PARÂMETROS DA DRENAGEM E DO RELEVO NA CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS
E SUAS RELAÇÕES FOTOINTERPRETATIVAS EM IMAGENS DE PEQUENA ESCALA

MÁRIO VALÉRIO FILHO
Engenheiro Agrônomo, Mestre
Pesquisador
CNPq/INPE

ORIENTADOR: Prof. Dr. Geraldo Victorino de França

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da U
niversidade de São Paulo, para obten
ção do título de Doutor em Agrono
mia. Área de Concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto, 1984

À meu pai,

MÁRIO VALÉRIO

Meu primeiro mestre e incentivador,
que me ensinou o respeito a dignidade
e o amor ao trabalho,

DEDICO

(in memoriam)

Para

Marta, Gustavo e Débora,
a razão de todo o esforço

À minha Mãe e irmãos,
pelo apoio e incentivo

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus agradecimentos às seguintes entidades e pessoas, sem a colaboração das quais esta pesquisa não teria sido realizada:

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), por fornecer as condições materiais e suporte financeiro, para que o trabalho pudesse ser realizado.

Ao Dr. Geraldo Victorino de França, professor do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela orientação e colaboração.

Aos Engenheiros Agrônomos Dr. Humberto de Campos e Sherry Chou Chen pela orientação e colaboração nas análises estatísticas.

Ao Instituto do Açúcar e do Alcool IAA/PLANALSUCAR na pessoa do Dr. Natálio Felipe Koffler, pelo incentivo, colaboração e empréstimo das fotografias aéreas utilizadas nesta pesquisa.

Aos Engenheiros Agrônomos Pedro Luis Donzeli, Francisco de Paula Nogueira do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, ao Geógrafo Archimedes Perez Filho da Universidade de Campinas, ao Dr. José Pereira de Queiroz Neto da Universidade de São Paulo, pelo incentivo e colaboração técnica.

Aos companheiros de trabalho do INPE, José Carlos Neves Epiphânio, Dr. Waldir Renato Paradella, Antonio Roberto Formaggio, Paulo Roberto Meneses, Juercio Tavares de Mattos, Dr. Ícaro Vitorello, Dr. Raimundo de Almeida Filho, Dra. Evelyn Marcia Leão de Moraes Novo, Sergio dos Anjos Ferreira Pinto, Maurício Alves Moreira, Dr. Herman Johann Kux, pelo apoio, incentivo e pronta colaboração.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" com deferência especial aos professores do Curso de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade e facilidades oferecidas.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização desta pesquisa.

ÍNDICE

Página

RESUMO	vi
SUMMARY	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 - Fotografias aéreas no estudo de solos	4
2.2 - Características da rede de drenagem relacionadas a solos	9
2.3 - Características do relevo relacionadas a solos ..	16
2.4 - Imagens de radar aplicadas ao estudo de solos ...	21
2.5 - Imagens LANDSAT aplicadas ao estudo de solos	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 - Descrição geral da área de estudo	31
3.2 - Solos	34
3.2.1 - Unidade Ribeirão Preto (LRe)	35
3.2.2 - Unidade Usina (PV2)	37
3.2.3 - Unidade Canchin (LV5)	40
3.2.4 - Areias Quartzosas (AQ)	43
3.2.5 - Unidade Coqueiro (LV2)	45
3.3 - Fotografias aéreas e fotoíndice	49
3.4 - Imagens LANDSAT	49
3.5 - Imagens de radar	53
3.6 - Estereoscópio	55
3.7 - Equipamento de medição e desenho	55
3.8 - Mapas	55
3.9 - Escolha das unidades fisiográficas representati vas das unidades de solo	56
3.10 - Obtenção dos mapas básicos de drenagem	59
3.11 - Características quantitativas da rede de drena gem	60

3.12 - Características quantitativas do relevo	61
3.13 - Controle de campo	65
3.14 - Análise estatística	65
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1 - Amostras circulares representativas da drenagem e. do relevo	73
4.2 - Características dimensionais das amostras circula <u>r</u> es de drenagem	74
4.3 - Análise quantitativa dos parâmetros da drenagem ..	75
4.4 - Análise quantitativa dos parâmetros do relevo	89
4.4.1 - Declividade média	94
4.4.2 - Relevo local médio	97
4.4.3 - Comprimento médio da vertente	99
4.5 - Considerações sobre as relações fotointerpretati <u>v</u> as dos parâmetros da drenagem e do relevo com as imagens de pequena escala	102
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	112
LITERATURA CITADA	114
APÊNDICE	127

PARÂMETROS DA DRENAGEM E DO RELEVO NA CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS E SUAS RELAÇÕES FOTOINTERPRETATIVAS EM IMAGENS DE PEQUENA ESCALA

Mário Valério Filho

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Victorino de França

RESUMO

Este estudo foi realizado utilizando fotografias aéreas na escala de 1:35.000 e cartas topográficas na escala de 1:50.000 para avaliar a contribuição de determinados parâmetros da drenagem e do relevo, quantificados através de amostras circulares de 10 km², na diferenciação de cinco solos: Latossolo Roxo eutrófico (Typic Eutrorthox), Podzólico Vermelho Amarelo textura arenosa/média (Typic Paleudult), Latossolo Vermelho Amarelo textura argilosa ou média (Typic Haplorthox), Areias Quartzosas (Orthoxic Quartzipsamment) e Latossolo Vermelho Amarelo textura média (Quartzipsammentic Haplorthox). Foram discutidas as relações fotointerpretativas que estes parâmetros apresentam com as distintas unidades fisiográficas, mapeadas com o auxílio das imagens de pequena escala, fornecidas pelos satélites LANDSATs e pelos mosaicos de radar, sendo que as unidades fisiográficas selecionadas englobam os solos estudados. A área de estudo está limitada pelas coordenadas geográficas de 22°00' e 22°30' de latitude Sul e de 47°30' e 47°50' de longitude Oeste, abrangendo parte dos municípios de São Carlos, Itirapina, Rio Claro e Analândia - SP. O clima, segundo o Sistema Internacional de Köppen, corresponde ao tipo Cwa - subtropical úmido de inverno seco e estação chuvosa no verão. Os dados extraídos das amostras circulares de 10 km², para os parâmetros da drenagem e do relevo dos cinco solos analisados, foram submetidos a uma criteriosa análise estatística paramétrica. A análise e a interpretação destes dados, obtidos com material e métodos empregados nas condições do estudo, permitiram chegar, entre outras, às seguintes conclusões: a) dentre os índices de drenagem utilizados na diferenciação dos solos somente

a densidade de drenagem mostrou-se eficiente. Os índices de frequência de rios e comprimento médio de rios não se mostraram satisfatórios; b) os índices de relevo (declividade média, relevo local médio e comprimento médio da vertente) foram mais eficientes que os índices de drenagem na discriminação dos solos, sendo que os dois primeiros índices demonstraram maior eficácia que o comprimento médio da vertente; c) as características da drenagem e do relevo dos solos estudados forneceram o apoio necessário para a análise das relações destes parâmetros com os aspectos fotointerpretativos das respectivas unidades fisiográficas, mapeadas com auxílio das imagens de pequena escala.

DRAINAGE AND RELIEF PARAMETERS FOR SOIL CHARACTERIZATION AND
ITS PHOTOINTERPRETATIVE RELATIONSHIPS WITH SMALL SCALE IMAGES

Mário Valério Filho

Adviser: Prof. Dr. Geraldo Victorino de França

SUMMARY

In this study aerial photographs at the 1:35,000 scale and topographic charts at the 1:50,000 scale were used to evaluate the contribution of some drainage and relief parameters, quantified through circular sample areas of 10 km², in the differentiation of five soil types: Dusky Red eutrophic Latosol (Typic Eutrorthox), Red Yellow Podzolic soil (Typic Paleudult), Red Yellow Latosol medium or clay texture (Typic Haplorthox), Quartzzy Sands soil (Orthoxic Quartzipsamment) and Red Yellow Latosol medium texture (Quartzipsammentic Haplorthox). The photointerpretative relationships that these parameters show with the distinct physiographic units, mapped with the aid of small scale imagery, as those ones furnished by LANDSAT satellites and radar mosaics, were discussed, considering that the physiographic selected units enclose the studied soils. The studied area is limited by the geographic coordinates of 22°00'S - 22°30'S and 47°30'W - 47°50'W, extending over the municipalities of São Carlos, Itirapina, Rio Claro and Analândia in the State of São Paulo. The climate, according to the Köppen International Systems, corresponds to Cwa - a humid subtropical type, characterized by dry winter and rainy summer. The data obtained from the circular sample areas of 10 km² for the drainage and relief parameters of the five soils analysed, were subject of a rigorous parametric statistic analysis. The analysis and interpretation of these data considering the material and method employed in this study, permitted the following conclusions:

a) the drainage density was the only one efficient within the drainage indexes utilized in soil differentiation. The stream frequency and mean stream length indexes were considered not satisfactory. b) the mean relief-slope indexes - local mean relief, and mean length of the slope - were more efficient than the drainage indexes in soil discrimination, and the two first mentioned indexes were more efficient than the mean length of the slope; c) the results obtained for the drainage and relief parameters utilized in the differentiation of the studied soils, provided the necessary support for a discussion about the relationship of these parameters and the photointerpretative aspects of the respective physiographic units, mapped with the aid of small scale imagery.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos recursos naturais de um país é um requisito básico para avaliar suas potencialidades, organizar sua produção e estruturar sua economia.

A avaliação da potencialidade de certas áreas para a exploração de uma determinada cultura, o estabelecimento de uma política correta de colonização, a definição de normas racionais de uso, manejo e conservação de solos, só poderão ser tecnicamente obtidos com base em levantamento de solos.

Neste sentido, as fotografias aéreas constituem um dos meios mais eficientes para aumentar o rendimento e a precisão dos limites das unidades nos mapeamentos de solo, conjugando-se os trabalhos de campo, laboratório e a fotointerpretação realizada no escritório.

As fotografias aéreas, por sua vez, têm possibilitado inúmeros trabalhos na área de levantamento de solos, bem como no fornecimento de parâmetros da rede de drenagem que através de índices numéricos, expressam quantitativamente as diferenças entre tipos ou classes de solos.

O advento das imagens multiespectrais de pequena escala fornecidas pelo Sistema LANDSAT, bem como os mosaidos semicontrolados de radar obtidos pelo Projeto RADAMBRASIL, embora apresentando menor riqueza de detalhes que as fotografias aéreas, têm-se mostrado como importantes ferramentas auxiliares nos mapeamentos de solos de extensas áreas em níveis taxonômicos mais abrangentes que aqueles possibilitados pelas fotos aéreas. Além disso, tais imagens permitem um maior rendimento nos levantamentos face às suas peculiaridades, como a visão sinótica e a característica multiespectral.

Assim sendo, até o presente momento, as abordagens utilizadas para a interpretação dessas imagens de pequena escala no mapeamento de solo, têm sido apoiadas quase que exclusivamente em aspectos qualitativos e descritivos; portanto, sem se preocupar em demonstrar quais os elementos de superfície visíveis nas imagens que contribuem para torná-las uma ferramenta valiosa na compartimentação da área em unidades fotopedológicas e, conseqüentemente, na elaboração do mapa de solos.

Procurando preencher essa lacuna, é que foi desenvolvido o presente trabalho, através da análise de índices da drenagem e do relevo extraídos de fotos aéreas e cartas topográficas, representativos das diferentes unidades de solo contidos no mapa de unidades fisiográficas, elaborado a partir da utilização de imagens LANDSAT e mosaicos de radar visou-se alcançar os seguintes objetivos:

- Analisar a eficiência de alguns índices da drenagem e do relevo na discriminação das unidades de solo;
- Verificar as relações dos índices da drenagem e do relevo com os aspectos fotointerpretativos das imagens de pequena escala.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS NO ESTUDO DE SOLOS

Como é do conhecimento geral as fotografias aéreas são, no presente momento, uma ferramenta indispensável, quer nos levantamentos de solos quer nos planejamentos agrícolas.

A introdução das fotografias aéreas tem sido uma das maiores contribuições ao estudo da paisagem, propiciando ao especialista de solos, um melhor entendimento sobre a distribuição e dinâmica dos solos.

Segundo SIMONSON (1950), o possível uso da fotografia aérea no mapeamento de solos surgiu na década de 1920 com o pioneirismo de Bushnell e colaboradores.

Buringh (1960) resume as vantagens da fotointerpretação aplicada a solos em cinco pontos:

- a) os resultados dos levantamentos de solos são mais precisos;
- b) o trabalho pode ser realizado em menor tempo;
- c) o custo é consideravelmente mais baixo;

- d) o trabalho é realizado com maior economia e eficiência;
- e) criam-se novas possibilidades.

*GOOSEN (1968) comenta que, no reconhecimento ou caracterização dos solos, a meta da análise dos documentos fotográficos é chegar a uma classificação da superfície do terreno, a qual, através de trabalhos de campo subsequentes e análises de laboratório, pode ser traduzida em unidades de mapeamento de solos.

RAY e FISCHER (1960) mencionam que, dentre as muitas fontes de informação quantitativa, a fotografia aérea se destaca como um instrumento de pesquisa potencialmente importante, devido à riqueza de dados mensuráveis que pode fornecer a imagem fotográfica de aspectos superficiais do terreno.

Segundo FROST (1960) os fatores que limitam o uso da fotointerpretação aplicada a solos podem ser agrupados em três categorias: fatores inerentes à técnica fotográfica e ao material; habilidade do fotointérprete e características da paisagem contida na fotografia.

Conforme GOOSEN (1968), mesmo considerando as limitações e possibilidades, é possível o emprego das fotografias aéreas nos levantamentos de solo para: a) estudar mais intensivamente os aspectos fisiográficos dos solos; b) extrair informações sobre as diferenças entre unidades de mapeamento de solos, normalmente de características qualitativas, bem como os aspectos espaciais relacionados e características quantitativas; c) delineações dos limites das unidades de solo com grande precisão e rapidez.

FROST (1960) afirma que a fotointerpretação de solos pode ser conduzida à luz de três princípios básicos:

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

GOOSEN (1968) menciona que, se partirmos do princípio de que "solos são paisagens assim como perfis", verifica-se que os aspectos relativos aos solos podem ser estudados vantajosamente nas fotografias aéreas. Estes aspectos são os da paisagem e os espaciais dos solos, tais como o relevo, vertentes, posição de um dos solos em relação a outros e condições de drenagem relativa a solos adjacentes.

Ainda segundo o mesmo autor, existem três métodos principais de fotointerpretação aplicados a solos:

a) Método da Análise de Padrões (FROST, 1960)

Neste método são estudados os padrões indicativos de condições de superfície como: forma do terreno, drenagem, aspectos de erosão, vegetação, tonalidade fotográfica e características culturais. Entendidas as condições ambientais dos solos estudados, o intérprete divide as unidades principais em unidades menores e examina os padrões locais com o auxílio do estereoscópio para a caracterização de áreas semelhantes.

b) Método da Análise dos Elementos (BURINGH, 1960)

Este método tem a vantagem de poder ser utilizado por especialistas em solos com pouca experiência em fotointerpretação. São analisados sistematicamente os elementos relacionados com as condições dos solos, com base no fato de que a maior parte das características da superfície da Terra está relacionada com estas condições.

Assim, uma mudança em certo elemento pode estar relacionada com um limite de solos e, analisando-se os diferentes elementos, pode-se identificar os solos através da convergência de evidências.

c) Método da Análise Fisiográfica (BURINGH, 1960)

Este método requer um conhecimento profundo dos processos de erosão e sedimentação e dos processos fisiográficos, bem como de seus reflexos nos documentos fotográficos. A área é classificada segundo unidades fisiográficas, cada qual contendo uma associação única de solos.

A escolha ou combinação de métodos pode mudar segundo as circunstâncias. Isto pode depender do tipo ou nível de levantamento, da experiência do fotointérprete e da complexidade do padrão de distribuição dos solos. Nenhum procedimento diagnóstico pode ser imposto no estado atual das técnicas de fotointerpretação, pois sempre que se mantenham normas científicas e se considerem avanços em eficiência, os levantamentos de solos serão beneficiados.

Embora a fotointerpretação aplicada a levantamentos de solos esteja sendo cada vez mais utilizada, existem limitações quanto ao número de características quantitativas

que podem ser obtidas. Ainda que a fotointerpretação proporcione maior precisão e rendimento aos mapeamentos de solos, BURINGH (1960), BOMBERGER e DILL (1960) e VINK (1963) reconhecem que a fotografia aérea vertical não substitui totalmente o levantamento convencional de campo, uma vez que não representa o perfil do solo, e sim sua paisagem.

A fotografia aérea não é a imagem real do solo, mas sim, a de sua superfície. Entretanto, muitas das feições físicas da superfície terrestre como a forma do terreno, drenagem, padrões de erosão e vegetação, revelam ou sugerem a distribuição dos solos.

Conforme citação de RAY (1963), a interpretação de solos por meio de fotografias aéreas repousa, em grande parte, sobre as interafinidades dos solos e aspectos geomórficos; conseqüentemente, a forma fisiográfica é considerada por alguns autores como o elemento mais importante na fotointerpretação de solos. Contudo, ela é apenas um elemento do padrão do solo, sendo claramente evidente que a associação de vários elementos do padrão do solo fornecerá a maior quantidade de informações igualmente importantes.

Segundo RABBEN (1960), o trabalho de fotointerpretação consiste de duas etapas principais:

- 1.^a - são realizadas observações, coleta de dados, medições e identificação das imagens fotográficas;
- 2.^a - são extraídas as conclusões, através da indução e dedução de fenômenos, aplicando-se as informações obtidas na solução de problemas específicos.

Ainda segundo o mesmo autor, é recomendável a utilização da técnica denominada "pesquisa lógica" pela qual, baseado em probabilidades, o fotointérprete pesquisa detalhadamente apenas as áreas onde possam ser encontrados os objetos de interesse ao estudo, ao invés de examinar minuciosamente grandes áreas, em busca desses objetos.

Segundo BURINGH (1960), o método da análise dos elementos para o levantamento de solos está baseado em que a maior parte das características da superfície da terra está, de alguma forma, relacionada com as condições do solo; sendo que para alguns elementos a correlação é direta, como a drenagem e o relevo. Estes princípios foram utilizados por FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), LEÃO (1972), SOUZA (1975), NOGUEIRA (1979) e MANECHINI (1981) entre outros, através do uso de fotografias aéreas, estabelecendo-se parâmetros para a diferenciação de unidades de solo.

2.2 - CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM RELACIONADAS A SOLOS

A rede de drenagem tem sido objeto de estudo das ciências da terra, desde o século passado. Uma das primeiras observações importantes, com relação ao seu comportamento, segundo LOBEK (1939) e HORTON (1945), foi feita por Playfair em 1802, ao comentar e divulgar idéias de Hulton, nos seguintes termos: cada rio consiste de um tronco principal, alimentado por um certo número de tributários; cada um deles corre em um vale proporcional a seu tamanho e o conjunto forma um sistema de vales comunicantes, com declividades perfeitamente ajustadas, sendo que, nenhum deles se une ao vale principal num nível demasiadamente superior ou inferior. Esta observação de Playfair é considerada a lei das confluências concordantes ou lei de Playfair.

Por muitos anos, os estudos da rede de drenagem se restringiram às descrições qualitativas, baseadas em observações particulares e raciocínios indutivos. Com o surgimento das fotografias aéreas, iniciaram-se as pesquisas de âmbito quantitativo dos parâmetros da drenagem com vistas à diferenciação de unidades de solo, conforme iniciativa pioneira de FRANÇA (1968), seguindo-se os trabalhos de MARCHETTI (1969), FADEL (1972), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), KOFFLER (1976b), SOUZA (1977 e outros.

* Segundo LUEDER (1959), depois do relevo a rede de drenagem superficial é o mais consistente e confiável indicador das condições reais do terreno. Mostra que, utilizando-se somente o padrão de drenagem e sem recorrer ao uso do estereoscópio, é possível delinear áreas com diferenças evidentes. Para LUEDER (1959), além da razão infiltração/deflúvio, a capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais que ocorrem em uma dada área, também são responsáveis pelo comportamento da rede de drenagem. Geralmente, um padrão de drenagem bem desenvolvido implica na ocorrência de materiais pouco permeáveis, enquanto que uma rede de drenagem superficial escassa indica alta infiltração e permeabilidade, embora existam exceções e casos especiais.

* HORTON (1945) explicou o desenvolvimento de sistemas hidrográficos e suas bacias de drenagem por processos de erosão hídrica que, para um dado ambiente, dependem em primeiro lugar da proporção entre infiltração e deflúvio; assim, para um determinado terreno existe um comprimento mínimo de escoamento sobre a superfície, necessário para concentrar volume de deflúvio suficiente para iniciar a formação de canais; este "comprimento crítico" depende do declive da superfície, velocidade do deflúvio, capacidade de infiltração e resistência do solo à erosão.

FROST (1960) verificou que os padrões de drenagem, obtidos através do exame dos pares estereoscópicos, refletem a maneira pela qual a água que atinge a superfície do solo se distribui, em termos de deflúvio e infiltração, fornecendo assim, indícios da origem e da composição dos materiais de solos.

BURINGH (1960) adverte que, além da textura e dos processos de deposição dos materiais de origem, ao cientista de solos interessa estudar, também, a ação dos fatores de formação e saber a que grupo genético pertence um dado solo. A assertiva desta observação foi constatada por FRANÇA (1968), que estudou as características da composição e do padrão de drenagem de solos desenvolvidos a partir de arenitos eólicos da formação Botucatu. Ficou demonstrado que estes, apesar de se tratarem de materiais de textura semelhantes e depositados pelo mesmo agente de transporte, deram origem a solos diferentes, cujas diferenças se refletiram, também, na composição e nas características do padrão de drenagem.

* Segundo GARCIA (1982) dentre os vários parâmetros fotointerpretados utilizados, a rede de drenagem assume grande destaque, uma vez que sua gênese está ligada a certas condições que também determinam unidades de solo. A determinação de índices quantitativos da rede de drenagem possibilita o estabelecimento de inferências de natureza diversa e evita a subjetividade das características puramente descritivas.

Para RAY (1963), a densidade de drenagem em um dado ambiente climático está relacionada principalmente com a resistência à erosão dos materiais presentes, aumentando a densidade à medida que diminui a resistência à erosão. Comenta que folhelhos e outras rochas similares, de granulação fina, tendem a apresentar alta densidade de drenagem; enquanto que ro

chas sedimentares de granulação grosseira, como arenitos, tendem a apresentar baixa densidade de drenagem. Contudo, admite que podem existir muitas exceções. Entretanto, FRANÇA (1968) afirma que muitas das exceções são devidas à natureza dos solos que se desenvolveram sobre essas rochas.

*STRAHLER (1964) aponta a densidade de drenagem como um importante indicador da escala linear dos elementos fisiográficos em topografia de erosão fluvial, a qual foi introduzida na literatura hidrológica americana por Horton em 1932. A densidade de drenagem (D_c) foi definida como a razão entre o comprimento total de rios dentro de uma bacia de drenagem e a área dessa bacia, sendo expressa pela equação:

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

onde L_t é o comprimento total de rios e A é a área da bacia.

Segundo STRAHLER (1964), Horton introduziu tam**ém** o termo frequência de rios (Fr), para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento da drenagem superficial de uma bacia hidrográfica. A frequência de rios foi definida pela equação:

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

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

Vários autores, dentre eles FRANÇA (1968), MAR**CHETTI** (1969), FADEL (1972), SOUZA (1975), NOGUEIRA (1979) e ANGULO FILHO (1981), reconhecem que a densidade de drenagem é um dos parâmetros úteis na diferenciação de unidades de solo.

RAY e FISCHER (1960) introduziram o índice de densidade de drenagem determinado em amostras circulares para estudos litológicos e FRANÇA (1968) utilizou este índice para estudos de solos.

Como o comprimento dos canais é um elemento de real importância na análise da drenagem, KOFFLER (1976a) sugeriu que se testasse um índice gerado pela relação entre o comprimento da rede de drenagem contido em amostra circular e o número total de rios, o qual representa o comprimento médio dos rios (L_m), expresso pela seguinte equação:

$$L_m = \frac{L_t}{N}$$

onde L_t é o comprimento total de rios (km) e N é o número total de rios.

A iniciativa dos estudos da rede de drenagem com amostras circulares coube a RAY e FISCHER (1960), na tentativa de verificar sua significância em relação à litologia, através de fotografias aéreas verticais. Comparando valores de densidade de drenagem obtidos em bacias hidrográficas e em amostras circulares de 10 km², chegaram à conclusão que as amostras circulares apresentavam resultados mais consistentes do que as bacias hidrográficas.

FRANÇA (1968), analisando bacias hidrográficas e amostras circulares aplicadas a solos, utilizando a metodologia de RAY e FISCHER (1960), destacou as seguintes vantagens quanto à utilização de amostras circulares:

- a) elimina a influência da área, uma vez que todas as medidas de comprimentos de rios são referidas à mesma área circular;

- 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.

O trabalho de FRANÇA (1968) foi comprovado por diversos pesquisadores, como MARCHETTI (1969), GEVAERD (1974), SOUZA (1975), SOUZA (1977), DEMÉTRIO (1977), NOGUEIRA (1979), ANGULO FILHO (1981), que estabeleceram índices caracterizando diversos solos brasileiros.

KOFFLER (1976a) verificou que a caracterização quantitativa de um padrão de drenagem e sua comparação com outros, podem ser efetuadas através dos índices densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de rios, por ele sugerido, independentemente do tamanho das amostras circulares, desde que sejam representativas.

CARVALHO (1977) menciona que as amostras circulares devem atingir as partes mais elevadas do relevo, onde se situam os canais de cabeceiras, porque representam melhor as condições hidrológicas do perfil do solo.

Na quantificação dos parâmetros da rede de drenagem deve-se ter em mente as colocações de RICCI e PETRI (1965), advertindo que mesmo quando se dispõe de cartas topográficas fidedignas e em escala suficientemente grande, em geral não são elas satisfatórias para a análise de redes de drenagem, em virtude de serem geralmente desenhadas de modo a formar um conjunto relativamente homogêneo, implicando na supressão de parte dos detalhes quando estes são em grande número.

PHILIPS (1970) verificou que os dados de drenagem extraídos de fotos aéreas foram mais eficientes que aqueles obtidos através de cartas topográficas, face aos primeiros oferecerem maior consistência. No seu trabalho é demonstrado que, através da análise quantitativa dos índices de densidade de drenagem, textura de drenagem e profundidade média dos vales, obtidos nas fotos aéreas, foi possível diferenciar 9 entre 10 classes de solos.

ESPÍNDOLA e GARCIA (1978) verificaram que, em geral, a densidade de drenagem e a frequência de rios são sensivelmente mais baixas nos solos com horizonte B latossólico, com menor amplitude de valores, em função da profundidade, homogeneidade textural, grau de estruturação e condições de relevo, acarretando maior relação infiltração/deflúvio.

FRANÇA (1968) constatou que, entre outros elementos da drenagem, o comprimento médio de rios permitiu estabelecer diferenças entre os solos estudados. Porém, SILVA (1977) verificou que os valores de comprimento médio de rios, apesar de apontarem diferenças entre solos, não devem ser utilizados isoladamente na separação das unidades pedológicas.

SOUZA (1975) concluiu que a frequência de rios determinada através de amostras circulares de 10 km^2 , foi eficiente para distinguir três unidades de solo com B latossólico.

NOGUEIRA (1979), estudando características quantitativas do padrão de drenagem, concluiu ser a densidade de drenagem o parâmetro mais eficiente para evidenciar diferenças entre unidades de solos.

ESPÍNDOLA e GARCIA (1978) encontraram maiores variações no índice densidade de drenagem para os solos com B textural, em comparação aos solos com B latossólico.

2.3 - CARACTERÍSTICAS DO RELEVO RELACIONADAS A SOLOS

Os aspectos do relevo influem de forma direta na evolução do perfil e vice-versa; portanto, ao interpretar a evolução das formas do relevo pode dizer-se que, ao mesmo tempo, se está interpretando a evolução do corpo dos solos em conjunto, afirma MONTOYA (1983).

Conforme citação de VIEIRA (1975), o relevo ou topografia que denota a configuração da superfície da Terra, é um importante fator no processo evolutivo do solo. A sua influência na formação do solo e no desenvolvimento do perfil é marcante. Dokuchaev, eminente geólogo russo, um dos iniciadores da pedologia moderna, foi quem atribuiu-lhe importância, pela primeira vez, ao estabelecer correlação entre o solo e o relevo. Segundo ele, a topografia poderia modificar o perfil do solo de três maneiras:

- a) facilitando a absorção e retenção de água de precipitação pelo solo - relação de umidade;
- b) influenciando no grau de remoção de partículas do solo pela erosão; e
- c) facilitando a movimentação do material em suspensão ou em solução, para outras áreas.

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

Diversos autores, entre os quais HORTON (1945), SMITH (1950) e STRAHLER (1957), têm demonstrado que existem fortes relacionamentos entre as características da rede de drenagem e as condições topográficas; e que, muitas vezes, variações no comportamento da drenagem refletem alterações das condições topográficas de uma região.

Para RAY (1963), cada padrão de relevo está as sociado com um processo geomórfico específico de erosão ou deposição e reflete a origem e o caráter geral da paisagem; e que a evolução das feições topográficas do relevo, associadas com os processos de erosão e deposição, também propiciam uma base excelente para uma estratificação da paisagem pela origem das suas formas e tipos de material superficial.

Segundo SMITH e AANDAHL (1957), as unidades de solo não ocorrem ao acaso na paisagem; elas possuem um padrão de distribuição que está relacionado à forma do terreno, ao material de origem do qual o solo se formou, a influência das plantas que nele vivem e da maneira pela qual o homem o tem utilizado. Geralmente as diferentes unidades de solo têm um padrão de distribuição que se repete, o qual está associado com o relevo.

Porém, para AMARAL e AUDI (1972), sendo o relevo um dos principais agentes formadores do solo, deve-se esperar com sua variação, diferenças nos solos. A recíproca, porém, não é verdadeira, pois o solo pode variar, mesmo sem variar o relevo, devido a possíveis variações nos demais fatores de formação do solo.

BRIDGES e DOORNKAMP (1963), analisando comparativamente o mapa de superfícies morfológicas com o mapa de solos, concluíram que, na maior parte da área estudada, as que

bras e mudanças do relevo coincidem com os limites de grupos de solos, onde mudanças menores do relevo coincidem com mudanças do material de origem, eles também coincidem com os limites de solos.

HILWIG e KARALE (1973), constataram que tanto os elementos do relevo como das vertentes são caracterizados por uma alta relação com as condições de solo e uma alta coincidência com os limites dos solos. Concluíram que o mapeamento de solos baseado em análise fisiográfica de documentos fotográficos, mostra unidades de mapeamento que consistem de unidades taxonômicas simples, nos quais o arranjo tridimensional e geográfico dos solos está claramente expresso.

O relevo é considerado como um dos critérios mais importantes da Fotopedologia, sendo muito utilizado para estudos de solos em fotografias aéreas convencionais por apresentarem a vantagem da observação da terceira dimensão, através do emprego de pares estereoscópicos, segundo citação de ROURKE e AUSTIN (1951), LUEDER (1959), SOIL CONSERVATION SERVICE (1966), EYRE (1968), AMARAL e AUDI (1972).

Para AVERBECK e SANTOS (1969), a variação na declividade geralmente implica em variação do solo. O relevo, a declividade e as formas de erosão resultam, na fotografia aérea, em diferenças no padrão e na textura.

ROURKE e AUSTIN (1951) consideraram que a diferença de declividade das encostas determina a variação na quantidade de energia refletida, provocando modificações na tonalidade, em função da maior ou menor declividade do terreno.

Segundo o SOIL CONSERVATION SERVICE (1966), a superfície reflete a maior parte da luz, quando as vertentes refletem os raios solares diretamente em direção à câmara fotográfica. Assim, se as vertentes se apresentam com diferenças suficientes, estas diferenças causam variação na tonalidade e, através desta variação tonal, as variações topográficas ou das vertentes podem ser inferidas através da interpretação fotográfica. As mudanças na posição do sol possibilitam mudanças do ângulo de reflexão da luz e, conseqüentemente, mostram a variação topográfica. Na interpretação do relevo, diferenças na iluminação das vertentes deverão ser levadas em consideração pelo fato das diferenças de radiação solar refletida nas vertentes, as quais resultam em tons diferentes nas fotos aéreas. Diferenças nos tons de cinza de áreas iluminadas e sombreadas dão uma clara idéia da forma do relevo na paisagem.

Para verificar o efeito de áreas sombreadas e iluminadas na definição de formas do relevo, HACKMAN (1967) simulou a tomada de fotografias em diferentes ângulos de elevação solar e concluiu que a de menor ângulo (10°) foi a que ofereceu maior detalhe dos aspectos do relevo, especialmente pequenos detalhes, os quais são evidenciados pelo aspecto textural na imagem fotográfica. Concluiu também que os detalhes de pequenas feições do relevo são melhor definidas nas imagens fotográficas tomadas com baixo ângulo de elevação solar. Com base nos estudos realizados, o autor recomenda que as imagens tomadas com ângulos de elevação solar de 20° a 30° são as mais satisfatórias.

CURTIS *et alii* (1965) propuseram uma classificação do relevo para fins de estudos de solo, baseada nos itens que caracterizam a paisagem, como: aspecto local e altitude relativa da região.

Vadnais, citado por WONG *et alii* (1977) analisando a contribuição dos fatores do relevo na classificação de associações de solos, utilizou amostras circulares para quantificação de 16 fatores do terreno dentre eles a declividade média, relevo local, índice de rugosidade e número médio de vertentes e encontrou combinações positivas destes fatores com as associações de solos estudadas.

WONG *et alii* (1977) utilizaram cartas topográficas para a realização de medidas quantitativas dos fatores de relevo (declividade média, relevo amostral, relação relevo/elevação), através de amostras quadráticas para estudos de diferenciação de solos, sendo que o método de Wentworth para cálculo da declividade mostrou-se de grande eficiência. KOFFLER (1982a) também utilizou o método de Wentworth para cálculo de declividade média do terreno e recomenda este ao de STRAHLER (1956) por ser de mais fácil aplicação e por apresentar resultados semelhantes.

MARCHETTI (1969) concluiu que os índices de relevo - declive máximo da encosta e razão de declive - mostraram-se dignos de confiança para a distinção entre solos.

Peltier, citado por WONG *et alii* (1977), após analisar a declividade média através de 70 cartas topográficas pelo método de Wentworth, concluiu que a declividade média estava relacionada com a média local do relevo e a textura média da topografia.

POLITANO (1980), concluiu que os índices de relevo foram tão eficientes quanto os da rede de drenagem, para a diferenciação de duas classes de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Analisando índices de relevo na diferenciação de solos com B latossólico e B textural, LEÃO (1983) encontrou resultados positivos para os índices amplitude altimétrica e razão do relevo, evidenciando assim, aptidão destes índices para a distinção dos solos estudados.

2.4 - IMAGENS DE RADAR APLICADAS AO ESTUDO DE SOLOS

Dentre os sistemas sensores, o Radar de visada lateral oferece: um amplo ângulo de cobertura, a capacidade de imageamento em lugares de pouca visibilidade, o destaque das feições topográficas resultante da visada oblíqua e informações relativas a variações do terreno e relevo local, através da textura e do efeito de sombra das imagens de radar (PARRY, 1974).

Para NUNNALLY (1969), as imagens de radar possibilitam meios para a delimitação de várias associações de fenômenos físicos e culturais, através das variações nas feições da imagem, evidenciadas pela tonalidade, textura, padrão e forma.

Segundo PARRY (1974), as imagens de radar, pela grande área coberta continuamente, possibilitam a análise do terreno contido em pequenas imagens fotográficas, permitindo assim a integração das feições da superfície, as quais, aparentemente, não são visualizadas quando examinadas em imagens de grande escala.

BARR e MILES (1970) comentam que a tonalidade e a textura são os elementos interpretativos mais importantes no estudo da imagem de radar, relatando inclusive, que os respectivos mapas de drenagem apresentam a mesma significância de mapas obtidos de aerofotografias convencionais. Entretanto, a

aparência e o nível de detalhe geral do padrão de drenagem obtido pela imagem de radar é diferente. Esta é também a opinião de DELLWIG (1973), o qual afirma que o nível de informação é controlado pela escala da imagem, a resolução do sistema e os aspectos superficiais de visibilidade dos canais de drenagem.

KOOPMANS (1973), trabalhando com imagens de radar ampliadas para a escala 1:88.000, concluiu que os elementos da drenagem extraídos pela interpretação monoscópica não fornecem dados precisos para a realização de estudos quantitativos, face à perda de informação, principalmente dos canais de primeira ordem, opinião esta compartilhada por KOFFLER (1976b), analisando imagens MSS/LANDSAT e EPIPHANIO *et alii* (1983) trabalhando com imagens RBV/LANDSAT na escala 1:100.000.

KOOPMANS (1973) verificou também que os dados de drenagem obtidos através de fotos aéreas e cartas topográficas se aproximam muito, dos obtidos pela interpretação estereoscópica das imagens de radar. Na área estudada, a interpretação monoscópica de imagens de radar provou ser de pouco valor para a análise de drenagem, principalmente para áreas de relevo mais movimentado.

Por outro lado, BARR e MILES (1970) comentam que os canais de primeira ordem normalmente não são registrados pelo Radar de Visada Lateral, devido a escala e resolução, o que diminui o valor da análise do padrão de drenagem para condições locais, mas a sua influência é menor quando a avaliação é em nível regional.

Porém, para GARCIA (1979), analisando quantitativamente a rede de drenagem obtida através de imagens radar métricas para áreas de cerrado, foi possível a delimitação de associações de solos em nível generalizado.

Segundo PARRY (1974), o Radar tem a vantagem adicional para estudo dos aspectos do terreno pelo fato de que a re-irradiação advinda da superfície é, em parte, um processo de espalhamento. Assim, há uma relação direta entre a rugosidade da superfície e a consequente textura registrada nas imagens de Radar. Esta relação não é encontrada em outros sistemas sensores e é, obviamente, de grande eficiência em análises de feições do terreno.

BARR e MILES (1970) comentam que a distribuição média do elemento tonal, a textura individual e a combinação de ambos formam o padrão topográfico e que as variações topográficas do terreno imageado afetam a distribuição do sombreamento provocado pelas encostas sem retorno do sinal, com grande frequência de ocorrência de sombras que caracterizam a rugosidade do terreno.

LYON *et alii* (1970) mencionam que o uso de baixos ângulos de elevação solar, quando combinados com aumentos de contraste de material impresso, pode reproduzir algumas das feições das imagens de radar, como o sombreamento topográfico, o que faz com que as imagens de radar sejam úteis para aplicações nas áreas de geologia, pedologia e geomorfologia.

Conforme PARRY (1974), o sombreamento proporcionado pelas imagens de radar destaca as pequenas feições do relevo, proporcionando o realce destas, as quais são comparáveis com as fotografias obtidas com baixo ângulo de elevação solar. Isto é particularmente expressivo em áreas de topografia suavizada, onde variações sutis na textura do terreno e feições de pequena escala são reconhecidas nas imagens fotográficas.

Segundo SIMONS (1964), a perspectiva proporcionada pelos efeitos de sombra do radar enfatizam aspectos relativos ao relevo; e pela graduação tonal causada pela variação nas características do retorno do sinal de diferentes superfícies litológicas, solos e padrões culturais, permitem uma rápida caracterização destas feições.

Conforme constatação de BARR e MILES (1970), a avaliação das condições topográficas através das imagens de radar são menos precisas quando se procura determinar suas dimensões, se comparadas à contribuição dada pelas fotografias aéreas com o recurso da estereoscopia.

Trabalhando com imagens LANDSAT e de radar no estudo de vegetação e solos, GARCIA (1979) verificou que elas foram altamente eficientes e sugere que maior atenção deva ser dada à aplicação conjugada destas duas fontes de informações. Tal sugestão é corroborada por DONZELI *et alii* (1983), os quais concluíram que a conjugação de imagens de radar e RBV/LANDSAT foi a mais eficiente no mapeamento de unidades fisiográficas distintas, as quais estavam associadas a solos mapeados em nível de reconhecimento com detalhe.

2.5 - IMAGENS LANDSAT APLICADAS AO ESTUDO DE SOLOS

A possibilidade de realizar levantamentos de solos utilizando imagens LANDSAT, se baseia em uma premissa fundamental; "solos são tanto perfis como paisagens", a qual é a mesma teoria em que se baseia a interpretação de fotografias aéreas aplicada a solos (MONTTOYA, 1983).

Para WESTIN (1973), os perfis de solo não são vistos, quer seja nas fotos aéreas, quer nas imagens orbitais; mesmo a superfície do terreno, na maior parte das vezes, está

coberta por vegetação. Assim, o reconhecimento e delimitação das associações de solos podem ser realizados com base no tipo de vegetação, material de origem dos solos, relevo e rede de drenagem superficial.

WESTIN e FRAZEE (1976), revisando as características dos dados LANDSAT, verificaram que eles são aplicáveis ao levantamento de solos pelas seguintes razões: visão sinótica, disponibilidade de dados multiespectrais, possibilidade de obtenção de dados temporais e projeção quase ortogonal.

GIMBARZEVSKY (1974a) comenta que as imagens fornecidas pelo sistema LANDSAT apresentavam vantagens e limitações. A pequena escala proporciona uma visão global de áreas extensas, ficando limitado o mapeamento de detalhes importantes. Também a falta de estereoscopia é uma séria limitação para o reconhecimento de feições topográficas do terreno; e as informações sobre características físicas da superfície têm que ser inferidas através da análise dos padrões de drenagem superficial, textura, erosão, diferenças tonais e efeito de sombreamento. Estes fatos foram também verificados por PACHECO e HOWARD (1977).

Conforme CARTER e STONE (1974), a grande área coberta por uma única imagem permite reconhecer, por exemplo, sistemas completos de drenagem, impossível através de fotos aéreas convencionais. Comentam ainda que o procedimento usado para interpretar fotos aéreas pode ser aplicado na interpretação de imagens orbitais ou, segundo VALÉRIO FILHO *et alii* (1981), através da fotopedologia adaptada à análise de imagens multiespectrais de pequena escala.

Segundo HARALICK e SHANMUGAN (1974), feições espectrais, texturais e do contexto, são os três elementos padrões usados na interpretação visual de imagens. As feições espectrais descrevem as variações tonais entre as diferentes bandas de um conjunto multibanda; as feições texturais contêm informações sobre a distribuição espacial dos valores tonais, dentro de uma banda espectral; as feições do contexto contêm informações sobre as áreas que incluem a unidade que está sendo analisada.

As imagens de pequena escala proporcionam uma excelente visão global da cena para uma rápida análise dos processos geomórficos sobre extensas áreas, possibilitando assim uma compartimentação de paisagens contíguas com distintos padrões de relevo, estrutura geológica, evolução geomórfica e vegetação regional, proporcionando assim o reconhecimento de importantes componentes destes padrões, conforme atestam GIMBARZEVSKY (1974b), PACHECO e HOWARD (1977), SEGOVIA *et alii* (1980), COCHRANE e BROWNE (1981).

Segundo GLÓRIA e CARNEGGIE (1974), as imagens de satélite, embora de baixa resolução, proporcionam meios suficientes para o grupamento de solos semelhantes, vegetação e tipos de paisagem pela distinção de grandes unidades e agrupam as pequenas inclusões, as quais tendem a confundir o intérprete quando na utilização de fotos aéreas de grande escala. Porém, PACHECO e HOWARD (1977) constataram que as fotos aéreas oferecem importante recurso na aquisição de dados de alta resolução espacial, permitindo que sirvam de apoio às informações obtidas através das imagens LANDSAT.

KOFFLER (1976b), analisando os elementos do padrão de drenagem através de imagens LANDSAT, verificou que tanto a análise descritiva como a análise quantitativa dos elementos do padrão de drenagem, ficaram prejudicados pela dificuldade em se obter um traçado completo da rede de drenagem da área estudada, pois nas áreas de maior densidade hidrográfica, os canais dos rios menores não puderam ser detectados, fato este também verificado por TOWNSHEND *et alii* (1979) e EPIPHANIO *et alii* (1983). Entretanto, KOFFLER (1976b) verificou que características como densidade de drenagem e textura topogrâfica puderam ser avaliadas através de feições de textura fotográfica nas imagens LANDSAT; fato este também confirmado por SOARES e FIORI (1976).

Segundo CARTER e STONE (1974), a textura fotográfica é a frequência da mudança de tonalidade sobre a fotografia. Este elemento de reconhecimento é produzido por um agregado de objetos de diferentes tonalidades, os quais são também muito pequenos, para serem vistos individualmente. Assim, a escala determina a textura; desta forma, o que pode ser identificado como feição individual sobre fotografias de grande escala, pode somente ser visível como textura em imagens de pequena escala. Assim, a textura é usada nas imagens LANDSAT com grandes vantagens sobre as fotos aéreas convencionais, pois feições que normalmente são padrões nas fotos aéreas convencionais aparecem como textura fotográfica nas imagens orbitais.

CHRISTOFOLETTI (1974) atesta que um aumento nos valores de declividade do terreno, provoca um aumento nos valores de textura topográfica e densidade de drenagem. Aspecto este, que concorre para influenciar a textura fotográfica nas imagens LANDSAT, conforme foi corroborado por VALÉRIO FILHO *et alii* (1976) e por KOFFLER (1976b), devido à relação entre textura fotográfica na imagem LANDSAT e condições topográficas.

Conforme citação de GIMBARZEVSKY (1974a), as feições do relevo não são reconhecidas diretamente através da visualização das imagens, mas podem ser inferidas através da análise das feições de padrões de drenagem, textura, erosão, diferenças tonais e, em alguns casos, em função dos efeitos de sombra.

Segundo PACHECO e HOWARD (1977), o efeito de sombreamento nas imagens LANDSAT pode ser usado como indicação de que a área é ondulada, colinosa ou montanhosa. Subdivisões podem ser baseadas no comprimento e percentual de sombras, levando-se em consideração a orientação das colinas e montanhas para com o ângulo de elevação solar, que para as imagens LANDSAT varia com a época do ano.

WALKER e TREXLER (1977), bem como WESTIN e BRANDNER (1980), verificaram que a utilização de imagens fotográficas obtidas com baixo ângulo de elevação solar, tem-se mostrado de grande utilidade em levantamentos geológicos, pedológicos etc; isto porque o efeito do realce da sombra e realce das vertentes iluminadas, ou seja, o efeito produzido pelas áreas sombreadas e áreas iluminadas, são indicadores úteis no reconhecimento das variações topográficas.

NOVO (1983) verificou que a inspeção visual de uma mesma cena tomada a diferentes ângulos de elevação solar e de azimute, evidencia que as mesmas feições do terreno são registradas segundo diferentes padrões de tonalidade e textura; e que as imagens com baixo ângulo de elevação solar e azimutos relativamente altos determinam o aumento do número de classes geomórficas distintas.

KITCHO (1979) observou que as passagens dos sa télites nos meses de inverno apresentam os menores ângulos de elevação solar, os quais têm sido mais úteis para o destaque de detalhes topográficos sobre as imagens LANDSAT.

CARNEIRO (1975), trabalhando com imagens LANDSAT no mapeamento de solos, concluiu que o relevo exerceu forte in fluência sobre os demais critérios de interpretação, como a to nalidade e textura fotográfica, conclusão à qual também chega ram VALÉRIO FILHO *et alii* (1979).

MONTOYA (1977), trabalhando com diferentes pro dutos fotográficos (Imagens LANDSAT, Radar e Fotografias Aéreas), concluiu que as unidades de paisagem puderam ser iden tificadas e delineadas, tanto em imagens de satélite como nas de radar; e os elementos de interpretação tais como relevo, ve getação e drenagem, foram muito úteis como auxiliares na iden tificação das unidades fisiográficas associadas a solos.

DONZELI *et alii* (1983) concluíram que o uso de imagens LANDSAT e de radar na escala 1:250.000, foi compatível com a definição de unidades de mapeamento de solos em nível de reconhecimento com detalhe, sendo comprovada a estreita cor relação entre o mapeamento de unidades fisiográficas por foto interpretação e mapeamento convencional de solos nesse nível. Concluíram também que as conjunções das imagens RBV/Radar ou RBV/MSS-7 foram as mais satisfatórias na definição das unida des fisiográficas, por fornecerem informações de natureza com plementar. As imagens RBV destacaram os aspectos da rede de drenagem e tonalidades fotográficas, enquanto que as imagens de radar e MSS-7 contribuíram com os aspectos do relevo e tex tura fotográfica.

GLÓRIA e CARNEGGIE (1974) utilizaram imagens MSS/LANDSAT e fotos aéreas para elaborar um mapa de solos em nível de reconhecimento, tendo como suporte células amostrais de 10 ha de áreas representativas das unidades de mapeamento, sendo que os aspectos examinados nas imagens, com apoio de campo e fotos aéreas, foram a vegetação, formas do terreno e características gerais da área.

PASOTTI e CANOBA (1980), trabalhando com imagens LANDSAT dos canais 5 e 7 na escala 1:250.000, concluíram que elas foram eficientes no mapeamento de unidades geomórficas distintas, especialmente em áreas de baixas vertentes e relevo suavizado, cobertas por vegetação ou culturas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está compreendida pelas coordenadas geográficas de $22^{\circ}00'$ a $22^{\circ}30'$ de latitude Sul e $47^{\circ}30'$ a $47^{\circ}50'$ de longitude Oeste, a qual engloba parte dos municípios de São Carlos, Itirapina, Rio Claro e Analândia, no Estado de São Paulo.

Conforme a Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo (Figura 1) e segundo ALMEIDA (1964), a área em estudo engloba parte da Depressão Periférica Paulista, das Cuestas Basálticas na composição de seu quadro geomorfológico.

Os terrenos incluídos na Depressão Periférica, mais especificamente na zona do Médio Tietê, caracterizam-se por dois grandes padrões de relevo: as colinas amplas e médias e os morrotes alongados ou espigões. As primeiras formam interflúvios extensos e aplainados, com vertentes retilíneas ou convexas e vales abertos, apresentando, em geral, baixa densidade de drenagem. Os morrotes alongados formam um conjunto de interflúvios sem orientação preferencial, com topos angulosos e achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos e vales fechados. A drenagem de densidade média a alta se organiza segundo padrões dendríticos (IPT, 1981a).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo conforme a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo.

FONTE: Comissão de Solos (1960).

Na zona das Cuestas Basálticas encontram-se Me sas Basálticas com morros testemunhos isolados, topos aplaina dos e arredondados, vertentes com perfis retilíneos e, às ve zes, trechos escarpados e exposições de rochas. Os vales são fechados e se organizam segundo padrão pinado a subparelelo, em geral, com densidade de drenagem média. Esta zona é ocupa da ainda por relevos de transição constituídos por encostas sulcadas, vales subparelelos que originam interflúvios linea res de topos angulosos e arredondados e por encostas com ca nions locais com vertentes de perfis retilíneos a convexos e trechos escarpados (IPT, 1981a).

Quanto à geologia, a área situa-se na Bacia Se dimentar do Paraná que, segundo IPT (1981b), é constituída qua se que totalmente pelo grupo São Bento, de idade Triássico/ Cretácico, abrangendo:

- a) Formação Serra Geral, constituída de rochas vulcâni cas toleíticas em derrames basálticos de coloração cin za a negra, textura afanítica com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios, de estratifi cação cruzada tangencial e esparsos níveis caracteri zados pelos arenitos eólicos avermelhados de granula ção fina a média com estratificação cruzada de média a grande porte, depósitos fluviais restritos de natu reza areno-conglomerática e camadas localizadas de siltitos e argilitos lacustres.
- b) Formação Pirambóia, caracterizada por depósitos flu viais e de planícies de inundação incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-paralela, níveis de fo lhelhos e arenitos argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza areno-conglomerática.

Os sedimentos do Cenozóico são representados pela Formação Rio Claro, a qual compreende arenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos e pequenas intercalações argilosas e, com menor expressão, os Sedimentos Aluvionares constituídos por aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços.

O clima da área, segundo o Sistema internacional de Köppen, compreende o tipo CWA - subtropical úmido de inverno seco e estação chuvosa no verão.

O índice pluviométrico varia entre 1100 e 1300 mm, o semestre seco vai de abril a setembro e situa-se entre as isolinhas de 225-250 mm, e no mês mais seco chove menos de 20 mm. A temperatura do mês mais quente está acima de 22°C e a do mês mais frio, abaixo de 18°C (SETZER, 1966).

A cobertura vegetal da área, conforme o Instituto Florestal do Estado de São Paulo (1975), é composta por remanescentes de vegetação dos tipos Mata e Capoeira. Os tipos mais expressivos são as ocorrências dos cerrados e campos cerrados, bem como, de extensas áreas ocupadas por reflorestamento, sendo que a área é ocupada predominantemente, por atividade agropastoril.

3.2 - SOLOS

Os solos estudados no presente trabalho são os que possuem maior representatividade de área, contidos no mapa de unidades fisiográficas elaborado a partir das imagens orbitais e de radar (DONZELI *et alii*, 1983), sendo que a descrição conceitual das unidades está resumida a seguir conforme OLIVEIRA *et alii* (1982) e PRADO *et alii* (1981) (no prelo).

3.2.1 - UNIDADE RIBEIRÃO PRETO (LRe)

a) Classificação

Latossolo Roxo eutrófico, A moderado, textura argilosa ou muito/argilosa, relevo suave ondulado.

Typic Eutrorthox (USA).

b) Conceito da Unidade

Os solos da unidade Ribeirão Preto apresentam as seguintes características diferenciais, além daquelas comuns aos latossolos roxos:

- textura muito argilosa ou argilosa;
- teor de areia grossa inferior a 20%;
- saturação em bases e soma de bases mantendo-se superiores a 50% e $\geq 1,5$ e.mg/100 g de T.F.S.A., respectivamente, além de 100 cm de profundidade;
- matiz do horizonte B₂ mais vermelho que 3,5 YR com relação valor/croma igual ou inferior a 3,5;
- horizonte B₂ apédico ou com estrutura subangular fraca e com consistência friável a muito friável.

c) Características Morfológicas

- . *Horizonte A* - Devido à grande utilização agrícola, estes solos apresentam em geral um horizonte Ap, seguido ou não de horizonte A₃. A espessura raramente ultrapassa 30 cm e a cor está centrada no matiz 2,5 YR com relação valor/croma 3/4 ou 3/3. A textura é argilosa e a consistência ligeiramente dura, friável, plástica e pe

gajosa. O intenso uso agrícola desses solos destrói a estrutura original, sendo difícil descrever o material resultante. Em vez de unidades estruturais bem definidas, "peds", observa-se a ocorrência de blocos médios e pequenos, sem superfície de fraqueza definida.

- . *Horizonte B* - Este horizonte se apresenta com grande homogeneidade vertical, sendo difícil a separação de sub-horizontes. Em geral o horizonte B₁ se distingue do B₂ por apresentar croma ligeiramente mais escuro e/ou estrutura mais desenvolvida, esta quase sempre representada por estrutura subangular média e fraca, enquanto o B₂ se apresenta em geral apédico, porém, com microestrutura fortemente desenvolvida.

A cor mais comum é bruno-avermelhada-escuro (2,5 YR 3/4; observa-se, contudo, também solo com cor vermelho-escuro acinzentada (10 R 3/4).

d) Descrição da Paisagem

Esta unidade ocorre principalmente no quadrante sudeste, em relevo suave ondulado, constituído por colinas de topo ligeiramente abaulado e declives superiores a 5%. A altitude varia 580 a 780 m e o material de origem é resultante do intemperismo de diabásio e basalto.

A vegetação original, restrita a algumas poucas áreas preservadas, é representada por mata tropical subperenifólia. A ocupação atual desses solos é intensa, principalmente com cana-de-açúcar, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Vista panorâmica da paisagem da área ocupada por Latossolo Roxo eutrófico.

3.2.2 - UNIDADE USINA (PV2)

a) Classificação

Podzólico Vermelho-Amarelo argila de atividade baixa, álico, A moderado, textura arenosa/média.

Typic Paleudult (USA).

b) Conceito da Unidade

Além das características comuns aos podzólicos vermelho-amarelos, esta unidade apresenta:

- argila de atividade baixa;
- caráter álico ou distrófico;
- horizonte A arenoso com espessura inferior a 50 cm assente sobre horizonte B de textura média, sem apresentar mudança textural abrupta;
- desenvolvimento pouco acentuado da estrutura no horizonte B e espessura superior a 150 cm;
- cerosidade fraca ou ausente, em exame de campo;
- substrato: sedimentos arenosos do Permocarbonífero.

c) Características Morfológicas

- . *Horizonte A* - Subdivide-se em A₁ ou Ap, A₂ e A₃, podendo faltar o A₂ ou A₃.

A cor do horizonte Ap ou A₁ apresenta matiz des de 5 YR até 10 YR, com relação valor/croma variando de 3/3 a 4/4. A cor bruno-avermelhado-escuro é, dentro desses limites, a mais comum.

A textura é essencialmente fino-arenosa e, consequentemente, a consistência da amostra úmida é muito friável e, a da amostra molhada, não plástica e não pegajosa. A consistência da amostra seca é dura ou muito dura. A espessura do horizonte A é inferior a 50 cm.

- . *Horizonte B* - Subdivide-se em B_{1t}, B_{2t} e B₃. A espessura é superior a 150 cm. A cor do horizonte B₂ varia desde vermelho-escuro (2,5 YR 3/6) até bruno forte (7,5 YR 5/6), não tendo sido verificada cor modal, porém o valor varia de 4 a 5 e o croma, de 4 a 8.

A cor do horizonte B_1 é em geral ligeiramente mais escura (menor valor ou menor croma) que a do B_2 .

A estrutura dos horizontes B_1 e B_2 é subangular moderada ou fraca/moderada, enquanto a do B_3 é fraca. A cerosidade, quando evidente no campo, ocorre no horizonte B_2 , sendo fraca e pouca e, no máximo, moderada e comum.

A consistência da amostra úmida é friável ao longo do horizonte B, podendo ser muito friável no B_3 , enquanto a consistência da amostra molhada varia de ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa nos solos com menor teor de argila, até plástica e pegajosa nos mais argilosos.

d) Descrição da Paisagem

Estes solos ocorrem com maior expressão na porção centro-sudeste da área, ocupando relevo suave ondulado a ondulado dissecado, drenados pelos correios que demandam o Rio Corumbataí, em ambas as margens. Os declives são da ordem de 7 a 12%, embora possam ocorrer declives maiores que 15%.

A vegetação original, atualmente bastante escassa, era a mata tropical sub-perinifólia. A ocupação atual é representada principalmente por pastagem, cultura de Citrus e reflorestamento, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Vista panorâmica, da área ocupada pelos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos (PV2) .

3.2.3 - UNIDADE CANCHIN (LV5)

a) Classificação

Latossolo Vermelho-Amarelo álico, distrófico ou ácrico, textura argilosa ou média, relevo suave ondulado.

Typic Haplorthox, Haplic Acrorthox (USA).

b) Conceito da Unidade

Os solos da unidade Canchin, além das características diferenciais comuns aos Latossolos Vermelho-Amarelos, apresentam:

- horizonte A proeminente ou A moderado, mas apresentando cores com valor e com croma igual ou inferior a 4;
- espessura do horizonte A superior a 40 cm;
- horizonte B₂ de cor igual ou mais amarela que 5 YR a relação valor/croma igual ou inferior a 4/5;
- horizonte B de textura média ou argilosa, friável ou muito friável;
- carater álico ou distrófico;
- estrutura fraca ou carater apédico no horizonte B₂;
- material de origem: sedimentos retrabalhados supra basálticos.

c) Características Morfológicas

Os solos da Unidade Canchin apresentam sequência de horizonte A₁ ou Ap, A₃, B₁, B₂, subdivididos em vários sub-horizontes. Em decorrência do relevo suave ondulado onde ocorrem estes solos, são raros os barrancos profundos de estrada, daí não ter-se informações sobre os outros horizontes subjacentes.

São solos muito profundos, friáveis a muito friáveis, praticamente sem macroestrutura no horizonte B₂.

A textura destes solos é predominantemente argilosa, porém, observam-se alguns solos com textura média mas com teor de argila superior a 30% e com predominância de areia grossa sobre areia fina.

Não foi observado nenhum pedon com textura muito argilosa.

d) Descrição da Paisagem

A ocorrência destes solos limita-se ao quadrante Noroeste da área, mais precisamente nas proximidades de São Carlos, ocupando relevo suavemente ondulado com declives relativamente baixos da ordem de 5 a 7%.

A vegetação natural, atualmente de pouca expressão, era a Mata Tropical sub-perenifólia. A ocupação do solo é bastante diversificada, sendo utilizado com cultivos anuais como milho, arroz, e cultivos perene ou semi-perene como café, cana-de-açúcar, pastagem e reflorestamento, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Vista panorâmica da paisagem da área ocupada por Latossolo Vermelho-Amarelo (LV5).

3.2.4 - AREIAS QUARTZOSAS (AQ)

a) Classificação

Areias Quartzosas profundas, álicas, A moderado, relevo suave ondulado.

Orthoxic Quartzipsamment (USA).

b) Conceito da Unidade

Esta classe de solos apresenta espessura superior a 200 cm e ausência de hidromorfismo a menos de 80 cm de profundidade.

c) Características Morfológicas

Em razão de tais solos se desenvolverem sobre material predominantemente quartzoso, a ação dos processos pedognéticos é atenuada, resultando perfis pouco diferenciados abaixo do horizonte superficial, onde os processos de adição se destacam e imprimem características marcantes.

Normalmente, apresentam uma sucessão de horizontes A e C, ocorrendo, às vezes, indícios de horizonte B, onde a cor e/ou um ligeiro aumento de argila são os elementos diferenciais que se destacam.

O horizonte A das Areias Quartzosas encontradas na quadrícula apresentou cores variando desde bruno-avermelhada-escura (5 YR 3/4) até cinza muito escura (10 YR 3/1). A estrutura é granular pequena e fraca, associada com grãos simples; a consistência da amostra úmida é muito friável e a amostra molhada, não plástica e não pegajosa.

O horizonte C apresenta ampla gama de cores, desde vermelha (2,5 YR 4/6) até bruno-avermelhado-escuro (10 YR 4/6).

Em decorrência dos elevados teores de areia, não há organização estrutural definida ou, quando existente, é representada por estrutura subangular fraca. A consistência é também muito friável, não plástica e não pegajosa.

d) Descrição da Paisagem

Estes solos ocorrem no quadrante centro-nordeste da área, mais precisamente nas proximidades de Analândia, ocupando relevo suave ondulado de topo de colina, porém, apresentam declives relativamente acentuados, de 7 a 9%.

A vegetação natural preservada em algumas áreas, é representada pelo cerrado; e a ocupação atual, principalmente por reflorestamento e pastagem, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Vista panorâmica da paisagem da área ocupada pelas Areias Quartzosas (AQ).

3.2.5 - UNIDADE COQUEIRO (LV2)

a) Classificação

Latossolo Vermelho-Amarelo álico, A moderado, textura média relevo suave ondulado.

Quartzipsammentic Haplorthox e Typic Haplorthox (USA) .

b) Conceito da Unidade

Além das características diferenciais comuns ao Latossolo Vermelho-Amarelo, esta unidade apresenta:

- Horizonte A fraco ou moderado;

- textura média no horizonte B, com teor de argila inferior a 20% ou, se entre 20 e 25%, predominância de areia grossa;
- caráter álico ou distrófico;
- ausência de acréscimo escalonado de argila entre os horizontes A_1 , A_3 , B_1 e B_2 ;
- horizonte B apédico ou com estrutura subangular fraca;
- ausência de mosqueamento a menos de 100 cm;
- cor 7,5 YR ou mais vermelha.

c) Características Morfológicas

- . *Horizonte A* - Representado pelos sub-horizontes A_1 ou A_p e A_3 . A espessura raramente atinge 40 cm, sendo a textura mais comum a areno-barrenta. A cor predominante no horizonte superficial é a bruno-avermelhada-escura centrada no matiz 5 YR e na relação valor/croma 3/4. Ocorrem também, cores ligeiramente mais escuras (7,5 YR 3/2, 3/3) ou mais claras (10 YR 5/3). O horizonte A_3 apresenta, em geral, o mesmo matiz do horizonte superior, porém, com croma e/ou valor meia ou no máximo uma unidade mais clara.

A estrutura nas áreas sob vegetação original é granular pequena e fraca, porém, sob pastagem chega a moderada. Nas áreas agricultadas torna-se difícil definir a estrutura devido à desorganização estrutural da massa do solo. A estrutura mais comum do A_3 é subangular média fraca, ocorrendo também subangular pequena e fraca. A consistência da amostra úmi

da é friável ou muito friável e a da amostra molhada, não plástica e não pegajosa.

- . *Horizonte B* - Divide-se em B_1 e B_2 , podendo este último ser subdividido em B_{21} , B_{22} , B_{23} , ..., sendo a subdivisão do B_2 comumente hipotética, dada sua grande homogeneidade vertical.

Nesta unidade também não foi observada a presença de horizonte B_3 , até à profundidade considerada no levantamento. No perfil coletado, a homogeneidade vertical, verificada a partir do horizonte B, não permitiu, pelo menos até a profundidade de 300 cm, identificar outro horizonte além de um B_2 .

O horizonte B apresenta pequena diferenciação entre os sub-horizontes, sendo que no B_2 a cor bruno-escura, centrada na notação 5 YR 4/4, é a mais comum. Ocorrem, contudo, solos com cores mais amareladas (7,5 YR) ou mais avermelhadas, chegando até 4 YR. O B_1 apresenta cor semelhante ou ligeiramente mais escura, porém, dificilmente diferenciada na tabela Munsell.

Devido ao teor de argila relativamente baixo, a estrutura é em geral pouca desenvolvida, sendo representada comumente pela estrutura subangular média e fraca ou pelo caráter apédico.

A consistência da amostra úmida é friável ou muito friável e a da amostra molhada, não plástica e não pegajosa ou ligeiramente plástica a ligeiramente pegajosa, quando o teor de argila é superior a 20%.

d) Descrição da Paisagem

A ocorrência desta unidade é na porção nordeste da área. Nessa área ela se encontra em relevo suave ondulado, com declives que variam de 5 a 7%.

A vegetação original predominante são o cerrado e o cerradão. Devido às sérias restrições que apresentam quanto à fertilidade e retenção de umidade, tais solos são ainda pouco explorados, estando a maior parte ocupada com vegetação natural ou com pastagem e reflorestamento, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Vista panorâmica da paisagem da área ocupada pelo Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (LV2).

3.3 - FOTOGRAFIAS AÉREAS E FOTOÍNDICE

Para a extração dos parâmetros de drenagem foram analisadas neste trabalho, fotografias aéreas pancromáticas verticais, obtidas entre julho e agosto de 1978 pela TERRAFOTO S/A, para a Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo (SEPLAN), apresentando as seguintes características:

- Formato: 23 cm x 23 cm;
- Escala aproximada: 1:35.000;
- Base: papel fotográfico preto-e-branco;
- Recobrimento: longitudinal 60% e lateral 30%;
- Período de recobrimento: 09.07.78 a 26.08.78;
- Área coberta por fotografia: 6.480 ha.

Para auxiliar a seleção das fotografias aéreas referentes a cada área de interesse, foi utilizado o fotoíndice na escala 1:100.000, referente ao mencionado recobrimento da TERRAFOTO S.A.

3.4 - IMAGENS LANDSAT

O sistema LANDSAT, inicialmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite), pode ser melhor consultado nos trabalhos da NASA (1976), GARCIA (1979), KOFFLER (1982b) e ALMEIDA FILHO (1982).

O principal objetivo da missão LANDSAT é o desenvolvimento de tecnologia para levantamento de recursos naturais, a partir de plataformas orbitais, incluindo a seleção de parâmetros espaciais, espectrais e radiométricos.

No programa LANDSAT o primeiro satélite foi lançado em julho de 1972, o LANDSAT-2 foi lançado em julho de 1975, o LANDSAT-3 em abril de 1978, estando em funcionamento o LANDSAT-4, lançado em Julho de 1982 e o LANDSAT-5 lançado em março de 1984, sendo que o LANDSAT-4 opera somente o sistema MSS ao passo que o LANDSAT-5 opera tanto o MSS como o TM (Mapeador Temático), o qual apresenta inovações significativas, com 7 canais e resolução de 30 metros (contra 4 canais e resolução de 80 metros do imageador multiespectral MSS), órbita a 705 km de altitude e repetitividade de 16 dias.

Os satélites LANDSAT foram lançados em órbita polar inclinada 99° em relação ao equador e a uma altitude média de 915 km. A cada 103 minutos é completada uma órbita em torno da Terra, cruzando o equador de norte para sul, aproximadamente às 9:30 horas (hora local). Desse modo são completadas 14 órbitas por dia, espaçadas entre si de 2.760 km, em função do movimento de rotação da Terra. A 15ª órbita, no dia seguinte, é contígua à 1ª órbita do dia anterior, com cobertura lateral de 14% no equador aumentando gradativamente com a latitude. Nesse processo, uma cobertura total da Terra é concluída a cada 18 dias para os 3 primeiros satélites.

O plano da órbita do LANDSAT é síncrono com o Sol, de modo a permitir a repetitividade das condições de iluminação durante o movimento de translação da Terra. Isto não significa, no entanto, que os ângulos de iluminação solar (elevação e azimuth) sejam os mesmos em todas as imagens obtidas ao longo de uma órbita, pois que estes variam com a latitude e a estação do ano, para um mesmo horário.

Os satélites LANDSAT 1, 2 e 3 foram equipados com dois tipos de sensores: o MSS (Multispectral Scanner System) e RBV (Return Beam Vidicon).

O MSS coleta informações através de um espelho oscilante (Figura 7) que varre a superfície da Terra, com movimentos perpendiculares à órbita do satélite. A radiação coletada pelo espelho antes de atingir os detectores passa por um sistema de filtros óticos onde é decomposta nos diferentes comprimentos de onda que constituem os canais do MSS.

O imageador multiespectral (MSS) obtém a imagem da superfície da Terra em quatro bandas espectrais, simultaneamente:

- canal 4: 0,5 a 0,6 μm (verde-laranja)
- canal 5: 0,6 a 0,7 μm (laranja-vermelho)
- canal 6: 0,7 a 0,8 μm (vermelho-infravermelho próximo)
- canal 7: 0,8 a 1,1 μm (infravermelho próximo)

O sistema RBV funciona à semelhança de uma televisão convencional. Quando o obturador da câmara é aberto, a radiação refletida pela superfície terrestre é focalizada sobre uma tela fotossensível, que então se ioniza. Um feixe de eletrons é emitido, varrendo toda a tela e, ao rentornar, indica as minúsculas variações de voltagens sobre ela, que amplificadas compõem a imagem do terreno. Os satélites LANDSAT 1 e 2 foram equipados com três sistemas RBV multiespectrais, que apresentaram constantes problemas técnicos. No LANDSAT 3 o conjunto RBV foi modificado para duas câmaras na faixa de 0,505 - 0,750 μm e com resolução espacial de 40 metros.

A duplicação da distância focal do sistema ótico para melhorar a resolução espacial, implicou na diminuição da área coberta no terreno, equivalente a uma superfície de 98 km x 98 km, contra os 185 km x 185 km, para o MSS.

Figura 7 - Esquema da varredura do imageador multiespectral do LANDSAT (NASA, 1976).

Para a execução do Mapa das Unidades Fisiográficas, que foi o documento básico da presente pesquisa, foram utilizadas as imagens LANDSAT-2 e de Radar, cujas principais características estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das imagens LANDSAT e de Radar Utilizadas.

TIPO DE APRESENTAÇÃO	SENSOR	ESCALA	DATA DA PASSAGEM	ÂNGULO DE ELEVAÇÃO SOLAR	FAIXA ESPECTRAL
Cópia em Papel P/B	MSS	1:250.000	01.07.1977	26°	0,6 a 0,7 μm
Cópia em Papel P/B	MSS	1:250.000	01.07.1977	26°	0,8 a 1,1 μm
Cópia em Papel P/B	RBV	1:250.000	12.06.1979	30°	0,505 a 0,750 μm
Cópia em Papel P/B	Radar	1:250.000	1976	—	Banda X

3.5 - IMAGENS DE RADAR

O sistema de radar encontra-se bem caracterizado em GARCIA (1979) e AMARAL (1982). O Radar de Visada Lateral (RVL) é um sistema de sensoriamento remoto ativo, ou seja, que possui sua própria fonte de radiação eletromagnética. Ele registra as características de difusão de ondas de radiofrequência pelos materiais da superfície da Terra, sob a forma de imagem. Estes sistemas podem operar num amplo intervalo de comprimento de onda, muito embora os sistemas disponíveis atualmente estejam restritos à região das microondas.

Na região das microondas, três bandas ou intervalos espectrais são utilizados para sistemas RVL. Essas bandas são denominadas K, X, L e correspondem a comprimentos de onda, respectivamente, de cerca de 1,4; 3 e 25 cm. As frequên

cias respectivamente são 22; 10 e 1,5 GHz. Nessas frequências a atmosfera apresenta elevada transmitância.

Como o RVL é um sistema ativo, não é afetado por variações diurnas na radiação emitida ou refletida pela superfície do terreno. Além disso, na faixa do espectro em que operam os sistemas de radar, não há difusão pelas nuvens ou neblina. Desta maneira, os sistemas RVL podem operar à noite e através de nuvens. Este foi o motivo pelo qual a Amazônia Legal foi coberta pelo radar, face à alta ocorrência de nuvens.

Os sistemas RVL obtêm informações pelo registro das amplitudes dos ecos, ângulos e distâncias aos objetos imageados. Esses fatores são utilizados para a construção das imagens, muito embora apenas o primeiro forneça informação relativa às características dos alvos.

A amplitude do sinal de retorno é função de diversas variáveis, tais como, rugosidade superficial (micro-relevo), geometria da superfície (macro-relevo), propriedades elétricas do alvo (condutividade), comprimento de onda, polarização, amplitude do sinal enviado, efeitos de subsuperfície, autoemissão, ecos espúrios, etc. Devido a isso, as tonalidades nas imagens são geralmente difíceis de interpretar em termos de diferenças entre os materiais superficiais. Como a rugosidade e a geometria da superfície são os parâmetros mais importantes, as imagens RVL são particularmente adequadas a análise geomorfológica. Sistemas operando em diferentes frequências e polarizações fornecem informações adicionais para a discriminação entre alvos.

Para a elaboração do mapa de unidades fisiográficas, DONZELI et alii (1983) utilizaram um mosaico de radar folha SF.23-Y.A, o qual cobre uma área retangular de 1º de la

titude por $1^{\circ}30'$ de longitude, obtido em 1976 pelo RVL tipo abertura sintética, atuando na banda X de comprimento de onda e possuindo uma resolução teórica de aproximadamente 25 metros.

3.6 - ESTEREOSCÓPIO

Para observação e extração da rede de drenagem nos pares estereoscópicos empregou-se o estereoscópio de espelhos marca WILD modelo ST 4.

3.7 - EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO E DESENHO

Foram utilizados equipamentos convencionais de medição e desenho, como régua graduada, curvímetro, transferidor, compasso.

3.8 - MAPAS

Para a identificação de acidentes geográficos e ajuste das fotografias aéreas, bem como para precisar os limites ocupados pelas amostras circulares para a obtenção dos parâmetros do relevo, foram utilizados os mapas topográficos produzidos pela Fundação IBGE:

- Escala 1:250.000 - Folha de Campinas, edição de 1975;
- Escala 1:50.000 - Folha de São Carlos, edição de 1971;
Folha de Corumbataí, edição de 1971;
Folha de Itirapina, edição de 1969;
Folha de Rio Claro, edição de 1969;

Como material de apoio para a escolha das áreas de ocorrência dos diferentes solos analisados no presente tra

balho, utilizou-se o mapa de unidades fisiográficas obtido a través da interpretação conjunta de imagens orbitais LANDSAT e mosaicos semicontrolados de Radar (DONZELI *et alii*, (1983), 'ilustrado na Figura 8.

Para um melhor ajuste de limites da distribuição geográfica dos solos analisados e descrição das unidades pedológicas, foi utilizado o levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo (Quadrícula de São Carlos), realizado por PRADO *et alii*, (1981).

3.9 - ESCOLHA DAS UNIDADES FISIAGRÁFICAS REPRESENTATIVAS DAS UNIDADES DE SOLO.

O mapa de unidades fisiográficas (Figura 8), utilizado como base para seleção das áreas dos diferentes solos estudados, foi extraído de DONZELI *et alii* (1983). Este mapa resultou de um estudo cujo objetivo foi testar a eficiência 'da utilização conjunta de três produtos fotográficos de pequena escala (1:250.000), que foram as imagens do Multispectral 'Scanner System (MSS/LANDSAT), Return Beam Vidicon (RBV/ LANDSAT) e os mosaicos semicontrolados de radar (Projeto RADAMBRASIL).

Com o apoio nos critérios de fotointerpretação 'considerados menos passíveis de subjetividade (relevo, drenagem, textura fotográfica e tonalidade), foi realizada uma fotointerpretação preliminar da área de estudo, procurando - se individualizar as unidades de paisagem (unidades fisiográficas) que apresentassem a maior homogeneidade possível quanto àqueles critérios utilizados.

Posteriormente, sobre o mapa básico foi distribuida uma malha de pontos, para observação quanto ao tipo de solo existente, com uma densidade de 1 ponto a cada 7,5 Km².

LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO DE RECONHECIMENTO COM DETALHE

ADAPTADO DO LEV. PEDOLÓGICO SEMI-DETALHADO
DE PRADO, H. OLIVEIRA J. B. E ALMEIDA C. L. F. (1981)

ESCALA

1: 250 000

0 5 10 km
1981

CONVENÇÕES

Cidade

Rodovia

Drainagem

Limites do Mapa de Solos

Limites das Unidades Fisiográficas

LEGENDA

LATOSSOLO ROXO

LRe Eutrófico, A moderado. Unidade Ribeirão Preto. (Typic Eutrorthox)
LRd Distrófico, A moderado. Unidade Barão Geraldo. (Typic Haplorthox e Haplic Acrorthox)

LATOSSOLO VERMELHO ESCURO

LE-1 Álico, A moderado, textura argilosa. Unidade Limeira. (Typic Haplorthox e Typic Umbriorthox)

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO

LV-1 Álico, A moderado, textura média. Unidade São Lucas. (Quartzipsammentic Haplorthox)
LV-2 Álico, A moderado, textura média. Unidade Coqueiro. (Quartzipsammentic Haplorthox e Typic Haplorthox)
LV-3 Álico, A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda. (Typic Haplorthox)
LV-5 Álico, A moderado, textura argilosa ou média. Unidade Canchin. (Typic Haplorthox e Haplic Acrorthox)
LV-6 Álico, A proeminente, textura muito argilosa ou argilosa. Unidade Ipororó. (Typic Haplorthox e Typic Umbriorthox)

PODZÓLICO VERMELHO AMARELO

PV-1 Abruptico, álico, A moderado, textura média/argilosa. Unidade Santa Cruz. (Abruptic Paleudult)
PV-2 Abruptico, álico, A moderado, textura arenosa/média. Unidade Serrinha. (Arenic Abruptic Paleudult)
PV-6 Álico, A moderado, textura argilosa ou média/argilosa. Unidade Olaria. (Typic Paleudult)

TERRA ROXA ESTRUTURADA

TE-1 Eutrófico ou Distrófico, A moderado. Unidade Estruturada. (Rhodic Paleudalf e Rhodic Paleudult)

AREIAS QUARTZOSAS PROFUNDAS

AQ Areias quartzosas profundas, álicas, A moderado. (Typic Quartzipsamment)

SOLOS LITÓLICOS

LI-1 Eutróficos e Distróficos, A moderado, textura indisciplinada, substrato sedimentos finos do Permiano. (Typic Udorthent)
LI-2 Eutróficos e Distróficos, A moderado, textura indisciplinada, substrato arenoso Botucatu-Pirambóia. (Typic Udorthent)
LI-3 Eutróficos, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa, substrato basalto ou diabásio. (Lithic Udorthent, Typic Udorthent e Lithic Hapludoll)

SOLOS HIDROMÓRFICOS

HI Gleis pouco húmido e Gleis com ou sem solo orgânico

SOLOS CONCRECIONÁRIOS

PI Plintossolos Concrecionários, A moderado ou proeminente, textura argilosa. (Plintic Acrorthox?)

FIG. 8 — MAPA DE UNIDADES FISIográficas OBTIDO ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO CONJUNTA DAS IMAGENS MSS-RBV/LANDSAT E MOSAICOS DE RADAR NA ESCALA 1:250.000.

SOBREPOSTO AO LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO DE RECONHECIMENTO COM DETALHE ADAPTADO DE PRADO ET ALII (1981)

FONTE — DONZELLI ET ALII (1983)

Com apoionestas informações, foram reajustados os limites das unidades fisiográficas para os diferentes solos encontrados, sendo o mapa final comparado com o levantamento de solos da quadrícula de São Carlos executado por PRADO *et alii* (1981), em dois níveis de mapeamento: Semi-Detalhe e Reconhecimento com Detalhe. Pelos resultados obtidos, DONZELI *et alii* (1983) demonstraram melhor concordância (80,5%) para o nível de Reconhecimento com Detalhe.

Face ao exposto, verifica-se que toda a metodologia utilizada fundamenta-se em características qualitativas dos diferentes produtos fotográficos, dentro desta linha de raciocínio é que se procurou dar continuidade ao trabalho, quantificando as características dimensionais da drenagem e do relevo obtidos através das fotografias aéreas e cartas topográficas, procurando-se com auxílio de determinados índices de drenagem e do relevo, verificar sua contribuição na diferenciação dos solos estudados, bem como suas relações fotointerpretativas com as imagens de pequena escala.

Com base no mapa de unidades fisiográficas (Figura 8); obtido conforme DONZELI *et alii*(1983), foram selecionadas as unidades fisiográficas de dimensões expressivas para aqueles solos a serem analisados e que correspondem às seguintes unidades:

- . Unidade fisiográfica 44 (Latossolo Roxo eutrófico-LRe)
- . Unidade fisiográfica 28 (Podzólico Vermelho - Amarelo
textura arenosa/média-PV2)

- . Unidade fisiográfica 02 (Latossolo Vermelho-Amarelo tex
tura argilosa ou média - LV5)
- . Unidade fisiográfica 18 (Areias Quartzosas - AQ)
- . Unidade fisiográfica 05 (Latossolo Vermelho-Amarelo tex
tura média - LV2)

A escolha das fotos aéreas referentes a cada uma das unidades de solo, contidas nas unidades fisiográficas, foi efetuada utilizando-se o fotoíndice na escala 1:100.000 e o levantamento pedológico semidetalhado, na escala 1:100.000 conforme PRADO *et alii* (1981); para maior precisão na seleção do material optou-se por uma compatibilização de escala do mapa de unidades fisiográficas.

Posteriormente, seguindo o método de pesquisa lôgica sugerido por RABBEN (1960), foram escolhidas as fotografias aéreas representativas das unidades de solo de interesse dentro dos limites das unidades fisiográficas, para serem analisadas mais detalhadamente.

3.10 - OBTENÇÃO DOS MAPAS BÁSICOS DE DRENAGEM

Através de exame estereoscópico das fotografias aéreas, foram traçados sobre papel poliéster estático todos os canais de drenagem bem definidos, quer fossem de cursos d'água perenes ou temporários, conforme sugerem STRAHLER (1957), LUEDER (1959) e RAY (1963). Os conjuntos de templetos, contendo o traçado da rede de drenagem para cada unidade de solo, foram montados através da utilização da área útil das fotografias, para assim, eliminar em grande parte as distorções de escala, que normalmente ocorrem nas bordas das fotografias aéreas. Como produto final, resultaram os mapas básicos de drenagem, sobre os quais foram selecionadas as amostras circulares com

área de 10 km², para obtenção das características dimensionais da drenagem, conforme KOFFLER (1976a).

As amostras circulares de drenagem foram selecionadas conforme a observação de CARVALHO (1977), as quais devem atingir as partes mais elevadas do relevo, onde se situam os canais de cabeceiras, porque representam melhor as condições hidrológicas do perfil do solo.

3.11 - CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS DA REDE DE DRENAGEM

A determinação de índices quantitativos da rede de drenagem possibilita o estabelecimento de inferências de natureza diversa e evita a subjetividade das características puramente descritivas.

Assim sendo, os elementos da rede de drenagem selecionados para análise ficaram restritos àqueles disponíveis em amostras circulares, conforme método desenvolvido por RAY e FISCHER (1960) e introduzido no estudo de solos por FRANÇA (1968). Assim, foram selecionados os índices de drenagem considerados dentre os mais satisfatórios no estudo de solos, conforme KOFFLER (1976a) e GARCIA *et alii* (1979). Os índices da rede de drenagem selecionados foram:

- 1) *Densidade de drenagem*: seguindo adaptação da fórmula de HORTON (1945) por RAY e FISCHER (1960):

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

onde L_t é o comprimento total de rios (em km) e A é a área da mostra circular (em km²).

- 2) *Frequência de rios*: conforme adaptação da fórmula de HORTON (1945) por SOUZA (1975)

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

onde N é o número total de rios e A é a área da amostra circular (em km²).

- 3) *Comprimento médio*: adaptado para o estudo de solos por FRANÇA (1968), da concepção original de RAY e FISCHER (1960) para estudos geológicos.

$$Lm = \frac{Lt}{N}$$

onde Lt é o comprimento total de rios (em km) e N é o número total de rios da amostra circular.

Como as dimensões das unidades fisiográficas fossem diferentes para cada unidade de solo, procurou-se levantar o maior número possível de amostras circulares, respeitando-se os limites ocupados pelas diferentes unidades fisiográficas.

Assim, o número de amostras circulares variou de 4 a 8 repetições, para os solos analisados.

3.12 - CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS DO RELEVO

Os dados morfométricos do relevo foram obtidos sobre as amostras circulares de 10 km² selecionadas para estudo da drenagem, tendo-se por base a representatividade do relevo para as unidades de solo em análise. Os parâmetros do relevo, foram selecionados conforme CURTIS *et alli* (1965), EVANS

(1972), Vadnais citado por WONG *et alii* (1977) e PINTO (1983). Assim, as amostras circulares de 10 km², demarcadas sobre as fotografias aéreas na escala 1:35.000 para quantificar os parâmetros da drenagem, foram transferidas nas devidas proporções para as cartas topográficas 1:50.000, sobre as quais foram avaliados quantitativamente os três elementos do relevo, quais sejam: a declividade média (Dm) o relevo local médio (Rl) e o comprimento médio da vertente (Cv).

A análise quantitativa dos parâmetros do relevo, foi realizada com o intuito de verificar a contribuição destes na diferenciação de solos e a interação dos mesmos quando registrados em imagens de pequena escala.

A declividade média (Dm) foi obtida segundo o método adaptado de WENTWORTH (1930), o qual foi utilizado por Peltier, citado por WONG *et alii* (1977), com resultados satisfatórios; e conforme KOFFLER (1982a), que sugere este método para amostragem circular por apresentar valores consistentes e de mais rápida aplicação que o de STRAHLER (1956), mais preciso.

O método adaptado de WENTWORTH (1930) para o cálculo da declividade média baseia-se no número de curvas de nível interceptadas por linhas dispostas nas direções Norte-Sul, Leste-Oeste, Noroeste-Sudeste e Nordeste-Sudoeste, dentro da amostra circular transferida para carta topográfica, conforme Figura 9. O cálculo da declividade média (Dm) é dado pela fórmula:

$$Dm = \frac{EN}{636,6}$$

onde E é a equidistância das curvas de nível em metros; N é o número médio de curvas interceptadas por quilômetro; e 636,6 é

uma constante gerada pela transformação da fórmula original (em milhas) para metros.

Figura 9 - Modelo da amostragem adaptada por KOFFLER (1982a).

O segundo elemento medido foi o relevo local médio, o qual conforme GARCIA (1982) é obtido pela diferença entre a mais alta e a mais baixa elevação da área. Este é um parâmetro útil, pois oferece um índice para a irregularidade topográfica da área.

Este índice foi obtido para cada amostra circular de 10 km² sobre as cartas topográficas na escala 1:50.000, para uma maior representatividade foi considerada a média das leituras possíveis de serem realizadas dentro de cada amostra.

O critério utilizado consiste em quantificar as diferenças entre os pontos de cotas mais altas e a cota das curvas de nível mais próximas do canal de drenagem, conforme Figura 10. Após transformação, o valor é expresso em metros.

Figura 10 - Representação esquemática do sistema de leitura do relevo local médio.

O terceiro elemento do relevo é o comprimento médio da vertente (C_v) que, conforme o Soil Conservation Service (1948), influencia o processo de erosão dos solos, uma vez que a velocidade de escoamento superficial da água pluvial aumenta com o comprimento da vertente, aspectos estes também considerados por TOY (1977) e QUEIROZ NETO (1978).

O comprimento médio da vertente foi obtido conforme procedimento de NOVO (1983) e PINTO (1983), o qual consiste em medir, com auxílio de uma escala graduada, a distância entre os pontos de cotas mais elevadas e o canal de drenagem; e por cálculo obtém-se o comprimento da vertente em metros, conforme Figura 11.

Estas medidas do comprimento das vertentes foram feitas para todas as amostras circulares delineadas nas cartas topográficas 1:50.000; para uma maior representatividade dos dados, determinou-se a média das leituras possíveis de serem realizadas em cada amostra circular de 10 km².

Figura 11 - Representação esquemática da forma de leitura do comprimento médio da vertente.

3.13 - CONTROLE DE CAMPO

Foi realizado um trabalho de campo, para verificar se as amostras circulares selecionadas sobre as fotografias aéreas eram representativas dos solos de interesse.

Assim, o controle de campo consistiu em percorrer o domínio das áreas limitadas pelas amostras circulares para uma verificação expedita dos solos nelas existentes (conforme PRADO *et alii*, 1981).

Durante a verificação de campo foi possível observar que a maioria das amostras estavam corretamente concordes com os solos em estudo; e aquelas que apresentaram alguma inclusão expressiva tiveram seus limites corrigidos.

3.14 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos para os parâmetros da drenagem e do relevo foram submetidos ao tratamento estatístico, para verificação da significância dos mesmos na diferenciação de solos.

A análise dos dados foi conduzida utilizando-se da estatística paramétrica, isto porque, quando as exigências dos testes paramétricos são cumpridas a estatística paramétrica é mais informativa. Outra razão para a opção de análise dos dados através da estatística paramétrica e não pela estatística não-paramétrica, foi devida às próprias restrições da estatística não-paramétrica, a qual segundo CAMPOS (1983), a estatística não paramétrica não leva em consideração a magnitude dos dados e sim sua ordenação; em geral não permite testar interações, salvo sob condições especiais sobre aditividade o que restringe o seu uso em modelos mais complicados, além da obtenção, utilização e interpretação das tabelas serem, em geral mais complexas.

Para a aplicação da análise de variância na estatística paramétrica, certas condições são exigidas, quais sejam, a de que os dados devem apresentar distribuição normal e que apresentem homogeneidade de variância; no presente estudo estas condições foram verificadas através de testes específicos.

Para maior clareza da abordagem estatística utilizada no presente trabalho, serão apresentadas as etapas realizadas, bem como, os fundamentos teóricos dos testes estatísticos aplicados no tratamento dos dados.

A verificação da normalidade dos dados para os parâmetros da drenagem (densidade de drenagem, frequência de rios, comprimento médio de rios) e do relevo (declividade média, relevo local médio, comprimento médio da vertente), foram individualmente submetidos ao teste de Lilliefors; o qual, segundo CAMPOS (1983), pode ser utilizado para se testar a normalidade dos dados quando a média e a variância populacional destes não são disponíveis.

Desta forma, a média e a variância são estimadas através dos dados da amostra, da seguinte maneira:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

e

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

De posse destes valores, obtém-se a variável reduzida:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$$

O passo seguinte é determinar o $F(z_i)$, que é a frequência acumulada da variável reduzida, a qual é obtida pela tabela da distribuição normal reduzida, encontrada em CAMPOS (1983) página 263.

Os valores de $S(z_i)$, que é a frequência acumulada observada, é determinada pela fórmula:

$$s_i = \frac{K_i}{n}$$

onde K_i representa o somatório das observações até a classe i e n o número total de amostras.

A seguir é determinado o valor absoluto de $|F(Z) - S(Z)|$, o qual corresponde ao valor da maior diferença das frequências e que representa a maior distância em relação ao eixo da curva de distribuição normal. Assim sendo, tem-se:

$$D \text{ Sup } | F(Z) - S(Z) | = \text{distância tabelada}$$

Este valor encontrado é comparado com os limites superiores para o teste de Lilliefors, encontrados em CAMPOS (1983) na Tabela 6, página 289.

Se o valor de $D \text{ Sup}$ é menor que o limite superior da referida tabela 6 para α fixado, conclui-se que a amostra foi retirada de uma população que se aproxima da distribuição normal.

Cumpra observar que, muitas vezes, a amostra sabidamente não tem distribuição normal, mas pode-se verificar, através do teste de normalidade, se seria razoável estudar os dados através da distribuição normal, admitida como não discrepante da verdadeira distribuição que é desconhecida; isto é, as diferenças entre a função de distribuição normal e a verdadeira função de distribuição são insignificantes e, consequentemente, não detectáveis.

Em outras palavras, a aceitação da hipótese H_0 não significa que a distribuição padrão seja normal, mas apenas indica que esta é uma razoável aproximação da distribuição desconhecida.

Sendo verificado que os dados não diferem da distribuição normal pelo teste de Lilliefors, o passo seguinte é verificar a homogeneidade de variância.

Quando se tem três ou mais amostras e se calcula a variância para cada amostra, então pode-se testar a hipótese de que todas as amostras são obtidas de populações com variâncias idênticas. Isto pode ser escrito assim:

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_K$$

onde K é o número de amostras.

O método mais comumente empregado para testar a homogeneidade de variância é o teste de Barlett e, segundo ZAR (1978), a estatística aplicada é determinada pela seguinte fórmula:

$$B = (\ell_n s_p^2) \left(\sum_{i=1}^k v_i \right) - \sum_{i=1}^k v_i \ell_n s_i^2$$

onde $v_i = n_i - 1$, sendo n_i o tamanho da amostra.

A variância média s_p^2 é calculada assim:

$$s_p^2 = \sum_{i=1}^k SQ / \sum_{i=1}^k v_i$$

Muitos pesquisadores preferem operar com o logaritmo (base 10) ao invés do logaritmo neperiano e a equação fica:

$$B = 2,30259 \left[\left(\log s_p^2 \right) \left(\sum_{i=1}^k v_i \right) - \sum_{i=1}^k v_i \log s_i^2 \right]$$

A distribuição de B aproxima-se da distribuição do Qui-quadrado, com $K-1$ graus de liberdade, mas a estimativa mais precisa do Qui-quadrado é obtida através do fator de correção, onde:

$$C = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{v_i} - \frac{1}{\sum_{i=1}^k v_i} \right)$$

Desta forma tem-se o valor de Bc corrigido, onde:

$$B_c = \frac{B}{C} = \text{probabilidade limiar}$$

Para a verificação da hipótese H_0 , o valor encontrado Bc é comparado com os valores de $\chi^2(\alpha, n)$ tabelado.

Os valores de Bc menores que o tabelado para $\chi^2(\alpha, n)$ vem provar a aceitação de H_0 , ou seja, não rejeita a hipótese H_0 , ficando provado que as variâncias são homogêneas.

Tendo sido verificado que os dados não diferem da distribuição normal pelo teste de Lilliefors e as variâncias dos mesmos são homogêneas pelo teste de Barlett, foi aplicada a análise de variância; e uma vez comprovada a sua significância, o teste de Newman-Keuls foi utilizado para verificar quais os parâmetros da drenagem e do relevo que contribuem para a diferenciação dos cinco solos analisados.

A razão da escolha deste teste em relação ao de Tukey é que, segundo GOMES (1970), no caso de tratamentos com número diferente de repetições, como no presente estudo, o teste de Tukey é apenas aproximado e, conforme ZAR (1978), não é tão eficiente quanto o de Newman-Keuls.

O teste de Newman-Keuls, segundo ZAR (1978), considera a hipótese nula:

$$H_0 = \mu_B = \mu_A \text{ versus } H_S : \mu_B \neq \mu_A$$

a qual representa qualquer par possível de tratamentos.

Para K tratamentos, $K(K - 1)/2$ diferentes pares de comparação podem ser feitos.

O primeiro passo para análise é a ordenação das médias dos tratamentos em ordem crescente. Então as diferenças dos pares das comparações $\bar{X}_B - \bar{X}_A$ são tabuladas. O próprio procedimento consiste em se comparar a maior média com a menor delas, a maior contra a segunda menor e assim por diante. Por exemplo, para uma ordenação de 5 médias em ordem crescente $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5$, a sequência de comparação é a seguinte: $\bar{x}_5$ (primeira maior) versus $\bar{x}_1$ (primeira menor), ou seja $\bar{x}_5$ vs $\bar{x}_1$; $\bar{x}_5$ vs $\bar{x}_2$; $\bar{x}_5$ vs $\bar{x}_3$; $\bar{x}_5$ vs $\bar{x}_4$; $\bar{x}_4$ vs $\bar{x}_1$; $\bar{x}_4$ vs $\bar{x}_2$; $\bar{x}_4$ vs $\bar{x}_3$; $\bar{x}_3$ vs $\bar{x}_1$; $\bar{x}_3$ vs $\bar{x}_2$; $\bar{x}_2$ vs $\bar{x}_1$.

O erro padrão EP é calculado por:

$$EP = \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

onde s é o quadrado médio do erro da análise de variância, e n é o número de dados para os tratamentos A e B. Se o número de repetições para os tratamentos A e B são diferentes, uma ligeira modificação para o cálculo do erro padrão é necessária, ficando:

$$EP = \sqrt{\frac{s^2}{n} \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)}$$

A seguir é calculado o valor de q , o qual expressa a diferença entre duas médias comparadas dividida pelo erro padrão EP, ou seja:

$$q = \frac{\bar{X}_B - \bar{X}_A}{EP}$$

O próximo passo consiste em se determinar p , que representa o número de médias na ordenação das médias testadas. Por exemplo, para comparar as médias $\bar{x}_5$ e $\bar{x}_1$, deve-se considerar uma variação de cinco médias, logo $p = 5$; para testar a média 5 versus a média 2, ter-se-á $p = 4$ etc.

Neste teste são utilizados valores conhecidos como "amplitude estudentizada" designada por $q(\alpha, v, p)$ cujos valores são obtidos em tabelas encontradas em ZAR (1978), nas páginas 451 a 466. Os valores de q são dependentes de α a ser escolhido; o valor v que representa o grau de liberdade do erro dado pela análise de variância e p o número de médias na ordenação das médias comparadas.

Assim sendo, se o valor de q calculado é igual ou maior que o valor q crítico ou tabelado $q(\alpha, v, p)$ então $H_0: \mu_B = \mu_A$ é rejeitado, demonstrando assim que existe diferenças entre as médias dos tratamentos comparados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na realização do presente estudo são apresentados e discutidos a seguir.

4.1 - AMOSTRAS CIRCULARES REPRESENTATIVAS DA DRENAGEM E DO RE-LEVO

Conforme menções anteriores, a premissa básica do presente estudo foi a de analisar, quantitativamente, alguns parâmetros da drenagem e do relevo com vistas à caracterização de diferentes tipos de solos, bem como discutir, qualitativamente, as relações fotointerpretativas desses parâmetros com as imagens fotográficas de pequena escala.

Com base em trabalhos anteriores, como os de KOFFLER (1976b), VALÉRIO FILHO *et alii* (1976) e GARCIA (1979), procurou-se na fase inicial deste estudo, extrair diretamente das imagens MSS-RBV/LANDSAT e mosaicos de radar, os parâmetros da drenagem contidos nas distintas unidades fisiográficas mapeadas através da utilização dos mencionados produtos fotográficos, para os diferentes solos estudados.

Este procedimento demonstrou uma baixa representatividade dos índices de drenagem para os solos em análise, aspectos semelhantes aos verificados por BARR e MILLES (1970),

KOFFLER (1976b), TOWNSHEND *et alii* (1979) e EPIPHANIO *et alii* (1983), os quais argumentam sobre a pouca consistência dos dados de drenagem, obtidos diretamente das imagens de pequena escala, o que limita seu uso para fins quantitativos, como os tendidos no presente estudo. Assim, optou-se pelo uso das fotografias aéreas na escala 1:35.000 para obtenção dos parâmetros da drenagem e pelas cartas topográficas na escala 1:50.000 para extração dos parâmetros do relevo. Este procedimento contribuiu para se obter uma maior representatividade desses parâmetros, conforme atestam RICCI e PETRI (1965), PHILIPS (1970), e WONG *et alii* (1977). Desta forma, foram obtidos dados que realmente caracterizam os solos estudados e que são passíveis de análise quantitativa sobre a significância dos aspectos fotointerpretativos das imagens de pequena escala.

As Figuras 1 a 28 do Apêndice ilustram as amostras circulares da drenagem obtidas pela interpretação das fotografias aéreas na escala 1:35.000, juntamente com as correspondentes amostras circulares extraídas das cartas topográficas 1:50.000, para obtenção dos parâmetros do relevo.

Pela sequência de figuras, pode-se perceber que o número de amostras variou de solo para solo, e isto foi devido ao fato de que alguns dos solos apresentavam maior expressão de área que outros, assim sendo, procurou-se levantar o maior número possível de amostras, respeitando-se os limites das respectivas unidades fisiográficas para cada unidade de solo estudado.

4.2 - CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS AMOSTRAS CIRCULARES DE DRENAGEM

Nas amostras circulares de 10 Km², representativas da drenagem das unidades de solo estudadas, foram determinados o comprimento total de rios e o número de rios para ca

da amostra, cujos dados são apresentados na Tabela 2. Nesta tabela são apresentados também os valores médios por grupamento de amostras para cada solo analisado.

Nos valores médios contidos nessa tabela, observa-se uma diferença evidente quanto ao comprimento total de rios entre o Solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média de referência S_2 e os Latossolos e Areias Quartzosas de referências S_1 , S_3 , S_4 , S_5 .

A mesma tendência é apresentada pelo número de rios, individualizando-se assim dois blocos, um deles constituído pelo solo de referência S_2 , e um outro bloco constituído pelos solos de referência S_1 , S_3 , S_4 e S_5 , aspectos estes que concordam com ESPÍNDOLA e GARCIA (1979).

Tal comportamento concorda também com as opiniões de LUEDER (1959) e FROST (1969), sobre o desenvolvimento do padrão de drenagem, em função das características diferenciais da capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos materiais presentes na área. Assim sendo, pelas próprias características morfológicas dos Solos Podzólicos, que determinam menor permeabilidade e infiltração, resulta uma rede de drenagem mais densa que as dos Latossolos e das Areias Quartzosas, por serem estes solos geralmente mais profundos e apresentarem maior permeabilidade e infiltração, concordando assim com ESPÍNDOLA e GARCIA (1978), os quais constataram menor amplitude de valores de densidade de drenagem nos solos B latossólicos.

4.3 - ANÁLISE QUANTITATIVA DOS PARÂMETROS DA DRENAGEM

Para verificação da eficiência dos índices de drenagem na discriminação dos solos estudados, os dados obti

dos de densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de rios, apresentados na Tabela 3, foram submetidos a teste de significância para serem tratados pela estatística paramétrica.

Tabela 2 - Características dimensionais das amostras circulares da drenagem, representativas das unidades de solo estudadas.

UNIDADES DE SOLO ESTUDADAS	AMOSTRAS CIRCULARES	COMPRIMENTO TOTAL DE RIOS (km)	NÚMERO DE RIOS
S ₁ - Latossolo Roxo eutrófico	a	9,80	9
	b	9,45	14
	c	9,70	11
	d	11,37	12
	Média do S ₁ ($\bar{x}$)	10,08 ± 0,43	11,50 ± 1,04
S ₂ - Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média	a	32,20	80
	b	30,80	86
	c	28,70	76
	d	39,80	134
	e	38,50	111
	f	32,20	87
	g	27,30	62
	h	26,25	65
	Média do S ₂ ($\bar{x}$)	31,96 ± 1,74	87,62 ± 8,51
S ₃ - Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média	a	10,85	11
	b	11,20	14
	c	7,70	9
	d	10,50	12
	Média do S ₃ ($\bar{x}$)	10,06 ± 0,80	11,50 ± 1,04
S ₄ - Areias Quartzosas	a	6,60	7
	b	6,90	8
	c	10,50	10
	d	9,80	8
	e	7,40	6
	f	10,50	12
	Média do S ₄ ($\bar{x}$)	8,61 ± 0,75	8,50 ± 0,88
S ₅ - Latossolo Vermelho-Amarelo textura média	a	7,00	12
	b	5,95	8
	c	6,30	9
	d	6,30	13
	e	7,10	7
	f	7,70	8
	Média do S ₅ ($\bar{x}$)	6,72 ± 0,26	9,50 ± 0,99

Tabela 3 - Características quantitativas dos parâmetros da drenagem para as amostras circulares representativas das unidades de solo estudadas.

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS	AMOSTRAS CIRCULARES	DENSIDADE DE DRENAGEM (Dc)	FREQUÊNCIA DE RIOS (Fc)	COMPRIMENTO MÉDIO DE RIOS (Lm)
S ₁ - Latossolo Roxo eutrófico	a	0,98	0,90	1,08
	b	0,94	1,40	0,67
	c	0,97	1,10	0,89
	d	1,13	1,20	0,94
	Média do S ₁ ($\bar{x}$)	1,00 $\pm$ 0,10	1,15 $\pm$ 0,25	0,89 $\pm$ 0,21
S ₂ - Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média	a	3,22	8,00	0,40
	b	3,08	8,60	0,36
	c	2,87	7,60	0,37
	d	3,99	13,40	0,30
	e	3,85	11,10	0,34
	f	3,22	8,70	0,37
	g	2,73	6,20	0,44
	h	2,65	6,50	0,40
	Média do S ₂ ($\bar{x}$)	3,20 $\pm$ 0,34	8,76 $\pm$ 1,69	0,37 $\pm$ 0,03
S ₃ - Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média	a	1,08	1,10	0,98
	b	1,12	1,40	0,80
	c	0,77	0,90	0,85
	d	1,05	1,20	0,86
	Média do S ₃ ($\bar{x}$)	1,00 $\pm$ 0,20	1,15 $\pm$ 0,25	0,87 $\pm$ 0,09
S ₄ - Areias Quartzosas	a	0,66	0,70	0,94
	b	0,69	0,80	0,86
	c	1,05	1,00	1,05
	d	0,98	0,80	1,22
	e	0,74	0,60	1,23
	f	1,05	1,20	0,87
	Média do S ₄ ($\bar{x}$)	0,86 $\pm$ 0,16	0,85 $\pm$ 0,19	1,02 $\pm$ 0,15
S ₅ - Latossolo Vermelho-Amarelo textura média	a	0,70	1,20	0,58
	b	0,59	0,80	0,74
	c	0,63	0,90	0,70
	d	0,63	1,30	0,48
	e	0,71	0,70	1,01
	f	0,77	0,80	1,03
	Média do S ₅ ($\bar{x}$)	0,67 $\pm$ 0,06	0,95 $\pm$ 0,21	0,75 $\pm$ 0,19

Os dados de drenagem, foram submetidos ao teste de Lilliefors conforme CAMPOS (1983), o qual tem por finalidade verificar se não diferem da distribuição normal. O resultado é apresentado na Tabela 4.

Pela Tabela 4, pode-se verificar que os valores calculados pelo referido teste, para os índices de drenagem dos cinco solos analisados, resultaram não significativos, o que demonstra que os dados obtidos não diferem da distribuição normal.

Como os dados de drenagem não diferem da distribuição normal, segundo CAMPOS (1983) o próximo procedimento foi o de submetê-los ao teste de Barlett, o qual tem por finalidade verificar a homogeneidade de variância dos dados obtidos. O resultado deste teste é apresentado na Tabela 5, na qual pode ser observado que os valores calculados foram significativos, isto é, os dados de densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de rios, para os cinco solos analisados, não apresentam homogeneidade de variância.

A causa desta heterogeneidade de variância, é devida aos valores de densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de rios apresentados pelo solo de referência S_2 , os quais são bem distintos quando comparados com os demais solos, conforme pode ser observado na Tabela 3. Segundo ESPINDOLA e GARCIA (1979), a explicação mais lógica para tais diferenças nestes solos, reside na variação da profundidade em função principalmente das características do relevo ondulado e pouco uniforme sob os quais esses solos se dispõem, e na frequente associação com solos rasos, o que afeta sensivelmente os valores dos índices da rede de drenagem. No entanto, nos latossolos os perfis não sofrem praticamente controle das rochas subjacentes, pela grande profundidade em que elas normalmente se encontram, além do relevo ser mais suave e homogêneo.

Tabela 4 - Síntese do teste de Lilliefors dos dados de drenagem para os cinco solos estudados.

SOLOS ESTUDADOS	VALORES TABELADOS $\alpha = 0.05$	D sup[F(z). - S(z)]		
		ÍNDICES DE DRENAGEM		
		DENSIDADE DE DRENAGEM	FREQUENCIA DE RIOS	COMPRIMENTO MÉDIO DE RIOS
S ₁ - Latossolo Roxo eutrófico	0,381	0,345 ^{n.s.}	0,155 ^{n.s.}	0,250 ^{n.s.}
S ₂ - Podzólico Vermelho-Amarelo lo textura arenosa/média	0,285	0,266 ^{n.s.}	0,258 ^{n.s.}	0,159 ^{n.s.}
S ₃ - Latossolo Vermelho-Amarelo lo textura argilosa/média	0,381	0,376 ^{n.s.}	0,155 ^{n.s.}	0,302 ^{n.s.}
S ₄ - Areias Quartzosas	0,319	0,243 ^{n.s.}	0,257 ^{n.s.}	0,205 ^{n.s.}
S ₅ - Latossolo Vermelho-Amarelo lo textura média	0,319	0,230 ^{n.s.}	0,249 ^{n.s.}	0,201 ^{n.s.}

* significativo para $\alpha = 0,05$

Tabela 5 - Síntese do teste de Barlett dos índices de drenagem para os cinco solos estudados

ÍNDICES DE DRENAGEM ANALISADOS	VALORES TABELADOS DE $\chi^2 (0.05, 4)$	VALORES CALCULADOS DE Bc
Densidade de Drenagem (Dc)	9,49	21,32*
Frequência de Rios (Fc)	9,49	45,11*
Comprimento Médio de Rios (Lm)	9,49	14,15*

* significativo para $\alpha = 0,05$

As colocações acima podem ser melhor visualizadas com os dados da Tabela 3, onde o solo de referência S_2 (Podzólico Vermelho-Amarelo Textura arenosa/média), comparado com os solos de referência S_1 , S_3 , S_4 e S_5 , apresenta diferenças marcantes, da ordem de aproximadamente 3 para 1 quanto ao índice densidade de drenagem, de 8 para 1 quanto à frequência de rios e de 1 para 2 quanto ao comprimento médio de rios.

Estas relações são concordantes com MANECHINI (1981), que encontrou relações desta natureza ao comparar os dados de drenagem entre solos com horizonte B textural e solos com B latossólico, concordando também com ESPINDOLA e GARCIA (1978), os quais analisando o índice densidade de drenagem entre vários solos, encontraram que a média da densidade de drenagem para os solos com B textural é de 3 vezes o valor da densidade de drenagem nos solos com B latossólico.

Embora o teste de Barlett não tenha demonstrado homogeneidade de variância para os cinco solos conjuntamente, observa-se que os valores médios de densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de rios, encontrados para o solo de referência S_2 se igualam aos encontrados por FADEL (1972), FRANÇA (1968) e NOGUEIRA (1979) respectivamente, pois o solo S_2 corresponde ao (PVls segundo a COMISSÃO DE SOLOS, 1960), solo estudado por estes autores. Por conseguinte, pode-se afirmar que o solo de referência se diferencia dos solos S_1 , S_3 , S_4 e S_5 , quanto aos três índices analisados, o que é concordante com os trabalhos de FRANÇA (1968), MARCHETTI (1969), KOFFLER (1976a) e DEMÉTRIO (1977), os quais encontraram diferenças expressivas, quanto a estes parâmetros, entre Solos Podzólicos e Latossolos.

O fato da análise estatística ter demonstrado heterogeneidade de variância, quando da análise dos cinco solos conjuntamente, não invalida a continuidade das análises, pois, pelas discussões anteriormente apresentadas, pode-se considerar o solo S_2 como um grupo à parte e, conseqüentemente, distinto dos demais solos quanto aos três índices de drenagem.

Desta forma, a continuidade da análise estatística paramétrica dos índices da drenagem com vistas à individualização entre solos foi prosseguida para os solos de referência S_1 , S_3 , S_4 e S_5 .

Conforme orientação de CAMPOS (1983), os dados dos parâmetros da drenagem para os solos de referência S_1 , S_3 , S_4 e S_5 foram submetidos ao teste de Barlett, para verificar a homogeneidade de variância. O resultado do teste é apresentado na Tabela 6.

Examinando-se a Tabela 6, pode-se constatar que os dados de densidade de drenagem, frequência de rios e comprimento médio de rios, para os solos de referência S_1 , S_3 , S_4 e S_5 , submetidos aos testes de Barlett, apresentaram valores calculados de B_c menores que os valores tabelados de B_c ao nível $\alpha = 0,05$ demonstrando serem não significativos, ou seja, as variâncias dos dados de drenagem são homogêneas.

Sendo assim, foi dado prosseguimento à análise de variância, para verificação da contribuição que cada parâmetro da drenagem oferece na diferenciação dos quatro solos estudados.

Tabela 6 - Síntese do teste de Barlett dos índices de drenagem para os quatro dos cinco solos estudados.

ÍNDICES DE DRENAGEM ANALISADOS	VALORES TABELADOS DE $\chi^2 (0.05, 4)$	VALORES CALCULADOS DE Bc
Densidade de Drenagem (Dc)	7,81	7,35 ^{n.s.}
Frequência de Rios (Fc)	7,81	0,13 ^{n.s.}
Comprimento Médio de Rios (Lm)	7,81	2,94 ^{n.s.}

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise de variância do índice densidade de drenagem para os solos de referência S_1 , S_3 , S_4 e S_5 , na qual verifica-se que o F foi significativo ao nível $\alpha = 0,05$ demonstrado assim, que existe diferença pelo menos entre dois dos quatro solos analisados.

Na Tabela 8 são apresentados, resumidamente, os resultados obtidos pela aplicação do teste de Newman-Keuls aos valores médios do parâmetro densidade de drenagem entre os quatro solos analisados..

Nesta tabela, verifica-se que o índice densidade de drenagem entre os solos de referência S_3 vs S_5 ; S_1 vs S_5 e entre S_4 vs S_5 são significativos para $\alpha = 0,05$, demonstrando assim que, mesmo entre solos com B latossólico ou com características próximas, o parâmetro densidade de drenagem permite a separação entre as unidades de mapeamento.

Tabela 7 - Análise de variância do parâmetro densidade de drenagem para quatro dos cinco solos analisados.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F.
Tratamentos	3	0,37	0,1233	8,62*
Resíduo	16	0,23	0,0143	
Total	19	0,60		

* significativo para $\alpha = 0,05$

Tabela 8 - Resultados da comparação das médias de densidade de drenagem para quatro dos cinco solos estudados.

COMBINAÇÃO ENTRE SOLOS	VALORES TABELADOS $q_{0.05,16,p}$	VALORES CALCULADOS q
S ₃ vs S ₅	4,05	6,10 *
S ₃ vs S ₄	3,65	2,58 ^{n.s}
S ₃ vs S ₁	3,00	0,00 ^{n.s}
S ₁ vs S ₅	3,65	6,10*
S ₁ vs S ₄	3,00	2,58 ^{n.s}
S ₄ vs S ₅	3,00	4,18*

* Significativo para $\alpha = 0,05$

Estes resultados concordam com STRAHLER (1964), que coloca a densidade de drenagem como um importante indicador da escala linear de elementos fisiográficos em topografia de erosão fluvial. Vários pesquisadores, entre eles FADEL (1972), SOUZA (1975), KOFFLER (1976b), CARVALHO (1977), DEMÉTRIO (1977), NOGUEIRA (1979) e ANGULO FILHO (1981), verificaram a grande eficiência do índice densidade de drenagem na diferenciação entre solos, sendo tal opinião concordante com os resultados encontrados no presente estudo.

As diferenças apresentadas entre os solos de referência S₃ x S₅, S₁ x S₅, embora se tratem de latossolos, pode ser em parte explicada com base nas características texturais apresentadas por estes solos, pois segundo OLIVEIRA *et alii* (1982), o solo S₁ (Latossolo Roxo eutrófico) apresenta tex

tura muito argilosa e o teor de areia grossa é inferior a 20%; o solo S₅ (Latossolo Vermelho-Amarelo textura média) apresenta teor de argila inferior a 20% ou, se entre 20 e 25%, com predominância de areia grossa; e o solo S₃ (Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa ou média) inclui solos que apresentam altos teores de argila e baixos teores de areia.

Estas observações concordam com LUEDER (1959), o qual menciona que a textura dos materiais é um dos fatores responsáveis pelo comportamento da rede de drenagem; e que os solos argilosos favorecem o deflúvio em detrimento de infiltração, resultando em uma rede de drenagem mais densa. Isto esclareceria a razão pela qual o índice densidade de drenagem diferenciou estatisticamente os solos S₃ vs S₅ e S₁ vs S₅.

Quanto às diferenças apresentadas entre os solos S₄ (Areias/Quartzosas) e S₅ (Latossolo Vermelho-Amarelo textura média), o raciocínio anterior conforme LUEDER (1959) pode ser parcialmente aplicado, pois, a influência textural não é suficiente para esclarecer a razão da diferença entre os valores médios de densidade de drenagem correspondentes a ambos os solos, porque estes apresentam características texturais relativamente próximas, segundo OLIVEIRA *et alii* (1982). Porém, a razão da diferenciação entre os solos é explicada por FRANÇA (1968), ao relatar que materiais de texturas semelhantes e depositados pelo mesmo agente de transporte, podem dar origem a solos distintos, cujas diferenças vão se refletir também na composição e características do padrão de drenagem.

Face ao exposto, e conforme adverte BURINGH (1960), além da textura e dos processos de deposição dos materiais de

origem, deve-se também dar atenção aos fatores de formação, o que leva a crer que o fator relevo seja o responsável. Este raciocínio é confirmado pela Tabela 11, na qual verifica-se que o solo de referência S_4 apresenta valores médios de declividade média e relevo local médio maiores que os do solo de referência S_5 . Esta colocação é concordante com Ruellan (1971) citado por ESPINDOLA (1977), o qual afirmou que a evolução dos solos e a evolução do relevo estão estreitamente ligadas entre si, influenciando-se mutuamente.

Assim, estas afirmações também são válidas para as diferenças apresentadas entre os solos de referência S_3 vs S_5 e S_1 vs S_5 , pois, além de apresentarem diferenças texturais, anteriormente mencionadas, apresentam valores médios de declividade média e relevo local médio, diferentes entre si, conforme se verifica na Tabela 11.

Estas afirmações concordam com HORTON (1945) e STRAHLER (1957), os quais demonstraram que existem altas correlações entre as características da rede de drenagem e as condições topográficas, e que muitas variações no comportamento da drenagem refletem alterações das condições topográficas de uma região.

Os índices frequência de rios e comprimento médio de rios não apresentaram significância, conforme mostram as Tabelas 9 e 10, as quais expressam os resultados da análise de variância destes índices.

A razão da não contribuição desses índices na diferenciação dos solos analisados pode ser verificada na Tabela 2, onde pode-se observar que os valores médios dos parâmetros comprimento total de rios e número total de rios, os quais são utilizados na determinação da frequência de rios e comprimento médio de rios, são muito próximos. Por sua vez, estes valores

estão diretamente relacionados às propriedades morfogênicas destes solos.

Tabela 9 - Análise de variância do parâmetro frequência de rios para quatro dos cinco solos analisados.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F.
Tratamentos	3	0,32	0,11	2,20 ^{n.s.}
Resíduo	16	0,80	0,05	
Total	19	1,12		

Tabela 10 - Análise de variância do parâmetro comprimento médio de rios para quatro dos cinco solos analisados.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L	S.Q	Q.M	F.
Tratamentos	3	0,21	0,07	2,33 ^{n.s.}
Resíduo	16	0,49	0,03	
Total	19	0,70		

Os resultados encontrados, comparativamente, concordam com as opiniões de ESPINDOLA e GARCIA (1978), os quais verificaram que, em geral, os valores de frequência de rios são sensivelmente mais baixos nos solos com B latossólico e discordam de SOUZA (1975) e de ESPINDOLA e GARCIA (1978), os quais verificaram que a frequência de rios foi eficiente para a diferenciação entre solos com B latossólico. Quanto ao comprimento médio os resultados são concordantes com ESPINDOLA e GARCIA (1978), que

também verificaram a sua não significância na discriminação entre solos com B latossólico. Tal opinião é também concordante com GARCIA (1982), que mencionou pouca eficiência do comprimento médio de rios, por este corresponder à relação entre os índices densidade de drenagem e frequência de rios.

4.4 - ANÁLISE QUANTITATIVA DOS PARÂMETROS DO RELEVO

Os parâmetros do relevo têm sido pesquisado por alguns autores, entre eles MARCHETTI (1969), POLITANO (1980) e LEÃO (1983), os quais através de índices relativos aos atributos do relevo têm demonstrado a contribuição destes na discriminação de solos.

Embora os autores mencionados tenham dado preferência por índices obtidos a partir de bacias hidrográficas e amostras circulares da rede de drenagem, no presente estudo foram testados três índices passíveis de serem obtidos através de amostras circulares de 10 Km² delinadas sobre cartas topográficas.

Foram determinadas as características dimensionais do relevo, quais sejam a declividade média, relevo local médio e comprimento médio da vertente, para cada amostra circular representativa dos cinco solos estudados (Figuras 1 a 28 do Apêndice). Os valores encontrados para cada índice, em suas respectivas amostras para os diferentes solos, são apresentados na Tabela 11, juntamente com os valores médios por grupamento.

Tabela 11 - Características quantitativas do relevo das amostras circulares representativas das unidades de solo estudadas.

SOLOS ESTUDADOS	AMOSTRAS CIRCULARES	PARÂMETROS DO RELEVO		
		DECLIVIDADE MÉDIA (%)	RELEVO LOCAL MÉDIO (m)	COMPRIMENTO MÉDIO DA VERTENTE (m)
S ₁ - Latossolo Roxo eutrófico	a	7,7	125,0	1.875,0
	b	10,0	101,0	1.760,0
	c	7,9	122,0	1.632,0
	d	6,1	80,0	1.600,0
	Média do S ₁ ($\bar{x}$)	7,92 ± 0,80	107,00 ± 10,46	1716,00 ± 63,06
S ₂ - Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média	a	13,3	81,0	786,0
	b	14,1	82,0	746,0
	c	16,1	96,0	806,0
	d	12,5	66,0	640,0
	e	14,1	63,0	700,0
	f	13,3	57,0	696,0
	g	11,0	53,0	881,0
	h	14,1	79,0	939,0
	Média do S ₂ ($\bar{x}$)	13,56 ± 0,52	72,12 ± 5,19	774,25 ± 35,39
S ₃ - Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média	a	6,9	46,0	961,0
	b	7,6	45,0	794,0
	c	6,4	36,0	854,0
	d	7,3	52,0	1.079,0
	Média do S ₃ ($\bar{x}$)	7,05 ± 0,25	44,75 ± 3,30	922,00 ± 62,70
S ₄ - Areias Quartzosas	a	7,2	81,0	1.560,0
	b	7,5	72,0	1.406,0
	c	9,9	97,0	1.762,0
	d	8,8	61,0	1.113,0
	e	9,2	63,0	1.187,0
	f	8,1	66,0	1.218,0
	Média do S ₄ ($\bar{x}$)	8,45 ± 0,42	73,33 ± 5,57	1374,33 ± 102,33
S ₅ - Latossolo Vermelho-Amarelo textura média	a	6,3	33,0	825,0
	b	5,6	52,0	1.260,0
	c	4,7	49,0	1.264,0
	d	6,4	57,0	1.246,0
	e	6,8	70,0	1.189,0
	f	6,2	72,0	1.600,0
	Média do S ₅ ($\bar{x}$)	6,00 ± 0,30	55,50 ± 5,90	1230,66 ± 100,81

Conforme discutido no item 4.4, a mesma abordagem utilizada para os parâmetros da drenagem quanto ao tratamento estatístico, foi empregada para os parâmetros do relevo, antes de serem submetidos à estatística paramétrica para verificação de suas contribuições na discriminação dos solos estudados.

Os dados obtidos para os diferentes índices do relevo, relativos ao cinco solos analisados, foram submetidos ao teste de Lilliefors para verificação da normalidade destes dados, cujo resultado é apresentado na Tabela 12. Pode-se perceber que os valores calculados são inferiores aos valores tabelados ao nível $\alpha = 0,05$, ficando assim demonstrado que os dados não diferem da distribuição normal.

O próximo passo foi submeter os dados ao teste de Barlett para verificar se as variâncias dos dados de declividade média, relevo local médio e comprimento médio da vertente para os cinco solos analisados, são homogêneas. A Tabela 13 mostra que os valores calculados de B_c , são menores que os valores de X^2 (0,05, 4) tabelados, demonstrando assim que os dados apresentam homogeneidade de variância podendo-se portanto, submetê-los à análise de variância.

Tabela 12 - Síntese do teste de Lilliefors dos dados de relevo para os cinco solos estudados.

SOLOS ESTUDADOS	VALORES TABELADOS $\alpha = 0,05$	VALORES CALCULADOS DE $D \supset F(z) - S(z) $			
		ÍNDICES DO RELEVO			COMPRIMENTO MÉDIO DA VERTENTE (Cv)
		DECLIVIDADE MÉDIA (Dm)	RELEVO LOCAL MÉDIO (RL)		
S ₁ - Latossolo Roxo eutrófico	0,381	0,258 ^{n.s.}	0,265 ^{n.s.}		0,249 ^{n.s.}
S ₂ - Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média	0,285	0,234 ^{n.s.}	0,181 ^{n.s.}		0,146 ^{n.s.}
S ₃ - Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média	0,381	0,185 ^{n.s.}	0,266 ^{n.s.}		0,205 ^{n.s.}
S ₄ - Areias Quartzosas	0,319	0,134 ^{n.s.}	0,206 ^{n.s.}		0,233 ^{n.s.}
S ₅ - Latossolo Vermelho-Amarelo textura média	0,319	0,274 ^{n.s.}	0,176 ^{n.s.}		0,253 ^{n.s.}

Tabela 13 - Síntese do teste do Barlett dos dados de relevo para os cinco solos estudados.

ÍNDICES DO RELEVO	VALORES TABELADOS $\chi^2 (0.05, 4)$	VALORES CALCULADOS DE Bc
Declividade		
Média (Dm)	9,49	5,22 ^{n.s}
Relevo Local		
Médio (Rl)	9,49	3,14 ^{n.s}
Comprimento		
Médio da Vertente (Cv)	9,49	6,58 ^{n.s}

A análise dos parâmetros da drenagem pelo teste de Barlett demonstrou heterogeneidade de variância quando foram analisados os cinco solos conjuntamente, conforme pode ser observado na Tabela 5, onde verifica-se que os valores calculados de Bc para os três índices de drenagem são maiores que os valores tabelados de $\chi^2 (0.05, 4)$ para os respectivos índices. Esse resultado foi devido às características dimensionais do solo de referência S₂ (Podzólico Vermelho-Amarelo, textura arenosa/média), as quais se apresentaram bastante distintas em relação aos demais solos; porém, para os parâmetros do relevo o teste de Barlett demonstrou homogeneidade de variância, mesmo considerando-se os cinco solos conjuntamente, (Tabela 13).

A razão de tal resultado poderá estar relacionada às menores variações dos parâmetros do relevo entre o solo de referência S₂ e os demais, sendo que estas variações entre os cinco solos estão em torno de 2:1, proporção esta bastante

distinta das variações encontradas para os parâmetros da drenagem, onde o solo de referência S_2 apresentou variação de 8:1 para o índice frequência de rios, comparativamente aos demais solos analisados.

Sendo verificado que os dados obtidos para os parâmetros do relevo não diferem da distribuição normal e apresentam homogeneidade de variância, a análise de variância foi realizada para verificação da contribuição que os índices do relevo (declividade média, relevo local médio e comprimento médio da vertente), oferecem na diferenciação dos cinco solos analisados e que serão apresentados a seguir.

4.4.1 - DECLIVIDADE MÉDIA

A eficiência do índice declividade média foi testada pela análise de variância, cujo resultado é apresentado na Tabela 14. Nesta tabela pode-se observar que o valor de F encontrado é significativo, indicando assim que há diferença entre os solos analisados.

Para verificar quais solos exibem diferenças quanto ao índice declividade média, foi utilizado o teste de Newman Keuls, cujos resultados obtidos encontram-se na Tabela 15. Verifica-se que os valores de q calculado para as comparações entre os solos de referência S_2 vs S_5 ; S_2 vs S_3 ; S_2 vs S_1 ; S_2 vs S_4 ; S_4 vs S_5 ; S_1 vs S_5 ; foram maiores que os valores tabelados, rejeitando assim a hipótese H_0 .

Com base nos resultados encontrados, pode-se dizer que o solo de referência S_2 (Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média) difere dos demais solos analisados, ou seja, os de referência S_1 , S_3 , S_4 e S_5 , bem como o solo de referência S_4 do S_5 e o solo de referência S_1 do S_5 .

Tabela 14 - Análise de variância do parâmetro declividade média para os cinco solos analisados.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	4	241,83	60,46	43,80*
Resíduo	23	31,8	1,38	
Total	27	273,63		

** significativo para $\alpha = 0,05$

Tabela 16 - Resultados da comparação das médias do parâmetro declividade média para os cinco solos analisados.

COMBINAÇÃO ENTRE SOLOS	VALORES TABELADOS q 0.05, 23 p	VALORES CALCULADOS
S ₂ vs S ₅	4,16	17,18*
S ₂ vs S ₃	3,90	12,76*
S ₂ vs S ₁	3,53	11,05*
S ₂ vs S ₄	2,92	11,61*
S ₄ vs S ₅	3,90	5,21*
S ₄ vs S ₃	3,53	2,64 ^{n.s.}
S ₄ vs S ₁	2,92	1,00 ^{n.s.}
S ₁ vs S ₅	3,53	3,62*
S ₁ vs S ₃	2,92	1,47 ^{n.s.}
S ₃ vs S ₅	2,92	1,98 ^{n.s.}

* significativo para $\alpha = 0,05$

A razão do solo de referência S_2 diferenciar-se dos demais, pode ser evidenciada pelo exame da Tabela 11, onde o valor de declividade média para o solo S_2 praticamente chega a ser o dobro dos valores de declividade média para os solos de referência S_1 , S_3 , S_4 e S_5 .

Os altos valores da declividade média apresentados pelo solo de referência S_2 estão diretamente relacionados com suas características morfológicas, conforme foi comentado no item 4.3, proporcionando uma grande individualização deste solo em relação aos demais analisados.

Assim sendo, pode-se afirmar que a razão destas diferenciações nada mais são do que reflexos das condições de deflúvio, infiltração, permeabilidade e resistência dos materiais, as quais estariam correlacionadas com tais diferenças na declividade média resultante.

Os resultados encontrados demonstram a importância deste parâmetro do relevo para a diferenciação dos solos, o que é concordante com WONG *et alii* (1977).

Estes resultados estão de acordo com AVERBECK e SANTOS (1969), os quais comentam que a variação na declividade do terreno geralmente implica na variação de solo, opinião esta complementada por CRISTOFOLETTI (1974). Este verificou que, à medida que aumenta a declividade do terreno, os valores de densidade de drenagem são maiores, o que está de acordo com os resultados encontrados para o solo de referência S_2 , o qual possui o maior valor de declividade média e, conseqüentemente, apresentou o maior valor de densidade de drenagem, quando comparado com os demais solos, conforme mostram as Tabelas 11 e 3, respectivamente.

Os resultados estão coerentes com HORTON (1945), STRAHLER (1957), SMITH e AANDAHL (1957), os quais mencionaram os relacionamentos entre as características da rede de drenagem e as condições topográficas, onde as variações no comportamento da drenagem refletem alterações das condições topográficas de uma região, opinião esta confirmada no presente estudo.

Pode-se também dizer, que os resultados encontrados são concordantes com os de POLITANO (1980), pois segundo STRAHLER (1952), de maneira geral a razão de relevo indica a declividade média da bacia ou área amostrada. Os resultados são concordantes também, com os de MARCHETTI (1969), embora este tenha utilizado o índice declive máximo da encosta, o qual expressa a declividade da vertente mais íngreme da bacia, e não a declividade média da amostra circular, analisada no presente estudo. O autor verificou a eficiência desse índice na diferenciação dos solos por ele estudados.

4.4.2 - RELEVO LOCAL MÉDIO

A avaliação da eficiência para o índice relevo local médio, foi realizada através da análise de variância, estando os resultados apresentados na Tabela 16. Esta Tabela mostra a alta significância do índice relevo local médio para $\alpha = 0,05$ pelo valor F.

Os resultados das comparações das médias para este mesmo índice, através do teste de Newman-Keuls, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 16 - Análise de variância do parâmetro relevo local médio para os cinco solos analisados.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	4	9.390,21	2.347,55	10.95*
Resíduo	23	4.932,47	214,45	
Total	27	14.322,68		

** significativo para $\alpha = 0,05$

Tabela 17 - Resultados da comparação das médias do parâmetro relevo local médio para os cinco solos analisados.

COMBINAÇÃO ENTRE SOLOS	VALORES TABELADOS $q_{0.05, 23 p}$	VALORES CALCULADOS
S_1 vs S_3	4,16	8,51*
S_1 vs S_5	3,90	7,77*
S_1 vs S_2	3,53	5,56*
S_1 vs S_4	2,92	5,08*
S_4 vs S_3	3,90	4,31*
S_4 vs S_5	3,53	3,04 ^{n.s.}
S_4 vs S_2	2,92	0,23 ^{n.s.}
S_2 vs S_3	3,53	4,33*
S_2 vs S_5	2,92	3,01*
S_5 vs S_3	2,92	1,63 ^{n.s.}

* Sigfinativo para $\alpha = 0,05$

Examinando a Tabela 17, pode-se verificar que houve diferença entre os solos de referência S_1 vs S_3 , S_1 vs S_5 , S_1 vs S_2 , S_1 vs S_4 , S_4 vs S_3 , S_2 vs S_3 , S_2 vs S_5 , o que evidencia a existência de relevos diferentes entre os solos estudados, o que é concordante com BRIDGES e DOORNKAMP (1963) e AMARAL e AUDI (1972), demonstrando assim, a boa aptidão deste parâmetro do relevo na diferenciação de solos.

Os resultados encontrados discordam de POLITANO (1980) que, embora tenha utilizado o índice amplitude altimétrica, o qual expressa a diferença entre cota máxima e cota mínima para uma determinada área, corresponde basicamente ao índice relevo local médio utilizado no presente estudo. O fato desse autor não ter encontrado resultados positivos do índice amplitude altimétrica, poderá estar diretamente relacionado com as características morfológicas dos solos estudados, pois, ambos apresentam horizonte B textural, representados pelos Solos Podzolizados de Lins e Marília variação Marília (Pml) e Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos variação Laras (PVls).

Por outro lado, os resultados encontrados no presente trabalho, para o índice relevo local médio, são concordes com os de LEÃO (1983), o qual trabalhou com solos mais contrastantes, ou seja, um Latossolo e um Cambissolo.

4.4.3 - COMPRIMENTO MÉDIO DA VERTENTE

A caracterização quantitativa do índice comprimento médio da vertente foi feita através da análise de variância e a Tabela 18 mostra os resultados obtidos.

Pela Tabela 18 verifica-se a significância deste índice para $\alpha = 0,05$ pelo valor F, demonstrando que existe diferença entre os solos analisados.

Tabela 18 - Análise de variância do parâmetro comprimento médio da vertente para os cinco solos analisados.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	4	2.657.207	664.301,75	4,54*
Resíduo	23	3.365.552	146.328,34	
Total	27	6.022.759		

* significativo para $\alpha = 0,05$

O resultado das comparações das médias do índice comprimento médio da vertente, para os cinco solos analisados através do teste de Newman-Keuls, são apresentados na Tabela 19. Esta tabela demonstra que houve diferença quanto ao índice comprimento médio da vertente entre os solos S_1 vs S_2 , S_1 vs S_3 e S_4 vs S_2 .

Com base nos resultados encontrados para os parâmetros do relevo declividade média e relevo local médio na diferenciação dos solos, anteriormente apresentados, verifica-se que comparativamente o índice comprimento médio da vertente foi o menos eficiente.

Embora não se tenha informação sobre o uso deste índice do relevo aplicado a solos, foi o mesmo introduzido no sentido de se testar sua eficiência na diferenciação de solos, pois segundo CRHISTOFOLETTI (1974), quanto maior a densidade de drenagem em uma área com relevo constante, menores e mais inclinadas serão as vertentes. Estas colocações estão diretamente relacionadas com os parâmetros densidade de drenagem e comprimento médio da vertente para o solo de referência S_2 (Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média), pois este solo apresentou o maior valor de densidade de drenagem e o menor com

primento médio de vertente e, conseqüentemente, os maiores valores de declividade média, conforme mostram as Tabelas 3 e 11, respectivamente.

Tabela 19 - Resultados da comparação das médias do parâmetro com primento médio da vertente para os cinco solos analisados.

COMBINAÇÃO ENTRE SOLOS	VALORES TABELADOS q 0.05, 23 p	VALORES CALCULADOS q
S ₁ vs S ₂	4,16	5,72*
S ₁ vs S ₃	3,90	4,15*
S ₁ vs S ₅	3,53	2,80 ^{n.s.}
S ₁ vs S ₄	2,92	1,97 ^{n.s.}
S ₄ vs S ₂	3,90	4,20*
S ₄ vs S ₃	3,53	2,61 ^{n.s.}
S ₄ vs S ₅	2,92	0,94 ^{n.s.}
S ₅ vs S ₂	3,53	3,20 ^{n.s.}
S ₅ vs S ₃	2,92	1,78 ^{n.s.}
S ₃ vs S ₂	2,92	0,89 ^{n.s.}

* significativo para $\alpha = 0,05$

Ainda segundo CHRISTOFOLETTI (1974), as vertentes constituem partes integrantes das bacias hidrográficas e não podem ser descritas de modo integral sem que se faça consideração a propósito das relações entre elas e a rede hidrográfica, pois é impossível considerar as vertentes e os rios como entidades separadas, porque como membros de um sistema aberto que é a bacia de drenagem, estão continuamente em interação. Estas colocações foram perfeitamente demonstradas para os três parâmetros do relevo analisados com relação ao solo de referência S_2 ; e pode-se também afirmar que outras interações existem, pois o índice comprimento médio da vertente foi eficiente para discriminar dois latossolos, ou seja, o Latossolo Roxo do Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média, como demonstrou a análise estatística.

Assim sendo, pode-se dizer que, mesmo mostrando menor eficiência na diferenciação de solos quando comparado com os outros dois índices utilizados, o índice comprimento médio da vertente mostrou aptidão para a discriminação de solos. Pode-se dizer que são as formas e os comprimentos das vertentes as grandes responsáveis pela maior ou menor ação dos processos pedogenéticos, conforme comentam QUEIROZ NETO E MODENESI (1973), nas áreas de superfícies aplainadas o material do solo acha-se sistematicamente mais alterado que nas vertentes de maior declividade.

4.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE AS RELAÇÕES FOTOINTERPRETATIVAS DOS PARÂMETROS DA DRENAGEM E DO RELEVO COM AS IMAGENS DE PEQUENA ESCALA

Neste subcapítulo procura-se estabelecer as relações fotointerpretativas dos resultados alcançados para os índices de drenagem e relevo na diferenciação dos solos, e assim demonstrar as razões pelas quais foi possível realizar a com

partimentação da área de estudo em unidades fisiográficas, através da utilização de imagens de pequena escala como as do tipo MSS-RBV/LANDSAT e mosaicos de radar.

Um aspecto importante desta discussão é procurar demonstrar que, quando se define ou mapeia um compartimento ou uma unidade fisiográfica sobre as imagens, não é pura e simplesmente a "aparência" que define esta unidade, mas, sim a integração dos atributos espaciais e espectrais de drenagem, relevo e aspectos associados, so quais ocupam uma disposição na superfície do terreno, que o torna passível de ser delimitado através da textura fotográfica evidenciada pelas imagens de pequena escala, conforme atestam GIMBARZEVSKY (1974a), PACHECO e HOWARD (1977), MONTOYA (1977), SEGORIA *et alii* (1989), COCHRANE e BROWNE (1981).

Assim sendo, serão a seguir apresentadas algumas colocações sobre as relações fotointerpretativas das imagens de pequena escala com os atributos da drenagem e do relevo, quantitativamente abordados nos subcapítulos anteriores.

Conforme atesta o SOIL CONSERVATION SERVICE (1966), a superfície do terreno reflete a maior parte da luz quando as vertentes refletem os raios solares diretamente em direção à câmara fotográfica. Assim, se as vertentes se apresentam com diferenças (declividade, comprimento) suficientes, estas diferenças causam variações na tonalidade registrada na imagem fotográfica e, através desta variação tonal, as variações topográficas ou das vertentes podem ser inferidas através da interpretação fotográfica e as diferenças nos tons de áreas iluminadas e sombreadas darão uma clara idéia da forma do relevo.

Diante do exposto, pode-se dizer que a razão da individualização ou da separação do solo S_2 (Podzólico Vermelho-Amarelo Textura arenosa/média), dos demais solos S_1, S_3, S_4, S_5 sobre as imagens de pequena escala, está diretamente relacionada com as feições da textura fotográfica apresentada, face aos valores médios de densidade de drenagem, declividade média, relevo local médio e comprimento médio da vertente. O fato deste solo apresentar alta densidade de drenagem implica em uma maior dissecação do relevo e, como este solo apresentou os menores valores médios de comprimento de vertente, conforme Tabela 11, verifica-se que a maior frequência de repetição do elemento textural face iluminada e face sombreada propicia a evidência de uma textura fotográfica distinta dos demais solos, tornando-se possível a sua delimitação. Isto concorda com HILWIG e KARALE (1973), os quais constataram que os elementos do relevo, são caracterizados por uma alta relação com as condições do solo e uma alta coincidência com os limites dos solos. Estes autores concluíram que o mapeamento de solos baseados em análise fisiográfica de documentos fotográficos, mostra unidades de mapeamento que consistem de unidades taxonômicas, nas quais o arranjo tridimensional e geográfico dos solos está claramente exposto.

Com base no mesmo raciocínio utilizado para o solo S_2 (Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média) na diferenciação com os demais solos, e considerando-se que para os índices de drenagem somente o índice densidade de drenagem ofereceu contribuição na diferenciação entre os solos S_1, S_3, S_4 e S_5 , bem como as colocações do SOIL CONSERVATION SERVICE (1966) e de CARTER e STONE (1974), procurar-se-á discutir a discriminação entre os demais solos, tomando-se por base os parâmetros do relevo. Estes parâmetros demonstraram maior eficiência na

identificação dos solos, conforme discutido nos itens 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3; e também pelo fato dos atributos do relevo estarem geralmente correlacionados com os solos, conforme RAY (1963), BRIDGES e DOORNKAMP (1963), AMARAL e AUDI (1972), pois para uma área bem dissecada pelo relevo como a do solo S_2 , a densidade de drenagem é também alta, conforme ficou demonstrado anteriormente.

Assim sendo, tomando-se por base a Tabela 21, a qual ilustra a ordenação das combinações dos cinco solos estudados, verifica-se que o solo S_1 é distinto do solo S_2 quanto aos três índices do relevo analisados, o que esta diretamente relacionado com as características morfológicas entre um solo com B latossólico (S_1) e um solo com B textural (S_2).

A seguir pode-se verificar que os solos S_1 vs S_3 se mostraram diferentes, porque apresentaram os índices de relevo local médio e comprimento médio da vertente distintos, embora sejam ambos latossolos.

Os solos S_1 vs S_4 , apresentaram diferenças entre si somente quanto ao relevo local médio, sendo que o solo de referência S_1 apresentou maior valor de relevo local médio que o solo de referência S_4 .

Os solos S_1 vs S_5 se diferenciaram quanto aos índices de declividade média e relevo local médio, sendo que o solo de referência S_1 apresentou valores médios de declividade média e de relevo local médio, maiores que os do solo de referência S_5 .

Tabela 20 - Síntese dos resultados encontrados para os índices do relevo na diferenciação dos cinco solos analisados quando comparados dois a dois.

COMPARAÇÕES ENTRE SOLOS	ÍNDICES DO RELEVO ANALISADOS		
	DECLIVIDADE MÉDIA (Dm)	RELEVO LOCAL MÉDIO (Rl)	COMPRIMENTO MÉDIO DA VERTENTE (Cv)
S ₁ vs S ₂	Sim	Sim	Sim
S ₁ vs S ₃	Não	Sim	Sim
S ₁ vs S ₄	Não	Sim	Não
S ₁ vs S ₅	Sim	Sim	Não
S ₂ vs S ₃	Sim	Sim	Não
S ₂ vs S ₄	Sim	Não	Sim
S ₂ vs S ₅	Sim	Sim	Não
S ₃ vs S ₄	Não	Sim	Não
S ₃ vs S ₅	Não	Não	Não
S ₄ vs S ₅	Sim	Não	Não

Sim: O índice apresentou diferença entre os solos.

Não: O índice não apresentou diferença entre os solos.

É interessante notar, pelo exame da Tabela 11, que os valores tanto de declividade média como de relevo local médio para o solo S₁ são elevados, pois se trata de um Latossolo Roxo, o qual normalmente apresenta baixos declives e ocupa relevo suavemente ondulado; e a razão para apresentar estes altos valores é devido à área de ocorrência estar situada em locais bastante modificados por zonas de intrusão de rochas básicas, o que se evidencia pela presença de "morros em forma de sino" conforme MANECHINI (1981).

Os solos S₂ vs S₃ diferiram quanto aos índices de declividade média e relevo local médio, sendo que o solo de refe

rência S_2 , apresentou valores médios para os parâmetros diferenciais, maiores que os do solo S_3 .

Os solos S_2 vs S_4 se diferenciaram quanto à declividade média e comprimento médio da vertente, onde o solo de referência S_2 apresentou valores médios de declividade média maior que o do solo S_4 e comprimento médio da vertente menor que o solo S_4 .

Os solos S_2 vs S_5 apresentaram diferenças quanto aos índices declividade média e relevo local médio; aqui novamente o solo S_2 apresentou valores médios para estes índices, maiores que os do solo de referência S_5 .

Os solos S_3 vs S_4 diferiram entre si, apenas pelo índice relevo local médio, sendo que o solo de referência S_4 apresentou valores médios maiores que os do solo S_3 . Aqui também cabe uma colocação quanto ao valor do relevo local médio apresentado pelo solo de referência S_4 (Areias Quartzosas), pois quando da visita ao campo, verificou-se que estes solos ocupavam posição de relevo com topos, aplainados; porém, os vales eram bem encaixados em rochas basálticas com taludes íngremes, razão pela qual apresentaram valores médios de declividade média (Tabela 11) fora dos padrões apresentados pelas Areias Quartzosas.

Os solos S_3 vs S_5 não apresentaram diferenças entre si quanto aos parâmetros do relevo, porém, se diferenciaram quanto ao índice densidade de drenagem, conforme Tabela 8.

Os solos S_4 vs S_5 diferiram quanto ao parâmetro declividade média, sendo que os valores médios para o Solo S_4 são maiores que os do Solo S_5 , pelas razões expostas anteriormente quanto à particularidade de ocorrência do Solo S_4 .

Pelas comparações entre os solos apresentados anteriormente, fica evidenciada a contribuição dos parâmetros do relevo na diferenciação dos solos, sendo que tal opinião é concordante com CARNEIRO (1975), VALÉRIO FILHO *et alii* (1976) e VALÉRIO FILHO *et alii* (1979), os quais também concluíram, que o relevo exerce forte influência sobre os critérios de fotointerpretação, tais como a tonalidade e textura fotográfica.

Assim sendo, com base nas colocações do SOIL CONSERVATION SERVICE (1966) e de CARTER e STONE (1974), bem como pelos resultados apresentados pelas comparações dos solos quanto aos parâmetros do relevo e da drenagem, pode-se dizer que a interação das variações dos parâmetros do relevo (declividade média, relevo local médio, comprimento médio da vertente) e o parâmetro densidade de drenagem, ao serem registrados nas imagens fotográficas, irão constituir uma textura fotográfica. Esta será evidenciada em função dos aspectos de áreas iluminadas e áreas sombreadas segundo a disposição dos elementos do relevo combinadas aos elementos da drenagem e aspectos associados que, por sua vez, proporcionam uma textura fotográfica passível de ser visualizada e delimitada, definindo assim uma unidade fisiográfica, à qual estará relacionada a um domínio pedológico conforme WESTIN (1973), GIMBARZEVSKY (1974a), PACHECO E HOWARD (1977), VALÉRIO FILHO *et alii* (1979) SEGOVIA *et alii* (1980), VALÉRIO FILHO *et alii* 1981, COCHRANE e BROWNE (1981) e DONZELI *et alii* (1983).

Com base nestas observações, pode-se perceber que a individualização entre os solos estudados está diretamente relacionada com as variações dos seus atributos espaciais (drenagem e principalmente relevo), os quais por sua vez, são registrados nas imagens na forma de texturas fotográficas distintas, tornando-os passíveis de serem mapeados e individualizados sobre as imagens de pequena escala.

Assim sendo, os aspectos aqui levantados quanto à contribuição dos parâmetros da drenagem e do relevo, obtidos sobre fotos aéreas e cartas topográficas, respectivamente, para o estabelecimento das relações fotointerpretativas com as imagens de pequena escala, demonstram que os atributos do relevo são também os responsáveis, mais diretamente, na caracterização ou definição das unidades fisiográficas. Estas, por sua vez estão relacionadas aos diferentes domínios pedológicos, conforme DONZELI *et alii* (1983).

Necessário se faz mencionar a participação de outros fatores que também contribuíram para uma melhor compartimentação ou delimitação das unidades fisiográficas, que são os aspectos ligados ao uso da terra, pois conforme atestam GIMBARZEVSKY (1974a), SEGOVIA *et alii* (1980) e COCHRANE e BROWNE (1981), as imagens de pequena escala proporcionam uma excelente visão global da região, ideal para uma rápida análise dos processos geomórficos sobre extensas áreas, possibilitando assim uma compartimentação de paisagens contíguas com distintos padrões de relevo, estrutura geológica, evolução geomórfica e vegetação regional, facilitando assim o reconhecimento de importantes componentes destes padrões.

Um outro aspecto relevante a ser considerado são as razões pelas quais é possível a observação da variação da textura fotográfica evidenciada pelas imagens de pequena escala. Segundo observações de WALKER e TREXLER (1977), WESTIN e

BRANDENER (1980), estes verificaram que a utilização de imagens fotográficas obtidas com baixos ângulos de elevação tem-se mostrado de grande utilidade em levantamentos geológicos, pedológicos etc., isto porque o efeito do realce da sombra e realce das vertentes iluminadas, ou seja, o efeito produzido pelas áreas sombreadas e áreas iluminadas são indicadores úteis no reconhecimento das variações topográficas; sendo que esta foi uma das razões que permitiram a confecção do mapa de unidades fisiográficas por DONZELI *et alii* (1983).

Verificou-se também, que os detalhes de pequenas feições do relevo são melhor definidos nas imagens fotográficas tomadas com baixo ângulo de elevação solar, conforme recomenda HACKMAN (1967). Com base nestes estudos, o autor recomenda que as imagens tomadas com ângulos de elevação solar de 20° a 30° são as mais satisfatórias. Esta opinião foi verificada por SIMONS (1964), LYON *et alii* (1970), KITCHO (1970) e confirmada no trabalho de DONZELI *et alii* (1983), comprovando a eficiência dos baixos ângulos de elevação solar, que possibilitam um maior destaque das feições do terreno na definição das distintas unidades fisiográficas, sendo estes aspectos verificados por PARRY (1974) para imagens de radar.

Pelas discussões apresentadas quanto às relações fotointerpretativas dos parâmetros do relevo e da drenagem com as imagens de pequena escala. Verifica-se que os resultados encontrados, relativos à maior eficiência dos índices do relevo na diferenciação dos solos, conforme discutido no item 4.5. Isto se justifica através das inferências feitas quanto à contribuição dos atributos do relevo na formação de texturas fotográficas distintas, as quais, por sua vez, estão relacionadas aos domínios pedológicos das diferentes unidades fisiográficas analisadas, o que é concordante com PASOTTI e CANOBA (1980).

Finalmente, deve-se mencionar que, embora os atributos do relevo associados à drenagem tenham sido os fatores mais influentes para evidenciar distintas texturas fotográficas associadas às diferentes unidades fisiográficas, deve-se ter em mente que os aspectos ligados ao ângulo de elevação solar, bem como aos dos uso da terra e vegetação, também contribuíram para uma mais eficiente compartimentação da área estudada.

Um outro fator que também contribui para uma mais eficiente compartimentação da área em unidades fisiográficas, foi a utilização conjunta das imagens MSS-RBV/LANDDAT e de radar. Esta opinião esta em grande parte, relacionada com as imagens de radar por oferecerem maior destaque das feições topográficas e permitirem uma melhor definição dos atributos do relevo, associados as diferentes unidades fisiográficas mapeadas por DONZELI *et alii* (1983). Estes autores concluíram que a combinação RBV/LANDSAT e mosaicos de radar, foram as mais eficientes para a compartimentação das unidades fisiográficas, corroborando com GARCIA (1979), o quel mencionou que maior ênfase deva ser dada a utilização conjugada das imagens LANDSAT e de radar para o mapeamento de vegetação e solos.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A análise e interpretação dos dados obtidos para os cinco solos analisados na área de estudo e com o material e métodos empregados, permitiram tirar as conclusões e observações mencionadas a seguir.

A abordagem estatística utilizada para o tratamento dos dados, mostrou-se eficiente e ofereceu grande confiabilidade aos resultados obtidos.

Dentre os índices de drenagem utilizados na diferenciação dos solos, somente a densidade de drenagem mostrou-se eficiente. Os índices frequência de rios e comprimento médio de rios não se mostraram satisfatórios.

Os índices do relevo (declividade média, relevo local médio e comprimento médio da vertente) foram mais eficientes que os índices de drenagem na discriminação dos solos, sendo que os dois primeiros índices demonstraram maior eficácia que o comprimento médio da vertente.

As características da drenagem e do relevo dos solos estudados forneceram o apoio necessário para análise das relações destes parâmetros com os aspectos fotointerpretativos das respectivas unidades fisiográficas, mapeadas com auxílio das imagens de pequena escala.

Os parâmetros do relevo analisados forneceram maior contribuição tanto na avaliação de seus atributos relacionados à variação de solos, como na forma como estes aspectos são registrados nas imagens fotográficas e que concorrem para a formação de texturas fotográficas distintas que, por sua vez, estão associadas a domínios pedológicos também distintos.

Embora os resultados tenham contribuído para atingir os objetivos propostos, espera-se que pesquisas sobre novos índices e métodos de extração de parâmetros do relevo na diferenciação de solos sejam realizadas, assim como o melhoramento dos futuros sistemas de imageamento da superfície da Terra por satélites orbitais e a implementação da extração de informações por computador, possam ser aplicados a estudos dentro desta linha de pesquisa.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, F.F.M., 1964. *Os fundamentos Geológicos do Relevo Paulista*. (IGEOG Série Teses e Monografias, 14) São Paulo, USP, Instituto de Geografia, 110p.
- ALMEIDA FILHO, R., 1982. Os Programas LANDSAT e SPOT. In: INPE/CTC SR, *Manual de Sensoriamento Remoto Com Ênfase em Geologia*. São José dos Campos, Cap. 6, p. 144-172.
- AMARAL, G., 1982. Radar de Visada Lateral. In: INPE/CTC SR, *Manual de Sensoriamento Remoto com Ênfase em Geologia*. São José dos Campos, Cap. 7, p. 173-209.
- AMARAL, A.Z. e AUDI, R., 1972. Fotopedologia. In: MONIZ, A. C., *Elementos de Pedologia*. São Paulo, Polígono, Ed. Universidade de São Paulo. p. 429-442.
- ANGULO FILHO, R., 1981. *Variações de Características da Rede de Drenagem em Função das Fotografias Aéreas Verticais Obtidas em Épocas Diferentes*. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 128 p.
- AVERBECK, H. e SANTOS, R.D., 1969. *Manual de Fotointerpretação para Solos (1ª Aproximação)*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 33 p.

- BARR, D.J. e MILES, R.D., 1970. SLAR Imagery and Site Selection. *Photogrammetric Engineering*, 36(11):1155-1170.
- BOMBERGER, E.H. e DILL JUNIOR, H.W., 1960. Photo Interpretation in Agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, D.C., Cap. 11, p. 561-632.
- BRIDGES, E.M. e DOORNKAMP, J.C., 1963. Morphological Mapping and the Study of Soil Patterns. *Geography*, 48(1):175-181.
- BURINGH, P., 1960. The Applications of Aerial Photographs in Soil Survey. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, D.C., Cap. 11, p. 633-666.
- CAMPOS, H., 1983. *Estatística Experimental Não-Paramétrica*. 4ª ed. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Matemática e Estatística, 349 p.
- CARNEIRO, C.M.R., 1975. *Estudo da Aplicabilidade de Imagens MSS do ERTS-1 em Levantamento de Solos*. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, R.S., Universidade Federal de Santa Maria, 63 p.
- CARTER, L.D. e STONE, R.O., 1974. Interpretation of Orbital Photographs. *Photogrammetric Engineering*, 15(3):193-197.
- CARVALHO, W.A., 1977. *Fotointerpretação de Bacias Hidrográficas e Amostras Circulares de Rede de Drenagem de Solos com Horizonte B Textural*. Tese de Doutorado. Piracicaba, ESALQ/USP, 126 p.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1974. *Geomorfologia*. São Paulo, EDUSP, 148 p.

- COCHRANE, G.R. e BROWNE, G.H., 1981. Geomorphic Mapping from LANDSAT-3, Return Beam Vidicon (RBV) Imagery. *Photogrammetric Engineering*, 47(8):1205-1213.
- COMISSÃO DE SOLOS, 1960. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, 634 p. (Boletim nº 12).
- CURTIS, L.F., DOORNKAMP, J.C. e GREGORY, K.J., 1965. The Description of Relief in Field Studies of Soils. *Journal Soil Science*, 16(1):16-30.
- DELWING, L., 1973. *Radar Remote Sensing for Geoscientists*. Course Manual, CRES, University Kansas.
- DEMÉTRIO, V.A., 1977. *Variação das Características de Redes de Drenagem em Função da Escala das Fotografias Aéreas Verticais*. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 107 p.
- DONZELLI, P.L., VALÉRIO FILHO, M., PEREZ FILHO, A., NOGUEIRA, F.P. e KOFFLER, N.F., 1983. Imagens Orbitais e de Radar na Definição de Padrões Fisiográficos Aplicados a Solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 7(1):89-94.
- EPIPHANIO, J.C.N., FORMAGGIO, A.R. e VALÉRIO FILHO, M., 1983. Imagens RBV/LANDSAT-3 em Estudos da Rede de Drenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. Brasília, Anais. São José dos Campos, INPE/CNPq, V.1., p. 285-292.
- ESPINDOLA, C.R., 1977. *Relações entre Solos e Elementos da Paisagem na Zona do Baixo Rio do Peixe (Região de Conchas-Anhembi, S.P.)*. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 113 p.

- ESPINDOLA, C.R. e GARCIA, G.J., 1978. Interpretação Fotográfica de Redes de Drenagem em Diferentes Categorias de Solos. *Notícia Geomorfológica*, 18(35):71-94.
- ESPINDOLA, C.R. e GARCIA, G.J., 1979. Relações entre Grau de Desenvolvimento de Mantos de Alteração e Evolução de suas Redes de Drenagem. Campinas. *Notícia Geomorfológica*, 19(37/38):29-40.
- EVANS, I.S., 1972. General Geomorphometry of Altitude and Descriptive Statistics. In: RICHARD, J.C. *Spatial Analysis in Geomorphology*. London, Harper & Row. Cap. 2. p.17-90.
- FADEL, H., 1972. Fotointerpretação de Bacias e de Redes de Drenagem de Três Séries de Solos da Fazenda Ipanema, Município de Araçoiaba da Serra (S.P.). Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 92 p.
- FRANÇA, G.V., 1968. Interpretação Fotográfica de Bacias e Redes de Drenagem Aplicada a Solos da Região de Piracicaba. Tese de Doutorado. Piracicaba, ESALQ/USP, 151 p.
- FROST, R.E., 1960. Photointerpretation of Soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, D.C., Cap. 5, p. 343-402.
- GARCIA, G.J., 1979. Técnicas de Sensoriamento Remoto na Avaliação do Potencial de Uso de Regiões de Cerrado. Tese de Livre Docência. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, 134 p.
- GARCIA, G.J., 1982. Estudos do Solo e Relevo. In: ———. *Sensoriamento Remoto - Princípios e Interpretação de Imagens*. São Paulo. Nobel, Cap. 7, p. 194-204
- GARCIA, G.J., MARCHETTI, D.A.B. e ESPINDOLA, C.R., 1979. Fotografias Aéreas e seus Aspectos Quantificáveis para a Fotopedologia. Botucatu, UNESP, *Ecossistema*, 14, p. 109-113.

- GEVAERD, I., 1974. *Parâmetros Fotoanalíticos de Três Unidades de Solo da Região Nordeste Paranaense*. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p.
- GIMBARZEVSKY, P., 1974a. ERTS-1 Images in Biophysical studies
In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Guelph, ON,
Proceedings Ottawa, Department of Energy, Mines and
Resources, V.2., p. 391-403.
- GIMBARZEVSKY, P., 1974b. The Significance of Topographic
Relief in Air Photo Analysis of Landscape Pattern. In:
SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING AND PHOTO INTERPRETATION,
Alberta, *Proceedings*. Alberta, International Society for
Photogrammetry, V.1, p. 165-176. .
- GLORIA, S.D. e CARNEGIE, D.M., 1974. Mapping Soil and
associated resources in northeastern California Using ERTS
-1 and Supporting Aircraft data. In: SYMPOSIUM ON REMOTE
SENSING AND PHOTOINTERPRETATION, Banff AB, *Proceedings*.
Banff, AB, Canadian Institute of Surveyng, V.1, p. 65-74.
- GOMES, F.P., 1970. *Curso de Estatística Experimental*. 4.ed.
Piracicaba, Livraria Nobel, 430 p.
- GOOSEN, D., 1968. *Interpretação de Fotos Aéreas y Su Importa*
cia em Levantamiento de Suelos. Roma, FAO, 58 p. (Boletim
sobre Suelos nº 6).
- HACKMAN, R.J., 1967. Time, Shadows, Terrain and
Photointerpretation. *Geological Survey Professional Paper*,
(575-B):B155-B160.
- HARALICK, R.M. e SHAMMUGAN, K.S., 1974. Combined Spectral
and Spatial Processing of ERTS Imagery data. *Remote
Sensing of Environment*, 3(1):3-13.

- HILWIG, F.W. e KARALE, R.L., 1973. Physiographic Systems and Elements of Photo Interpretation as Applied to Soil Survey in the Ganges Plain. *Journal Indian Society Soil Science*, 21(2):205-212.
- HORTON, R.E., 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basis: Hidrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56(1):275-370.
- INSTITUTO FLORESTAL, 1975. *Levãntamento da Cobertura Vegetal Natural e do Reflorestamento no Estado de São Paulo*. 2.ed. São Paulo, 52 p. (Boletim Técnico nº 11).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), 1981a. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT, 94 p. (Série Monografias, 5/IPT 1183).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), 1981b. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT, 126p. (Série Monografias, 6/IPT 1184).
- KITCHO, C.A., 1979. Optimum LANDSAT Sun Angles for Extreme Contrasts of Terrain. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13, Ann Arbor. M.I. *Proceedings*, Ann Arbor, M.I. ERIM. V.2, p. 1213-1229.
- KOFFLER, N.F., 1976a. *Análise Aerofotográfica da Influência da Área de Amostragem Circular na Caracterização Quantitativa do Padrão de Drenagem*. São José dos Campos, INPE. (INPE 974-NTE/074).
- KOFFLER, N.F., 1976b. *Utilização de Imagens Aerofotográficas e Orbitais no Estudo do Padrão de Drenagem em Solos Originados de Arenito Bauru*. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 167 p. (INPE 898-TPT/029).

- KOFFLER, N.F., 1982a. Análise de Relevo a Partir de Índices de Drenagem Obtidos com Fotografias Aéreas. *Boletim de Geografia Teorética*, 12(23/24):69-76.
- KOFFLER, N.F., 1982b. Identificação da Cultura da Cana de Açúcar (*Sacharum spp*) Através de Fotografias Aéreas Infravermelhas Coloridas e Dados Multiespectrais do Satélite LANDSAT. Piracicaba, ESALQ/USP. Tese de Doutorado, 234 p.
- KOOPMANS, B.N., 1973. Drainage Analysis on Radar Images. *ITC Journal*, 3:464-469.
- LEÃO, S.R.F., 1972. Interpretação Fotográfica dos Padrões de Drenagem Desenvolvida em Dois Solos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p.
- LEÃO, S.R.F., 1983. Interpretação Fotográfica de Características do Relevo e da Drenagem em Dois Solos do Distrito Federal. Tese de Doutorado. Piracicaba, ESALQ/USP, 166 p.
- LOBECK, A.K., 1939. *Geomorphology: An Introduction to the Study of Landscapes*. New York, Mc Graw-Hill Book Co., Inc. 731 p.
- LUEDER, D.R., 1959. *Aerial Photographic Interpretation; Principles and Applications*. New York, Mac Graw-Hill, 462 p.
- LYON, R.J.P.; MERCADO, J. e CAMPBELL JUNIOR, R. 1970. Pseudo Radar Very High Contrast Aerial Photography at Low Sun-Angles. *Photogrammetric Engineering*, 36(12):1257-1261.
- MANECHINI, C., 1981. Utilização de Fotografias Aéreas na Comparação de Sistemas de Drenagem de Três Solos da Região de Tambaú-SP. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 133 p.

- MARCHETTI, D.A.B., 1969. Fotointerpretação de Atributos do Relevo Aplicados a Solos da Região de Piracicaba. Tese de Doutorado. Piracicaba, ESALQ/USP, 58 p.
- MONTOYA, J.A., 1977. Comparacion de Interpretaciones Fisiograficas de Imagens LANDSAT, Radar y Fotografias Aéreas para uma Zona de Los Llanos Orientales de Colombia. *Revista CIAF*. 4(1):83-89. 1977.
- MONTOYA, J.A., 1983. Interpretacion de Imagenes LANDSAT para el Mapeo de Suelos Bases para una Metodologia. *Revista CIAF*, 8(1):201-233.
- NASA, 1976. Earth Resources Technology Satellite; Data Users Handbook. Greenbelt, MA (NASA 76 SDS 4258).
- NOGUEIRA, F.P., 1979. *Utilização de Fotografias Aéreas em Três Escalas no Estudo de Redes de Drenagem em Diferentes Unidades de Solo*. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p.
- NOVO, E.M.L.M., 1983. Efeito do Angulo de Elevação Solar e do Azimute na Determinação de Compartimentos Geomorfológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. Brasília, Anais. São José dos Campos, INPE/CNPq, v.1 p. 53-66.
- NUNNALLY, N.R., 1969. Intergrated Landscape Analysis with Radar Imagery. *Remote Sensing of Environment*, (1):1-6.
- OLIVEIRA, J.B., MENK, J.R.F., BARBIERI, J.L., ROTTA, C. L e TREMOCOLDI, W., 1982. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo. *Quadrícula de Araras. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico de Campinas*, nº 71, 180 p.
- PACHECO, R.A. e HOWARD, J.A., 1977. Application of Satellite Remote Sensing to Landscapes and Soils. In: SOIL SURVEY REMOTE SENSING. 1, Rome. *Proceedings*. Rome, p. 159-172.

- PARRY, J.T., 1974. X Band Radar in Terrain Analysis Under Summer and Winter Conditions. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Guelph, ON, *Proceedings*. Ottawa, Department of Energy, Mines and Resources, V.2., p. 472-485.
- PASOTTI, P. e CANOBA, C.A., 1980. Drainage and Lineaments Study of the Pampean Plain With Remote Sensing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14., San Jose (Costa Rica), *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, v.2, p. 1419-1428.
- PHILIPS, M.L., 1970. *Quantitative Differentiation of Soil Associations Areas Using Aerial Photographs*. Doctoral Thesis, Urbana, University of Illinois. Department of Civil Engineering, 187 p.
- PINTO, S.A.F., 1983. *Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto para a Caracterização de Erosão do Solo no SW do Estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 122 p. (INPE-2694-TDL/128).
- POLITANO, W., 1980. *Estudo Fotointerpretativo sobre a Morfometria das Áreas de Dois Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos*. Tese de Doutorado. Piracicaba, ESALQ/USP, 169 p.
- PRADO, H., OLIVEIRA, J.B. e ALMEIDA, C.L.F., 1981. *Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo; Quadricula de São Carlos*. Campinas, Instituto Agrônomo, Mapa na Escala 1:100.000.
- QUEIROZ NETO, J.P. e MODENESI, M.C., 1973. *Observações Preliminares sobre as Relações entre os Solos e a Geomorfologia na Área de Itu-Salto*. São Paulo. USP. Série Sedimentologia e Pedologia. 28 p.

- QUEIROZ NETO, J.P., 1978. Les Problemes de L'erosion Acceleree dans L'Etat de São Paulo. Bresil. *Separatu da Geo-Eco-Trop.*, 2:205-220.
- RABBEN, E.L., 1960. Fundamentals of Photo Interpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, p. 99-168.
- RAY, R.G., 1963. *Fotografias Aéreas na Interpretação e Mapeamento Geológico*. Tradução de Jesuino Felicissimo Junior. São Paulo, Instituto Geográfico e Geologico, 162 p.
- RAY, R.G., e FISCHER, W.A., 1960. Quantitative Photography a Geology Research Tool. *Photogrammetric Engineering*. 26(1):143-150.
- RICCI, M. e PETRI, S., 1965. *Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica*. São Paulo, Editôra Nacional. 226 p.
- SEGOVIA, A.V., FOSS, J.E. e SOLER, E.A., 1980. Evaluation of Soils and Landscapes of the Seasonal Tropics by Means of Remote Sensing Images; an Interdisciplinary Study. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14., San Jose (Costa Rica), *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, v.2, p. 913-928.
- SETZER, J., 1966. *Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo. Comissão Interestadual da Bacia Paranã - Uruguai, 16 p.
- SILVA, L.C.F., 1977. Fotointerpretação de Redes de Drenagem de Solos do Município de São Pedro (SP). Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 114 p.

- SIMONS, J.H., 1964. Some Applications of Side-Looking Airborne Radar. In: SIMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 3. Ann Arbor, M.I., *Proceedings Ann Arbor*, v.1, p. 563-71.
- SIMONSON, R.W., 1950. Use of Aerial Photographs in Soil Survey. *Photogrammetric Engineering*, 16(2):308-315.
- SMITH, K.G., 1950. Standards for Grading Texture of Erosional Topography. *American Journal Science.*, 248:655-668.
- SMITH, G.D. e AANDAHL, A.R., 1957. Soil Classification and Survey. In: U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Soil* Washington, D.C., p. 396-400. (Yearbook of Agriculture).
- SOARES, P.C. e FIORI, A.P., 1976. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. *Notícia Geomorfológica*, 16(32):71-104.
- SOIL CONSERVATION SERVICE, 1948. *Guide for Soil Conservation Surveys*. U.S.D.A. Washington, D.C. Cap. 1. p. 1-32.
- SOIL CONSERVATION SERVICE, 1966. Aerial Photo-Interpretation in Classifying and Mapping Soils. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Soil Interpretation from Aerial Photographs*. Washington, D.C. p. 19-84.
- SOUZA, E.B., 1977. *Fotointerpretação da Rede de Drenagem na Diferenciação de Unidades de Mapeamento de Solos Ocorrentes na Depressão Central do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Santa Maria (R.S.), Universidade Federal de Santa Maria, 99 p.
- SOUZA, M.L.P., 1975. *Fotointerpretação das Redes de Drenagem de três Solos com Horizonte B Latossólico Ocorrentes no Município de Ponta Grossa (P.R.)*. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 135 p.
- STRAHLER, A.N., 1956. Quantitative Slope Analysis. *Bul. Geol. Soc. Am.* 67:571-596.

- STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions Amer. Geophys. Union*. 38(6):913-920.
- STRAHLER, A.N., 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: HANDBOOK OF APPLIED HIDROLOGY, New York, NY, Mc Graw-Hill, Sec. 4. p. 11.
- TOY, T.J., 1977. Introduction to the Erosion Process. In: EROSION; Research Techniques, Erodibility and Sediment Delivery. Norwich, Eng. *Geo Abstracts*, p. 7-18.
- TOWNSHEND, J.R., WILLIAMS, D.F. e JUSTICE, C.O., 1977. An Evaluation of LANDSAT-3 RBV Imagery for an Area of Complex Terrain in Southern Italy. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, MI, *Proceedings*. Ann Arbor, MI. ERIM. v.3., p. 1839-1852.
- VALÉRIO FILHO, M., HIGA, N.T. e CARVALHO, V.C., 1976. *Avaliação das Imagens Orbitais (LANDSAT-1) como Base para o Levantamento de Solos*. São José dos Campos, INPE/CNPq, 276 p. (INPE-912-TPT/030).
- VALÉRIO FILHO, M., QUEIROZ NETO, J.P., KOFFLER, N.F., NAKASHIMA, P. e MATTOS, J.T., 1979. *Reconhecimento dos Grandes Domínios Pedológicos na Bacia do Paraíba (Parte Ocidental) através de Imagens LANDSAT*. São José dos Campos, INPE. 53 p. (INPE-1632-RPE/088).
- VALÉRIO FILHO, M., EPIPHANIO, J.C.N. e FORMAGGIO, A.R., 1981. *Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicações em Pedologia*. São José dos Campos, INPE/CNPq. 52 p. (INPE, 2211-MD/008).
- VIEIRA, L.S., 1975. Relevo. In: VIEIRA, L.S. *Manual de Ciência do Solo*. São Paulo, Agronômica Ceres, Cap. 3, p. 83-88.

- VINK, A.D.A., 1963. *Fotografías Aereas y las Ciencias del Suelo*. International Training Centre for Aerial Survey. Delft, 200 p.
- WALKER, P.M. e TREXLER, D.T., 1977. Low Sun-Angle Photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(4):493-506.
- WENTWORTH, C.K., 1930. A Simplified Method of Determining the Average Slope of Land Surfaces. *Am. J.Sci.* 20(117):184-194.
- WESTIN, F.C., 1973. ERTS-1 MSS IMAGERY: Its Use in Delineating Soil Associations and as a Base Map for Publishing Soil Informations. EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM., 3. Washington, D.C. *Proceedings*. Washington, D.C. NASA. v.1, p. 183-204.
- WESTIN, F.C. e FRAZEE, C.J., 1976. LANDSAT. Data Its Use in a Soil Survey Program. *Soil Science*, 40(1):81-89.
- WESTIN. F.C. e BRANDNER, T.M., 1980. Use of LANDSAT Data in Soil and Agricultural Land Use Studies. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14. San Jose (Costa Rica), *Proceedings*. Ann Arbor. M.I., ERIM. V.1, p. 389-400.
- WONG, K.W., THORNBURN, T.H. e KHOURY, M.A., 1977. Automatic Soil Identification from Remote Sensing Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(1):73-80.
- ZAR, J.H., 1978. *Biostatistical Analysis*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, Cap. 11 e 12, p. 131-161.

APÊNDICE

As Figuras 1 a 28 ilustram as amostras circulares da drenagem e do relevo com área de 10 km² para os cinco solos estudados.

Figura 1 - Amostras circulares S_{1a} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Roxo eutrófico (LRe).

Figura 2 - Amostras circulares S_{1b} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Roxo eutrófico (LRe).

Figura 3 - Amostras circulares S_{1c} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Roxo eutrófico (LRe).

Figura 4 - Amostras circulares S_{1d} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Roxo eutrófico (LRe).

Figura 5 - Amostras circulares S₂a da drenagem e do relevo, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (PV₂).

Figura 6 - Amostras circulares S₂b da drenagem e do relevo, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (PV₂).

Figura 7 - Amostras circulares S₂c da drenagem e do relevo, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (PV₂).

Figura 8 - Amostras circulares S₂d da drenagem e do relevo, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (PV₂).

Figura 9 - Amostras circulares S₂e da drenagem e do relevo, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (PV₂).

Figura 10 - Amostras circulares S₂f da drenagem e do relevo, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (PV₂).

Figura 11 - Amostras circulares S_{2g} da drenagem e do relevo, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (PV_2).

Figura 12 - Amostras circulares S_{2h} da drenagem e do relevo, representativas da unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (PV_2).

Figura 13 - Amostras circulares S_{3a} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média (LV₅).

Figura 14 - Amostras circulares S_{3b} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média (LV₅).

Figura 15 - Amostras circulares S_3c da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média (LV_5).

Figura 16 - Amostras circulares S_3d da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa/média (LV_5).

Figura 17 - Amostras circulares S₄a da drenagem e do relevo, representativas da unidade Areias Quartzosas (AQ).

Figura 18 - Amostras circulares S₄b da drenagem e do relevo, representativas da unidade Areias Quartzosas (AQ).

Figura 19 - Amostras circulares S_4c da drenagem e do relevo, representativas da unidade Areias Quartzosas (AQ).

Figura 20 - Amostras circulares S_4d da drenagem e do relevo, representativas da unidade Areias Quartzosas (AQ).

Figura 21 - Amostras circulares S_4e da drenagem e do relevo, representativas da unidade Areias Quartzosas (AQ).

Figura 22 - Amostras circulares S_4f da drenagem e do relevo, representativas da unidade Areias Quartzosas (AQ).

Figura 23 - Amostras circulares S_{5a} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV₂).

Figura 24 - Amostras circulares S_{5b} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV₂).

Figura 25 - Amostras circulares S₅c da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV₂).

Figura 26 - Amostras circulares S₅d da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV₂).

Figura 27 - Amostras circulares S_{5e} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV₂).

Figura 28 - Amostras circulares S_{5f} da drenagem e do relevo, representativas da unidade Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LV₂).