6) afirmou que em levantamento de solos, a primeira etapa é o estudo dos solos no campo e no laboratório, a segunda, a classificação dos mesmos em unidades taxonômicas e/ou de mapeamento e a terceira, o mapeamento da distribuição das unidades de solo. Em sua opinião é nesta última fase que

as fotografias podem desempenhar um papel muito importante. Deve-se ter em mente, entretanto, a advertência de LUEDER (20), de que uma falha na obtenção de informações é devida mais a uma falha de interpretação ou do controle de campo do que a uma deficiência da fotografia.

A maioria dos autores, dentre os quais podemos incluir BONBERGER e DILL (5), CRESWICK e ROCKWELL (10), GOOSEN (17), reconhecem que a fotografia aérea, embora não substitua completamente o trabalho de campo, aumenta a exatidão e o rendimento dos mapeamentos de solos. De um modo geral, concordam também que a fotointerpretação é mais útil em levantamentos de reconhecimento do que em levantamentos detalhados. Segundo BURINGH (6), em levantamentos de solos sem fotointerpretação, aproximadamente 20% das observações de campo são feitas para identificação e classificação de solos e este trabalho não pode ser substituído pela fotointerpretação; o restante, ou seja aproximadamente 80% das observações de campo, serve para localizar os limites de solos. Se todos os limites ou parte deles puderem ser demarcados na fotoimagem, então, haverá necessidade apenas de alguma verificação de campo. LUEDER (20) calculou que em mapeamentos de reconhecimento, o esforço de trabalho, com o uso da fotointerpretação, corresponde a um décimo ou menos do que seria sem o concurso dessa técnica; em levantamentos semidetalhados, economisa-se de dez a noventa por cento de trabalho e em levantamentos detalhados, as técnicas fotográficas apenas economizam um décimo do trabalho.

GOOSEN (17) fazendo uma apreciação comparativa dos três principais métodos de fotointerpretação para levantamentos de solos comentou: o "método dos padrões", de FROST et al. (15) considera como elementos padrões indicativos das condições superficiais e sub-superficiais do terreno, a forma da terra, a drenagem, os aspectos da erosão, a vegetação, o tom fotográfico e as características culturais. Tendo-se entendido as condições ambientais dos solos a serem estudados, o intérprete divide as unidades principais da paisagem em unidades

menores e examina os elementos padrões locais sob o estereoscópio. Cada elemento padrão sugere certas condições de solo e pode ser estudado independentemente, se todas as deduções concordam, os solos podem ser identificados e descritos com razoável exatidão. O método denominado "análise fisiográfica", já mencionado por BURINGH (6), baseia-se em um conhecimento profundo dos processos fisiográficos. O terreno é classificado em unidades fisiográficas, cada uma das quais contém uma associação única de solos. Para aplicar o método, o edafólogo necessita mais experiência, mas obtém uma produtividade muito maior no mapeamento. Já o método denominado "análise de elementos", desenvolvido por BURINGH (6), tem a vantagem de poder ser usado por especialistas de solos sem muita experiência em fotointerpretação. Neste método se analisam sistematicamente aqueles elementos que se acredita poderem ter alguma relação com as condições do solo.

Recentemente, FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12) aceitando o princípio proposto por este último método e utilizando fotografias aéreas verticais, empregaram um método morfométrico para o dimensionamento de índices relativos a bacias hidrográficas e redes de drenagem, visando verificar a significância dos valores encontrados em termos de diferenças entre solos.

Na opinião de QUACKENBUSH (28), a fotografia aérea é ao mesmo tempo um meio de comunicação e um instrumento de pesquisa; a câmara fotográfica registra imagens detalhadas dos aspectos da superfície terrestre, os quais admitem medição e interpretação. RAY e FISCHER (32) vão mais além, lembrando que a medição de dados experimentais é uma parte da pesquisa, fundamental em todos os campos científicos e que portanto, a fotografia aérea se destaca como um instrumento de pesquisa potencialmente importante, devido a riqueza de dados mensuráveis que se podem encontrar na imagem fotográfica dos aspectos superficiais do terreno. BURINGH (6) remata ao afirmar que é óbvio que um pedólogo poderá usar a fotografia como uma fonte de

informações, na medida em que puder obter resultados fiéis e úteis da fotoimagem; tais informações devem ter uma base científica; a técnica aplicada deve fornecer dados mensuráveis, precisos e reproduzíveis; e conclui, a utilização de fotografias aéreas em levantamentos deve ser científica, de forma semelhante aos métodos e técnicas usadas no campo e no laboratório.

RAY e FISCHER (32) comentaram que trabalhos de pesquisa baseados em medições realizadas em fotografias aéreas são ainda pouco numerosos. Embora muitos autores tenham usado mapas topográficos em estudos geomorfológicos quantitativos, RAY e FISCHER(32) argumentaram que resultados de medições podem ser mais facilmente obtidos a partir de fotografias aéreas e dão como exemplo o trabalho de Miller sobre os efeitos da litologia e da estrutura no desenvolvimento de bacias de drenagem e formas topográficas de erosão.

Segundo RAY (31), os elementos quantitativos do tamanho tem sido pouco usados na interpretação fotográfica de aspectos e condições do terreno, embora o tamanho relativo seja usado como um recurso auxiliar. Afirmando que estudos de geomorfologia quantitativa mostraram que o tamanho, em termos de medidas definidas, é um parâmetro muito importante na interpretação fotográfica, externou a opinião de que as medições de dados que podem ser obtidas das fotografias aéreas tornar-se-ão, no futuro, ainda mais importantes, quando as técnicas de medição forem melhoradas e usadas em maior extensão.

2.2. Desenvolvimento das redes de drenagem - o fator solo

Segundo AMARAL (1), as primeiras explicações para as formas caprichosas da superfície terrestre foram apresentadas na forma de fábulas, construídas em torno de conceitos religiosos. Entretanto, Buffon e da Vinci deixaram testemunho da compreensão dos mecanismos de erosão fluvial, sendo que o

primeiro defensor da capacidade modeladora dos rios foi o escocês James Hutton, um dos principais progenitores da Geomorfologia e precursor de Playfair.

BAULIG (3) informou que os estudos relacionados com as drenagens fluviais sempre possuíram função relevante na Geomorfologia, e Leonardo da Vinci, já escrevera que "cada vale foi escavado pelo seu rio e a relação entre os vales é a mesma que entre os rios".

Bandat, citado por CHRISTOFOLETTI (7), em uma concepção geológica, considerou indistintamente a configuração da drenagem como desenho de erosão, por achar que ambos os termos podem ser considerados como sinônimos, pois, levando-se em conta que entre a drenagem e a erosão se pode assinalar uma acentuada, embora complexa, relação de causa e efeito, na qual influem inúmeras circunstâncias muito variáveis, tais como o clima e a constituição física e química das próprias rochas, torna-se possível identificar a causa com a erosão e o efeito com a drenagem.

RAY (31) admitiu que a drenagem é provavelmente mais significativa como indicadora de estrutura do que de litologia, porém sugeriu que o estabelecimento de correlação entre características de drenagem específicas e rochas com certas características litológicas ou físicas, representa um campo de pesquisa interessante, particularmente o estudo quantitativo de dados de cursos d'água que possam ser medidos nas fotografias aéreas.

Para LUEDER (20) e RICCI e PETRI (33) a justificativa principal para a análise de drenagem superficial é que fornece indicações sobre a relação infiltração/deflúvio, capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais presentes em uma área. Assim, materiais relativamente impermeáveis (argila, folhelho), devido a sua textura fina, dificultam a infiltração e favorecem o deflúvio, este provoca a ero-

são das vias de drenagem, resultando uma rede de drenagem relativamente densa. Por outro lado, materiais relativamente permeáveis (conglomerado, arenito) por causa de suas texturas grosseiras, tem uma capacidade de infiltração relativamente alta e resistem à formação de redes de drenagem superficiais, a menos que sejam influenciados por fatores especiais, como escoamento rápido de grande quantidade de água e o desenvolvimento de planos de menor resistência. De acordo com estes autores, em geral, um padrão de drenagem bem desenvolvido implica na existência de materiais pouco permeáveis, enquanto uma escassa rede de drenagem superficial é indicativa de alta infiltração e boa permeabilidade. Advertiram, porém, que se trata de uma regra geral e como tal, sempre existem exceções e casos especiais como por exemplo, fatores de controles gerais ou localizados e a existência e profundidade do substrato rochoso ou de camadas densas no subsolo.

RAY e FISCHER (32) acrescentaram que a permeabilidade pode ser primária ou secundária, e como exemplo, explicaram que no granito há uma alta permeabilidade secundária, resultante do fraturamento desta rocha.

Observando um outro aspecto, RAY (31) argumentou que onde o controle estrutural atinge seu mínimo, as características da rede de drenagem podem ser influenciadas pela espessura e natureza do material exposto. ZINKE (48), comentando o trabalho de Ray e Fischer, considerou que parece razoável admitir que o solo derivado de um tipo de rocha, se for relativamente impermeável, conduzirá a maiores proporções de deflúvio e portanto, a um maior desenvolvimento da rede de drenagem superficial, com o que concordaram FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12).

Segundo AVERY (2), a superfície topográfica é, com efeito, uma síntese de todos os elementos ambientais em uma única expressão... Como tal, ela tem um grande significado nos levantamentos de solos, porque representa uma chave para a

dedução dos processos de formação de solos, atuantes em uma da da região.

As palavras de SMITH (39) podem servir de média das opiniões dos vários autores. Afirmou ele que a natureza é em grande parte complexa e não uniforme, muitos aspectos do terreno são poligenéticos e assim, a interpretação dos dados de observação, de significância para um determinado setor, solos por exemplo, dependem de um sólido conhecimento dos princípios das ciências que explicam esses fatos.

Além disso, ao que parece, mudam os fatores que afetam as bacias hidrográficas e redes de drenagem ao se considerarem níveis diferentes da coluna geológica ou áreas de drenagem de diferentes tamanhos. Mac Guinness et al., citado por VAN DOREN (46), constataram que as condições geológicas, topográficas e de solos, na bacia hidrográfica experimental de North Appalachian, relacionam-se com a área da bacia hidrográfica. Assim, a medida que aumentou o tamanho da bacia hidrográfica, o relevo se acentuou e os canais fluviais se aprofundaram mais na coluna geológica e a interceptação de novos aquíferos contribuiu para o aumento da vazão da bacia hidrográfica. Observação semelhante foi feita por URBAN (45), discutindo a significância de fontes de infiltração.

FRANÇA (13) verificou que o aumento da ordem de ramificação da rede de drenagem produz modificações na composição e nas características quantitativas do padrão.

PARVIS (27) e MARCHETTI (21), também fizeram referência a modificações no comportamento da rede hidrográfica, em função de diferentes cotas dentro de uma mesma bacia hidrográfica e conseqüentes diferenças do material exposto.

Muitos autores destacaram a importância do tamanho da área de drenagem em estudos hidrológicos ou geológicos (HORTON (18), STRAHLER (42), SCHUMM (35), MILLER e MILLER (24), ZINKE (48)).

É interessante observar, então, como HORTON (18) estabeleceu o princípio que explica o desenvolvimento dos sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem, apontando a proporção entre infiltração e deflúvio como o fator mais importante nos processos de erosão hídrica. Na sua opinião, para um dado terreno, existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície, necessário para concentrar o volume de deflúvio suficiente para iniciar a formação de canais; admitiu que este "comprimento crítico" depende do declive da superfície, velocidade do deflúvio, capacidade de infiltração e resistência do solo à erosão. Para HORTON (18), este último é o fator isolado mais importante envolvido no fenômeno de erosão, e que em períodos relativamente longos, exerce efeito dominante no desenvolvimento dos sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem.

São importantes as observações de PARR e BERTRAND (26), informando que a velocidade de infiltração da água no solo é governada principalmente pelas condições de superfície e cobertura do solo e depois, pelas características internas do corpo do solo, enquanto SMITH e WISCHMEIER (41) acrescentaram que os mesmos fatores que aumentam a infiltração, reduzem o deflúvio.

SMITH e WISCHMEIER (41) asseveraram, ainda, que o deflúvio na forma de pequenos canais tem baixa capacidade de desagregação e alta capacidade de transporte e a medida que adquire maior espessura, o movimento da água se torna mais turbulento e passa a ter alta capacidade tanto de desagregação como de transporte, resultando na formação de canais maiores.

Observando o desenvolvimento das redes, no que se refere as suas formas, HORTON (18) descreveu um modelo teórico, segundo o qual, no início dos processos erosivos, na superfície de terrenos recentemente expostos, forma-se inicialmente uma série de canais bem espaçados começando a uma certa distância do divisor de águas, depois que essa distância ultra

passou o comprimento crítico. Os canais são paralelos ao declive original e se transformarão nos rios principais das bacias de drenagem finais.

De cada lado do canal principal, vão se formando novos canais, unindo-se em ângulo e criando declives laterais dirigidos para o canal inicial e pela continuação destes processos de rebaixamento longitudinal e transversal, vão se desenvolvendo novas ordens de tributários.

A maioria dos autores tem procurado correlacionar o desenvolvimento e as características das redes de drenagem com fatores como clima, relevo ou forma de terreno, litologia, estrutura geológica e estágio do ciclo geomórfico (SMITH (40), STRAHLER (42), SCHUMM (35), RAY e FISCHER(32), MILLER e MILLER (24), RICCI e PETRI (33), RAY (31), LOBECK (19); outros como FROST (15), BELCHER (4), LUEDER (20) e PARVIS (27)), fizeram referências ao fator solo, porém num sentido muito geral, como é comumente usado em engenharia.

FRANÇA (13) concordou em parte com as observações desses autores, principalmente no que se refere à capacidade de infiltração, relação infiltração/deflúvio e resistência do solo ou da rocha à erosão; contudo, argumentou que os autores citados tiraram conclusões de caráter geral, sem se aprofundarem em maiores detalhes, por não se referirem a materiais pedologicamente bem definidos. Os trabalhos de MARCHETTI (21) e FADEL (12) corroboraram estas observações.

FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12), trabalhando com unidades de solos bem definidas, classificadas ao nível de série, fizeram suas investigações em pequenas bacias (3ª e 4ª ordem), observando praticamente as cabeceiras de drenagem e constatando a influência do fator solo no desenvolvimento das bacias hidrográficas e suas redes de drenagem. Puderam assim concluir, concordando com HORTON (18) e RAY (31), que nesse processo a erosão do solo é fator muito importante.

FRANÇA (13) e FADEL (12) asseveraram que bacias hidrográficas de mesma ordem são frequentemente de maior tamanho quando desenvolvidas em solos mais permeáveis, contudo as redes de drenagem fornecem maiores contrastes em função das diferenças entre solos.

MARCHETTI (21) concordou que tanto as características das bacias hidrográficas como das redes de drenagem dependem da natureza do solo.

É muito importante considerar-se então, o conceito de "drenagem funcional" estabelecido por BELCHER (4) para explicar porque certos solos de textura argilosa se comportam como materiais porosos. Este conceito foi adotado por LUEDER (20) e também por DUMBAR (11), que em sua discussão sobre os problemas de interpretação fotográfica em regiões tropicais e subtropicais, chamou a atenção para os solos Latossólicos, que embora possuindo elevado conteúdo de argila, apresentam características das redes de drenagem, semelhantes às de solos de classe textural areia-barrenta.

Citando trabalho de Jenkins et al., esclareceu RAY (31), que as fotografias aéreas mostram a drenagem efetiva do perfil, independentemente da textura ou composição granulométrica do solo. Reportando-se ao exemplo do calcário, discutido por Jenkins et al., lembrou que o calcário dá origem a um solo de partículas finas, porém agregadas, resultando num perfil permeável e bem drenado internamente; em consequência, as fotografias aéreas mostram uma rede de drenagem superficial de textural grosseira.

FRANÇA (13) e FADEL (12) puderam comprovar este fenômeno da drenagem funcional. Verificaram estes autores que características internas dos perfis dos solos podem superar o efeito da textura sobre a permeabilidade desses perfis, com reflexos sobre o desenvolvimento das redes de drenagem superficiais. Demonstraram que solos argilosos como os dos grandes

grupos Latossol Roxo e Latossol Vermelho Escuro, devido a estrutura porosa de seus perfis, podem apresentar-se mais permeáveis do que os solos arenosos do grande grupo Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras.

Parecem, portanto, muito gerais, opiniões como as de PARVIS (27), LUEDER (20) e FROST (15) de que os padrões de drenagem refletem a maneira pela qual a água que atinge a superfície do solo se distribui por deflúvio ou infiltração, fornecendo indícios sobre a composição e a origem dos materiais dos solos. Justifica-se, então, plenamente a afirmação de BURRINGH (6) de que além da textura e dos processos de deposição dos materiais de origem, ao cientista de solo interessa estudar também a ação dos fatores de formação e saber a que grupo genético pertence um solo; contudo, advertiu que em geral é impossível deduzir de fotografias aéreas, a que grupo genético um solo pertence. Além disso, afirmou que previsões concernentes à textura do solo, que frequentemente são feitas em fotointerpretação, muitas vezes são erradas.

Ainda a esse respeito, BURRINGH (6), FRANÇA (13) e FADEL (12) verificaram que solos originados de materiais com textura semelhante e depositados pelo mesmo agente, apresentam diferenças notáveis quanto às características das redes de drenagem individuais, em conseqüências das diferenças exibidas na morfologia dos perfis desses solos.

As verificações de BURRINGH (6), DUMBAR (11), BELCHER (4), LUEDER (20), RAY (31), FRANÇA (13), FADEL (12), MARCHETTI (21), ao negarem uma estreita correlação entre bacias hidrográficas e redes de drenagem com a textura dos solos evidenciaram a existência da correlação com a resultante dos efeitos de todas as propriedades que definem os perfis dos solos.

Para finalizar, podemos destacar as afirmações de FRANÇA (13), de que as redes de drenagem fornecem indícios

sugestivos de diferenças entre solos; embora a rede, desenvolvida na área de ocorrência de um solo, possa ser localmente mo dificada pela inclusão de outras unidades ou fatores como posi ção topográfica, controle estrutural e variação na profundida- de do substrato rochoso, quando se considera uma amostra de ta manho suficiente, obtém-se valores médios que diferem sensivel mente de uma unidade edafológica para outra.

2.3. Análise das redes de drenagem

2.3.1. Características descritivas das redes de drena- gem

Segundo LUEDER (20), excetuando-se a forma fi - siográfica, a drenagem superficial é provavelmente o mais segu ro indicador das condições do terreno à disposição do fotoin - térprete.

FRANÇA (13) informou que os sistemas fluviais têm despertado a curiosidade de cientistas em todas as épocas; contudo, mais recentemente, com a verificação de que tais sis - temas refletem as características dos materiais sobre os quais se desenvolveram, canalizaram-se os interesses dos pesquisado - res das mais diversas áreas científicas, no sentido de tirar proveito das informações contidas nos vários aspectos das re - des de drenagem.

Segundo CHRISTOFOLETTI (7), as informações ati - nentes às redes de drenagem restringiram-se por muito tempo às observações locais e descrições qualitativas, baseadas em ra - ciocínios indutivos. Quando houve a possibilidade das pesqui - sas utilizarem documentos cartográficos de maior precisão, foi a caracterização dos padrões de drenagem que mais se desenvol - veu. Todavia, a análise das características deste elemento da rede hidrográfica baseava-se totalmente na maneira dispositiva dos cursos d'água.

Segundo PARVIS (27) e FROST (15), a forma pela qual as vias de drenagem, de um modo geral, se distribuem em uma dada área do terreno, faz lembrar, por vezes, a configuração de um objeto conhecido; outras vezes, os componentes das redes de drenagem guardam posições relativas semelhando formas geométricas. Disto têm se valido os pesquisadores para classificar as redes de drenagem em tipos ou modelos e nomes como dendrítico, anular, paralelo, radial, arborescente, são comumente encontrados na literatura. A esta feição exibida pela rede, consequência do arrançamento dos componentes individuais, dá-se o nome de padrão de drenagem.

Os pesquisadores das chamadas ciências da terra têm desenvolvido estudos no sentido de conhecer, cada vez mais e melhor, as relações entre tipos e particularidades dos padrões com seus fatores determinantes, objetivando aumentar a eficiência dessas relações nas interpretações de fotografias aéreas. Dentro deste panorama, grande número de autores, dentre os quais LOBECK (19), VON ENGELN (47), HORTON (18), MILLER e MILLER (24), FRANÇA (13) e FADEL (12) situam a estrutura geológica como o principal fator responsável pelas formas particulares dos padrões. Outros, como TATOR (44), RABBEN (29), PARVIS (27) e RAY (31), além de destacarem a estrutura geológica, tecem considerações a respeito das influências devidas à litologia. Assim é, que as classificações dos tipos de padrões estão mais voltadas para a identificação de estruturas geológicas ou tipos de rochas.

Zernitz, citado e complementado por PARVIS (27), HORTON (18), LOBECK (19), VON ENGELN (47), estabeleceu as relações gerais entre padrões de drenagem específicos e estruturas geológicas particulares.

PARVIS (27) identificou seis padrões de drenagem básicos: dendrítico, treliça, radial, paralelo, anular e retangular e considerou a estrutura geológica como um dos fatores principais no desenvolvimento destes padrões; além disso,

classificou mais vinte e quatro padrões de drenagem que considerou como modificações dos básicos.

FROST (15), RABBEN (29) e PARVIS (27) destacaram o importante papel das fotografias aéreas facilitando a observação, o reconhecimento, o estudo e a avaliação da significância dos padrões de drenagem na fotointerpretação de solos e substratos rochosos. Contudo, as referências feitas ao fator solo têm na maioria das vezes caráter muito geral. (PARVIS (27), RAY (31), RICCI e PETRI (33), RABBEN (29), FROST (15)). O solo é um obstáculo para aqueles autores mais interessados nas estruturas geológicas e tipos de rochas; algumas observações, entretanto, admitem a predominância da influência de estrutura geológicas ou da litologia ou de solos, dependendo da natureza dos materiais presentes ou então, do nível da coluna geológica considerado. PARVIS (27) argumentou que muitos cursos d'água têm suas nascentes em substratos rochosos cobertos com solos ou mantos espessos e portanto, os padrões de rios de ordens inferiores é que fornecem indícios para identificação desses solos ou substratos, por fotointerpretação, uma vez que os rios de ordens mais elevadas mostram a influência de controles estruturais. RAY (31) afirmou que onde o controle estrutural atinge seu mínimo, as características da rede de drenagem podem ser influenciadas pela espessura e natureza do material exposto. Nestas condições a drenagem acusaria diferenças no manto de intemperismo, ou seja, em propriedades do solo. RICCI e PETRI (33) relacionaram as variações no grau de controle da rede de drenagem, para um dado tipo de rocha, com variações na espessura do manto de intemperismo.

Por outro lado, RAY (31) afirmou que o grau de erodibilidade de um solo guarda estreita relação com suas características de drenagem e nas áreas em que a resistência à erosão apresenta certa uniformidade, como ocorre em muitos depósitos sedimentares ou mantos de intemperismo sobre embasamentos sem estrutura pronunciada, o padrão de drenagem é comumente dendrítico modificado. Quando há interferência do controle

estrutural, desenvolvem-se padrões em treliça, anular, paralelo, radial, retangular. Confirmando estas observações, até certo ponto, FRANÇA (13) informou que os solos desenvolvidos sobre arenitos da formação Botucatu apresentam sempre padrão dendrítico ou dendrítico modificado.

Os trabalhos de FRANÇA (13) e FADEL (12) realizados em pequenas bacias, de terceira e quarta ordem, com unidades de solos classificadas ao nível de série, levaram estes autores a concluirem que a simples designação do padrão por meio de termos descritivos não pode servir de base para o estabelecimento de diferenças entre solos. FRANÇA (13) argumentou que além de ser muito grande o número de modelos reconhecidos e descritos pelos vários autores, há ainda o problema das anomalias de drenagem, envolvendo um ou vários rios que fogem das características dominantes ou prevalescentes do padrão de drenagem normal de uma área.

Observando o problema do ponto de vista geológico, TATOR (44) afirmou que em áreas onde predominam rochas inconsolidadas, a interpretação se torna mais difícil e as eventuais anomalias de drenagem podem fornecer indícios importantes para a identificação de estruturas geológicas e mesmo de diferenciações litológicas. Este autor admitiu que em certos casos tais anomalias podem ser tão ou mais importantes, para interpretação, do que o próprio padrão. Pela mesma razão, Al-liger, citado por RAY (31), recomendou que em tais circunstâncias sejam examinadas áreas relativamente grandes, de sorte que as variações do padrão e as eventuais anomalias possam ser facilmente distinguidas dos padrões de drenagem regionais.

MILLER e MILLER (24), também mencionaram a importância das anomalias de drenagem na interpretação geológica.

Alegando que as classificações dos padrões em tipos ou modelos têm valor limitado, LUEDER (20) propôs que a estas classificações sejam adicionadas descrições de certas ca

racterísticas que são variáveis dentro de cada padrão. Tais características são: (1) grau de integração; (2) densidade; (3) grau de uniformidade; (4) orientação; (5) grau de controle; (6) angularidade e (7) ângulos de confluência, às quais RICCI e PETRI (33) acrescentaram; (8) anomalias. Segundo esses autores, um dado padrão de drenagem poderá apresentar em maior ou menor grau, algumas ou todas as características citadas, de cujo exame se poderá tirar informações sobre grau de erodibilidade, permeabilidade, textura e estrutura do material presente no terreno.

FRANÇA (13) admitiu que o método proposto por LUEDER (20) facilita a análise descritiva do padrão, porém, por mais detalhada que seja, sempre permanecerá um tanto vaga para permitir a identificação e delimitação de solos por foto-interpretação, a não ser em trabalhos conduzidos a um nível de generalização muito grande.

2.3.2. Características quantitativas das redes de drenagem

Dadas as limitações apresentadas pela análise descritiva das redes de drenagem, vários autores começaram a tentar linhas de estudo quantitativas. Assim foi que HORTON (18) estabeleceu duas relações para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento de uma rede de drenagem que são: densidade de drenagem e frequência de rios.

A densidade de drenagem é expressa pela fórmula: $Dd = \frac{Lt}{A}$, onde Dd é a densidade de drenagem, Lt é o comprimento total dos rios de uma bacia hidrográfica e, A é a área dessa mesma bacia; portanto, a densidade de drenagem vem a ser o comprimento médio de rios por unidade de área.

ZINKE (48) considerou a densidade de drenagem como a expressão da precipitação pluviométrica e da capacidade

de infiltração, representando uma descrição física quantitativa da bacia hidrográfica.

STRAHLER (42) considerou a densidade de drenagem como um índice importante da escala linear dos elementos da forma do terreno em uma bacia hidrográfica.

Segundo RAY (31), em um dado ambiente climático, a densidade de drenagem está relacionada, principalmente, com a resistência à erosão dos materiais aí presentes, aumentando de valor à medida que diminui a resistência à erosão. Exemplificando, afirmou que folhelhos e outras rochas de granulação fina, tendem a apresentar drenagem de textura fina, enquanto que rochas sedimentares de granulação grosseira, como os arenitos, tendem a apresentar drenagem de textura grosseira. Admitiu, porém, que pode haver muitas exceções, de onde FRANÇA (13) deduziu que muitas dessas exceções são devidas à natureza dos solos que se desenvolveram sobre essas rochas. FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12) relacionaram a densidade de drenagem à resistência do solo à erosão, concluindo que é maior nos solos menos resistentes à erosão.

Para LUEDER (20) e RAY e FISCHER (32), a permeabilidade do solo e da rocha subjacente tem uma influência fundamental sobre a densidade de drenagem. Quanto mais alta for a permeabilidade, tanto mais baixa será a densidade de drenagem. Entretanto, RAY e FISCHER (32) consideraram que pode haver casos de permeabilidade secundária, como ocorre em áreas de granito, onde o fraturamento dessa rocha e o conseqüente aumento da permeabilidade resultam em uma baixa densidade de drenagem. Por analogia, ZINKE (48) admitiu que o solo desenvolvido a partir de um certo tipo de rocha, se for relativamente impermeável, produzirá valores elevados de densidade de drenagem, com o que concordam FRANÇA (13) e FADEL (12).

RAY e FISCHER (32), estudando a significância da densidade de drenagem, com respeito à litologia, relacionaram

os comprimentos de rios com as áreas das respectivas bacias, como propôs HORTON (18) e com áreas circulares de dez quilômetros quadrados. Concluíram estes autores que as amostragens circulares fornecem resultados mais significativos do que aqueles obtidos através de bacias hidrográficas. FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12) comparando estes dois tipos de amostragem, em termos de solos, concluíram também pela maior significância das amostragens circulares.

Segundo FRANÇA (13), as vantagens do método proposto por RAY e FISCHER(32) resultam do seguinte:

- a) . elimina a influência da área, uma vez que todas as medições de comprimentos de rios são referidas à mesma área circular de dez quilômetros quadrados;
- b) . a área circular de amostragem pode ser deslocada, dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem consideração dos limites de bacias hidrográficas, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

A frequência de rios é expressa pela fórmula:

$$Fr = \frac{N}{A}$$
 onde Fr é a frequência de rios, N é o número total de rios de uma bacia hidrográfica e A é a área dessa mesma bacia; vem a ser, portanto, o número médio de rios por unidade de área.

MARCHETTI (21) e FADEL (12) verificaram a significância da frequência de rios em termos de diferenças entre solos, concluindo que a frequência de rios varia com a permeabilidade e a resistência dos solos à erosão. Esses autores encontraram os valores mais altos para a frequência de rios em solos de menor permeabilidade e menor resistência à erosão.

FRANÇA (13), tentando verificar a mesma correlação, informou que foi muito grande a variação encontrada, discordando até certo ponto de MARCHETTI (21) e FADEL (12).

SMITH (40) propôs uma relação, à qual denominou razão de textura, e que segundo ele expressa o espaçamento entre canais de drenagem em mapas topográficos com curvas de nível. Como os canais menores geralmente não são representados nos mapas topográficos, as suas localizações em tais mapas podem ser identificadas pelas inflexões das curvas de nível. SMITH (40) então recomendou que se escolhesse a curva de nível com o maior número de inflexões e que se dividisse esse número pelo perímetro da bacia, obtendo-se assim a razão de textura, que fica expressa pela fórmula: $T = \frac{N}{P}$, onde T é a razão de textura, N é o número de inflexões da curva de nível escolhida e P é o perímetro da bacia.

FREITAS (14) afirmou que a textura da topografia depende de vários fatores, classificados em: (1) fatores naturais, que compreendem o clima, a vegetação, a natureza da rocha ou do solo, a intensidade das chuvas, a capacidade de infiltração e o estágio do perfil longitudinal do rio; (2) fatores acidentais, que abrangem o grau de perfeição do mapeamento e o valor da escala empregada. Nestes fatores acidentais residem as limitações do método, as quais foram reconhecidas pelo próprio SMITH (40) que apontou como inconveniente o fato de se depender de bons mapas, com curvas de nível e em escala grande, com precisão suficiente para registrar todos os canais de drenagem. No dizer de RICCI e PETRI (33), há que se considerar ainda a influência do desenhista, empenhado em dar ao mapa topográfico uma feição homogênea, com o que suprime certos detalhes, quando muito numerosos.

Por ser, atualmente, mais fácil contar com coberturas aerofotográficas, do que com tais mapas, principalmente em nosso meio, FRANÇA (13) tentou obter a razão de textura utilizando fotografias aéreas e dividindo o número total de

rios da bacia pelo respectivo perímetro. MARCHETTI (21) e FADEL (12) adotaram o mesmo método e embora estes três autores afirmassem, que os resultados obtidos estão relacionados à natureza do solo, FRANÇA (13) e FADEL (12) concordaram que tais resultados não apresentam a consistência desejada.

Um outro índice proposto por SMITH (40) é a razão de textura média, e que pode ser definida como a média ponderada da razão de textura. Segundo esse autor, a razão de textura média caracteriza a textura topográfica de uma dada área como um todo, levando em consideração as áreas das bacias hidrográficas tomadas como amostragem; tem-se, então, a seguinte expressão: $T_m = \frac{\sum (A \times T)}{\sum A}$, onde T_m é a razão de textura média, A representa a área de cada bacia hidrográfica, servindo de amostragem e T representa a razão de textura calculada em cada uma dessas bacias.

SMITH (40) estabeleceu uma classificação para a textura topográfica, com base nos valores da razão de textura média. Esse sistema consta de três classes que são: (1) textura topográfica grosseira, com razão de textura média menor que 4,0; (2) textura topográfica média, com razão de textura média entre 4,0 e 10,0; e (3) textura topográfica fina, com razão de textura média maior que 10,0.

Através da razão de textura adaptada para fotografias aéreas, FRANÇA (13) testou a significância da razão de textura média como elemento de identificação de solos por foto interpretação. MARCHETTI (21) e FADEL (12) procederam da mesma forma e estes três autores concluíram que a razão de textura média varia com a natureza do solo, apresentando valores mais elevados nos solos menos permeáveis e menos resistentes à erosão; além disso, concluíram também, que a razão de textura média é um índice melhor do que a razão de textura para caracterização de solos.

Tendo em vista que a unidade utilizada na classificação da textura topográfica de SMITH (40) é a milha, FRANÇA (13) converteu os limites dessa classificação para o sistema métrico, utilizando o quilômetro como unidade. Tal classificação foi empregada tanto por FRANÇA (13) como por MARCHETTI (21) e FADEL (12), assim adaptada: (1) textura topográfica grossa, com razão de textura média menor que 2,5; (2) textura topográfica média, com razão de textura média entre 2,5 e 6,2; (3) textura topográfica fina, com razão de textura média maior que 6,2.

Utilizando mapas topográficos, SMITH (40) confrontou os dados de razão de textura e densidade de drenagem de quarenta e cinco bacias hidrográficas de 2ª e 3ª ordens, comprovando a regressão com uma equação do tipo $\log Dd = \log a + b \log T$, onde Dd representa a densidade de drenagem e T a razão de textura. Em vista da existência desta função e argumentando ser fácil determinar-se a densidade de drenagem em fotografias aéreas, RAY (31) concluiu que a emprego das fotos seria útil em um estudo comparativo de topografias de erosão.

Seguindo a mesma orientação de SMITH (40.), porém utilizando fotografias aéreas, FRANÇA (13) reuniu os dados de densidade de drenagem e razão de textura de quinze bacias hidrográficas de 4ª ordem, aos quais ajustou uma equação do tipo $\log Dd = \log a + T \log b$, que acusou um coeficiente de correlação $R = 0,737$, de onde FRANÇA (13) concluiu serem os resultados pouco consistentes para o estabelecimento da relação funcional.

FADEL (12), também, utilizando fotografias aéreas aplicou a equação proposta por FRANÇA (13) aos dados de densidade de drenagem e razão de textura de nove bacias de 3ª ordem, obtendo resultado satisfatório, com coeficiente de correlação $R = 0,854$.

FRANÇA (13) e posteriormente FADEL (12) tentaram ainda verificar a relação entre razão de textura média e densidade de drenagem determinada em amostras circulares de 10 km², obtidas em unidades edafológicas distintas e homogêneas. Ambos utilizaram uma equação do tipo $Dd_c = a + b T_m$, onde Dd_c representa densidade de drenagem em amostras circulares e T_m representa razão de textura média. Ficou comprovada uma estreita relação funcional, tendo FRANÇA (13) e FADEL (12) encontrado coeficiente de correlação $R = 0,985$ e $0,964$ respectivamente, o que atesta o elevado significado edafológico dos valores dos índices relacionados.

Encontra-se ainda na literatura uma certa ambiguidade em termos como, densidade e textura, além de um tratamento semiquantitativo, pela utilização de designações como alta e baixa, fina e grosseira, para as características quantitativas das redes de drenagem. Tais divergências, sem dúvida dificultam a evolução nas questões de análise das redes de drenagem e sua significância, seja em termos de estruturas geológicas, litologia ou solos.

Segundo FRANÇA (13), as características quantitativas, baseando-se em medições simples, exatas e reproduzíveis, como propôs BURINGH (6), colocam a descrição do padrão de drenagem em termos mais objetivos.

RAY e FISCHER(32), QUACKENBUSH (28) e RABBEN (29) destacaram a importância das fotografias aéreas, facilitando a obtenção de dados mensuráveis em bacias hidrográficas e redes de drenagem, entretanto, RAY e FISCHER(32) afirmaram que ainda são pouco numerosos os trabalhos de pesquisa que empregaram esse recurso.

2.3.3. Composição das redes de drenagem

Segundo VON ENGELN (47), já em 1.802, Playfair

afirmava que todo rio consiste de um tronco principal alimentado por vários afluentes, cada qual correndo em um vale proporcional ao seu tamanho, formando no todo um sistema de vales comunicantes, que têm um ajustamento adequado de suas declividades, de modo que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiadamente superior ou inferior. De acordo com esta hipótese, conhecida como "lei das junções concordantes", os rios seriam responsáveis por seus vales e ao mesmo tempo estariam em concordância com eles. VON ENGELN (47) esclareceu que em locais onde há quedas d'água, tal não se verifica, resultando vales suspensos e junções discordantes; todavia tais casos ocorrem mais como excessão.

As idéias de Playfair basearam-se em suas obser^{vações} in loco e tiveram sua interpretação quantitativa lançada por HORTON (18), que relacionando os números e os comprimen^{tos} dos rios com suas respectivas ordens de ramificação nas redes hidrográficas, estabeleceu duas leis a saber: a lei dos nú^{meros} de rios e a lei dos comprimentos de rios.

De acordo com a primeira lei, "os números de rios de cada ordem de ramificação, de uma bacia hidrográfica, formam uma série geométrica inversa, cuja razão é a razão de ramificação". A segunda lei estabelece que "os comprimentos médios dos rios, de cada ordem, de uma bacia hidrográfica formam uma série geométrica, cuja razão é a razão de comprimento". É oportuno observar, que o último termo da lei dos números de rios é sempre igual a um e na lei dos comprimentos de rios é o comprimento do rio principal.

HORTON (18), invertendo o sistema europeu de classificação dos rios em ordens, classificou como de primeira ordem os elementos das cabeceiras de drenagem, não ramificados, ficando a ordem mais elevada para o rio principal. Afirmou ele que desta forma os tributários de primeira ordem, embora pertencendo a bacias hidrográficas diferentes, apresentam características semelhantes.

Muitos outros autores adotaram o sistema proposto por HORTON (18), posteriormente modificado por STRAHLER (42), dentre eles, MAXWELL (22), FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12).

As duas leis de HORTON (18) baseiam-se no que ele próprio chamou de "composição da rede de drenagem", que indica os números e comprimentos de rios das diferentes ordens de ramificação, independentemente do padrão, e que a seu ver tem um elevado grau de significância hidrológica.

Concordando com HORTON (18), FRANÇA (13) e FADEL (12) acrescentaram ainda, que a composição da rede de drenagem reflete melhor a diferença entre solos do que o padrão de drenagem em si.

HORTON (18), STRAHLER (42), SCHUMM (35) FRANÇA (13) e FADEL (12) comentaram que a lei dos comprimentos de rios, geralmente não é obedecida com a mesma precisão observada na lei dos números de rios. FRANÇA (13) concluiu ainda que os resultados fornecidos pela lei dos números de rios são ligeiramente superiores aos valores observados. FADEL (12) concordou com FRANÇA (13) contudo, afirmou ter encontrado desvios menos pronunciados, em virtude, talvez, de ter utilizado bacias de 3ª ordem, ao passo que FRANÇA (13) utilizara de 4ª ordem.

FRANÇA (13) e FADEL (12) concluíram que o comprimento médio dos segmentos de rios classificados segundo a ordem de ramificação, varia com o comportamento hidrológico dos solos e segundo FRANÇA (13), parece estar associado à declividade do terreno, à capacidade de infiltração e a resistência do solo à erosão, apresentando os valores mais elevados nos solos com maior permeabilidade e resistência à erosão.

Lembrando que o comprimento total de rios, em cada ordem, é o produto do comprimento médio pelo número de

rios dessa ordem, STRAHLER (42) afirmou que esse comprimento total dos rios, de cada ordem, tende a formar uma sequência inversa ao número de ordens de ramificação; entretanto, STRAHLER (42), SCHUMM (35) e FRANÇA (13) concordaram que tal relação não é tão bem obedecida como a lei dos números de rios.

MAXWELL (22) constatou uma regressão linear entre os logaritmos dos números de rios e as ordens de rios. Os dados observados mostraram pouca dispersão em relação a equação ajustada que é do tipo $\log N_w = \log a - \log b \cdot w$, onde N_w representa o número de rios de ordem w . Este autor verificou ainda que o antilogaritmo de b é a melhor expressão empírica da razão de ramificação, propondo a equação $R_b = \text{antilog } b$.

STRAHLER (42), FRANÇA (13) e FADEL (12) comprovaram a equação proposta por MAXWELL (22), sendo que FRANÇA (13) e FADEL (12), ao invés de reunir os dados obtidos e usar médias gerais de um número suficientemente grande de amostras de bacias hidrográficas, preferiram ajustá-la a amostras representativas de séries de solos. Verificaram assim, que os diferentes comportamentos hidrológicos dos solos refletem-se nos valores assumidos pelos parâmetros da equação, em cada caso particular.

HORTON (18) afirmou ter encontrado valores para a razão de ramificação entre 2,22 (bacias suavemente onduladas) e 3,91 (bacias acidentadas).

Segundo STRAHLER (42), a razão de ramificação é um número sem dimensão, útil para expressar a composição de um sistema de drenagem, sendo altamente estável e mostrando pequena amplitude de variação de uma região para outra, a não ser onde domina poderoso controle geológico. Referindo-se ao trabalho de Coates, afirmou que a média dos resultados encontrados por esse autor, para a razão ramificação, é de 3,52.

Trabalhando com bacias de 4ª ordem, FRANÇA (13)

encontrou médias gerais praticamente iguais para os valores da razão de ramificação, observados e calculados segundo MAXWELL (22). Afirmou que essas médias variaram em tórno de 3,55, portanto próximas do valor apresentado por STRAHLER (42).

FADEL (12), utilizando bacias de 3ª ordem, encontrou 2,71 como média dos valores calculados para a razão de ramificação; valor esse inferior aos citados na literatura, relativos a bacias de 4ª ordem.

FRANÇA (13) e FADEL (12), empregando unidades de solos detalhadas, demonstraram que a razão de ramificação varia com a natureza do solo, apresentando valores mais altos nos solos de menor resistência à erosão.

FRANÇA (13) concluiu que os solos localizados em posições mais baixas, no relevo, podem apresentar maiores valores para a razão de ramificação, uma vez que recebem uma sobrecarga proveniente das águas subterrâneas dos solos situados nas posições mais elevadas, as quais aflorando, vem alimentar os canais situados abaixo.

STRAHLER (42) relacionou os logaritmos dos comprimentos totais de rios aos logaritmos das ordens de rios e ajustou à função uma equação algébrica do tipo $\log L_w = \log a - b \log w$, onde L_w é a soma dos comprimentos de rios de ordem w . Nesta equação, b é a inclinação da linha de regressão e segundo STRAHLER (42), fornece uma medida útil da variação do comprimento dos segmentos de rios ao se passar de uma ordem para outra. Para os dados combinados de seis bacias de 4ª ordem, STRAHLER (42) encontrou o valor de $B = -1,67$.

Aos dados observados por FRANÇA (13) e por FADEL (12), provenientes de unidades homogêneas de solos, ajustou-se melhor uma equação do tipo $\log L_w = \log a - w \cdot \log b$, onde L_w representa a soma dos comprimentos de rios de ordem w . Tal equação é semelhante a que MAXWELL (22), STRAHLER (42),

FRANÇA (13) e FADEL (12) utilizaram para expressar a relação entre o número de rios e ordens de ramificação, e por analogia, FRANÇA (13) propôs que o antilogaritmo de b desta equação, seja tomado como equivalente à razão de comprimentos totais, sugerindo a fórmula $Rlw = \text{antilog } b$.

FRANÇA (13), trabalhando com bacias de 4ª ordem, encontrou um valor médio para a razão de comprimentos totais igual a 1,64, enquanto que FADEL (12) encontrou 1,70, superior portanto aos valores obtidos por STRAHLER (42) e FRANÇA (13); diferença que FADEL (12) justificou, por ter utilizado bacias de 3ª ordem. Os valores obtidos por FRANÇA (13) definem a tendência de diminuírem à medida que aumenta a permeabilidade dos solos.

Trabalhando em algumas bacias hidrográficas tributárias do rio Delaware, nos Estados Unidos, HORTON (18) encontrou valores variando de 1,84 a 2,74 para a razão de comprimentos médios, calculando um valor médio de 2,3. FRANÇA (13) obteve para a razão de comprimentos médios, valores observados (2,21) e calculando (2,13) próximos da média obtida por HORTON (18).

FADEL (12) encontrou um valor médio (1,60), para esse mesmo índice, inferior àqueles observados por FRANÇA (13) e por HORTON (18), alegando, contudo, que suas observações referiram-se a bacias hidrográficas de 3ª ordem.

FRANÇA (13), concluiu, ainda, que a razão de comprimentos médios tem um comportamento oposto ao da razão de ramificação, tendendo a ser maior nos solos mais permeáveis; variando portanto de acordo com a natureza dos solos.

Entretanto, os dados obtidos por FRANÇA (13) e FADEL (12) permitiram concluir que a razão de comprimentos médios não apresenta a mesma consistência que a razão de ramificação, o que tende a indicar que os comprimentos de rios são

mais susceptíveis a controles geológicos ou topográficos, do que o número de rios.

Devido a tais controles, os resultados obtidos por FADEL (12) para as razões de comprimentos totais (R_{lw}) e comprimentos médios (R_l), não permitem conclusões idênticas as de FRANÇA (13) quanto a esses índices.

A respeito da razão de comprimentos médios, FRANÇA (13) verificou, ainda, que vem a ser a relação entre a razão de ramificação (R_b) e a razão de comprimentos totais (R_{lw}), ou seja: $R_l = R_b/R_{lw}$. FADEL (12) confirmou tal relação informando que fornece resultados praticamente iguais aos valores calculados para a razão de comprimentos médios.

HORTON (18), FRANÇA (13) e FADEL (12) concluíram que o tipo do padrão, ou as características quantitativas da rede de drenagem, ou sua composição, não servem para caracterizar, isoladamente, uma rede de drenagem; uma vez que esses resultados podem combinar-se de formas diferentes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

É descrito a seguir o material utilizado no presente trabalho.

3.1.1. Solos

A escolha dos solos que serviram de base para este trabalho recaiu sobre quatro séries de solos identificadas e descritas por RANZANI et al. (30) que são: série Cruz Alta, série Quebra Dente, série Saltinho e série Tijuco Preto. Tais solos enquadram-se na principal unidade taxonômica do levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo, que ocorre na região considerada no presente estudo, pertencendo todos à unidade de mapeamento Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras, proposta pela COMISSÃO DE SOLOS (9).

Para efeito deste estudo as séries Quebra Dente e Tijuco Preto foram consideradas conjuntamente, como uma associação de séries de solos.

As três unidades de solos escolhidas são geneti

camente semelhantes, tendo, segundo RANZANI *et al.*, (30) sedimentos arenosos como prováveis materiais de origem.

O Quadro 1 apresenta a equivalência aproximada entre as séries de solos estudadas e a nomenclatura da 7ª Aproximação de novo sistema de classificação do Soil Survey Staff, conforme o proposto por RANZANI *et al.*, (30).

QUADRO 1 - Equivalência aproximada entre as unidades de solos estudadas e a nomenclatura da 7ª Aproximação do novo sistema de classificação do Soil Survey Staff segundo RANZANI *et al.*, (30).

Unidade de solo	Nomenclatura de acordo com a 7ª Aproximação
Cruz Alta	Aquic Orthopsamment
Quebra Dente	Ochrultic Typustalf
Tijuco Preto	Umbric Typochrult
Saltinho	Rhodic Typochrult

3.1.1.1. Descrição geral das áreas estudadas

3.1.1.1.1. Localização

De acordo com a divisão do Estado de São Paulo segundo Monbeig, citado pela COMISSÃO DE SOLOS (9), as unidades de solos, objeto do presente trabalho, localizam-se na região fisiográfica Depressão Paleozóica, sub-região Médio Tietê. Mais precisamente temos:

- a) . série Cruz Alta - Está localizada na região sul do Município de Piracicaba, Distrito da sede do Município de Piracicaba;
- b) . série Saltinho - Está localizada na região sudeste do Município de Piracicaba, no Distrito de Saltinho;

- c) . associação Quebra Dente e Tijuco Preto - Esta localizadas na região leste do Município de Piracicaba, Distrito de Tupi.

3.1.1.1.2. Classes de relevo

De acordo com RANZANI et al. (30) as unidades de solos estudadas enquadram-se nas classes de relevo indicados no Quadro 2.

QUADRO 2 - Classes de relevo das unidades de solos estudadas segundo RANZANI et al. (30)

Unidade de solo	Classes de relevo
Cruz Alta	suavemente ondulada
Quebra Dente e Tijuco Preto	ondulada
Saltinho	suavemente ondulada

3.1.1.1.3. Geologia

Segundo MEZZALIRA (23) as áreas de ocorrência das unidades de solos estudadas apresentam a seguinte geologia, indicada no Quadro 3.

QUADRO 3 - Geologia das áreas de ocorrência das unidades de solos estudadas

Unidade de Solo	Grupo	Formação	Litologia
Quebra Dente e Tijuco Preto	Tubarão	-	Arenitos, siltitos, tilitos, conglomerados e varvitos.
Cruz Alta e Saltinho	-	Botucatu Pirambóia	Arenito róseo, grã média, es tratificação cruzada, siltitos.

3.1.1.1.4. Clima

Segundo o sistema de Köppen, citado pela COMISSÃO DE SOLOS (9), o clima do Município de Piracicaba é do tipo mesotérmico, Cwa; isto é, subtropical úmido com estiagem no inverno. A predominância da pluviosidade anual é de 1.200 a 1.300 mm, não atingindo 30 mm no mês mais sêco. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente oscila entre 23 e 24°C.

3.1.2. Fotografias aéreas e fotomosaicos

Foram utilizadas 50 fotografias aéreas verticais e 4 fotomosaicos, provenientes de coberturas aerofotográficas executadas para a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo pelas firmas: Serviços Aerofotográficos Cruzeiros do Sul S/A, Aerofoto Natividade Ltda., e o consórcio das firmas Prospec S/A e Geofoto S.A.

A escala aproximada do material fotográfico utilizado foi a de 1:20.000 e 1:25.000.

3.1.3. Outros materiais

Estereoscópio de bolso, da marca Vasconcelos, estereoscópio de espelho, da marca Zeiss, planimetro polar, curvimetro, escala triangular, esquadro e compasso.

3.2. Métodos

A seguir é descrita a metodologia utilizada no presente trabalho.

3.2.1. Escolha das fotografias aéreas

Através de um estudo comparativo da Planta do Município de Piracicaba, organizada pela Secção de Cadastro e Desenho da Prefeitura Municipal, Folha Geológica de Piracicaba segundo MEZZALIRA (23), Carta de Solos do Município de Piracicaba segundo RANZANI et al. (30) e Fotoíndices da região, foram escolhidas as fotografias que abrangem as áreas de ocorrência das séries de solos, objeto deste estudo.

Após um exame breve dos grupos de fotografias abrangendo cada série de solo estudada, foram selecionadas aquelas fotografias mais representativas, seguindo portanto o método de pesquisa lógica sugerido por RABBEN (29).

3.2.2. Seleção das bacias hidrográficas

Com a finalidade de se obter maior exatidão não só dos mapas básicos de drenagem, como também dos mapas de solos, foi feito um controle das posições relativas das fotografias, pelo método da triangulação radial, descrito por NAMI e SLEPETYS (25), já que os mosaicos disponíveis eram do tipo não controlado.

Sobre os "overlays" que recobriam as fotografias, foram demarcadas as áreas úteis de cada fotografia, de acordo com a recomendação de SETTE et al. (36), objetivando uma melhor distribuição dos deslocamentos do relevo.

A seguir, através de minucioso exame estereoscópico foram traçadas as redes de drenagem de cada conjunto de fotografias, representativo de cada série de solos, tendo sido considerados todos os canais de drenagem bem definidos, quer fossem de cursos d'água permanentes quer temporários, segundo sugestão de vários autores como LUEDER (20), STRAHLER (42), RAY (31).

O passo seguinte foi transferir os limites das séries de solos da Cartas de Solos do Município de Piracicaba segundo RANZANI et al. (30) para as fotografias, o que também foi feito com o auxílio de exame estereoscópico. Esses limites foram posteriormente decalcados sobre o mapa básico de drenagem, de sorte a reunir a rede de drenagem e o mapa de solos em uma única carta para cada série de solo estudada. Seguindo assim uma orientação sugerida por RAY (31), foi possível obter-se as redes de drenagem livres da exuberância da imagem fotográfica, o que facilitou sobremaneira a execução do trabalho.

Finalmente foram selecionadas três bacias hidrográficas de terceira ordem para representar cada uma das séries de solos, procurando-se escolher bacias com a máxima porcentagem de área ocupada pelo solo representado.

Seguindo-se o princípio estabelecido por STRAHLER (42), foram escolhidas bacias de mesma ordem e tendo em vista as observações de PARVIS (27), foram escolhidas bacias de 3ª ordem.

Devido a grande dificuldade para se encontrar bacias com boa representatividade para as séries Quebra Dente e Tijuco Preto, elas passaram a figurar como uma única unidade de solo (associação de séries) durante o desenvolvimento do trabalho. Esta medida não acusaria discrepâncias, face a grande semelhança apresentada pelos perfis daquelas duas séries de solos.

Escolhidas as bacias, traçaram-se por exame estereoscópico, nas fotografias, os seus divisores de águas, os quais foram a seguir também decalcados sobre o mapa comum de solos e drenagem.

O Quadro 4 apresenta a localização das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas.

QUADRO 4 - Localização das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas.

Bacias	Localização
SÉRIE CRUZ ALTA	
A	margem esquerda do Córrego Giboinha.
B	margem direita de um afluente de um tributário da margem esquerda do Ribeirão Giboia.
C	margem esquerda de um afluente da margem esquerda do Ribeirão Giboia.
ASSOCIAÇÃO QUEBRA DENTE E TIJUCO PRETO	
A	margem direita de um afluente da margem direita do Ribeirão Tijuco Preto.
B	margem direita do Ribeirão Tijuco Preto, do qual é tributária direta.
C	margem direita do Ribeirão Tijuco Preto, do qual é tributária direta.
SÉRIE SALTINHO	
A	margem esquerda do Córrego Saltinho.
B	margem direita do Córrego da Maria Domísia.
C	margem esquerda do Córrego da Maria Domísia.

3.2.3. Análise das bacias hidrográficas

Com base na "análise dos elementos" proposta por BURINGH (6), procedeu-se à análise das bacias hidrográficas, que são áreas circunscritas por um divisor de águas e drenadas por um curso d'água e seus afluentes.

De acordo com a orientação imposta pelo método adotado, foram analisados os seguintes elementos:

- Maior comprimento: medido com escala, acompanhando aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas;
- Maior largura: medida com escala, transversalmente ao vale principal;
- Comprimento do curso principal: medido com curvímetero ao longo do curso do rio principal, desde a foz até sua nascente. Seu percurso foi determinado de acordo com as normas propostas por HORTON (18);
- Perímetro: medido com curvímetero e representado pela linha do divisor de águas que circunda a bacia;
- Área: medida com planímetro; circunscrita pelo divisor de águas;
- Teste de semelhança geométrica: baseado nos princípios propostos por STRAHLER (42), representa um teste de amostragem, o qual foi aplicado a cada grupo de três bacias representando cada unidade de solo, comparando as duas a duas quanto às propriedades dimensionais;
- Índices de conformação e compacidade: designados por I.C. e Kc respectivamente, foram calculados segundo

do GARCEZ (16), com a finalidade de complementar a caracterização das bacias hidrográficas estudadas e o teste de semelhança geométrica.

3.2.4. Análise das redes de drenagem

Ainda com base no método proposto por BURINGH (6) efetuou-se a análise das redes de drenagem, considerando-se os elementos separadamente e/ou em combinação. Conforme sua natureza, esses elementos foram reunidos em dois grupos: (a) referentes à composição das redes de drenagem; (b) referentes as características das redes de drenagem.

Foram consideradas todas as vias de drenagem com canais bem definidos, quer fossem cursos d'água permanentes ou temporários, de acordo com LUEDER (20), STRAHLER (42), RAY (31) além das depressões ou pequenas lagoas indicadoras do grau de integração segundo o conceito de LUEDER (20).

3.2.4.1. Composição das redes de drenagem

a) . Ordem de ramificação:

De acordo com o sistema proposto por HORTON (18), modificado por STRAHLER (42), foi procedida a classificação das vias de drenagem de cada bacia, as quais receberam neste trabalho a denominação genérica de segmentos de rios; sendo a ordem designada com a letra w.

b) . Número de segmentos de rios:

A seguir foram computados os números de segmentos de rios de cada ordem, designados por N_w e o número total de rios da bacia, designado por N . Foi calculada a mé -

dia ponderada dos números de rios de cada ordem de ramificação, de sorte a se obter o número de segmentos de rios, de cada ordem, para cada unidade de solo estudada, as áreas das bacias hidrográficas servindo como elementos ponderais. Os números de segmentos de rios foram calculados ainda, segundo a lei do número de rios de HORTON (18) e segundo a equação empregada por MAXWELL (22), a qual foi ajustada aos dados observados segundo o método dos quadrados mínimos.

c) . Razão de bifurcação ou de ramificação:

Segundo HORTON (18), expressa a relação entre o número de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente mais elevada, sendo representada por R_b ;

A razão de ramificação foi calculada entre cada duas ordens de rios consecutivas em todas as bacias hidrográficas. Foi calculada a razão de ramificação média, extraída das médias ponderadas dos números de rios, de cada ordem, em cada unidade de solo estudada. Foi calculada também a razão de ramificação, segundo indicação de MAXWELL (22).

d) . Comprimento de rios:

Com curvímetro foram medidos os comprimentos dos segmentos de rios de cada ordem, em cada bacia, designados por L_w , resultando da sua soma o comprimento total de rios da bacia, representado por L_t . Dividindo-se o primeiro destes índices pelo número de segmentos de rios da respectiva ordem, obtém-se o comprimento médio dos segmentos de rios de cada ordem, identificado por L_m .

Como no caso do número de rios, foi calculada a média ponderada dos comprimentos de rios em cada ordem, obtendo-se o comprimento de rios em cada ordem, para cada unidade de solo estudada. O mesmo foi feito para o comprimento médio de rios em cada ordem. O comprimento de rios, em cada ordem, foi calculado segundo a equação de STRAHLER (42), a qual foi

ajustada aos dados observados, segundo o método dos quadrados mínimos.

O comprimento médio dos segmentos de rios, de cada ordem, foi calculado segundo a lei dos comprimentos de rios de HORTON (18); foi calculado também, dividindo-se os resultados da equação proposta por STRAHLER (42) pelos resultados da equação proposta por MAXWELL (22). Além disso, foi ajustada uma equação de regressão e obtidos novos valores para os comprimentos médios dos rios.

e) . Razão de comprimentos totais:

Definida por STRAHLER (42), expressa a relação entre as somas dos comprimentos dos segmentos de rios de uma dada ordem e a da ordem imediatamente superior, sendo designada por R_{lw} .

A razão de comprimentos totais foi calculada entre cada duas ordens de rios consecutivas em todas as bacias hidrográficas. Foi também calculada a média da razão de comprimentos totais, extraída das médias ponderadas dos comprimentos totais de rios, de cada ordem, em cada unidade de solo estudada.

f) . Razão de comprimentos médios:

Definida por HORTON (18), expressa a relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma dada ordem e o da ordem imediatamente inferior, sendo designada por R_l .

A razão de comprimentos médios foi calculada entre cada duas ordens de rios consecutivas em todas as bacias hidrográficas. Foi calculada também, a média da razão de comprimentos médios, extraída das médias ponderadas dos comprimentos médios de rios, de cada ordem, em cada unidade de solo, estudada. Seguindo indicação de FRANÇA (13), foi calculada a ra

ção de comprimentos médios dividindo-se a média da razão de ramificação pela média da razão de comprimentos totais. Por analogia à orientação dada por MAXWELL (22) para o cálculo da razão de ramificação, foi calculada a razão de comprimentos médios com base na equação de regressão ajustada para o cálculo dos comprimentos médios de rios.

3.2.4.2. Características descritivas das redes de drenagem

O padrão de drenagem foi descrito segundo a orientação dada por LUEDER (20), incluindo-se o tipo ou modelo, segundo PARVIS (27).

3.2.4.3. Características quantitativas das redes de drenagem

a) . Densidade de drenagem e frequência de rios:

São designadas por D_d e Fr , respectivamente e foram calculadas para todas as bacias hidrográficas, segundo as definições dadas por HORTON (18).

b) . Razão de textura:

É designada por T e foi calculada para todas as bacias hidrográficas, segundo a definição dada por SMITH (41) e modificada por FRANÇA (13).

c) . Razão de textura média:

É designada por T_m e foi calculada segundo FRANÇA (13), para cada unidade de solo estudada, representando o valor médio ponderado da razão de textura, em relação às áreas das bacias hidrográficas.

d) . Textura topográfica:

Com base nos valores da razão de textura média, procedeu-se a classificação da textura topográfica segundo os parâmetros propostos por SMITH (40) e adaptadas por FRANÇA (13), os quais acham-se indicados no Quadro 5.

QUADRO 5 - Parâmetros para classificação da textura topográfica, com base nos valores de razão de textura média, segundo SMITH (40).

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

e) . Densidade de drenagem de amostras circulares:

É designada por Dd_c e foi calculada segundo RAY e FISCHER (32), para cada unidade de solo estudada, nas quais foram selecionadas três amostras circulares de $10,0 \text{ km}^2$, abrangendo cada uma a maior proporção possível da respectiva unidade de solo representada.

3.2.4.4. Relação entre características quantitativas das redes de drenagem

Utilizando o método de SMITH (40), modificado por FRANÇA (13), foi feito o estudo comparativo entre a densidade de drenagem e a razão de textura referentes às bacias hidrográficas, combinando-se os dados das nove bacias selecionadas para o presente trabalho.

Procedeu-se da mesma forma com relação a média das densidades de drenagem de amostras circulares e a razão de textura média, representativas de cada unidade de solo estudada, conforme a sugestão de FRANÇA (13).

Além disso, foi testada a correlação entre a densidade de drenagem e a frequência de rios referidas às bacias hidrográficas.

4. RESULTADOS

4.1. Características das bacias hidrográficas

O estudo das características das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas forneceu os resultados que são apresentados a seguir.

4.1.1. Propriedades dimensionais

As propriedades expressas por números dimensionais, selecionadas para caracterizar as bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas, estão apresentadas no Quadro 6.

Conforme se pode observar, a série Saltinho é a que apresenta de um modo geral, bacias de terceira ordem com maiores dimensões, notando-se ainda que a associação das séries Quebra Dente e Tijuco Preto tende a apresentar os menores valores das propriedades analisadas.

QUADRO 6 - Propriedades dimensionais das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas

Unidade de solo	Bacia Hidrográfica	Maior Comprimento (C) km	Maior largura (L) km	Comprimento de rios			Perímetro (P) km	Área (A) km ²
				principal (Cp) km	rede (Cr) km			
Cruz Alta	A	2,13	1,17	2,0	4,7	5,0	1,62	
	B	1,30	1,20	1,5	3,7	4,0	1,04	
	C	1,82	1,55	2,0	4,8	5,0	1,77	
Quebra Dente e Tijucu Preto	A	1,00	0,50	1,0	2,1	2,4	0,42	
	B	1,60	0,75	1,6	3,6	3,7	0,87	
	C	1,70	0,95	1,6	4,6	4,4	1,10	
Saltinho	A	3,17	1,05	3,4	7,9	7,5	2,70	
	B	2,95	1,75	3,0	6,4	8,0	3,10	
	C	2,40	2,20	2,0	5,0	6,8	3,33	

4.1.2. Análise dimensional - teste de semelhança geométrica

No Quadro 7 está apresentada a análise dimensional das bacias hidrográficas escolhidas, as quais se pode constatar, são geometricamente semelhantes, em consequência de uma amostragem cuja representatividade é satisfatória.

4.1.3. Índices de conformação e compacidade

No Quadro 8 estão apresentados os índices de conformação e de compacidade das bacias hidrográficas selecionadas, os quais servem para dar uma idéia aproximada das formas das bacias.

QUADRO 8 - Índices de Conformação e de Compacidade das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas

Unidade de solo	Bacia Hidrográfica	Índice de Conformação (I.C)	Índice de Compacidade (Kc)
Cruz Alta	A	0,36	1,10
	B	0,61	1,10
	C	0,53	1,05
Quebra Dente e Tijuco Preto	A	0,42	1,03
	B	0,34	1,11
	C	0,38	1,17
Saltinho	A	0,36	1,27
	B	0,27	1,28
	C	0,58	1,04

QUADRO 7 - Análise dimensional e semelhança geométrica aplicada a bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas

Unidade de solo	Bacias hidrográficas comparadas	Razão de escala linear (R)				Razão média (Rm)	Razão de escala quadrática (R ²)	
		C/C'	L/L'	Cp/Cp'	Cr/Cr'		P/P'	A/A'
Cruz Alta	A/B	1,61	0,97	1,33	1,27	1,25	1,55	1,61
	A/C	1,16	0,75	1,00	0,97	1,00	0,91	0,94
	C/B	1,38	1,29	1,33	1,29	1,25	1,70	1,66
Quebra Dente e Tijuco Preto	B/A	1,60	1,50	1,60	1,71	1,54	2,07	2,52
	C/B	1,06	1,26	1,00	1,27	1,18	1,26	1,32
	C/A	1,70	1,90	1,60	2,19	1,83	2,61	3,24
Saltinho	C/B	0,81	1,26	0,67	0,78	0,85	1,07	0,74
	B/A	0,76	1,66	0,90	0,80	1,06	1,14	1,06
	A/C	1,32	0,48	1,70	1,58	1,10	0,81	1,51

Nas Figuras 1, 2 e 3 estão apresentadas as bacias hidrográficas selecionadas como amostragem das unidades de solos estudadas.

4.2. Características das redes de drenagem

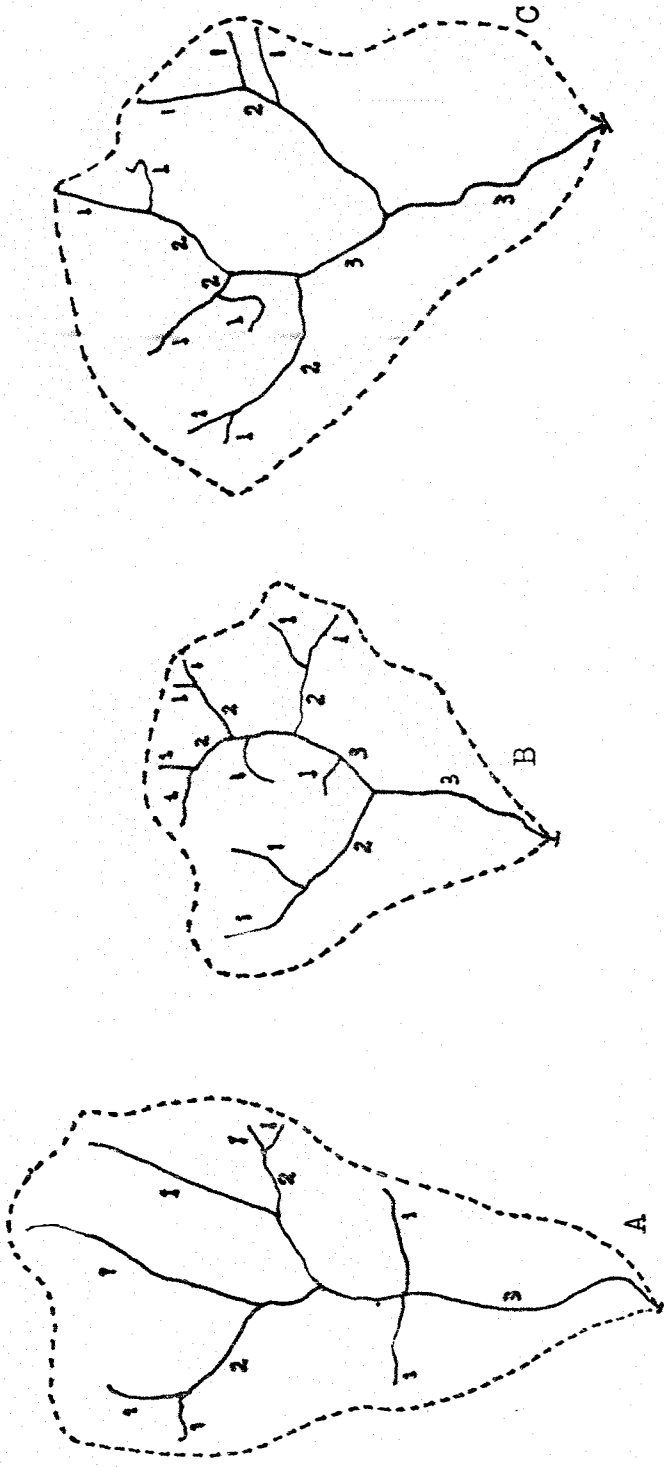
O estudo das características das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas, forneceu os resultados apresentados a seguir.

4.2.1. Características descritivas das redes de drenagem

No Quadro 9 estão indicadas as características descritivas das redes de drenagem das unidades de solos estudadas.

As inferências que a análise descritiva dos padrões de drenagem permitem são as seguintes:

- a) . Série Cruz Alta - material de textura grossa, pouco permeável e moderadamente erodível; evidências de alguma orientação e um certo grau de controle provavelmente estrutural.
- b) . Associação de séries Quebra Dente e Tijuco Preto - material de textura grosseira, porém pouco permeável e muito facilmente erodível, evidências de controle litológico, ou seja, devido à presença da rocha (are



ESCALA = 1:25000

M. H. H. P. S. S. S. S.

Figura 1 - Bacias de 3ª ordem selecionadas para representar as redes de drenagem desenvolvidas em solos da série Cruz Alta.

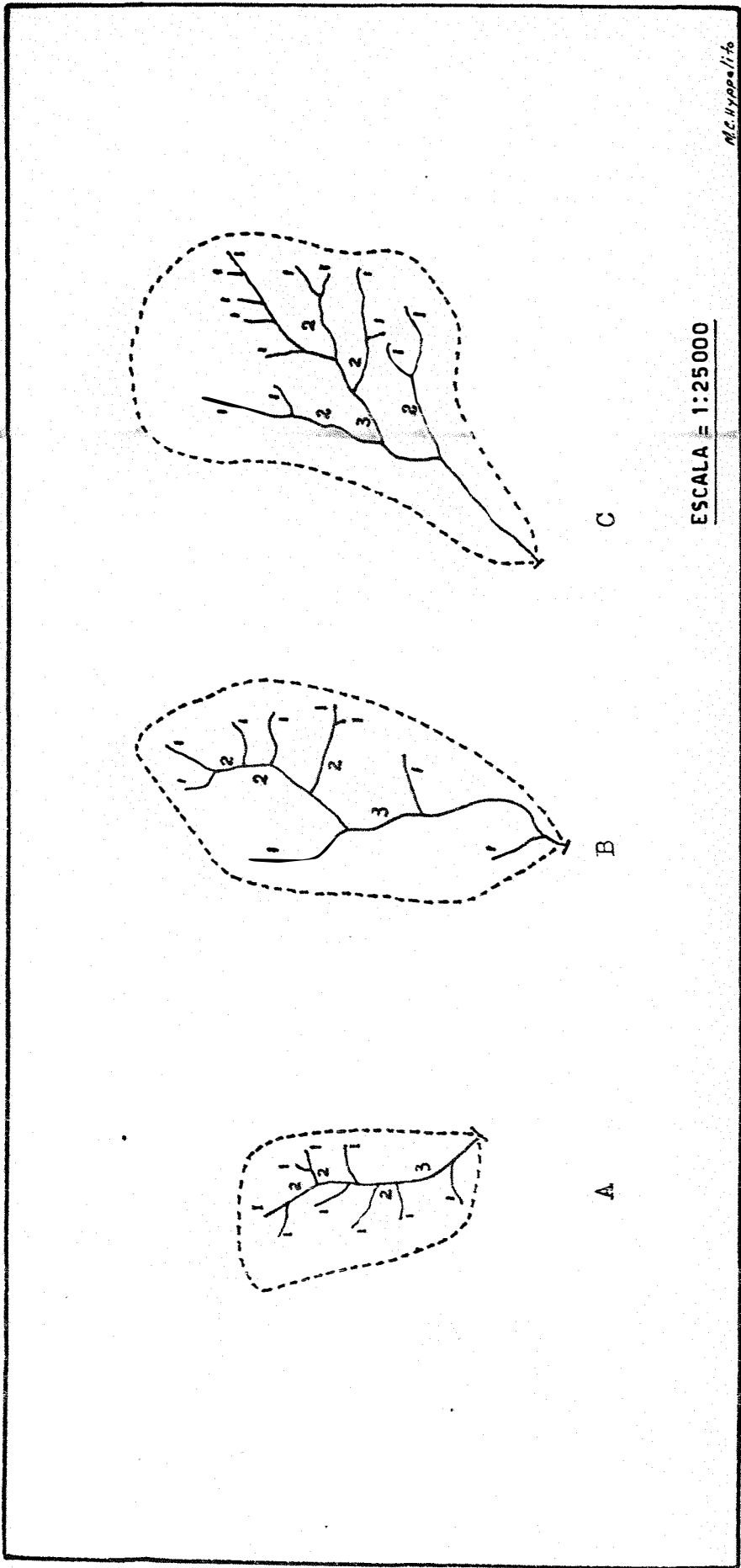


Figura 2 - Bacias de 3ª ordem selecionadas para representar as redes de drenagem desenvolvidas em solos da associação de séries Quebra Dente e Tijuco Preto.

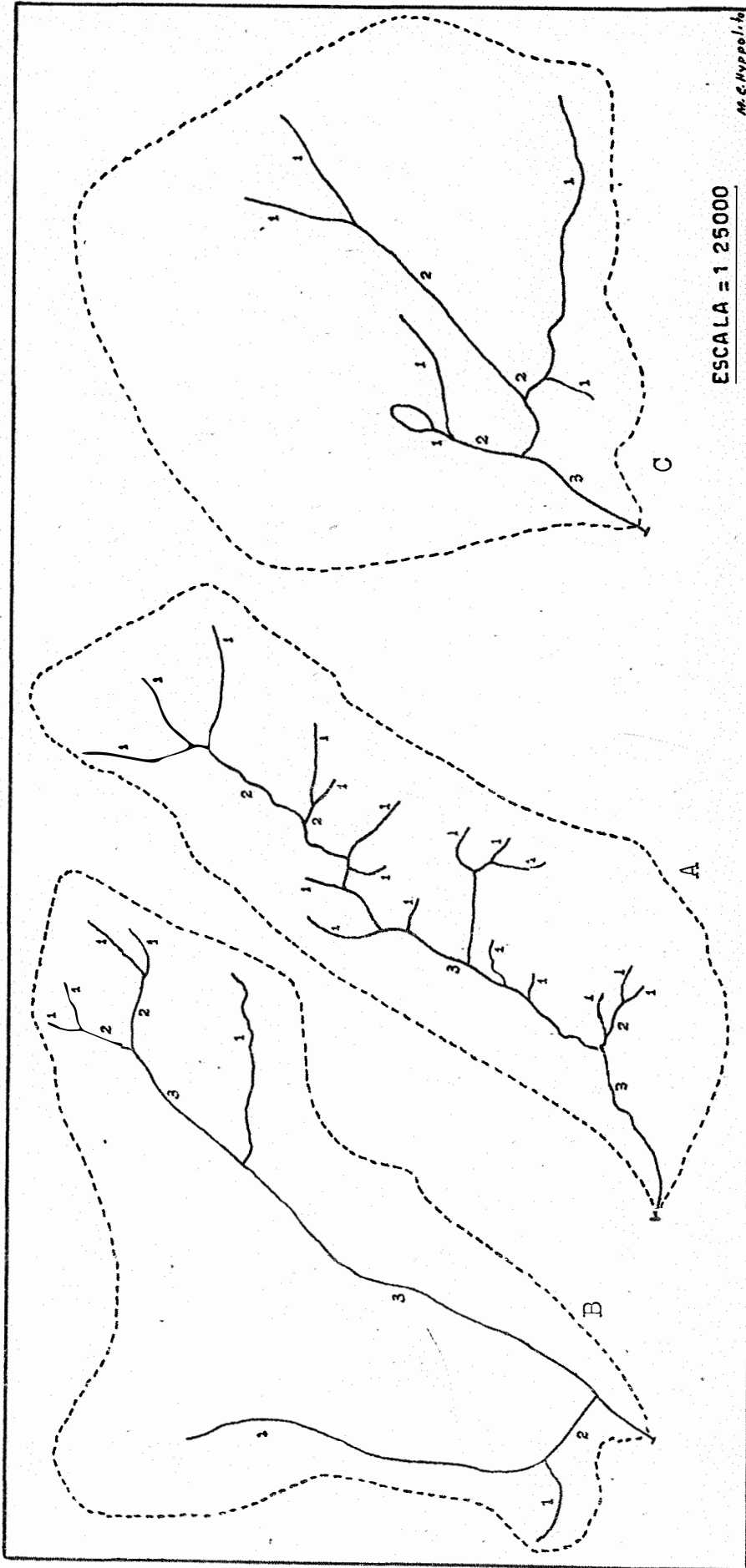


Figura 3 - Bacias de 3ª ordem selecionadas para representar as redes de drenagem desenvolvidas em solos da série Saltilho.

QUADRO 9 - Características descritivas das redes de drenagem das unidades de solos estudadas

Características	Cruz Alta	Quebra Dente e Tijuco Preto	Saltinho
Grau de integração	integrado	bem integrado	não integrado
Densidade	média	alta	baixa
Grau de uniformidade	uniforme	pouco uniforme	não uniforme
Orientação	pouco orientado	pouco orientado	pouco orientado
Grau de controle	moderado	moderado	moderado
Ângulos de junção	retos; ocasionalmente agudos	agudos; menos frequentemente retos	agudos e retos
Angularidade	ausente	alguma	ausente
Tipo ou modelo	retangular	dendrítico	subparalelo
Anomalias	aumento acentuado na Dd em alguns trechos	queda brusca na Dd em pequenas áreas	grande variação na largura dos vales, ora bem encaixados, ora associados com planícies de inundação

nito) próxima da superfície.

- c) . Série Saltinho - material de textura grosseira, permeável e pouco erodível. A variação observada na largura dos vales provavelmente seja um reflexo da estrutura subjacente ou de mudanças litológicas.

4.2.2. Características quantitativas das redes de drenagem

No Quadro 10 estão apresentadas as características quantitativas das redes de drenagem das unidades de solos estudadas, relacionando números de segmentos e comprimentos de rios aos perímetros e áreas das respectivas bacias hidrográficas. Conforme se observa, a associação Quebra Dente e Tijuco Preto é a unidade que apresenta os valores mais elevados, tanto para a frequência de rios (Fr), como para a densidade de drenagem (Dd), e razão de textura (T); a série Cruz Alta tende a apresentar valores intermediários para esses três índices, enquanto a série Saltinho tende a apresentar os menores valores.

Os dados referentes à bacia A da série Saltinho são um tanto discrepantes em relação àqueles obtidos nas bacias B e C da mesma unidade de solo, chegando inclusive a superar os valores referentes as bacias A e C da série Cruz Alta. Contudo, na área de ocorrência da série Saltinho não houve possibilidade de se escolher uma outra bacia de terceira ordem.

Em resumo, as características quantitativas, baseadas no estudo de bacias hidrográficas, evidenciam que as redes de drenagem são bem mais desenvolvidas na área de ocorrência dos solos da associação Quebra Dente e Tijuco Preto, enquanto que as séries Cruz Alta e Saltinho mostram diferenças

pouco pronunciadas a favor da série Cruz Alta.

QUADRO 10 - Características quantitativas das redes de drenagem baseadas no estudo de bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Bacia Hidrográfica	Frequência de rios (Fr)	Densidade de drenagem (Dd)	Razão de Textura (T)
Cruz Alta	A	6,79	2,90	2,20
	B	12,50	3,55	3,25
	C	7,90	2,71	2,80
Quebra Dente e Tijuco Preto	A	30,95	5,00	5,41
	B	13,79	4,13	3,24
	C	17,27	4,18	4,31
Saltinho	A	8,51	2,92	3,06
	B	3,55	2,06	1,37
	C	3,00	1,50	1,47

No Quadro 11 estão indicadas a razão de textura média (T_m), ponderada em relação as áreas das bacias hidrográficas e as densidades de drenagem (Dd_c), determinadas em amostras circulares representando as unidades de solos estudadas.

QUADRO 11 - Razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares das unidades de solos estudadas

Unidade de solo	Razão de textura média (T_m)	Densidade de drenagem de amostras circulares (Dd_c)
Cruz Alta	2,69	3,40
Quebra Dente e Tijuco Preto	4,10	5,21
Saltinho	1,90	1,42

Como se pode notar, as unidades de solos colocam-se na seguinte ordem decrescente quanto aos valores desses dois índices: associação Quebra Dente e Tijuco Preto, série Cruz Alta e série Saltinho. Além disso, os índices já mencionados refletem melhor as diferenças no comportamento hidrológico dos solos do que os índices baseados no estudo de bacias hidrográficas.

As amostragens circulares para a determinação da densidade de drenagem (Dd_c) acham-se ilustradas nas Figuras 4, 5 e 6.

Com base nos parâmetros indicados no Quadro 5, procedeu-se a classificação da textura topográfica das unidades de solos estudadas, conforme consta do Quadro 12. Note-se entretanto, que embora a série Cruz Alta figure na classe de textura topográfica média e a série Saltinho na classe grosseira, seus valores de razão de textura média estão mais próximos entre si, do que estão os das séries Cruz Alta e da associação Quebra Dente e Tijuco Preto.

QUADRO 12 - Classificação da textura topográfica das unidades de solos estudadas com base nos valores da razão de textura média

Unidade de solo	Razão de textura média - (T_m)	Classe de textura topográfica
Cruz Alta	2,69	média
Quebra Dente e Tijuco Preto	4,10	média
Saltinho	1,90	grosseira

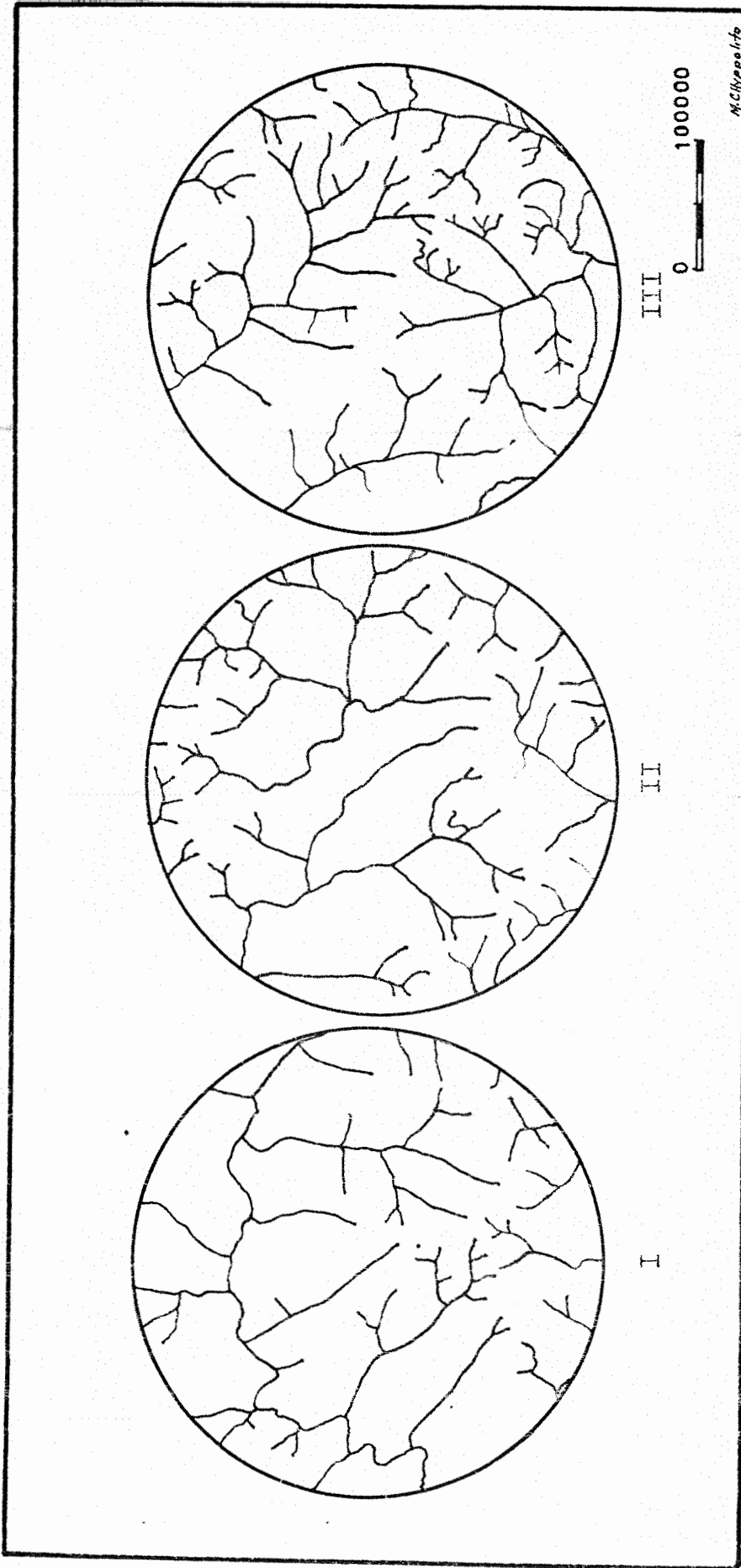


Figura 4 - Amostragem circular para determinação da densidade de drenagem em solos da série Cruz Alta.

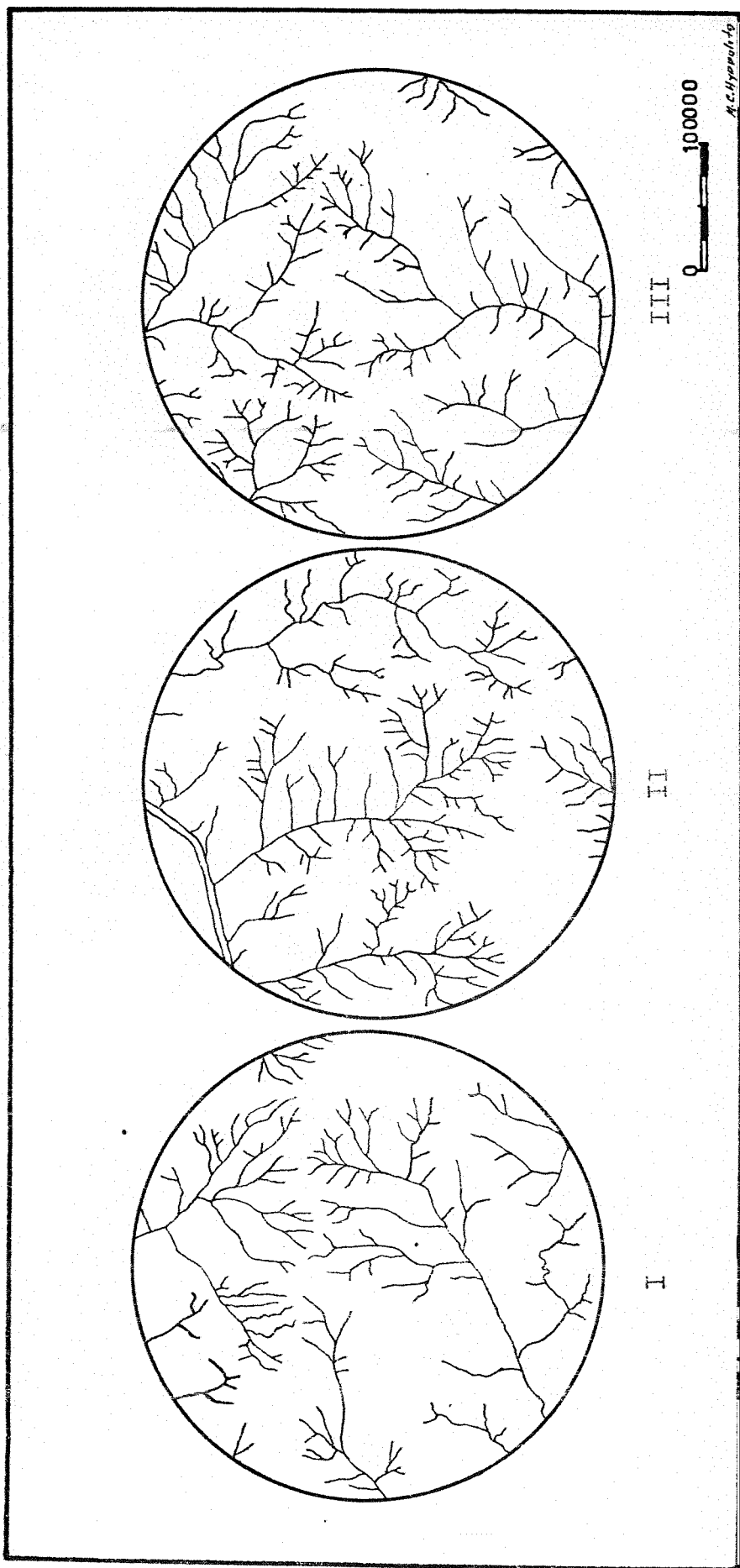


Figura 5 - Amostragem circular para determinação da densidade de drenagem em solos da associação de séries Quebra Dente e Tijuco Preto.

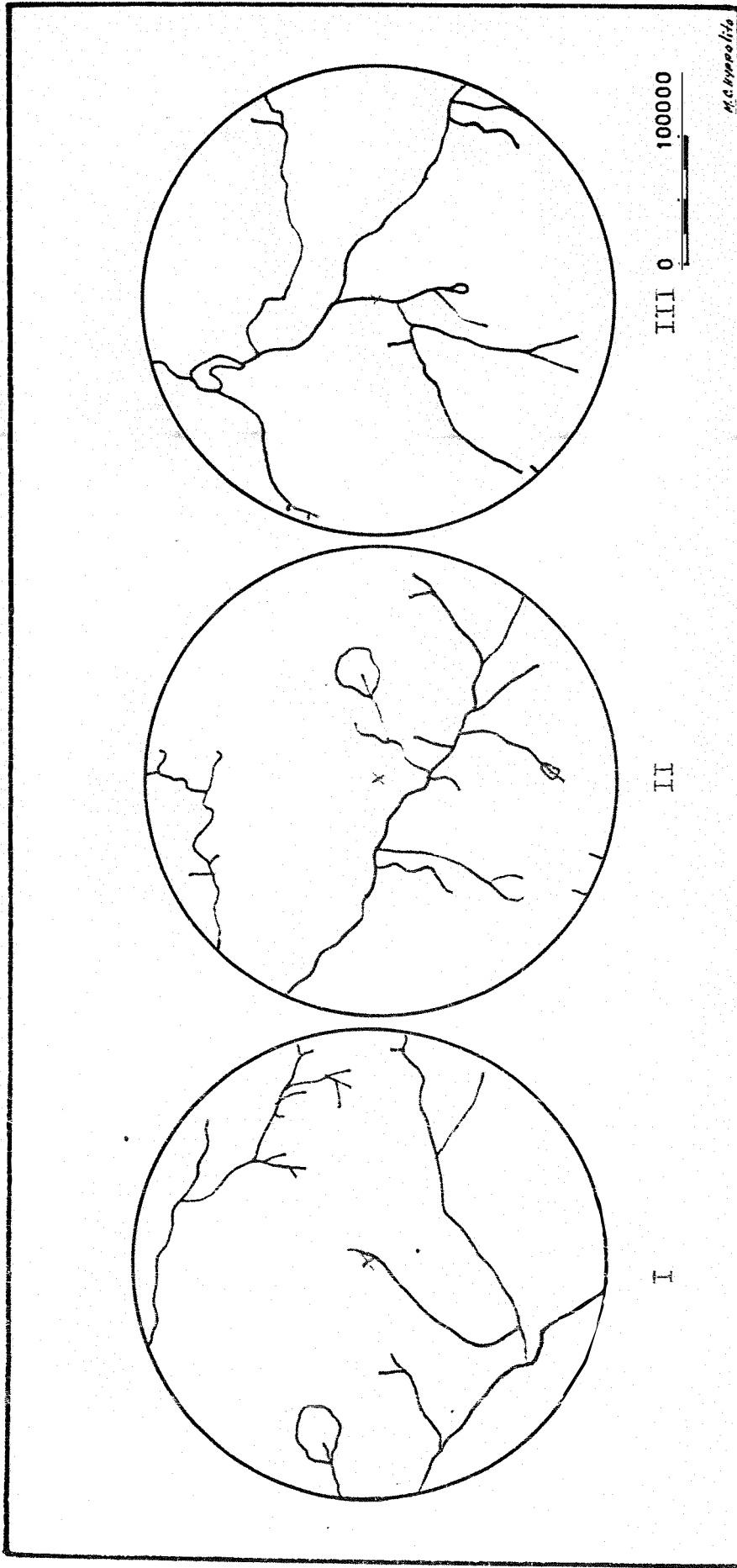


Figura 6 -- Amostragem circular para determinação da densidade de drenagem em solos da série Saltinho.

4.2.3. Relação entre características quantitativas das redes de drenagem

Procurou-se, ainda, investigar as relações entre algumas características quantitativas das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

As relações entre razão de textura e densidade de drenagem, referidas às bacias hidrográficas, acham-se ilustradas na Figura 7. Conforme se pode observar, ajusta-se a essa regressão uma equação linear com alto coeficiente de correlação ($R = 0,938$).

Analogamente, as relações entre frequência de rios e densidade de drenagem, determinadas em bacias hidrográficas, estão representadas na Figura 8, na qual se constata o ajustamento de uma equação linear com alto coeficiente de correlação ($R = 0,924$).

Por outro lado, as relações entre razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares estão ilustradas na Figura 9, na qual se nota que, também, se ajusta uma equação linear com elevado coeficiente de correlação ($R = 0,982$).

As correlações verificadas atestam o elevado grau de significância edafológica das características quantitativas das redes de drenagem, com maior consistência para as relações entre razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares.

4.2.4. Composição das redes de drenagem

As características referentes à composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas, estão indicadas no Quadro 13.

QUADRO 13 - Composição das redes de drenagem das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas

Unidade de solo	Bacia hidrográfica	Ordem (w)	Número de segmentos de rios		Razão de ramificação (Rb)	Comprimento de rios (km)			Razão de comentários medios (Rl)	Razão de comentários totais (Rlw)
			em cada ordem (Nw)	total da bacia (N)		em cada ordem (Lw)	Medio (Lm)	Total da Bacia (Lt)		
Cruz Alta	A	1ª	8	-	4,00	2,6	0,32	-	1,56	2,60
		2ª	2	-	2,00	1,0	0,50	-	2,20	0,90
		3ª	1	11	-	1,1	1,10	4,70	-	-
	B	1ª	9	-	3,00	1,7	0,19	-	1,74	1,70
		2ª	3	-	3,00	1,0	0,33	-	3,03	1,00
		3ª	1	13	-	1,0	1,00	3,70	-	-
	C	1ª *	9	-	2,25	2,0	0,22	-	1,68	1,33
		2ª	4	-	4,00	1,5	0,37	-	3,51	1,15
		3ª	1	14	-	1,3	1,30	4,80	-	-

Continuação

Unidade de solo	Bacia hidrográfica	Ordem (w)	Número de segmentos de rios		Razão de ramificação (Rb)	Comprimento de rios (km)		Razão de Comprimentos medios (RL)	Razão de Comprimentos totais (RLw)
			em cada ordem (Nw)	total da bacia (N)		em cada ordem total medio (Lw)	Total da bacia (Lt)		
Quebra Dente e Tijuco Preto	A	1ª	9	-	3,00	1,0	0,11	1,54	2,00
		2ª	3	-	3,00	0,5	0,17	3,52	0,83
		3ª	1	13	-	0,6	0,60	-	-
	B	1ª	9	-	4,50	2,0	0,22	1,36	3,33
		2ª	2	-	2,00	0,6	0,30	3,33	0,60
		3ª	1	12	-	1,0	1,00	-	-
	C	1ª	13	-	2,60	2,1	0,16	1,87	1,40
		2ª	5	-	5,00	1,5	0,30	3,33	1,50
		3ª	1	19	-	1,0	1,00	-	-
Saltinho	A	1ª	18	-	4,50	4,2	0,23	1,39	3,23
		2ª	4	-	4,00	1,3	0,32	7,50	0,54
		3ª	1	23	-	2,4	2,40	-	-
	B	1ª	7	-	2,33	3,1	0,44	0,68	3,44
		2ª	3	-	3,00	0,9	0,30	8,00	0,37
		3ª	1	11	-	2,4	2,40	-	-
	C	1ª	6	-	2,00	3,0	0,50	1,00	2,00
		2ª	3	-	3,00	1,5	0,50	1,00	3,00
		3ª	1	10	-	0,5	0,50	-	-

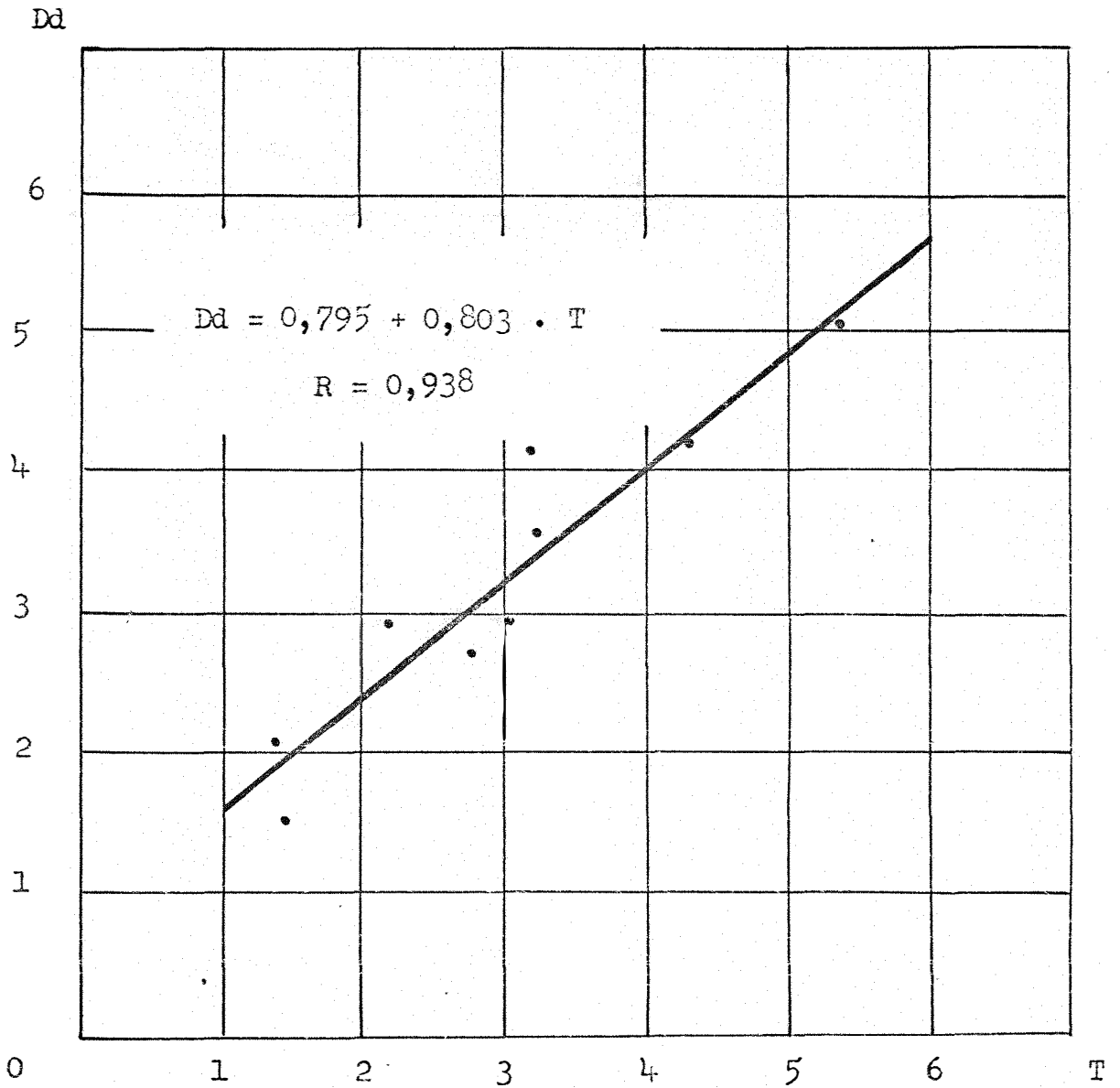


Figura 7 - Relação funcional entre densidade de drenagem e razão de textura; dados de nove bacias hidrográficas representando as três unidades de solos estudadas.

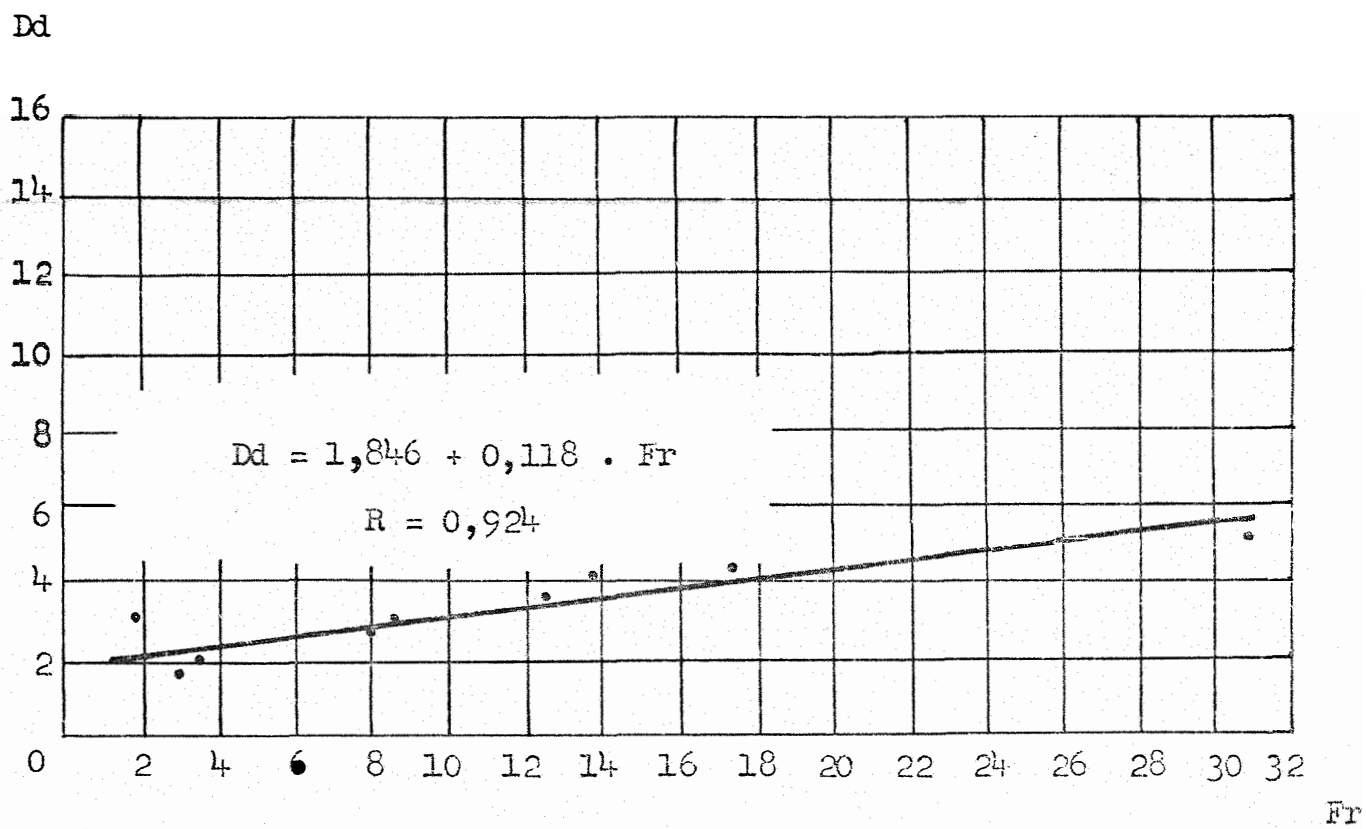


Figura 8 - Relação funcional entre densidade de drenagem e frequência de rios; dados de nove bacias hidrográficas representando as três unidades de solos estudadas.

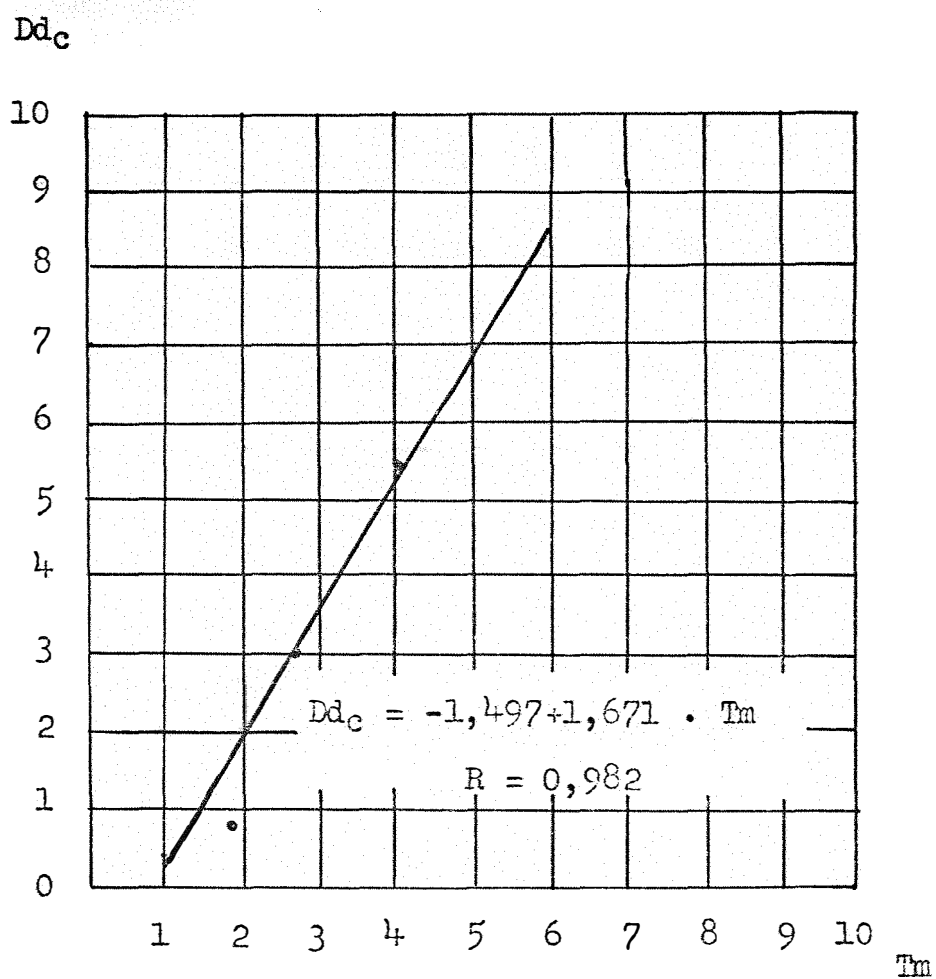


Figura 9 - Relação funcional entre razão de textura média e valores médios da densidade de drenagem de amostras circulares para as três unidades de solos estudadas.

Examinando-se este quadro, nota-se o seguinte:

- a) . tanto as bacias representativas da série Cruz Alta como aquelas escolhidas como típicas da associação Quebra Dente e Tijuco Preto, forneceram resultados consistentes;
- b) . com relação à série Saltinho, a bacia A apresentou valores mais elevados para número de segmentos de rios, enquanto a bacia C forneceu valores iguais para comprimentos médios nas ordens de ramificação, não obedecendo, portanto, à segunda lei de HORTON (18).

4.2.4.1. Análise do número de segmentos de rios

No Quadro 14, estão apresentados os valores médios observados e calculados para o número de segmentos de rios (N_w) das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

Examinando-se esse quadro constata-se:

- a) . os valores médios observados, resultantes de médias ponderadas em relação às áreas das bacias, apresentam-se na seguinte ordem decrescente: associação Quebra Dente e Tijuco Preto, série Saltinho e série Cruz Alta;
- b) . os valores médios calculados segundo a equação de MAXWELL (22), obedecem à mesma sequência dos valores médios observados, entre as unidades de solo; porém, dentro das unidades de solos, os valores de 1ª e 3ª ordens tendem a ser maiores e os de 2ª ordem, menores que os observados;

QUADRO 14 - Valores médios observados e calculados para o número de segmentos de rios (N_w) nas ordens de ramificação das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Ordem	N_w Observado	N_w calculado	
			Maxwell	Horton
Cruz Alta	1ª	8,63	8,71	8,64
	2ª	3,03	2,96	2,94
	3ª	1,00	1,01	1,00
Quebra Dente e Tijuco Preto	1ª	10,84	11,12	10,82
	2ª	3,56	3,37	3,29
	3ª	1,00	1,02	1,00
Saltinho	1ª	9,89	10,05	9,86
	2ª	3,30	3,19	3,14
	3ª	1,00	1,01	1,00

c) . os valores médios calculados, segundo a progressão geométrica sugerida por HORTON (18), também, seguem a mesma sequência, tendendo a apresentar valores menores em relação aos observados.

No Quadro 15 estão indicados os valores médios observados e calculados para o número total de segmentos de rios (N) das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas.

O exame desse quadro mostra, que tanto para os valores médios observados, como para os calculados pela equação de MAXWELL (22) e pela lei de HORTON (18), as unidades de solos mantém a mesma sequência verificada com relação ao número de segmentos de rios nas várias ordens de ramificação. Aqui, porém, enquanto os valores calculados segundo MAXWELL (22) ten

dem a ser maiores que os valores médios observados, os valores calculados segundo HORTON (18), não evidenciam qualquer tendência, embora os desvios sejam pequenos.

QUADRO 15 - Valores médios observados e calculados para o número total de segmentos de rios (N) das bacias hidrográficas representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	N Observado	N calculado	
		Maxwell	Horton
Cruz Alta	12,66	12,69	12,58
Quebra Dente e Tijuco Preto	15,40	15,52	15,52
Saltinho	14,19	14,26	14,00

No Quadro 16 estão apresentados os coeficientes de correlação e as porcentagens de variação dos números de segmentos de rios, explicadas pela equação de MAXWELL (22) aí indicada, para as unidades de solos estudadas.

QUADRO 16 - Formas assumidas pela equação de Maxwell ($\log N_w = \log a - \log b \cdot w$) para as unidades de solos estudadas; coeficiente de correlação (R); porcentagem de variação total explicada ($R^2 \times 100$).

Unidade de solo	Equação	R	$R^2 \times 100$
Cruz Alta	$\log N_w = 1,40848 - 0,46800 \cdot w$	0,99	99,9%
Quebra Dente e Tijuco Preto	$\log N_w = 1,56384 - 0,51751 \cdot w$	0,99	99,8%
Saltinho	$\log N_w = 1,49977 - 0,4976 \cdot w$	0,99	99,9%

Como se pode notar, essa equação se ajusta bem aos dados observados, mostrando coeficientes de correlação ele

vados. Com relação aos parâmetros da equação, as unidades de solos colocam-se na mesma sequência obedecida nos casos anteriores.

No Quadro 17 estão apresentados os valores observados e calculados para a razão de ramificação (Rb) das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas. As razões de ramificação observadas, considerando-se três unidades de solos, variaram de 2,00 a 5,00.

QUADRO 17 - Valores observados e valores médios calculados para a razão de ramificação (Rb), das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas

Unidade de solo	Bacias Hidrográficas	Ordens relacionadas	Rb observada	Rb calculada	
				média	Maxwell
Cruz Alta	A	w_1/w_2	4,00	2,93	2,94
		w_2/w_3	2,00		
	B	w_1/w_2	3,00		
		w_2/w_3	3,00		
	C	w_1/w_2	2,25		
		w_2/w_3	4,00		
Quebra Dente e Tijuco Preto	A	w_1/w_2	3,00	3,30	3,29
		w_2/w_3	3,00		
	B	w_1/w_2	4,50		
		w_2/w_3	2,00		
	C	w_1/w_2	2,60		
		w_2/w_3	5,00		
Saltinho	A	w_1/w_2	4,50	3,14	3,14
		w_2/w_3	4,00		
	B	w_1/w_2	2,33		
		w_2/w_3	3,00		
	C	w_1/w_2	2,00		
		w_2/w_3	3,00		

As razões de ramificação calculadas a partir das médias ponderadas dos números de segmentos de rios, apresentaram o valor mais elevado (3,30) para a associação Quebra Dente e Tijuco Preto, o valor intermediário (3,14) para a série Saltinho e o menor valor (2,93) para a série Cruz Alta.

Os valores calculados segundo MAXWELL (22), obedeceram a seguinte ordem decrescente: associação Quebra Dente e Tijuco Preto (3,29), série Saltinho (3,14) e série Cruz Alta (2,94), portanto praticamente iguais aos valores médios calculados.

Resumindo, os resultados da análise dos números dos segmentos de rios evidenciaram uma coerência entre os dados observados e os calculados, sendo mantida a mesma posição relativa entre as unidades de solos. Isto mostra, que os resultados obtidos se correlacionam com o comportamento hidrológico dos solos.

4.2.4.2. Análise dos comprimentos de rios

No Quadro 18 estão indicados os valores médios observados e calculados para os comprimentos totais de rios (L_w), nas ordens de ramificação das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

O exame desse quadro mostra:

- a) . os valores médios observados resultantes de médias ponderadas em relação às áreas das bacias obedecem a seguinte ordem decrescente: série Saltinho, série Cruz Alta e associação Quebra Dente e Tijuco Preto;
- b) . os valores calculados, segundo a equação de STRAHLER (42) obedecem a mesma sequência dos valores médios observados entre as

unidades de solos; porém, dentro das unidades de solos, os valores de 1ª e de 3ª ordem tendem a ser menores e os de 2ª ordem, maiores que os observados.

QUADRO 18 - Valores médios observados e calculados para os comprimentos totais de rios (L_w), nas ordens de ramificação das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Ordem	L_w observado	L_w calculado
Cruz Alta	1ª	2,15	2,03
	2ª	1,20	1,36
	3ª	1,16	1,07
Quebra Dente e Tijuco Preto	1ª	1,87	1,78
	2ª	0,99	1,12
	3ª	0,93	0,85
Saltinho	1ª	3,39	2,95
	2ª	1,24	1,80
	3ª	1,71	1,35

Percebe-se, assim, que houve uma alteração na posição relativa das unidades de solo quanto aos comprimentos totais nas ordens de ramificação, em comparação com a sequência observada para o número de segmentos de rios e que constam do Quadro 14.

Os valores médios observados e calculados para os comprimentos totais (L_t) das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas, estão apresentados no Quadro 19.

QUADRO 19 - Valores médios observados e calculados para os comprimentos totais (Lt) das redes de drenagem, representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Lt observado	Lt calculado
Cruz Alta	4,51	4,46
Quebra Dente e Tijuco Preto	3,79	3,75
Saltinho	6,34	6,10

Examinando-se este quadro, nota-se que tanto para os valores médios observados, como para os calculados, as unidades de solos mantêm a mesma sequência verificada com relação aos comprimentos totais de rios, nas ordens de ramificação. Nota-se, ainda, que os valores calculados são ligeiramente inferiores aos valores médios observados.

No Quadro 20 estão apresentados os coeficientes de correlação e as porcentagens de variação total das somas dos comprimentos de rios nas ordens de ramificação, explicadas pela equação de STRAHLER (42) aí indicada, para as unidades de solos estudadas.

QUADRO 20 - Formas assumidas pela equação de Strahler ($\log Lw = \log a - b \log w$) para as unidades de solos estudadas; coeficiente de correlação (R); porcentagem de variação total explicada ($R^2 \times 100$)

Unidade de solo	Equação	R	$R^2 \times 100$
Cruz Alta	$\log Lw = 0,30832 - 0,57690 \cdot \log w$	0,93	87,5%
Quebra Dente e Tijuco Preto	$\log Lw = 0,25139 - 0,66597 \cdot \log w$	0,91	91,6%
Saltinho	$\log Lw = 0,47024 - 0,71210 \cdot \log w$	0,77	59,3%

Como se pode notar, a equação não se ajusta bem aos dados da série Saltinho, comportando-se melhor para os dados das outras duas unidades de solos, embora o ajustamento desta equação não alcance a precisão obtida pela de MAXWELL (22), para os números de segmentos de rios. Com relação aos parâmetros da equação, as unidades de solos colocam-se na mesma sequência obedecida nos casos dos comprimentos de rios (L_w e L_t).

No Quadro 21 estão indicados os valores observados e médias calculadas para a razão de comprimento totais (R_{Lw}) das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas. Os valores observados, considerando-se todas as unidades de solos, variaram entre 0,37 e 3,44.

As razões de comprimento totais calculadas a partir das médias ponderadas dos comprimentos de rios (L_w) em cada ordem de ramificação, apresentaram o valor mais elevado (1,72) para a série Saltinho; o valor intermediário (1,47) para a associação Quebra Dente e Tijuco Preto; e o menor valor (1,41) para a série Cruz Alta. Portanto, esta sequência de crescente apresenta uma inversão relativamente às posições ocupadas pela associação Quebra Dente e Tijuco Preto e pela série Cruz Alta, na ordem obedecida quanto aos comprimentos de rios.

Por outro lado, nota-se uma troca nas posições relativas ocupadas pela série Saltinho e associação Quebra Dente e Tijuco Preto, quando se comparam as razões de comprimentos totais com as razões de ramificação indicadas no Quadro 17.

No Quadro 22 estão apresentados os valores médios observados e calculados para os comprimentos médios de rios (L_m) nas ordens de ramificação das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

Examinando-se este quadro verifica-se:

a) . os valores médios observados, resultantes

de médias ponderadas em relação às áreas das bacias, apresentam-se na seguinte ordem decrescente: série Saltinho, série Cruz Alta e associação Quebra Dente e Tijuco Preto;

QUADRO 21 - Valores observados e médias calculadas para a razão de comprimentos totais (Rlw) das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Bacia	Ordem	Rlw observada	Rlw média calculada
Cruz Alta	A	w_1/w_2	2,60	1,41
		w_2/w_3	0,90	
	B	w_1/w_2	1,70	
		w_2/w_3	1,00	
	C	w_1/w_2	1,33	
		w_2/w_3	1,15	
Quebra Dente e Tijuco Preto	A	w_1/w_2	2,00	1,47
		w_2/w_3	0,83	
	B	w_1/w_2	3,33	
		w_2/w_3	0,60	
	C	w_1/w_2	1,40	
		w_2/w_3	1,50	
Saltinho	A	w_1/w_2	3,44	1,72
		w_2/w_3	0,37	
	B	w_1/w_2	2,00	
		w_2/w_3	3,00	
	C	w_1/w_2	3,23	
		w_2/w_3	0,54	

QUADRO 22 - Valores médios observados e calculados para os comprimentos médios de rios (Lm) nas ordens de ramificação das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Ordem	Lm observado	Lm calculado		
			equação	Lw calculado/ Nw calculado	Horton
Cruz Alta	1ª	0,24	0,21	0,23	0,24
	2ª	0,40	0,47	0,45	0,52
	3ª	1,15	1,05	1,05	1,14
Quebra Dente e Tijuco Preto	1ª	0,16	0,14	0,16	0,16
	2ª	0,27	0,34	0,33	0,38
	3ª	0,92	0,81	0,83	0,91
Saltinho	1ª	0,39	0,29	0,29	0,39
	2ª	0,36	0,62	0,56	0,81
	3ª	1,70	1,29	1,33	1,68

- b) . os valores médios calculados, segundo a equação ajustada e segundo a progressão geométrica, proposta por HORTON (18), obedecem à mesma sequência dos valores observados entre as unidades de solos; porém dentro das unidades de solos, os valores de 1ª e 3ª ordem calculados pela equação são menores e os de 2ª ordem, maiores que os observados, ao mesmo tempo que os valores de 2ª ordem, calculados segundo HORTON (18), são maiores e os de 3ª ordem menores que os observados;
- c) . finalmente, os valores médios calculados, segundo a relação Lw calculado/Nw calculado comportam-se de maneira semelhante aos obtidos pela equação aqui usada, mostrando todavia desvios ligeiramente menores.

Como se pode notar, os valores dos comprimentos de rios: médios (L_m), totais nas ordens de ramificação (L_w) e totais das redes de drenagem (L_t), obedecem à mesma sequência decrescente (série Saltinho, série Cruz Alta e associação Quebra Dente e Tijuco Preto).

O Quadro 23 mostra os coeficientes de correlação e as porcentagens de variação total dos comprimentos médios de rios, explicadas pela equação ajustada aos dados das unidades de solos estudadas.

QUADRO 23 - Formas assumidas pela equação dos comprimentos médios de rios das unidades de solos estudadas; coeficiente de correlação (R); porcentagem de variação total explicada ($R^2 \times 100$).

Unidade de solo	Equação	R	$R^2 \times 100$
Cruz Alta	$\log L_m = -0,99949 + 0,34024 \cdot w$	0,98	96,1
Quebra Dente e Tijuco Preto	$\log L_m = -1,22657 + 0,37983 \cdot w$	0,97	94,8
Saltinho	$\log L_m = -0,84677 + 0,31969 \cdot w$	0,84	70,9

Nota-se, que a equação se ajusta bem aos dados observados, mostrando, entretanto, coeficientes de correlação mais elevados para a série Cruz Alta e associação Quebra Dente e Tijuco Preto. Quanto aos valores absolutos dos parâmetros da equação, nota-se uma inversão na posição relativa das unidades de solos, comparativamente ao observado para os comprimentos de rios, face a natureza da regressão.

Os valores observados e valores médios calculados para a razão de comprimentos médios de rios (R_l) das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas, estão apresentados no Quadro 24. As razões de comprimentos médios observadas, considerando-se todas as unidades de solos, variaram de 0,68 a 8,00.

QUADRO 24 - Valores observados e valores médios calculados para a razão de comprimentos médios (Rl) das redes de drenagem representativas das unidades de solos estudadas.

Unidade de solo	Bacia	Ordem	Rl observada	Rl calculada		
				média	$Rl = \log^{-1} b$	Rb/Rlw
Cruz Alta	A	w_1/w_2	2,20			
		w_2/w_3	1,56			
	B	w_3/w_2	3,03	2,23	2,18	2,07
		w_2/w_1	1,74			
	C	w_3/w_2	3,51			
		w_2/w_1	1,68			
Quebra Dente e Tijuco Preto	A	w_3/w_2	3,52			
		w_2/w_1	1,54			
	B	w_3/w_2	3,33	2,40	2,39	2,24
		w_2/w_1	1,36			
	C	w_3/w_2	3,33			
		w_2/w_1	1,87			
Saltinho	A	w_3/w_2	8,00			
		w_2/w_1	0,68			
	B	w_3/w_2	1,00	2,10	2,08	1,82
		w_2/w_1	1,00			
	C	w_3/w_2	7,50			
		w_2/w_1	1,39			

As razões de comprimentos médios, calculadas a partir das médias ponderadas dos comprimentos médios de rios, apresentam o valor mais elevado (2,40) para a associação Quebra Dente e Tijuco Preto, o valor intermediário (2,23) para a série Cruz Alta e o menor valor (2,10) para a série Saltinho. Os valores calculados, segundo a equação $Rl = \log^{-1} b$ e pela relação

R_b/R_{Lw} , obedecem a esta mesma sequência decrescente entre as unidades de solo; todavia, dentro das unidades de solos observa-se um ligeiro decréscimo a partir dos valores médios para os valores obtidos através da relação R_b/R_{Lw} .

Observa-se, portanto, uma inversão na posição relativa das três unidades de solos, quando se comparam os valores dos comprimentos médios de rios (L_m) com os valores das razões de comprimentos médios (R_l). Isso se explica pelas diferenças no aumento de crescimento dos comprimentos dos segmentos de rios, nas três unidades de solos. Além disso, as unidades de solos estudadas obedecem a sequências diferentes quanto aos valores das razões de ramificação (R_b), de comprimentos totais (R_{Lw}) e de comprimentos médios de rios (R_l), as quais expressam relações diferentes em redes de drenagem com diferentes composições.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

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

5.1. Características das bacias hidrográficas

O estudo da composição e das características das redes de drenagem, visando a sua aplicação na fotointerpretação de solos ou de substratos rochosos, é em linhas gerais baseado na análise e comparação de dados obtidos em pequenas bacias hidrográficas. Conforme salientaram HORTON (18), STRAHLER (42), SMITH (40), SCHUMM (35), FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12), para que sejam válidas as comparações de dados e as conclusões obtidas é necessário que as bacias usadas como amostragens sejam da mesma ordem de rios. HORTON (18), SMITH (40) e FRANÇA (13) demonstraram que em igualdade de condições, bacias de ordens diferentes apresentam modificações na composição e nas características das redes de drenagem. Em vista disto, para a realização deste trabalho foram selecionadas bacias

de mesma ordem.

PARVIS (27), VAN DOREN (46) e URBAN (45) observaram que com o aumento da ordem de ramificação, os cursos de água entalham mais profundamente a coluna geológica expondo materiais diferentes, que influenciam o comportamento das redes de drenagem. FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12), apoiados nessas observações, usaram bacias de 3ª ou 4ª ordem em seus estudos e constataram uma maior influência do fator solo na composição e características das redes de drenagem. Por esta razão e tendo em vista o objetivo deste trabalho, optou-se pela escolha de bacias de 3ª ordem.

Observando que as redes de drenagem podem ser localmente modificadas por fatores como inclusão de outras unidades de solos, posição topográfica, controle estrutural e variação na profundidade do substrato rochoso, FRANÇA (13) afirmou que quando se considera uma amostra de tamanho suficiente, obtém-se valores médios que diferem sensivelmente de uma unidade de solo para outra. Baseado nestas considerações utilizou como amostragem, para estudos de redes de drenagem, três bacias para cada unidade de solo; o mesmo procedimento adotaram MARCHETTI (21) e FADEL (12). A mesma orientação foi seguida na execução deste trabalho.

A representatividade das bacias que servem de amostragem para estudos de fotointerpretação devem satisfazer, ainda, a duas outras condições que são: a semelhança de materiais (solos ou rochas), de FROST (15) e a semelhança geométrica, de STRAHLER (42).

No dizer de FROST (15), solos semelhantes apresentam padrões semelhantes e solos diferentes, padrões diferentes. Segundo STRAHLER (42), mesmo que duas bacias apresentem diferenças quanto ao tamanho, manterão razões de escala aproximadamente constante, entre suas características homólogas, desde que exista semelhança geométrica entre elas.

Ao que parece, a semelhança geométrica entre as bacias é um reflexo da semelhança dos materiais sobre os quais se desenvolveram. Esta relação de causa e efeito foi verificada pelos trabalhos de FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12).

De um modo geral, as bacias escolhidas para representarem as unidades de solos estudadas nesta pesquisa preenchem satisfatoriamente todas as condições estabelecidas pelos autores citados, conforme se pode constatar pelo exame do Quadro 7 e pelas ilustrações que constam das Figuras 1, 2 e 3.

Quanto aos índices de conformação e de compactidade, sugeridos por GARCEZ (16) para caracterizar as irregularidades de forma das bacias, mostraram-se de difícil interpretação em termos de diferenças entre solos.

Os resultados obtidos apoiam as afirmações de FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12) de que os dados referentes à forma e tamanho das bacias são pouco consistentes para estabelecer diferenciação entre solos. Por conseguinte, o teste de semelhança geométrica, de STRAHLER (42), foi usado apenas para selecionar as bacias que serviram de amostragem para o estudo das redes de drenagem. Sob este aspecto, as bacias representativas da série Cruz Alta foram as que apresentaram maior semelhança e, portanto, maior homogeneidade de solos, enquanto que as bacias representativas da série Saltinho apresentaram maior variação de forma e tamanho. Todavia, dada a relativa homogeneidade dos solos pertencentes a esta série, as causas de tais variações devem ser atribuídas a outros fatores como controles geológicos a que se referiram HORTON (18), VON ENGELN (47), STRAHLER (42), MILLER e MILLER (24), RICCI e PETRI (33), LOBECK (19).

Como advertiram AVERY (2) e SMITH (39), possíveis discrepâncias não são de se estranhar, devido ao caráter poligenético dos elementos que compõem a paisagem. Contudo, estas pequenas discrepâncias, desde que a amostragem seja crite-

riosa, como lembrou FRANÇA (13), não invalidam as observações referentes a um dado elemento da paisagem, no caso em tela pequenas bacias de drenagem.

5.2. Características das redes de drenagem

Diversos autores, dentre os quais HORTON (18), SMITH (40), PARVIS (27), STRAHLER (42), SCHUMM (35), têm estudado as características das redes de drenagem baseados em plantas topográficas. Entretanto, como lembraram RAY (31), RAY e FISCHER (32), RICCI e PETRI (33), FRANÇA (13), plantas com escala adequada e suficientemente detalhadas nem sempre estão disponíveis para tais estudos.

A utilização das fotografias aéreas e o desenvolvimento das técnicas de fotointerpretação, preenchendo tais limitações, têm propiciado maiores facilidades para o estudo das redes de drenagem, com maior detalhe, conforme ressaltaram BELCHER (4), QUACKENBUSH (28), RABBEN (29), BÓNBERGER e DILL (5), BURINGH (6), COLWELL (8), GOOSEN (17), ROURKE e AUSTIN (34), ZINKE (48), CRESWICK e ROCKWELL (10).

Enquanto alguns autores seguiram linhas de estudo meramente descritivas como LUERDER (20), PARVIS (27), DUMBAR (11), BELCHER (4), outros exploraram melhor as possibilidades oferecidas pelas fotografias aéreas e um caráter quantitativo foi imprimido aos estudos de RAY (31), RAY e FISCHER (32), ZINKE (48), FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12).

5.2.1. Características descritivas das redes de drenagem

Os resultados apresentados no Quadro 10 e ilustrado nas Figuras 1, 2 e 3, embora indiquem alguma diferença entre solos, revelam um significado relativo e subjetivo, dan-

do margem a interpretações pessoais. Assim, as características descritivas, propostas por LUEDER (20), não permitem uma caracterização consistente das redes de drenagem, em termos de diferenças entre solos; a identificação do tipo ou modelo do padrão, preconizada por PARVIS (27), reflete melhor a influência de controles litológicos (associação Quebra Dente e Tijuco Preto) ou estruturais (séries Cruz Alta e Saltinho); finalmente, a constatação de anomalias, segundo orientação de TATOR (44) e MILLER e MILLER (24), parece estar mais associada a inclusões de outros solos (associação Quebra Dente e Tijuco Preto) ou controle de estruturas subjacentes (série Saltinho).

Os resultados da análise descritiva das redes de drenagem concordam com as observações de RANZANI et al. (30) referentes a um impedimento de drenagem interna nos solos pertencentes à série Cruz Alta e à variação nos perfis de solos da associação Quebra Dente e Tijuco Preto, não obstante a semelhança genética destes últimos. Quanto aos solos da série Saltinho, parece mais provável que a anomalia observada com relação à largura dos vales dos rios seja devida à influência de estruturas subjacentes, aplicando-se por analogia, o raciocínio de MILLER e MILLER (24).

Como advertiu LUEDER (20), mesmo que se faça uma descrição detalhada da rede de drenagem, a interpretação de sua significância não é fácil, requerendo uma combinação de conhecimentos tanto teóricos como práticos para poder correlacionar os aspectos da imagem fotográfica com as condições reais do terreno. Além disso, como concluíram FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12), por mais minuciosa que seja, a descrição ainda permanecerá um tanto vaga para permitir a identificação e delimitação de solos por fotointerpretação, a não ser em trabalhos de generalização muito grande.

Os resultados obtidos na análise descritiva das redes de drenagem desenvolvidas nos solos estudados concordam, também, com as observações feitas por LUEDER (20), FRANÇA (13) MARCHETTI (21) e FADEL (12).

5.2.2. Características quantitativas das redes de drenagem

A revisão da literatura mostra que a maioria dos autores tem procurado correlacionar o desenvolvimento e as características das redes de drenagem com fatores como clima, forma do terreno, litologia, estrutura geológica e estágio do ciclo geomórfico; dentre esses autores estão: VON ENGELN (47), SMITH (40), STRAHLER (42), SCHUMM (35), TATOR (44), RAY (31), RAY e FISCHER (32), MILLER e MILLER (24) RICCI e PETRI (33).

Alguns autores tentaram dimensionar o desenvolvimento das redes de drenagem, procurando correlacionar os valores dos índices utilizados com propriedades dos materiais presentes na área, consideradas isoladamente ou em combinação, a saber: (a) resistência à erosão - RAY (31), MILLER e MILLER (24) e RICCI e PETRI (33); (b) relação infiltração/deflúvio - LUEDER (20), FROST (15), ZINKE (48); (c) capacidade de infiltração (ou permeabilidade) e resistência à erosão - HORTON (18), SMITH (40), RAY e FISCHER (32). Entretanto, as observações desses autores referem-se a rochas ou a solos de um ponto de vista muito amplo, daí a razão da pouca consistência das conclusões obtidas.

Muitas dessas relações de caráter hidrológico têm sido relacionadas à textura e/ou origem dos materiais sobre os quais se desenvolveram as redes de drenagem, como admittiram LUEDER (20), FROST (15), RAY (31), RICCI e PETRI (33).

Percebe-se que há uma certa contradição nas afirmações de certos autores, as quais procuram justificar com base em certas peculiaridades dos solos como: (a) permeabilidade funcional BELCHER (4), DUMBAR (11), LUEDER (20), RAY (31); (b) maior ou menor permeabilidade dos perfis de solos - ZINKE (48), RAY e FISCHER (32); (c) variação na profundidade do substrato rochoso - RAY (31), RICCI e PETRI (33).

As aparentes divergências em torno das explicações relativas ao desenvolvimento e características das redes de drenagem são devidas à falta de homogeneidade dos materiais utilizados em tais estudos. Conforme constataram PARVIS (27), VAN DOREN (46), URBAN (45), FRANÇA (13) e MARCHETTI (21), mudam as condições geológicas, topográficas e de solos à medida que aumenta a área da bacia hidrográfica, dado que os cursos d'água entalham mais profundamente a coluna geológica. Para obter a maior homogeneidade possível, FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12) utilizaram pequenas bacias hidrográficas, por refletirem melhor a influência do fator solo e demonstraram que essa influência resulta da interação de um conjunto de propriedades dos perfis de solos, conforme sugeriu BURINGH (6). Estes autores confirmaram, assim, as idéias de HORTON (18) referentes à capacidade de infiltração e resistência à erosão; de PARR e BERTRAND (26) sobre a infiltração da água no solo e de SMITH e WISCHMEIER (41) relativas à resistência do solo à erosão.

Os resultados pertinentes às características quantitativas das redes de drenagem, que constam dos Quadros 10 e 11, mostram nítidas diferenças entre os três solos estudados, o que ficara pouco evidenciado pela análise descritiva, concordando com os resultados obtidos por FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12) e discordando em parte de PARVIS (27), LUEDER (20), MILLER e MILLER (24), RICCI e PETRI (33).

Estas diferenças entre solos, sugeridas pelas características quantitativas das redes de drenagem, observadas neste estudo, bem como nos de FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12), encontram apoio nas explicações de HORTON (18), PARR e BERTRAND (26) e SMITH e WISCHMEIER (41) e expressam a síntese das explicações parciais apontadas pelos autores já citados. Por outro lado, discordam até certo ponto daqueles autores que estudaram o comportamento hidrológico de materiais não muito bem definidos, dentre os quais, RAY (31), RAY E FISCHER (32), MILLER e MILLER (24), RICCI e PETRI (33), SMITH (18), STRAHLER (42).

Os resultados obtidos neste trabalho comprovam a afirmação de HORTON (18) de que para a plena caracterização de uma rede de drenagem, além dos dados referentes à sua composição são necessários, ainda, dois outros índices quantitativos a saber: a frequência de rios e a densidade de drenagem, enquanto SMITH (40) sugeriu a razão de textura.

Os resultados referentes a frequência de rios, embora sugerindo diferenças entre solos, foram os que apresentaram maior variação dentro de cada unidade de solo, concordando com as observações de FRANÇA (13) e discordando, até certo ponto, de MARCHETTI (21) e FADEL (12).

Os resultados referentes à densidade de drenagem mostram-se mais consistentes, servindo esta, melhor, como indicador das diferenças entre solos, concordando com FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12).

Os valores obtidos para a razão de textura mostram um grau de significância intermediário, isto é, melhores do que a frequência de rios e inferiores à densidade de drenagem, concordando com FRANÇA (13) e discordando de MARCHETTI (21) e FADEL (12).

Comparando-se os resultados obtidos nesta pesquisa, para a associação de séries Quebra Dente e Tijuco Preto, com os obtidos por MARCHETTI (21) para a Unidade 7, que corresponde à série Quebra Dente, observa-se que os valores são semelhantes, devendo as pequenas diferenças serem atribuídas à presença de solos da série Tijuco Preto nas bacias hidrográficas representativas daquela associação.

Os resultados obtidos, pertinentes à razão de textura média e densidade de drenagem de amostras circulares, que constam do Quadro 11, corrigindo os desvios dos dados provenientes de bacias hidrográficas individuais, concordam com as observações de SMITH (40) quanto à razão de textura média e

de RAY e FISCHER (32) relativas à densidade de drenagem de amostras circulares; aplicadas a solos, confirmam as afirmações de FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12) mostrando-se melhores indicadores de diferenças entre solos do que os índices provenientes de bacias hidrográficas individuais.

Comparando-se os valores destes índices, relativos à associação Quebra Dente e Tijuco Preto, com aqueles obtidos por ~~MARCHETTI (21)~~ para a Unidade 7 (série Quebra Dente), observa-se maior semelhança para os dados de razão de textura média, respectivamente 4,10 e 4,60, do que para os referentes à densidade de drenagem de amostras circulares, respectivamente 5,21 e 4,29. Esta maior diferença observada, provavelmente deva ser atribuída ao fato de ter aquele autor utilizado uma única amostragem circular, em comparação com as três utilizadas nesta pesquisa.

Confrontando-se a classificação da textura topográfica das unidades de solos estudadas, feitas com base nos valores da razão de textura média e que constam do Quadro 12, com as classes de relevo desses mesmos solos segundo RANZANI et al. (30), verifica-se que a série Cruz Alta, pertencente à classe de relevo suavemente ondulado, figura na classe de textura topográfica média segundo o método de SMITH (40), modificado por FRANÇA (13); notando-se correspondência nas classificações das outras duas unidades de solos. Comparando-se os resultados referentes à associação Quebra Dente e Tijuco Preto, com aqueles obtidos por MARCHETTI (21) para a Unidade 7 (série Quebra Dente), nota-se perfeita concordância quanto à textura topográfica e ligeira discordância quanto às classes de relevo.

Enquanto as classes de relevo, obtidas no campo, apresentam um caráter descritivo, a classificação da textura topográfica apresenta as seguintes vantagens: (a) é de caráter quantitativo; (b) é de fácil obtenção em fotografias aéreas; (c) é mais facilmente reproduzível; (d) permite comparações mais seguras.

A adoção da modificação proposta por FRANÇA (13) elimina as limitações apontadas pelo próprio SMITH (40), FREITAS (14), RICCI e PETRI (33); os resultados assim obtidos confirmam as observações de FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12), mostrando-se a razão de textura média, útil para a caracterização de unidades de solos.

5.2.3. Relação entre características quantitativas das redes de drenagem

Com a finalidade de se testar a significância das características quantitativas das redes de drenagem, admitindo-as como função da natureza do solo, os resultados obtidos foram plotados em gráficos, comparando-se algumas das características, duas a duas.

A relação funcional verificada entre a densidade de drenagem e a razão de textura determinadas em bacias hidrográficas, e que está representada na Figura 7, é de natureza linear, com alto coeficiente de correlação ($R = 0,938$), discordando, assim, tanto de SMITH (40), que encontrou uma função logarítmica, quanto de FRANÇA (13) e de FADEL (12), que obtiveram uma equação exponencial. Todavia, FRANÇA (13) observou que seus resultados eram pouco consistentes para determinar a natureza da regressão. A equação proposta por este autor foi testada neste trabalho, acusando um coeficiente de correlação ($R = 0,901$), também elevado.

Os resultados aqui discutidos, embora indiquem a existência de relação funcional entre esses dois índices, são ainda insuficientes para determinar a verdadeira natureza dessa função.

Conquanto não se encontre na literatura consultada, referência à relação funcional entre densidade de drenagem e frequência de rios, determinadas em bacias hidrográficas,

constatou-se o ajustamento, aos resultados obtidos neste trabalho, de uma equação linear com alto coeficiente de correlação ($R = 0,924$), conforme está representado na Figura 8.

Finalmente, foi testada a relação funcional entre a densidade de drenagem de amostras circulares e a razão de textura média, constatando-se uma equação linear com elevado coeficiente de correlação ($R = 0,982$), a qual está representada na Figura 9. Este resultado, concordando com os de FRANÇA (13) e de FADEL (12), atestam o alto grau de significância destes dois índices em termos de diferença entre os solos estudados.

5.2.4. Composição das redes de drenagem

A discussão dos fatores gerais que exercem influência no desenvolvimento das redes de drenagem, apresentada ao abordar-se o ítem referente às características quantitativas, ressaltando a participação dos solos como resultante da interação de um conjunto de suas propriedades, aplica-se, também, aos resultados pertinentes à composição das redes de drenagem.

5.2.4.1. Análise dos números de segmentos de rios

O sistema proposto por HORTON (18) para a classificação das ordens de rios, modificado por STRAHLER (42) e adotado nesta pesquisa, mostrou-se útil, permitindo a obtenção e comparação dos resultados apresentados, concordando com os estudos feitos por STRAHLER (42), SCHUMM (35), SMITH (40), MAXWELL (22), bem como com os de FRANÇA (13), MARCHETTI (21) e FADEL (12), aplicados a solos.

Os resultados apresentados nos Quadros 14 e 15, referentes aos números de segmentos de rios, concordam com os

de HORTON (18), MAXWELL (22), STRAHLER (42), SCHUMM (35), FRANÇA (13), FADEL (12) e confirmam as observações de FRANÇA (13) e de FADEL (12), apresentando valores calculados segundo a equação de MAXWELL (22) maiores que os observados. Por outro lado, os resultados calculados segundo a lei de HORTON (18) forneceram os menores valores para os números de segmentos de rios nas ordens de ramificação.

Os resultados obtidos para a razão de ramificação e que constam do Quadro 17, confirmam a equação proposta por MAXWELL (22), dada a grande semelhança entre os valores médios observados e os calculados; concordando, portanto, com os resultados obtidos por FRANÇA (13) e FADEL (12) em relação aos quais ocupam posição intermediária. Variando com a natureza dos solos estudados, os valores da razão de ramificação obtidos neste trabalho, confirmam as opiniões destes dois autores e discordam da afirmativa de STRAHLER (42) de que a razão de ramificação seria um número altamente estável. Constatou-se que a razão de ramificação obtida a partir das médias ponderadas dos números de segmentos de rios mostrou valores mais próximos daqueles calculados pela equação proposta por MAXWELL (22).

Confrontando-se os resultados da análise dos números de segmentos de rios com aqueles referentes às características quantitativas das redes de drenagem, constata-se uma troca na posições relativas ocupadas pelas séries Cruz Alta e Saltinho; enquanto a primeira apresenta maiores valores para as características quantitativas, a segunda exhibe maior número de segmentos de rios e maior razão de ramificação. Tal efeito provavelmente seja devido ao maior número de segmentos de rios observados na bacia A da série Saltinho.

Verifica-se, assim, a validade das afirmações de HORTON (18) de que para a completa caracterização de uma rede de drenagem, são necessárias, além da composição, duas outras características quantitativas (frequência de rios e densi

dade de drenagem), às quais foram acrescentadas posteriormente, a razão de textura de SMITH (40) e a densidade de drenagem de amostras circulares de RAY e FISCHER (32). Estas afirmações foram confirmadas, também, por FRANÇA (13) e FADEL (12).

5.2.4.2. Análise dos comprimentos de rios

Os resultados obtidos mostram que os comprimentos de rios, nas ordens de ramificação e totais das redes de drenagem, apresentam maior variação do que os números de rios, concordando com as afirmações de STRAHLER (42), SCHUMM (35), FRANÇA (13) e FADEL (12).

A equação que melhor se ajusta aos dados observados é do mesmo tipo da utilizada por STRAHLER (42), sendo que a série Saltinho apresentou coeficiente de correlação pouco satisfatório. Verifica-se, assim, uma discordância em relação aos resultados de FRANÇA (13) e de FADEL (12) que encontraram outro tipo de equação.

Observa-se que o coeficiente angular (b) da equação ajustada dá uma idéia da variação dos comprimentos de rios nas ordens de ramificação, concordando com STRAHLER (42).

Os resultados referentes aos comprimentos médios de rios, mostram-se mais consistentes que os dos comprimentos totais, discordando de STRAHLER (42) e concordando com HORTON (18), FRANÇA (13) e FADEL (12). Contudo, verificou-se que a lei dos comprimentos médios não é obedecida com a mesma precisão que a lei dos números de rios, concordando com HORTON (18), STRAHLER (42), SCHUMM (35), FRANÇA (13) e FADEL (12), o que é comprovado pelos coeficientes de correlação, que apresentam valores intermediários para a equação dos comprimentos médios.

Tendo sido ajustada aos dados de comprimentos

médios uma equação semelhante à utilizada por MAXWELL (22) para o número de segmentos de rios, comprovou-se que a razão de comprimentos médios pode ser tomada como o antilogaritmo de b . Constatou-se que a razão de comprimentos médios obtida a partir das médias ponderadas dos comprimentos médios de rios mostrou valores mais próximos daqueles calculados pela equação ajustada.

Verificou-se ainda que a razão de comprimentos médios está relacionada com as razões de ramificação e de comprimentos totais segundo a equação $R_l = R_b/R_{lw}$, confirmando assim as observações de FRANÇA (13) e de FADEL (12).

Os resultados deste trabalho mostram que a série Cruz Alta e a associação Quebra Dente e Tijuco Preto ocupam posições relativas, em termos de números e comprimentos de rios, bem como de características quantitativas, coerentes com as propriedades apresentadas pelos respectivos perfis, concordando em linhas gerais com as observações de HORTON (18), FRANÇA (13) e FADEL (12) e em parte com as de STRAHLER (42), SCHUMM (35), MAXWELL (22), SMITH (40), RAY e FISCHER (32), MARCHETTI (21).

Já a série Saltinho revelou comportamento um tanto discordante, provavelmente devido à influência de controles, conforme sugerem as características descritivas e os resultados da análise dos comprimentos de rios, concordando com as explicações de HORTON (18), STRAHLER (42), SMITH (40), VON ENGELN (47), RAY (31), RAY e FISCHER (32), MILLER e MILLER (24), RICCI e PETRI (33), FRANÇA (13), MARCHETTI (21), FADEL (12).

Resumindo, constatou-se mais uma vez a validade das afirmações de HORTON (18), FRANÇA (13) e FADEL (12) da necessidade de se combinar vários índices para a completa caracterização de uma rede de drenagem.

6. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado este trabalho, com os materiais e métodos empregados e em função dos resultados obtidos, analisados e interpretados, foi possível tirar as conclusões apresentadas a seguir.

6.1. Associação de séries Quebra Dente e Tijuco Preto

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

- a) . os maiores valores de frequência de rios , densidade de drenagem e razão de textura determinadas em bacias hidrográficas ;
- b) . o maior valor médio de densidade de drenagem determinada em amostras circulares ;
- c) . o valor mais elevado para a razão de textura média, permitindo sua classificação como de textura topográfica média ;

- d) . os maiores valores para números de segmentos de rios e razão de ramificação ;
- e) . os menores valores para comprimentos de rios ;
- f) . o valor mais elevado para razão de comprimentos médios e um valor intermediário para razão de comprimentos totais ;
- g) . padrão de drenagem do tipo dendrítico, bem integrado, pouco orientado e com grau de controle litológico moderado ;
- h) . com base nas conclusões anteriores, pode-se inferir que estes solos são os menos permeáveis e os que apresentam menor resistência à erosão, o que concorda com a natureza dos perfis - solos com horizonte B textural associados com solos rasos sobre rocha consolidada.

6.2. Série Cruz Alta

Os solos desta série apresentaram:

- a) . valores intermediários para frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura determinadas em bacias hidrográficas ;
- b) . valor médio para a densidade de drenagem determinada em amostras circulares, ocupando posição intermediária em relação às outras duas unidades de solos ;
- c) . valor intermediário para razão de textura média, permitindo a sua inclusão na classe de textura topográfica média ;
- d) . os menores valores para números de segmentos de rios e razão de ramificação ;

- e) . valores intermediários para comprimentos de rios ;
- f) . o valor mais baixo para razão de comprimentos totais e valor intermediário para a razão de comprimentos médios ;
- g) . padrão de drenagem do tipo retangular, integrado, pouco orientado com grau de controle moderado ;
- h) . com base nas conclusões anteriores, pode-se inferir que estes solos são pouco permeáveis e apresentam resistência à erosão em grau moderado, o que concorda com a natureza do perfil - textura grosseira porém com impedimento de drenagem interna.

6.3. Série Saltinho

Esta unidade de solo foi a que apresentou:

- a) . os menores valores para frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura determinadas em bacias hidrográficas ;
 - b) . o menor valor médio para a densidade de drenagem determinada em amostras circulares ;
 - c) . o valor mais baixo para a razão de textura média, sendo a única unidade incluída na classe de textura topográfica grosseira ;
 - d) . valores intermediários para número de segmentos de rios e razão de ramificação ;
 - e) . os maiores valores para comprimentos de rios ;
 - f) . o maior valor para razão de comprimentos totais e o valor mais baixo para a razão
-

- de comprimentos médios ;
- g) . padrão de drenagem do tipo sub-paralelo, não integrado, pouco orientado e com grau de controle moderado, apresentando grande variação na largura dos vales ;
 - h) . com base nas conclusões anteriores, pode-se inferir que estes solos são os mais permeáveis e os que apresentam maior resistência à erosão, o que concorda com a natureza dos perfis - solos profundos com horizonte B textural pouco desenvolvido.

6.4. Conclusões gerais

A comparação dos resultados obtidos para as três unidades de solos estudadas permitiu que se chegasse às seguintes conclusões gerais:

- a) . tanto as características quanto a composição das redes de drenagem dependem em primeiro lugar da natureza do solo, podendo ser modificadas por influência de controles geológicos ;
- b) . dentre as características quantitativas das redes de drenagem que melhor evidenciam as diferenças entre os solos estão, a razão de textura média, a densidade de drenagem determinada em amostras circulares e a densidade de drenagem e razão de textura determinadas em bacias hidrográficas ;
- c) . dentre os elementos da composição das redes de drenagem mostram-se úteis para a distinção entre solos, o número de segmentos de rios, a razão de ramificação, os comprimentos médios de rios e a razão de comprimentos médios ;

- d) . o tipo e as características descritivas do padrão de drenagem, embora também forneçam informações úteis, são menos seguros do que as características quantitativas e do que a composição;
- e) . a razão de textura média é um bom índice auxiliar para a caracterização do relevo das unidades de solos;
- f) . a amostragem circular é mais vantajosa do que a constituída por bacia hidrográficas, para a determinação da densidade de drenagem;
- g) . as razões de ramificação e de comprimentos médios de rios obtidos a partir das médias ponderadas dos números e comprimentos médios de rios, são melhores do que as obtidas por média aritmética dos valores observados;
- h) . permanece a divergência a respeito do tipo de equação que relaciona comprimentos totais de rios às ordens de ramificação.

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 das redes de drenagem de alguns solos do Município de Piracicaba.

Foram escolhidas quatro unidades de solos identificadas e mapeadas ao nível de série (Cruz Alta, Quebra Dente, Saltinho e Tijuco Preto) pertencentes à unidade de mapeamento Podzólico Vermelho Amarelo variação Laras. As séries Quebra Dente e Tijuco Preto foram consideradas como uma associação de séries, de sorte que foram estudadas três unidades de solos.

As áreas de ocorrência desses solos situam-se na Depressão Paleozóica, cujo clima é do tipo mesotérmico, Cwa. O material de origem desses solos é constituído por sedimentos arenosos pertencentes a duas formações geológicas: formação Botucatu, da qual são originárias as séries Cruz Alta e Saltinho; grupo Tubarão, do qual se originou a associação de séries Que-

bra Dente e Tijuco Preto.

Para representar cada unidade de solo foram selecionadas três bacias hidrográficas de terceira ordem, cuja representatividade foi testada pelo princípio de semelhança geométrica. A partir dessa amostragem foi feita a análise da composição e das características quantitativas das redes de drenagem; além disso foram tomadas três amostras circulares para a determinação da densidade de drenagem.

Foram também determinadas as características descritivas da rede de drenagem de cada unidade de solo.

A comparação e discussão dos resultados obtidos nas três unidades de solos permitiu que se tirassem as seguintes conclusões:

- a) . tanto as características quanto a composição das redes de drenagem dependem em primeiro lugar da natureza do solo, podendo ser modificadas por influência de controles geológicos;
- b) . dentre as características quantitativas das redes de drenagem que melhor evidenciam as diferenças entre os solos estão, a razão de textura média, a densidade de drenagem determinada em amostras circulares e a densidade de drenagem e razão de textura determinadas em bacias hidrográficas;
- c) . dentre os elementos da composição das redes de drenagem mostram-se úteis para a distinção entre solos, o número de segmentos de rios, a razão de ramificação, os comprimentos médios de rios e a razão de comprimentos médios;

- d) . o tipo e as características descritivas do padrão de drenagem, embora também forneçam informações úteis, são menos seguros do que as características quantitativas e do que a composição;

8. SUMMARY

The significance in differences in composition and drainage network characteristics of some soils occurring in the Piracicaba Municipality were studied by means of aerial photographs. Four individual soil series belonging to the mapping unit Red-Yellow Podzolic - Laras variation were chosen for the study, namely: Cruz Alta, Saltinho, Quebra Dente and Tijuco Preto. The last two were taken to be an association of series, thus three soil units were studied. These soils occur in a Paleozoic Depression under mesothermic climatic conditions classified as Cwa; parent material is sandy sandiments of two geologic formations as follows:

- Cruz Alta and Saltinho series - Botucatu Formation
- Quebra Dente-Tijuco Preto Association - Tubarão Formation

The descriptive characteristics of the drainage network of each of the soil units was determined. Three representative third order watersheds of each soil unit, selected

according to the geometric similarity principle, were used to determine composition and quantitative characteristics of the drainage network. Drainage density was also determined by means of three circular samples taken for each of the soil units.

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

- a) . drainage network characteristics and composition, though controlled primarily by soil nature, can be modified by geological factors ;
- b) . average texture ratio, drainage density determined from circular samples and drainage density and texture ratio determined from watersheds are the quantitative characteristics best suitable to distinguish soil units ;
- c) . the elements of a drainage network composition useful to distinguish soil units are number of river segments, branching ratio, average river length and average length ratio ;
- d) . type and descriptive characteristics of the drainage pattern, though providing useful information, are less precise to distinguish among soils than the quantitative characteristics and composition ;

9. LITERATURA CITADA

- 1 . AMARAL, I. Aspectos da evolução da geomorfologia.
Notícia Geomorfológica 18: 3-18. 1969
- 2 . AVERY, E.T. Interpretation of aerial photographs.
Minneapolis, Burgess Publishing Co., 1968. Sec.
Ed., 324 p.
- 3 . BAULIG, H. Essais de géomorphologie. Fac. des
Lettres de l'Université de Strasbourg. 1950. 162 p.
(Boletim nº 114)
- 4 . BELCHER, D.J. The engineering significance of soil
patterns. Photogram. Eng., 11: 115-148. 1945
- 5 . BOMBERGER, E.H. and H. W. DILL (JR.). Photo interpre-
tation in agriculture. In Manual of photographic
interpretation. Washington, American Society of
Photogrammetry. 1960. p. 561-632.

6. BURINGH, P. The applications of aerial photographs in soil surveys. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 633-666.
7. CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. Notícia Geomorfológica. 18: 35-64. 1969
8. COLWELL, R.N. Photographic interpretation for civil purposes. In Manual of Photogrammetry. Washington, American Society of Photogrammetry. 1952. Sec. Ed. p. 535-602.
9. COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino de Pesquisas Agrônômicas. 1960. 634 p. (Boletim nº 12).
10. CRESWICK, W.J. and W.H. ROCKWELL. Applications of aerial-photographic techniques to agricultural surveys. In Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, McGraw-Hill Book Co., Inc. 1959. p. 373-385.
11. DUNBAR, R.A. Problems of interpretation in tropical regions. In Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, McGraw-Hill Book Co., Inc. 1959. p. 426-427.
12. FADEL, H. Fotointerpretação de bacias e de redes de drenagem de três séries de solos da Fazenda Ipanema Município de Araçoiaba da Serra (SP). Dissertação apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, para obtenção do título de Mestre. Piracicaba, 1972. 92 p.
13. FRANÇA, G.V. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Tese apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" USP, para obtenção do título de Doutor. Piracicaba 1968. 151 p.

- 14 . FREITAS, R.O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. Bol. Paulista de Geografia. 11: 53-57. 1952
- 15 . FROST, R.E. Photointerpretation of soils. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 343-402.
- 16 . GARCEZ, L.N. Hidrologia. São Paulo, Ed. Univ. S. Paulo, 1967. 249 p.
- 17 . GOOSEN, N.D. Interpretacion de fotos aéreas y su importancia en levantamiento de suelos. Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. 1968. Boletim sobre suelos nº 6.
- 18 . HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bul. Geol. Soc. Amer., 56: 275-370. 1945
- 19 . LOBECK, A.K. Geomorphology: an introduction to the study of landscapes. New York, Mc Graw-Hill Book Co., Inc. 1939. 731 p.
- 20 . LUEDER, D.R. Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York, Mc Graw-Hill Book Co., Inc. 1959. 462 p.
- 21 . MARCHETTI, D.A.B. Fotointerpretação de atributos do relevo aplicada a solos da região de Piracicaba. Tese apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP - para obtenção do título de Doutor. Piracicaba, 1969. 58 p.
- 22 . MAXWELL, J.C. The bifurcation ratio in Horton's law of stream numbers (Abstract). Trans. Amer. Geophys. Union, 36: 520. 1955

- 23 . MEZZALIRA, S. Descrição Geológica e Geográfica das fôlhas de Piracicaba e São Carlos, SP. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 1965. 41 p. (Boletim nº 43).
- 24 . MILLER, V.C. and C.F. MILLER. Photogeology. New York, Mc Graw-Hill Book Co., Inc. 1961. 248 p.
- 25 . NAMI, A.J. e Z. SLEPETYS. Mosaicos aerofotográficos. Revista de Engenharia Fotogramétrica, São Paulo. N^os 2, 3, 4 e 5. 1953. N^o 6, 1954.
- 26 . PARR, J.F. and A.R. BERTRAND. Water infiltration into soils. Adv. Agron., 12: 311-363. 1960
- 27 . PARVIS, M. Drainage pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks. Photogram. Eng., 16: 387-409. 1950.
- 28 . QUACKENBUSH (JR), R.S. Development of photo interpretation. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 1-18.
- 29 . RABBEN, E.L. Fundamentals of photo interpretation. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p. 99-168.
- 30 . RANZANI, G., O. FREIRE e T. KINJO. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, E.S.A. "Luiz de Queiroz", U.S.P., Piracicaba. 1966. 85 p. (mimeog.)
- 31 . RAY, R.G. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológicos. Traduzido por Jesuino Felicissimo Jr. (U.S. Geological Survey professional paper 373, 1960). São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. 1963. 88 p., 75 fotogramas.

- 32 . RAY, R.G. and W.A. FISCHER. Quantitative photography: a geologic research tool. Photogram. Eng., 26: 143-150. 1960
- 33 . RICCI, M. e S. PETRI. Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Cia. Editôra Nacional. 1965. 226 p.
- 34 . ROURKE, J.D. and M.E. AUSTIN. The use of air-photos for soil classification and mapping in the field. Reprinted from Photogrammetric Engineering, December. 1951. p. 738-747.
- 35 . SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Bul. Geol. Soc. Amer., 67: 597-646. 1956.
- 36 . SOIL CONSERVATION SERVICE (USDA). Emprego eficiente da fotografia aérea. Traduzido por M.H. Sette, A. Nascimento e L.G. Carvalho. Convenio M.A/EPFS-USAID/BRASIL. Rio de Janeiro. 1969. 35 p.
- 37 . SIMONSON, R.W. Use of aerial photographs in soil surveys. Photogram. Eng., 16: 308-315. 1950
- 38 . SMITH, G.D. and A.R. AANDAHL. Soil Classification and surveys. In Soil. Washington, U.S. Dept. Agric. 1957. p. 396-400 (Yearbook of agriculture).
- 39 . SMITH, H.T.U. Aerial photographs and their applications. New York, D. Appleton-Century Co. 1943. 372 p.
- 40 . SMITH, K.G. Standards for grading texture of erosional Topography. Amer. J. Sci., 248: 655-668. 1950
- 41 . SMITH, D.D. and W.H. WISCHMEIER. Rainfall erosion. Adv. Agron., 14: 109-148. 1962

- 42 . STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bul. Geol. Soc. Amer.*, 63: 1117-1142. 1952
- 43 . SUMMERSON, C.H. A philosophy for photo interpreters. *Photogram. Eng.*, 20: 396-397. 1954
- 44 . TATOR, B.A. Drainage anomalies in Coastal Plains Regions. *Photogram. Eng.*, 20: 412-417. 1954
- 45 . URBAN, J.B. Geologic and hydrologic significance of springs and seeps in Eastern Ohio. *J. Soil & Water Cons.*, 20: 178-179. 1965
- 46 . VAN DOREN, C.A. Soil and water research in a area of intensive agriculture. In I Congresso Pan Americano de Conservação do Solo. São Paulo. 1966. 20 p. (mimeog.)
- 47 . VON ENGELN, O.D. Geomorphology: systematical and regional. New York, The Mc Millan Company. 1942. 655 p.
- 48 . ZINKE, P.J. Photo interpretation in hidrology and watershed management. In Manual of photographic interpretation. Washington, American Society of Photogrammetry. 1960. p 539-560.