INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT-5, EM DUAS ESCALAS, NA
CARACTERIZAÇÃO FISIOGRAFICA PARA MAPEAMENTO DE SOLOS

CARLOS ALBERTO VETTORAZZI
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

Tese apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz", da Universidade
de São Paulo, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia,
Area de Concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro - 1988

V592i Vettorazzi, Carlos Alberto
Interpretação de imagens TM/Landsat-5, em duas
escalas, na caracterização fisiográfica para mapea-
mento de solos. Piracicaba, 1988.
184p. ilustr.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Fotointerpretação 2. Sensoriamento remoto 3.
Solo - Levantamento I. Escola Superior de Agricul-
tura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.47

INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT-5, EM DUAS ESCALAS, NA
CARACTERIZAÇÃO FISIOGRAFICA PARA MAPEAMENTO DE SOLOS

CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

Aprovada em: 20 / 12 / 1988

Comissão julgadora :

Dr. Geraldo Victorino de França	ESALQ / USP
Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto	ESALQ / USP
Dr. Valdemar Antonio Demétrio	ESALQ / USP
Dr. Rubens Angulo Filho	ESALQ / USP
Dr. Natálio Felipe Koffler	IGCE / UNESP

Prof. Dr. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA
Orientador

A minha esposa,

Ligia,

e

Aos meus pais,

Odemar e Maria Luiza,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

- Ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, através de seu chefe, Prof. Dr. Antonio Sanchez de Oliveira, por possibilitar a realização desta tese.
- Ao Prof. Dr. Geraldo Victorino de França, do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP, pelos ensinamentos e pela orientação na elaboração deste trabalho.
- Ao Prof. Dr. Hilton T. Z. do Couto, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, pelas sugestões e valiosa colaboração na análise estatística.
- Ao Prof. Dr. Rubens Angulo Filho, do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, pelo incentivo e sugestões.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro necessário à realização desta pesquisa.

A Seção de Pedologia do Instituto Agronômico, Campinas, através do Dr. J. B. de Oliveira, pelo acesso aos dados de campo referentes aos solos da área de estudo.

Ao acadêmico Manuel J. Ortiz, da ESALQ/USP, pelo auxílio na elaboração dos desenhos.

A Lígia H. Valdrighi Vettorazzi, pelo trabalho de datilografia dos originais e, acima de tudo, pelo incentivo e apoio.

SUMARIO

Página

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xxi
SUMMARY	xxiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Sensoriamento remoto em levantamentos de solos	4
2.2. Rede de drenagem superficial em fotopedologia	17
2.3. Elementos do relevo em fotopedologia	24
2.4. Tonalidade e textura fotográficas	28
2.5. Análise de agrupamentos em trabalhos de fotopedologia	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. Material	31
3.1.1. Caracterização do meio físico	31
3.1.1.1. Localização geográfica	31
3.1.1.2. Geologia	31
3.1.1.3. Geomorfologia	37
3.1.1.4. Clima	42

3.1.1.5. Vegetação natural e uso da terra	44
3.1.1.6. Solos	44
3.1.2. Material cartográfico	63
3.1.3. Imagens de satélite.	66
3.1.4. Equipamentos	69
3.2. Métodos	70
3.2.1. Seleção da área de estudo	70
3.2.2. Seleção das imagens	71
3.2.3. Elaboração dos mapas da rede de drenagem superficial.	72
3.2.4. Delimitação de áreas homogêneas quanto ao relevo.	74
3.2.5. Mapeamento das unidades fisiográficas	75
3.2.6. Caracterização das unidades fisiográficas quanto à rede de drenagem e ao relevo.	76
3.2.6.1. Rede de drenagem superficial	76
3.2.6.2. Relevo	80
3.2.7. Caracterização pedológica das unidades fisiográficas	83
3.2.8. Checagem de campo	84
3.2.9. Análise estatística	84
3.2.9.1. Introdução	84

3.2.9.2. Passos da análise	88
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
4.1. Traçado da rede de drenagem superficial ...	96
4.2. Delimitação de áreas homogêneas quanto ao relevo	101
4.3. Delimitação das unidades fisiográficas ...	103
4.4. Caracterização das unidades fisiográficas quanto à rede de drenagem e ao relevo	108
4.5. Caracterização pedológica das unidades fisiográficas	114
4.6. Análise de agrupamentos	114
4.6.1. Escala 1:100.000	114
4.6.2. Escala 1:250.000	128
4.6.3. Considerações sobre os resultados da Análise de Agrupamentos	137
4.7. Avaliação da eficiência dos elementos de interpretação.	140
4.8. Considerações sobre o cálculo dos índices de drenagem para as unidades fisiográficas .	163
5. CONCLUSÕES	165
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	168

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo	32
Figura 2 - Distribuição espacial das unidades litoestratigráficas ocorrentes na área de estudo	34
Figura 3 - Divisão geomorfológica do Estado de São Paulo e localização da área de estudo .	38
Figura 4 - Balanço hídrico pelo método de "Thornthwaite & Mater - 1955" (125 mm), para o município de Limeira-SP	43
Figura 5 - Mapa de solos da área de estudo	64
Figura 6 - Perfis representativos da distribuição das unidades de solo da área de estudo em função do relevo	65
Figura 7 - Satélite LANDSAT-5	67
Figura 8 - Exemplo hipotético de fenograma	93
Figura 9 - Rede de drenagem superficial da área estudo, obtida através de imagens	

TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:100.000	97
---	----

Figura 10 - Rede de drenagem superficial da área de estudo, obtida através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:250.000	98
---	----

Figura 11 - Unidades fisiográficas e rede de drenagem superficial da área de estudo, obtidas através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:100.000 .	104
---	-----

Figura 12 - Unidades fisiográficas da área de estudo, obtidas através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:100.000	105
--	-----

Figura 13 - Unidades fisiográficas e rede de drenagem superficial da área de estudo, obtidas através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:250.000 .	106
---	-----

Figura 14 - Unidades fisiográficas da área de estudo, obtidas através de imagens	
---	--

TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala

1:250.000 107

Figura 15 - Diagrama correspondente à análise de
agrupamentos para a escala 1:100.000 .. 118

Figura 16 - Diagrama correspondente à análise de
agrupamentos para a escala 1:250.000 .. 129

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 - Temperatura média mensal e precipitação pluviométrica mensal registradas no município de Limeira	43
Tabela 2 - Características das imagens orbitais empregadas	70
Tabela 3 - Características da drenagem superficial e do relevo (codificadas), das unidades fisiográficas, para a escala 1:100.000 .	109
Tabela 4 - Características da drenagem superficial e do relevo (codificadas), das unidades fisiográficas, para a escala 1:250.000 .	111
Tabela 5 - Caracterização pedológica das unidades fisiográficas, para a escala 1:100.000 .	115
Tabela 6 - Caracterização pedológica das unidades fisiográficas, para a escala 1:250.000 .	116
Tabela 7 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens	

TM/LANDSAT na escala 1:100.000 , para GR1	119
--	-----

Tabela 8 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000 , para GR2	121
---	-----

Tabela 9 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000 , para GR3	123
---	-----

Tabela 10 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000 , para GR4	125
--	-----

Tabela 11 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das	
--	--

variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000 , para GR5	127
Tabela 12 - Grupos de unidades fisiográficas definidos pela análise de agrupamentos, e solos a eles associados, para a escala 1:100.000	128
Tabela 13 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000 , para GR1'	131
Tabela 14 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000 , para GR2'	132
Tabela 15 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das	

variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000 , para GR3'	133
--	-----

Tabela 16 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000 , para GR4'	134
--	-----

Tabela 17 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000 , para GR5'	135
--	-----

Tabela 18 - Grupos de unidades fisiográficas definidos pela análise de agrupamentos, e solos a eles associados, para a escala 1:250.000	136
---	-----

Tabela 19 - Resultados do teste F para as variáveis da rede de drenagem e do relevo, dos	
--	--

cinco grupos definidos de unidades
fisiográficas, para a escala 1:100.000 . 141

Tabela 20 - Resultados do teste F para as variáveis
da rede de drenagem e do relevo, dos
cinco grupos definidos de unidades
fisiográficas, para a escala 1:250.000 . 142

Tabela 21 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
DENSIDADE (escala 1:100.000) 143

Tabela 22 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
DENSIDADE (escala 1:250.000) 143

Tabela 23 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
GRAU DE UNIFORMIDADE (escala
1:100.000) 144

Tabela 24 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
GRAU DE UNIFORMIDADE (escala
1:250.000) 144

Tabela 25 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ANGULOS DE JUNÇÃO (escala 1:100.000)	145
Tabela 26 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ANGULOS DE JUNÇÃO (escala 1:250.000)	145
Tabela 27 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ORIENTAÇÃO (escala 1:100.000)	146
Tabela 28 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ORIENTAÇÃO (escala 1:250.000)	146
Tabela 29 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ANGULARIDADE (escala 1:100.000)	147
Tabela 30 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ANGULARIDADE (escala 1:250.000)	147
Tabela 31 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável GRAU DE CONTROLE (escala 1:100.000)	148

Tabela 32 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável GRAU DE CONTROLE (escala 1:250.000) ..	148
Tabela 33 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável TIPO OU MODELO (escala 1:100.000)	149
Tabela 34 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável TIPO OU MODELO (escala 1:250.000)	149
Tabela 35 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável DENSIDADE DE DRENAGEM (escala 1:100.000)	150
Tabela 36 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável DENSIDADE DE DRENAGEM (escala 1:250.000)	150
Tabela 37 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável FREQUENCIA DE RIOS (escala 1:100.000)	151

Tabela 38 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável FREQUENCIA DE RIOS (escala 1:250.000)	151
Tabela 39 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável COMPRIMENTO MEDIO DE RIOS (escala 1:100.000)	152
Tabela 40 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável COMPRIMENTO MEDIO DE RIOS (escala 1:250.000)	152
Tabela 41 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável TIPO DE RELEVO (escala 1:100.000)	153
Tabela 42 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável TIPO DE RELEVO (escala 1:250.000)	153
Tabela 43 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável CLASSE DE RELEVO (escala 1:100.000) ..	154

Tabela 44 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
CLASSE DE RELEVO (escala 1:250.000) .. 154

Tabela 45 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
COMPRIMENTO DAS VERTENTES (escala
1:100.000) 155 .

Tabela 46 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
COMPRIMENTO DAS VERTENTES (escala
1:250.000) 155

Tabela 47 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
POSIÇÃO TOPOGRÁFICA (escala 1:100.000) 156

Tabela 48 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de
5 % de probabilidade, para a variável
POSIÇÃO TOPOGRÁFICA (escala 1:250.000) 156

INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT-5, EM DUAS ESCALAS, NA
CARACTERIZAÇÃO FISIOGRAFICA PARA MAPEAMENTO DE SOLOS

Autor: CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

Orientador: Prof. Dr. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade principal de avaliar a potencialidade do emprego de imagens orbitais TM/LANDSAT em levantamentos pedológicos, através de critérios fisiográficos.

A área de estudo localiza-se no Estado de São Paulo, entre as latitudes $22^{\circ}30'S$ e $22^{\circ}45'S$, e as longitudes $47^{\circ}15'W$ Gr. e $47^{\circ}30'W$ Gr. Esta área inclui-se totalmente na província geomorfológica denominada Depressão Periférica, zona do Médio Tietê. Geologicamente é caracterizada pela predominância de sedimentos do grupo Tubarão e de suites básicas. O regime climático é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco. Apresenta importantes núcleos urbanos, ao lado de uma intensa ocupação agrícola, principalmente com as culturas de cana-de-açúcar e citros. Apresenta grande diversificação em relação aos solos, podendo-se, no entanto, reuni-los em

três grupos principais: solos com horizonte B latossólico (LR, LE e LV); solos com horizonte B textural (PV e TE) e solos litólicos (Li).

Através da interpretação visual das imagens, nas bandas TM-3, TM-4 e TM-5, nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, foi feita a estratificação do terreno em áreas homogêneas, com relação aos critérios rede de drenagem e relevo, denominando-as unidades fisiográficas. Cada unidade foi caracterizada quanto a elementos descritivos e quantitativos da drenagem e apenas descritivos do relevo. Fez-se também a caracterização pedológica de cada unidade, determinando-se o(s) solo(s) a ela associado(s).

Na definição de grupos de unidades fisiográficas referentes a diferentes tipos de solo foi testada a Análise de Agrupamentos (multivariada), através dos elementos de interpretação, após o que foi verificada a eficiência de cada elemento na discriminação entre os diferentes grupos.

Os resultados obtidos permitiram chegar às seguintes conclusões principais: (1) o emprego conjugado de imagens de três bandas diferentes (TM-3, TM-4 e TM-5) foi de grande utilidade na delimitação das unidades fisiográficas, para ambas as escalas estudadas; (2) os critérios rede de drenagem e relevo tiveram comprovada a sua eficiência na interpretação visual de imagens, visando-se à estratificação regional em áreas fisiograficamente

distintas; (3) a utilização da Análise de Agrupamentos possibilitou a formação de grupos de unidades fisiográficas, relacionados a solos morfológica e geneticamente semelhantes; (4) para as duas escalas estudadas, os elementos que melhor desempenho apresentaram na distinção entre os grupos de unidades fisiográficas foram a densidade (entre as características descritivas da drenagem); a densidade de drenagem e a frequência de rios (entre os índices de drenagem) e, a classe de relevo e o comprimento das vertentes (entre os elementos do relevo).

INTERPRETATION ON TM/LANDSAT-5 IMAGES, IN TWO SCALES, IN
THE PHYSIOGRAPHIC CHARACTERIZATION FOR SOILS MAPPING

Author: CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

Adviser: PROF. DR. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

SUMMARY

The main purpose of this thesis was to evaluate the potentiality of using TM/LANDSAT images in soil surveys, through physiographic criteria.

The study area is situated in São Paulo State, between parallels $22^{\circ}30'S$ and $22^{\circ}45'S$, and meridians $47^{\circ}15'W$ Gr. and $47^{\circ}30'W$ Gr. This area is included in the geomorphological province named Depressão Periférica (Peripheral Depression), in the Médio Tietê (Middle Tiete) zone. It is geologically characterized by a predominance of sediments from the Tubarão group and of basic suites. The climate is of the Cwa type, identified as mesothermic with dry winter. There are important urban centers, side by side to an intensively used agricultural land, cropped mainly with sugar-cane and citrus. The studied area has a large diversification in relation to soils, although they can be classified in three main groups: soils with oxic B horizon,

soils with argillic B horizon and Entisols (Lithosols).

Through the visual interpretation on the images, in the TM-3, TM-4 and TM-5 bands, on the 1:100,000 and 1:250,000 scales, a regional stratification in homogeneous areas in relation to the drainage network and relief criteria was made, naming them "physiographic units". Each unit was characterized by the descriptive and quantitative drainage elements and only descriptive relief elements. The units were characterized also in relation to the soils, by the determination of the soils associated to them.

Cluster Analysis was tested in the definition of physiographic unit groups related to different kinds of soil, and after the efficiency of each element on the discrimination of the different groups was tested.

The results led to the following major conclusions: (1) the combined use of images from three different bands (TM-3, TM-4 and TM-5) was useful in the delimitation of the physiographic units, for both studied scales; (2) the efficiency of the drainage network and relief criteria in the regional stratification in physiographically different areas was confirmed; (3) Cluster Analysis allowed the formation of physiographic unit groups, related to morphological and genetically similar soils; (4) for the two scales, the more efficient elements in the differentiation of physiographic unit

groups were the density (among the descriptive drainage network characteristics), the drainage density and the river frequency (among the drainage indices) and the relief class and slope length (among the relief elements).

1. INTRODUÇÃO

O emprego de imagens e dados obtidos através de satélites artificiais vem assumindo importância cada vez maior, no Brasil, dentro de um grupo de atividades genericamente denominado levantamento de recursos naturais, do qual fazem parte os levantamentos geológicos, pedológicos, hidroológicos, de vegetação, etc. Nestes trabalhos os fatores do ambiente físico são estudados e mapeados, com a finalidade principal de orientar a sua exploração e/ou ocupação da forma a mais racional possível.

Notadamente para as atividades agropecuárias e florestais, o levantamento pedológico assume importância vital, uma vez que é através do conhecimento das características e, conseqüentemente, das potencialidades do solo, que a sua exploração poderá realizar-se pelo prazo mais longo possível, com o mínimo de degradação.

Os levantamentos convencionais de solos implicam em exaustivos trabalhos de campo, laboratório e escritório, de um modo geral envolvendo descrição de perfis; coleta de material em inúmeros pontos de amostragem; análises químicas, físicas e mineralógicas;

processamento e análise dos dados; definição das unidades de mapeamento; para que, só então, sejam definidos os seus limites em uma carta.

A utilização de diversos produtos fotográficos (fotografias aéreas, imagens de radar e de satélite), isolados ou conjugadamente, pode reduzir bastante o trabalho em levantamentos de solos, uma vez que através de sua interpretação pode-se estratificar a região de estudo em áreas homogêneas quanto ao padrão fisiográfico. Isso torna possível o planejamento global das atividades de campo, a redução do número de pontos de amostragem e também aumenta a precisão no traçado dos limites entre as unidades de solo.

As fotografias aéreas já têm o seu uso consagrado nos levantamentos pedológicos há algumas décadas. Com o advento das imagens de radar e, principalmente, das orbitais, novas possibilidades abriram-se e muitos estudos têm sido desenvolvidos visando-se ao seu aproveitamento nos levantamentos e monitoramentos de recursos terrestres. Neste contexto acha-se inserido o presente trabalho, como uma contribuição ao maior conhecimento das potencialidades das imagens orbitais multiespectrais, obtidas através do sensor "Thematic Mapper" (TM), instalado a bordo do satélite LANDSAT-5.

Na busca de promover uma ligação mais efetiva entre mapeamento de solos e sua caracterização fisiográfica

fotointerpretativa, é que foi elaborado este trabalho, tendo por objetivos principais:

- avaliar a potencialidade das imagens TM/LANDSAT, das bandas TM-3, TM-4 e TM-5, em duas escalas, no mapeamento e caracterização de áreas homogêneas quanto aos critérios rede de drenagem e relevo (unidades fisiográficas);
- testar o emprego de um método de análise multivariada (Análise de Agrupamentos) na definição de grupos de unidades fisiográficas relativos a diferentes tipos de solo;
- analisar a contribuição de vários elementos de interpretação, na definição dos grupos pela Análise de Agrupamentos;
- verificar a viabilidade do emprego das próprias unidades fisiográficas no cálculo de índices de drenagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sensoriamento remoto em levantamentos de solos

Sensoriamento remoto pode ser definido como sendo a ciência e a arte de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados coletados por aparelhos denominados sensores, que não entram em contato direto com os alvos em estudo (CREPANI, 1983).

CARROLL (1973a) comenta que, além do sensor melhor desenvolvido e conhecido, que é a câmara aerofotográfica, o sensoriamento remoto engloba outros métodos de investigação que operam em alguma porção do espectro eletromagnético de energia, variando dos comprimentos de onda relativos ao ultravioleta, passando pelas faixas do visível e do infravermelho, até as regiões de ondas longas, como as de rádio.

As técnicas de sensoriamento remoto podem ser divididas, segundo YOUNG (1976), do ponto de vista de utilidade em levantamentos de solos, em: "interpretação de fotografias aéreas" (pancromáticas ou coloridas) e "outras técnicas de sensoriamento remoto", compreendendo o uso de

outros tipos de sensores instalados em aviões e também satélites.

Por se tratar o presente trabalho de uma investigação sobre a potencialidade de imagens de satélite em levantamentos de solos, através da interpretação visual apoiada em critérios já consagrados (rede de drenagem e relevo) em trabalhos com fotografias aéreas e imagens de radar, serão apresentadas inicialmente, nesta revisão, algumas considerações sobre as aplicações desses dois importantes produtos de sensoriamento remoto.

As fotografias aéreas foram inicialmente utilizadas em levantamentos de solos como um mapa básico, oferecendo maior facilidade de orientação no campo e, conseqüentemente, aumentando o rendimento do trabalho. O primeiro mapeamento de solos utilizando fotografias aéreas foi realizado nos Estados Unidos, em 1929, por Bushnell e colaboradores, conforme relata SIMONSON (1950).

Com o tempo, técnicos e cientistas perceberam que, dada a riqueza de detalhes registrados nas fotografias aéreas, elas podiam também ser interpretadas, ou seja, utilizadas como uma fonte adicional de informações nos levantamentos. Modernamente, além dessas duas utilizações (mapa básico e fonte de informações), as fotografias aéreas são utilizadas também como uma forma alternativa de apresentação dos mapas de solos, isto é, as unidades de mapeamento são delimitadas diretamente sobre mosaicos

fotográficos, e este produto enviado para impressão.

GOOSEN (1967) comenta que, no reconhecimento ou caracterização dos solos, a finalidade da análise dos documentos fotográficos é chegar a uma classificação de superfície do terreno, a qual, através de trabalhos de campo subsequentes e análises de laboratório, pode ser traduzida em unidades de mapeamento de solos.

Segundo LEPSCH (1985), a utilização maior das fotografias aéreas, em levantamentos de solos, está no levantamento morfopedológico, ou fisiopedológico, ainda pouco comum no Brasil, que se baseia na individualização de unidades de mapeamento que são aparentes no decurso da fotointerpretação. A unidade do mapeamento morfopedológico é definida como "uma área com padrão definido de topografia, solo e vegetação" (CHRISTIAN & STEWART, 1968), ou "uma área com padrão definido de fisionomias do terreno, que estão geneticamente relacionadas" (BRINK et alii, 1966). Os levantamentos morfopedológicos têm sido largamente utilizados em países de língua oficial inglesa da África, e também na Austrália, onde denominam-se "land system". As fotografias aéreas são utilizadas diretamente no mapeamento das unidades, deixando-se a identificação do(s) solo(s) predominante(s) em cada unidade para o final, em trabalho de campo.

YOUNG (1976) é de opinião que a fotointerpretação tornou-se parte das práticas normais em

um levantamento de solos, "tanto quanto o uso do trado".

De acordo com 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; capacidade do fotointérprete e características intrínsecas da paisagem.

Conforme GOOSEN (1967), mesmo considerando-se as limitações, é possível o emprego de fotografias aéreas em levantamentos de solos para: estudar mais intensivamente os aspectos fisiográficos dos solos; extrair informações sobre as diferenças entre unidades de mapeamento, normalmente de características qualitativas, bem como os aspectos espaciais relacionados e características quantitativas; delineamento dos limites entre as unidades de solo com precisão e rapidez.

Para AMARAL & AUDI (1972), a fotografia aérea apresenta-se como material de trabalho indispensável nos levantamentos de solos, oferecendo ganho de tempo, precisão de limites e visão global da paisagem, com riqueza de detalhes.

Cabe aqui citar que a visão tridimensional, obtida a partir da observação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas, é em grande parte responsável pelo sucesso no uso desse material em levantamentos pedológicos, geológicos, geomorfológicos, etc.

Referindo-se à fotointerpretação aplicada a

levantamentos de solos, GOOSEN (1967) descreve três métodos principais de análise:

- a) Método de análise dos padrões: proposto por FROST (1960), esse método considera como padrões indicativos das condições do terreno a forma fisiográfica, a rede de drenagem superficial, os aspectos de erosão, a vegetação natural, a tonalidade fotográfica e o uso agrícola. Fixadas as condições ambientais, as grandes unidades da paisagem são subdivididas e estudados os seus padrões locais, estabelecendo-se correlações com as condições do terreno.
- b) Método de análise fisiográfica: requer amplo conhecimento dos processos geomorfológicos (intemperização, erosão, sedimentação, etc.), bem como sua influência na paisagem e, conseqüentemente, na imagem fotográfica. Classifica o terreno em unidades fisiográficas. Sugerido por BURINGH (1960) e desenvolvido por GOOSEN (1967), este método exige bons conhecimentos de geomorfologia. É tido por diversos autores como o método mais eficiente na caracterização de solos através de fotointerpretação.
- c) Método de análise dos elementos: comparado aos demais métodos, apresenta a vantagem de poder ser utilizado por pedólogos com pouca experiência em

fotointerpretação. Utiliza-se do princípio de "convergência de evidências" (COLWELL, 1952) para a separação das unidades de solo, através da análise sistemática dos elementos da paisagem, relacionando as características da superfície às condições do solo. Este método foi desenvolvido por BURINGH (1960).

Essa separação em três métodos distintos de fotointerpretação é meramente artificial, segundo GOOSEN (1967), podendo haver, em certos casos, a combinação de dois ou até dos três métodos.

Outro produto de sensoriamento remoto empregado em levantamentos de recursos naturais, inclusive pedológicos, é a imagem de radar. O acrônimo RADAR (Radio Detection and Ranging) foi criado no início da década de 50 para designar um equipamento militar usado na detecção de longo alcance de navios e aviões. Sistemas de radar com capacidade de produzir imagens de boa qualidade têm sido desenvolvidos para reconhecimento militar e também aplicados ao estudo de recursos terrestres (CARROLL, 1973b).

Existem vários sistemas de radar, mas o mais usado para estudos de solos tem sido o Radar de Visada Lateral. Esse sistema oferece, segundo PARRY (1974): um amplo ângulo de cobertura; capacidade de imageamento em condições de pouca visibilidade; 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.

No Radar de Visada Lateral, a mesma antena que emite o pulso de radar recebe o sinal de retorno refletido pelo terreno, enviando este sinal para um sistema eletrônico que o transforma em sinal elétrico que, por sua vez, passa por um tubo de raios catódicos, gerando um sinal luminoso que impressiona o filme fotográfico (CREPANI, 1983).

De acordo com BARR & MILES (1970), a distribuição média do elemento tonal, a textura individual e a combinação de ambos formam o padrão fotográfico, e 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.

A avaliação das condições topográficas através de imagens de radar é menos precisa quando se procura determinar suas dimensões, se comparada à contribuição dada pelas fotografias aéreas com o recurso da estereoscopia (BARR & MILES, 1970).

GARCIA (1979), estudando as possibilidades das técnicas de sensoriamento remoto na avaliação do potencial de uso de regiões do cerrado, conseguiu a delimitação de associações de solos em nível generalizado,

através da rede de drenagem demarcada a partir de imagens de radar.

LEBERL (1976) cita que, em mapeamentos de solos, melhores resultados poderão ser obtidos relacionando-se convenientemente as imagens de radar com imagens obtidas por outras técnicas, principalmente aquelas adquiridas por intermédio de satélites artificiais.

Segundo YOUNG (1976), a principal contribuição do sensoriamento remoto em levantamentos de solos, em adição às fotografias aéreas convencionais, provém das imagens de satélites. Cita ainda que, com os resultados obtidos até aquela data, "é improvável que as imagens de satélite venham a competir com as fotografias aéreas, em aspectos para os quais estas últimas são tecnicamente mais adequadas e corretamente utilizadas, como interpretações em escalas médias a grandes, envolvendo a visão estereoscópica de aspectos fisiográficos do terreno; para levantamentos desse tipo, as imagens de satélite são um complemento, porém não um substituto das fotografias aéreas".

YOUNG (1976) comenta ainda que as imagens de satélites abrem possibilidades para levantamentos de recursos naturais, em escalas pequenas, de países com grande extensão territorial, citando como exemplos Brasil, Índia e Tanzânia. Essa opinião é compartilhada por VALERIO FILHO et alii (1981), segundo os quais, com o advento do

sistema LANDSAT, tornaram-se disponíveis imagens multiespectrais que permitem a observação de áreas extensas, com manuseio relativamente pequeno de material e excelentes resultados.

A utilização dos satélites de sensoriamento remoto para atividades civis data do início da década de 70 quando, William Pecora, diretor do Serviço Geológico Americano, juntamente com o Departamento de Agricultura dos EUA, começa os esforços para convencer a NASA a lançar o primeiro satélite de sensoriamento remoto. Dai surge, em 1972, o primeiro satélite dedicado a recursos terrestres: o "Earth Resources Technology Satellite", ou ERTS-1, o qual é seguido pelo ERTS-2 e que passam finalmente a formar a série LANDSAT, que se encontra atualmente em sua quinta versão (LANDSAT-5). Em fevereiro de 1986, a França lança seu primeiro satélite de observação da Terra, o SPOT-1 (BARBOSA & CUNHA, 1987).

No Brasil, as pesquisas sobre a potencialidade do emprego de imagens orbitais em levantamentos de solos tiveram seu início em meados da década de 70, com trabalhos realizados por CARNEIRO (1975), VALÉRIO FILHO et alii (1976), KOFFLER (1976) e outros.

Segundo MONTOYA (1983), a possibilidade de se realizarem levantamentos de solos utilizando imagens LANDSAT baseia-se na premissa fundamental de que "solos são tanto perfis como paisagens", que é a mesma teoria em

que se baseia a interpretação de fotografias aéreas aplicada a solos.

WESTIN (1973) comenta que os perfis de solo não são vistos, quer seja nas fotografias aéreas, quer seja nas imagens orbitais; mesmo a superfície do terreno, na maior parte das vezes está coberta por vegetação. Assim, o reconhecimento e delimitação das unidades de solo podem ser realizados com base no tipo de vegetação, material de origem dos solos, relevo e rede de drenagem superficial.

A respeito da influência da cobertura vegetal sobre a identificação de solos e rochas nas imagens, SIEGAL & GOETZ (1977) comentam que a vegetação natural pode mascarar e alterar significativamente a resposta espectral da superfície terrestre, medida por varredores multiespectrais a bordo de aeronaves ou satélites. Segundo esses autores, a significância da cobertura vegetal depende da quantidade e tipo de vegetação e da reflectância espectral da superfície. Materiais de baixo albedo são os mais significativamente afetados e o seu reconhecimento pode ser prejudicado com apenas 10 % de cobertura vegetal verde.

ROUDABUSH et alii (1985) citam que dados LANDSAT processados digitalmente, feita uma estratificação preliminar segundo a paisagem (fisiografia) e materiais de origem, foram úteis na delimitação de áreas homogêneas em termos de solos, facilitando muito o posterior trabalho de

campo do pedólogo, como a descrição das unidades de solo, da vegetação, etc. De acordo com esses autores, o uso de dados LANDSAT, assim como ocorre com o uso de fotografias aéreas, resulta em economia de tempo e dinheiro, bem como melhora a qualidade dos levantamentos no que se refere à identificação dos limites entre as unidades de solo.

Ainda a respeito da análise digital de imagens de satélite no estudo de solos, BALEANI & RAED (1986) determinaram o alcance da análise digital interativa de dados MSS/LANDSAT, com apoio de análise espectroradiométrica, para identificação de diferentes condições dos solos. Segundo esses autores, a informação proporcionada pelos dados do satélite, juntamente com a análise digital interativa, constituem uma primeira aproximação na discriminação espectral do estado do solo, baseada em sua textura, rugosidade, conteúdo de matéria orgânica, óxido de ferro e umidade. A combinação desta metodologia com as técnicas convencionais de levantamento permitiu bons resultados no mapeamento de solos, uma vez que tornou possível uma determinação rápida e precisa dos grandes ambientes em nível de semidetalhe.

O aprimoramento no levantamento de solos pode ainda ser obtido pelo uso conjunto de dados orbitais e quantitativos do terreno. WONG et alii (1977) citam que a aplicação combinada de sensoriamento remoto e dados digitais do terreno pode levar a um método confiável de

identificação automática de solos. Pequenas diferenças nos tipos de solo podem ser detectadas pelo uso de fatores quantitativos do terreno, que são computados a partir de dados digitais.

VALERIO FILHO (1984) avaliou a contribuição de determinados índices de drenagem e de relevo, extraídos de fotografias aéreas e cartas topográficas, na diferenciação de cinco solos, contidos em unidades fisiográficas previamente mapeadas com o auxílio de imagens LANDSAT e mosaicos de radar. O autor concluiu que os índices de relevo, de uma maneira geral, foram mais eficientes que os índices de drenagem na discriminação dos solos.

Ao lado do tratamento digital dos dados de sensoriamento remoto, há também a análise ou interpretação visual das imagens. Juntamente com motivos técnicos, o fato de nem todos os usuários de imagens de satélites disporem do equipamento necessário à análise digital dos dados, justifica os estudos na área de interpretação visual. Esses estudos têm por base parte da metodologia já desenvolvida para o emprego de fotografias aéreas em levantamentos de solos. Embora necessite de um trabalho intensivo sobre as imagens (normalmente cópias em papel fotográfico), a interpretação visual empregada criteriosamente conduz a resultados bastante satisfatórios, como demonstram trabalhos realizados na área (VALERIO FILHO et alii, 1976;

KOFFLER, 1976; VALERIO FILHO et alii, 1979; DONZELI et alii, 1983; etc.).

WESTIN & FRAZEE (1976) verificaram que os dados LANDSAT são aplicáveis aos levantamentos de solos pelas seguintes razões: visão sinóptica do terreno; disponibilidade de dados multiespectrais; possibilidade de obtenção de dados temporais e projeção quase ortogonal.

GIMBARZEVSKY (1974a) comenta que as imagens fornecidas pelo sistema LANDSAT apresentam vantagens e limitações. A pequena escala proporciona uma visão global de áreas extensas, porém limita o mapeamento de certos detalhes importantes. A falta de estereoscopia é uma séria limitação ao 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 e efeito de sombreamento.

A visão global de áreas extensas, proporcionada pelas imagens orbitais de pequena escala, possibilita a 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 & HOWARD (1977), SEGOVIA et alii (1980) e COCHRANE & BROWNE (1981).

MUNTOYA (1977), trabalhando com diferentes

produtos fotográficos (imagens LANDSAT, de radar e fotografias aéreas), concluiu que as unidades da paisagem puderam ser identificadas e delineadas, tanto nas imagens de satélite como nas de radar. Os elementos de interpretação como relevo, vegetação e rede de drenagem, foram muito úteis como auxiliares na identificação das unidades fisiográficas associadas aos solos.

GARCIA et alii (1981), em trabalho semelhante, avaliaram os três tipos de imagens no mapeamento de padrões de drenagem e vegetação, em uma área de 100.000 ha no Estado de São Paulo. Os autores concluíram que as imagens de radar foram as mais eficientes no estudo dos padrões de drenagem e fisiografia de áreas extensas, enquanto as imagens de satélite (MSS/LANDSAT) destacaram-se no estudo da cobertura vegetal, embora as fotografias aéreas tenham-se demonstrado o método mais preciso para ambos os casos.

2.2. Rede de drenagem superficial em fotopedologia

Tanto a rede de drenagem superficial quanto o relevo têm-se mostrado critérios úteis à interpretação visual de imagens orbitais aplicada a levantamentos de solos, à semelhança do que ocorre com a interpretação de fotografias aéreas.

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 um volume de deflúvio suficiente para a formação de canais. Este "comprimento crítico" depende da declividade da superfície, velocidade do deflúvio, capacidade de infiltração e resistência do solo à erosão.

FROST (1960) verificou que os padrões de drenagem 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 dos solos.

LUEDER (1959) cita que, depois do relevo, a rede de drenagem superficial é o mais consistente e confiável indicador das condições reais do terreno.

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 rochas sedimentares de granulação grosseira, como arenitos, tendem a apresentar baixa densidade de drenagem. Contudo, admite que podem existir

muitas exceções. FRANÇA (1968) afirma que muitas das exceções são devidas à natureza dos solos que se desenvolveram sobre essas rochas.

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

Dentre os vários índices quantitativos de drenagem empregados em fotopedologia, destacam-se a densidade de drenagem, a frequência de rios e o comprimento médio de rios.

A densidade de drenagem (Dd), proposta por HORTON (1945), fornece a extensão da rede de drenagem por unidade da área, isto é:

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

sendo Lt o comprimento total de rios (canais) das diversas ordens, em Km, e A a área da amostra em Km².

A frequência de rios (Fr), índice também proposto por HORTON (1945), representa o número de rios por unidade de área e é expresso pela fórmula:

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

onde N é o número total de rios e A é a área da amostra, em Km².

O comprimento médio de rios (Lm) foi introduzido por RAY & FISCHER (1960), em estudos litológicos, e por FRANÇA (1968) em estudos de solos. Este índice relaciona o comprimento total (Lt) ao número total (N) de rios na unidade amostral, sendo expresso pela fórmula:

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

Estes e outros índices têm sido empregados com sucesso em estudos fotointerpretativos, com a finalidade de caracterizar e distinguir diferentes unidades de solo, uma vez que refletem importantes características do terreno, como permeabilidade, resistência à erosão, declividade, etc., com a vantagem, já mencionada, de evitar a subjetividade inerente à caracterização meramente descritiva.

Estudando características quantitativas do padrão de drenagem, NOGUEIRA (1979) concluiu ser a densidade de drenagem o índice mais eficiente na diferenciação entre unidades de solo, conclusão esta também

obtida por SOUZA (1975), VALÉRIO FILHO (1984), SILVA (1988) e outros.

Entre os que concluíram ser a frequência de rios um índice eficiente na separabilidade entre unidades de solo encontram-se VALÉRIO FILHO et alii (1976), CARVALHO (1977), GUIMARÃES (1984) e VETTORAZZI (1985).

ESPINDOLA & 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 do que naqueles com B textural e com menor amplitude de valores, em função da profundidade, homogeneidade textural, grau de estruturação e condições de relevo, acarretando maior relação infiltração/deflúvio.

VALÉRIO FILHO (1984) encontrou uma razão próxima de 3:1 ao comparar os valores de densidade de drenagem entre solos com B textural e com B latossólico; resultado semelhante foi obtido por ESPINDOLA & GARCIA (1978). Para a frequência de rios, a relação obtida por VALÉRIO FILHO (1984) foi da ordem de 8:1, e para o comprimento médio de rios, de 1:2.

FRANÇA (1968) constatou que, entre outros índices de drenagem, o comprimento médio de rios permitiu estabelecer diferenças entre os solos estudados. ESPINDOLA & GARCIA (1978) e VALÉRIO FILHO (1984), no entanto, não obtiveram significância na discriminação entre solos através do emprego desse índice.

VALÉRIO FILHO et alii (1976) avaliaram imagens orbitais do LANDSAT-1 como base para levantamentos de solos, através de elementos de interpretação como: vegetação natural, uso da terra, relevo, drenagem e tonalidade aparente. Com relação particularmente à drenagem, os autores, pelos resultados das análises qualitativa e quantitativa, concluíram que, dentre as características qualitativas observadas, a classificação do padrão de drenagem, de acordo com o tipo ou modelo, foi a mais importante e, dentre as características quantitativas analisadas, o valor da frequência de rios foi o mais consistente. Outra conclusão importante desse trabalho foi que, no delineamento da rede de drenagem, verificou-se que os rios principais, as lagoas e as áreas sujeitas à inundação foram melhor observadas nas imagens da banda MSS-7 (infravermelho refletido), e os tributários menores e canais de erosão evidenciaram-se melhor nas imagens da banda MSS-5 (visível).

KOFFLER (1976) fez a análise da utilização de imagens aerofotográficas e orbitais (SKYLAB e LANDSAT-1), estas na escala 1:500.000, no estudo dos padrões de drenagem que ocorrem nos Solos Podzolizados, variações Lins e Marília, e em Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa. Foram estudados os elementos descritivos e quantitativos da drenagem, sendo estes últimos calculados a partir de amostras circulares representativas. O autor verificou que,

tanto a análise descritiva como a análise quantitativa dos elementos de drenagem ficaram prejudicadas pela dificuldade em obter-se 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, as características como densidade de drenagem e textura topográfica puderam ser avaliadas através de feições de textura fotográfica nas imagens LANDSAT.

VALERIO FILHO et alii (1981) alertam para o fato de que "não se deve esperar que através das imagens LANDSAT seja possível a total restituição da drenagem, como a que se consegue com o uso de fotografias aéreas, mas é possível reconhecer a rede de drenagem a um nível compatível com a escala de trabalho".

COVRE et alii (1986) fizeram uma análise comparativa entre índices de drenagem extraídos de fotografias aéreas verticais na escala 1:60.000 e de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000. Os índices analisados foram: densidade de drenagem, frequência de rios, comprimento médio de rios e razão de textura. Os dados obtidos em amostras circulares equivalentes a 20 Km², para ambos os produtos fotográficos, foram analisados estatisticamente. Embora a extração das informações de drenagem tenha sido obtida através de visão estereoscópica

para as fotografias aéreas e visão monoscópica para as imagens TM/LANDSAT, os resultados demonstraram pequena diferença quantitativa para os índices de drenagem analisados. Porém, os autores verificaram que as imagens TM/LANDSAT não foram tão eficientes quanto as fotografias aéreas na detecção de canais de primeira ordem e cabeceiras de erosão, fato esse já constatado por outros autores, ao trabalharem com imagens orbitais de outros sensores (KOFFLER, 1976; TOWNSHEND et alii, 1979 e EPIPHANIO et alii, 1983).

2.3. Elementos do relevo em fotopedologia

O relevo é outro importante critério na interpretação visual de imagens fotográficas. CARNEIRO (1975), trabalhando com imagens LANDSAT no mapeamento de solos, concluiu que o relevo exerceu forte influência sobre os demais critérios de interpretação, como a tonalidade e a textura fotográfica.

O relevo, como critério empregado na caracterização e discriminação entre diferentes unidades de solos, tem sido estudado por diversos autores, entre os quais MARCHETTI (1969), KOFFLER (1982), LEAO (1983), VALERIO FILHO (1984) e ANGULO FILHO (1986). Nesses trabalhos é demonstrada a valiosa contribuição que os atributos do relevo fornecem na diferenciação entre solos.

Segundo GOOSEN (1967), o relevo desempenha um

importante papel na determinação da natureza e amplitude dos distintos processos que formam o solo, tais como a erosão e a drenagem.

A existência de fortes relacionamentos entre as características da rede de drenagem e as condições topográficas foi demonstrada por diversos autores, como HORTON (1945), SMITH (1950) e STRAHLER (1957). Muitas vezes, variações no comportamento da drenagem refletem alterações das condições topográficas de uma região.

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

Segundo SMITH & RANDAHL (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 solo, à influência das plantas que nele vivem e à 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 ao relevo.

GIMBARZEVSKY (1974a) cita que as feições do

relevo não são reconhecidas diretamente através da visualização das imagens orbitais, mas podem ser inferidas através da análise das feições de padrões de drenagem, erosão, diferenças tonais e, em alguns casos, em função dos efeitos de sombra.

O efeito de sombreamento nas imagens LANDSAT, de acordo com PACHECO & HOWARD (1977), 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 varia com a época do ano.

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

VALERIO FILHO et alii (1979) testaram a viabilidade de imagens MSS/LANDSAT no reconhecimento e delimitação de grandes domínios pedológicos na parte ocidental da bacia sedimentar do Paraíba-Paratet. A análise em maior detalhe de uma parcela da área de estudo levou à

proposição de uma compartimentação em domínios, subdomínios, áreas e sub-áreas homogêneas, em função de critérios de interpretação visual, baseados em aspectos tonais e texturais das imagens, resultantes da forma e energia do relevo, associados à densidade e ao padrão da rede de drenagem. Na região estudada, caracterizada por grande movimentação do relevo, o efeito de sombras mostrou-se um importante critério de interpretação.

Com relação à classificação e ao mapeamento dos diferentes tipos de relevo, GOOSEN (1967) comenta que este elemento é tão complexo, que é extremamente difícil classificá-lo apropriadamente, e que a sua análise detalhada normalmente leva à descoberta de um grande número de tipos diferentes, alguns sobrepondo-se a outros, e ainda resultantes de diferentes processos. Devido a esses fatos, aquele autor sugere que a maneira mais prudente de mapear o relevo, para os propósitos do levantamento de solos, é registrar, durante a análise das imagens fotográficas, somente as mudanças no relevo, pois uma alteração no relevo usualmente é acompanhada por uma mudança nas condições do solo. Trabalhos posteriores de campo irão estabelecer, então, qual a importância relativa e absoluta das diferentes formas de relevo.

Com base nas relações quantitativas entre índices de drenagem (densidade de drenagem e frequência de rios), determinados a partir de imagens TM/LANDSAT na

escala 1:100.000, e declividade média do terreno, extraída de cartas planialtimétricas na escala 1:50.000, VETTORAZZI et alii (1987) testaram a potencialidade do emprego daquelas imagens no mapeamento de classes de declividade. Os autores concluíram ser o método viável, embora as características regionais da área de estudo o tenham limitado a diferenciar mais facilmente áreas com declividades A (0-3%) e B (3-8%) de áreas com declividades C (8-16%) e D (16-30%). Trabalhando com imagens do LANDSAT-1, VALERIO FILHO et alii (1976) obtiveram resultado semelhante, conseguindo a separação de três classes de relevo: plano a suavemente ondulado, ondulado a fortemente ondulado e montanhoso.

2.4. Tonalidade e textura fotográficas

Como já foi citado, elementos como relevo, rede de drenagem superficial e uso da terra, influenciam diretamente a textura fotográfica da imagem. Segundo CARTER & STONE (1974), a textura fotográfica é a frequência da mudança de tonalidade sobre a imagem. Este elemento de reconhecimento é produzido por um agregado de alvos de diferentes tonalidades, os quais são também muito pequenos para serem vistos individualmente. Assim, a escala determina a textura e, 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. Com isso, a textura é usada nas imagens LANDSAT com vantagens sobre as fotografias aéreas convencionais, pois feições que normalmente são padrões nas fotografias aéreas, aparecem como textura fotográfica nas imagens orbitais.

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 mapeamento de solos em nível de reconhecimento com detalhes, sendo comprovada a estreita correlação entre o mapeamento de unidades fisiográficas por fotointerpretação e o mapeamento convencional de solos nesse nível. Concluíram, ainda, que as conjugações das imagens RBV/radar e RBV/MSS-7 foram as mais satisfatórias na definição das unidades fisiográficas, por fornecerem informações de natureza complementar. 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 textura fotográfica.

2.5. Análise de agrupamentos em trabalhos de fotopedologia

Com relação à análise estatística dos dados obtidos por fotointerpretação, em trabalhos relacionados a solos, uma tendência observada atualmente é o emprego da Análise de Agrupamentos (Cluster Analysis), multivariada,

que tem se mostrado eficiente na distinção entre amostras relativas a diferentes solos.

BARROS (1988) empregou com sucesso esse tipo de análise no agrupamento de bacias hidrográficas, através de atributos quantitativos de drenagem e de relevo, e verificação de sua correspondência com a distribuição de unidades de solo.

SILVA (1988) avaliou a contribuição de índices da rede de drenagem e do relevo obtidos a partir de amostras circulares sobre, respectivamente, fotografias aéreas e cartas planialtimétricas, na diferenciação de três classes de solo (LVa, TE e RPV-RLV), através da análise multivariada (Análise de Agrupamentos e de Componentes Principais). O autor concluiu que a análise multivariada foi eficiente na diferenciação entre os solos estudados, quando foram utilizadas, conjuntamente, as variáveis da rede de drenagem e do relevo.

3. MATERIAL E METODOS

3.1. Material

3.1.1. Caracterização do meio físico

3.1.1.1. Localização geográfica

A área de estudo situa-se no Estado de São Paulo, sendo delimitada pelas coordenadas $22^{\circ}30'$ a $22^{\circ}45'$ de latitude S e $47^{\circ}15'$ a $47^{\circ}30'$ de longitude W Gr. (Figura 1), correspondendo à folha topográfica de Limeira, da FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (1983), na escala 1:50.000.

A área é ocupada pela quase totalidade do município de Limeira, compondo-a ainda regiões dos municípios de Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Itacemópolis, Cosmópolis, Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste e Americana.

3.1.1.2. Geologia

As unidades litoestratigráficas ocorrentes na área de estudo, de acordo com o "Mapa Geológico do Estado de São Paulo - Folha de Campinas" (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo.

PAULO, 1982), são as seguintes:

a) Plioceno-Pleistoceno

Depósitos coluviais de espigão (TQcv); areias com matriz argilosa; cascalhos de limonita e quartzo de base.

b) Cretáceo Inferior

Suites básicas: diques e sills, em geral básicos, incluindo diabásios, dioritos pórfiros, monzonitos pórfiros, tranquiandesitos, gabros e lamprófios.

c) Permiano

Grupo Passa-Dois:

Formação Corumbataí (Pc): arenitos muito finos, siltitos, lamitos e folhelhos; níveis de calcários oolíticos e coquina; cores predominantes lilás e cinza.

Formação Irati (Pi): folhelho, siltitos e calcários dolomíticos.

d) Carbonífero-Permiano

Grupo Tubarão:

Formação Tatui (Pt): siltitos arenosos e argilosos, arenitos lamíticos e raras lentes de calcário.

Subgrupo Itararé (Pci): arenitos finos a grosseiros, siltitos, lamitos, diamictitos e ritmitos, cores amarelo, vermelho e cinza.

Como pode ser observado na Figura 2, a

unidade predominante na área é o subgrupo Itararé, seguida pelas suítes básicas e formação Tatui.

Pela extensão que ocupa na área, será dado certo destaque à descrição do subgrupo ou, conforme SCHOBENHAUSS et alii (1984), formação Itararé. Segundo esses autores, a formação Itararé apresenta grande diversidade litológica, predominando, no entanto, os clásticos grossos que ocorrem em toda a seção. As variações laterais de fácies são uma das características mais marcantes desse pacote sedimentar. Diamictitos passam lateralmente para folhelhos várvidos, ritmitos e arenitos.

Em São Paulo, a seqüência é constituída de sedimentos arenosos com diamictitos caracterizados pela cor vermelho-tijolo. Os arenitos mostram granulometria desde grossa a muito fina, com abundante matriz argilosa, e estratificação cruzada planar, de pequeno e médio porte. Os diamictitos contêm seixos e matações, os quais diminuem em direção ao topo, passando por lamitos arenosos e siltico-argilosos. Esta seqüência passa a ocorrer a partir do rio Moji-Guaçu, em direção ao norte. Ao sul do rio Piracicaba desaparecem as características vermelhas da seqüência e dominam os clásticos grosseiros, arenitos, conglomerados e diamictitos, com desenvolvimento subordinado de siltitos. Normalmente apresentam estratificação plano-paraleta e cruzada do tipo planar e acanalada.

A formação Itararé, caracterizada

principalmente por diamictitos, reflete influências glaciais nos seus diferentes ambientes deposicionais. Na seqüência inferior do grupo, em São Paulo, predominou uma sedimentação continental, não havendo, ao que parece, uma contribuição marinha. Depósitos fluviais são os mais comuns da base ao topo da unidade. Alguns denunciam condições torrenciais de deposição, outros correspondem a deposição de rios meandrantos. Os diamictitos podem representar o retrabalhamento de depósitos glaciais. A coloração vermelha desses sedimentos parece refletir condições fortemente oxidantes do processo sedimentar a que o material foi submetido.

Com relação às sultes básicas, OLIVEIRA et alii (1979) citam que, entremeados entre o assoalho cristalino e o manto de rochas sedimentares, ou mesmo infiltrados entre os sedimentos, ocorrem inúmeros sills, lacólitos e batólitos de diabásio, os quais afloram nas áreas onde houve remoção mais intensa da cobertura sedimentar, formando saliências na paisagem. Essas saliências, em geral, elevam-se acima da altitude 680 m, chegando, como no Morro Azul (próximo à cidade de Limeira), a atingir 780 m. Essas áreas elevadas da paisagem naturalmente apresentam estreita relação com os solos da paisagem circunvizinha, os quais assinalam forte contribuição de material proveniente da rocha básica.

A formação Tatui, supraglacial, é

constituída predominantemente por siltitos (OLIVEIRA & PRADO, 1984).

3.1.1.3. Geomorfologia

De acordo com a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo, proposta por ALMEIDA (1964), a área de estudo situa-se na província geomorfológica denominada Depressão Periférica, zona do Médio Tietê (Figura 3).

A Depressão Periférica Paulista, segundo AB'SABER (1969), tem a forma de um corredor de topografia colinosa de aproximadamente 50 Km de largura, nitidamente embutido entre a cuesta da Borda da Mata e Monte Santo e as elevações cristalinas do acidentado Planalto Atlântico. Ao atingir o médio Moji-Guaçu a depressão atinge de 80 a 100 Km de largura, alcançando 120 Km na área do médio Tietê. Na área em que a depressão se encurva de SW para W rumo ao segundo Planalto do Paraná, sua largura média continua a oscilar entre 80 e 120 Km, comportando, entretanto, sutis modificações topográficas e morfológicas.

DEFFONTAINES (1935), ao estudar essa província, subdividiu-a em três unidades que muito se justificam geomorfologicamente, pois, segundo esse autor, a área drenada para o rio Tietê mostra relevo mais diversificado, pois é mais fundamente erodido que o das zonas vizinhas, tendo suas estruturas resistentes postas em claros ressaltos topográficos.

Figura 3 - Aliviado geomorfológico do Estado de São Paulo e localizações das áreas de estudo.

Elaboração de ALMEIDA, 1964)

ALMEIDA (1964), para facilidade de indicação cartográfica e de descrição do relevo, adotou a divisão proposta por DEFFONTAINES (1935), subdividindo a província em três zonas, a saber: do Médio Tietê, do Moji-Guaçu e do Paranapanema, delimitadas segundo os divisores de águas desses rios.

A origem da Depressão Periférica, segundo AB'SABER (1969), é predominantemente denudacional.

De acordo com PENTEADO (1976), a Depressão Periférica é recoberta por densa rede de drenagem, salientando-se alguns rios principais como cursos consequentes que, mantendo seu antigo traçado dirigido para NW em direção ao eixo da bacia do rio Paraná, a partir de uma superfície de aplainamento antiga (final do Cretáceo e início do Terciário) superimpuseram-se às estruturas paleozóicas e mesozóicas para romper a cuesta basáltica em boqueirões: o Tietê, o Paranapanema, o Moji-Guaçu e o Pardo. Esses rios, como artérias principais de maior capacidade erosiva e provavelmente com interferências tectônicas, teriam provocado capturas através de seus afluentes, de primitivos consequentes que, adaptando-se às estruturas, passaram a percorrer as cuestas com nítido desvio em seu traçado, a exemplo do Piracicaba, do Sorocaba, do Capivari, do Itararé, do Apiaí, etc.

Com relação especificamente à zona do Médio Tietê, ela compreende, conforme ALMEIDA (1964), a área da

Depressão Periférica drenada para o rio Tietê, segundo os divisores de água desta bacia com as dos rios Moji-Guaçu e Paranapanema.

A zona é constituída principalmente por sedimentos, com áreas expressivas de intrusões de rochas básicas com reflexos na sua topografia. Igualmente importantes são os falhamentos, que perturbam as camadas, e a presença da intrusão alcalina de Ipanema, que elevou porção do embasamento cristalino. A inclinação das camadas sedimentares fez com que se destacassem, sob a forma de relevos cuestiformes, rochas mais resistentes como os tilitos, as rochas da formação Irati e estruturas silicificadas da formação Corumbataí (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1981a).

Elevações sustentadas por intrusivas básicas também se destacam no relevo desta zona, que de outra forma é bastante suave, com desniveis locais que só raramente ultrapassam 200 metros, predominando, segundo ALMEIDA (1964), colinas baixas, de formas suavizadas, separadas por vales jovens, sem planícies aluviais importantes, determinados pela intersecção dos perfis convexos das encostas.

Toda a zona é recoberta por uma rede de drenagem bastante organizada, em que se destacam o Tietê e seus dois afluentes, o Piracicaba e o Sorocaba. O padrão geral da drenagem é o dendrítico, notando-se porém algum

controle estrutural a partir de diáclases e da presença de corpos litológicos mais resistentes, especialmente diabásios (ALMEIDA, 1964).

A área de estudo, especificamente, apresenta relevos dos sistemas Colinoso e de Morrotes. No relevo Colinoso predominam baixas declividades (até 15 %) e amplitudes locais inferiores a 100 metros. Ocorrem na área Colinas Amplas e Colinas Médias, sendo este último tipo de ocorrência bastante restrita.

Nas Colinas Amplas predominam interflúvios com área superior a 4 Km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos ou convexos. Drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

Nas Colinas Médias predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 Km², topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

No relevo de Morrotes predominam declividades médias a altas (acima de 15 %) e amplitudes locais inferiores a 100 metros. Na área de estudo ocorre a subdivisão Morrotes Alongados e Espigões, onde predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e

achataados, vertentes ravinadas com perfis retillneos. Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico e vales fechados (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1981b).

3.1.1.4. Clima

Na Tabela 1 são apresentados os dados de temperatura média do ar e de precipitação pluvial, relativos à localidade de Limeira, enquanto o gráfico do balanço hídrico correspondente é apresentado na Figura 4.

Pela análise dos dados apresentados verifica-se que a distribuição pluvial segue o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude, ou seja, verão chuvoso e inverno seco. Duas estações são marcadas com nitidez: uma seca, de inverno, que se estende de abril a setembro, e outra chuvosa, de verão, que se estende de outubro a março.

O regime térmico do ar, por sua vez, acompanha de perto as estações do ano, variando, contudo, gradativamente: médias mensais elevadas no verão, ligeiro decréscimo no outono, valores mais baixos no inverno e acréscimo na primavera. As médias do inverno chegam, em junho e julho, a valores inferiores a 18 °C, superando 22 °C em janeiro e fevereiro.

Os dados de temperatura e precipitação pluvial apresentados permitem identificar, segundo o sistema de Köppen, um clima do tipo Cwa, ou seja, clima

Tabela 1 - Temperatura média mensal e precipitação pluviométrica mensal registradas no município de Limeira-SP.

Limeira - SP 22° 34' S - 47° 25' W Gr. / 1940-1974		
Mês	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	22,6	238
Fevereiro	22,5	208
Março	22,0	169
Abril	20,1	61
Mai	18,1	46
Junho	17,0	36
Julho	16,7	24
Agosto	18,6	28
Setembro	20,1	59
Outubro	20,8	133
Novembro	21,4	147
Dezembro	21,9	229
A N O	20,2	1.376

(Fonte: OLIVEIRA et alii, 1982)

Figura 4 - Balanço hídrico pelo método de "Thornthwaite & Mather - 1955" (125 mm), para o município de Limeira-SP.
 (Fonte: OLIVEIRA et alii, 1982)

mesotérmico de inverno seco.

O diagrama do balanço hídrico, apresentado na Figura 4, assinala discreto período de deficiência hídrica, que se estende de maio a setembro, com um valor de 28 mm. O total de excedente hídrico calculado foi de 476 mm.

Segundo OLIVEIRA et alii (1975), os regimes hídrico e térmico dos solos dessa região são, respectivamente, o údico e o hipertérmico.

3.1.1.5. Vegetação natural e uso da terra

Devido à intensa ocupação agrícola e existência de importantes núcleos urbanos, verificam-se na área de estudo raros remanescentes da vegetação primitiva, constituída principalmente pela mata latifoliada tropical.

A agricultura, bastante favorecida pelos tipos de solo e relevo, é representada predominantemente pelas culturas de cana-de-açúcar e citros, seguindo-se, em plano secundário, o algodão e outras culturas anuais como milho e feijão, pastagens e reflorestamentos com eucalipto.

3.1.1.6. Solos

A descrição feita a seguir, dos solos ocorrentes na área de estudo, tem por base os boletins e o mapa de solos publicados pelos pesquisadores do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, responsáveis pelo levantamento pedológico semidetalhado da quadrícula

de Campinas (OLIVEIRA et alii, 1977 e 1979; OLIVEIRA, 1980 e LEPSCH & OLIVEIRA, 1987).

Predominam na área os Latossolos e os Solos Podzólicos, e em menor extensão os Solos Litólicos e a Terra Roxa Estruturada. Menos expressivos, aparecem ainda os Cambissolos e os Solos Hidromórficos.

LATOSSOLOS: Ocorrem predominantemente nas regiões tropicais e subtropicais úmidas. O relevo onde ocorrem é predominantemente suave ondulado e, nos topos das colinas, chega a ser aplainado, podendo ser mecanizados sem qualquer restrição. O relevo pouco movimentado e as características internas do perfil, que conferem grande capacidade de infiltração e permeabilidade, dão aos Latossolos, em geral, acentuada resistência à erosão, isso não excluindo, contudo, a necessidade de tratamentos conservacionistas.

Caracterizam-se por apresentar horizonte A moderado, proeminente ou húmico, com transição, mais comumente gradual, para um horizonte B latossólico bastante espesso (normalmente atingindo mais de dois metros de espessura), fortemente intemperizado e com baixa capacidade de troca de cátions.

Neles, os minerais primários pouco resistentes ao intemperismo, bem como a fração silte, estão ausentes ou existem em proporções muito pequenas, e nas

argilas predominam minerais do tipo 1:1 (caulinita) em misturas com óxidos de alumínio e/ou de ferro. A textura é bastante variável entre os diferentes tipos de Latossolos, porém não podem ser das classes arenosa e siltosa no horizonte B, e pouco varia com a profundidade. No B latossólico a estrutura é comumente composta de agregados muito pequenos e estáveis, que formam uma espécie de "pseudo-areia" arranjada de modo a deixar entre si grande quantidade de poros, o que faz com que sejam bastante friáveis e permeáveis, mesmo quando tenham elevados teores de argila.

A maior parte dos Latossolos corresponde à ordem Oxisol da classificação americana (ESTADOS UNIDOS, 1975) e aos Ferralsol da classificação da FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (1974). Segundo o sistema taxonômico-pedológico em uso no Brasil (definido pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA), os Latossolos são subdivididos, principalmente, de acordo com os teores e tipos de óxidos de ferro, que têm certa correlação com a cor do solo.

Os Latossolos da área de estudo, classificados e mapeados por OLIVEIRA et alii (1977), são os seguintes:

. UNIDADE RIBEIRÃO PRETO (LRe)

. Classificação: Latossolo Roxo eutrófico,

A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado.

. Typic Eutrorthox (USA).

. Rhodic Ferralsol (FAO).

. Descrição da paisagem: ocorre em relevo suave ondulado, constituído por colinas de topo ligeiramente abaulado e declividades inferiores a 5 % . A altitude varia de 560 m a 750 m e o material de origem é resultante do intemperismo de diabásio. A ocupação atual desses solos é intensa, principalmente com cana-de-açúcar e algodão.

UNIDADE BARÃO GERALDO (LRd)

Classificação: Latossolo Roxo distrófico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado.

Typic Haplorthox. Inclui Typic Acrorthox (USA).

Rhodic Ferralsol. Inclui Acric Ferralsol (FAO).

Descrição da paisagem: ocorre em relevo suave ondulado, constituído por colinas de vertentes longas, com topo ligeiramente abaulado e declividades inferiores a 5 % . A altitude varia de 560 m a 750 m, em alguns locais podendo ultrapassar a 800 m. O material de origem resulta do intemperismo e retrabalhamento de diabásio.

Atualmente estes solos encontram-se intensamente utilizados para o plantio de cana-de-açúcar, citros e algodão.

UNIDADE LIMEIRA (LE1)

Classificação: Latossolo Vermelho Escuro álico, A moderado, textura argilosa, relevo aplainado ou suave ondulado.

- . Typic Haplorthox. Inclui Typic Acrorthox (USA).
- . Rhodic Ferralsol. Inclui Acric Ferralsol (FAO).
- . Descrição da paisagem: ocorre em relevo suave ondulado com vertentes longas e declividade inferior a 5 % . A altitude varia de 580 m a 740 m e o material de origem é constituído por sedimentos argilosos retrabalhados, provenientes do intemperismo de argilitos e siltitos do Tubarão e do Irati. É intensamente explorado, principalmente com cana-de-açúcar, citros e algodão.

UNIDADE SANTO ANTONIO (LE2)

Classificação: Latossolo Vermelho Escuro álico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado a aplainado.

Tropeptic Haplorthox. Inclui Tropeptic Acrorthox (USA).

Rhodic Ferralsol (FAO).

Descrição da paisagem: ocorre em relevo suave ondulado, com declividades em torno de 5 % a 7 % . Geralmente está associada com as unidades Limeira ou Barão Geraldo, ocupando, contudo, os terços médio e inferior das vertentes. A altitude varia de 560 m a 660 m e o material de origem resulta de sedimentos argilosos provenientes de argilitos do grupo Tubarão, com influência de material retrabalhado de basalto. Encontram-se ocupados quase que na sua totalidade com plantio de citros.

UNIDADE CILLOS (LE3)

Classificação: Latossolo Vermelho Escuro álico, A proeminente, textura média ou argilosa, relevo aplainado e suave ondulado.

Typic Haplorthox (USA).

Rhodic Ferralsol (FAO).

Descrição da paisagem: ocorre em relevo suave ondulado e aplainado. A altitude varia de 580 m a 640 m, sendo que a maior parte da unidade encontra-se entre 600 m e 620 m. O material de origem resulta de sedimentos retrabalhados provenientes do grupo Tubarão. Cultivado principalmente com cana-de-açúcar.

. UNIDADE HORTOLANDIA (LE4)

- . Classificação: Latossolo Vermelho Escuro álico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado.
- . Typic Haplorthox (USA).
- . Rhodic Ferralsol (FAO).
- . Descrição da paisagem: ocorre em relevo suave ondulado, constituído por elevações de topo levemente abaulado, quase plano, com declividades em geral inferiores a 5 %, em altitudes que variam de 450 m a 700 m. O material de origem resulta de sedimentos arenosos provenientes de arenitos finos do grupo Tubarão, com contribuição de material retrabalhado de basalto. Cultivado principalmente com citros, cana-de-açúcar e algodão.

. UNIDADE MATO DENTRO (LV1)

- . Classificação: Latossolo Vermelho-Amarelo álico, A moderado, textura argilosa, relevo aplainado ou suave ondulado.
- . Typic Haplorthox. Inclui Typic Acrorthox (USA).
- . Orthic Ferralsol. Inclui Acric Ferralsol (FAO).
- . Descrição da paisagem: o relevo é aplainado a suave ondulado, com declividades em geral inferiores a 5 %, e a altitude varia de 580 m a 650 m. O material de origem resulta do retrabalhamento de materiais provenientes de

sedimentos argilosos do grupo Tubarão. É intensamente explorado com o plantio de cana-de-açúcar, citros e culturas anuais.

UNIDADE SPECULAAS (LV2)

Classificação: Latossolo Vermelho-Amarelo álico, A proeminente, textura média, relevo aplainado a suave ondulado.

. Typic Haplorthox (USA).

. Orthic Ferralsol (FAO).

. Descrição da paisagem: o relevo é aplainado a suave ondulado, com declividades que variam de 2 % a 5 % , e a altitude varia de 580 m a 650 m. O material de origem resulta do retrabalhamento de sedimentos grosseiros dos grupos Tubarão e Passa Dois (predominância de areia fina sobre areia grossa) com contribuição de materiais provenientes do arenito de Botucatu (predominância de areia grossa sobre areia fina). Atualmente encontram-se intensamente ocupados com plantios de citros e secundariamente com culturas anuais.

. UNIDADE LARANJA AZEDA (LV3)

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

. Typic Haplorthox (USA).

. Orthic Ferralsol (FAO).

. Descrição de paisagem: o relevo é suave ondulado, com declividades em torno de 3 % a 5 %, e a altitude varia de 580 m a 650 m. O material original é proveniente do retrabalhamento de sedimentos grosseiros do grupo Tubarão, com contribuição, em alguns casos, de material proveniente de arenito da formação Botucatu. Na área de estudo estão sendo utilizados principalmente com as culturas de citros e algodão.

. UNIDADE BELA ALIANÇA (LV4)

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

. Typic Haplorthox (USA).

. Orthic Ferralsol (FAO).

. Descrição de paisagem: o relevo é suave ondulado, com declividades que variam de 4 % a 8 %. A altitude varia de 590 m a 650 m. O material de origem resulta do retrabalhamento de materiais provenientes de sedimentos fino-arenosos do grupo Tubarão. Utilizados atualmente com plantações de citros e cana-de-açúcar.

. UNIDADE CAMARGUINHO (LH)

- . Classificação: Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico álico, textura barrenta ou argilosa, relevo aplainado ou suave ondulado.
- . Typic Umbriorthox (USA).
- . Humic Ferralsol (FAO).
- . Descrição da paisagem: ocorre em superfícies de relevo aplainado a suave ondulado, em geral, no limite dessas com superfícies mais dissecadas. A altitude varia de 580 m a 650 m. O material de origem resulta do retrabalhamento de sedimentos barrentos e argilosos do grupo Tubarão. São ocupados principalmente com as culturas de cana-de-açúcar e citros.

PODZOLICOS VERMELHO-AMARELOS: São solos com profundidade variável. Normalmente ocorrem em áreas de relevo ondulado e forte ondulado. Ao contrário dos Latossolos, apresentam, na maior parte dos casos, acentuada diferenciação de horizontes, destacando-se o horizonte B textural, enriquecido de argila iluviada do horizonte A.

Morfológicamente esses solos apresentam apreciáveis variações ao longo do perfil, fato que permite diferenciá-los facilmente dos Latossolos.

Devido ao acréscimo do teor de argila em

profundidade, apresentam diferença de textura, entre os horizontes A e B, mais acentuada que a dos Latossolos. Em casos extremos, como os solos da unidade Alva (a ser descrita adiante), o teor de argila pode passar, em menos de 5 cm de espessura, de 3 % (horizonte A2) para 24 % (horizonte B1). Como essa variação se faz abruptamente, resultam variações importantes na velocidade de infiltração da água e, conseqüentemente, acentuada erodibilidade desses solos.

Em decorrência do transporte da fração argila dos horizontes superiores para os inferiores, o horizonte B apresenta cerosidade. Outra característica morfológica importante desse horizonte é a presença de estrutura do tipo subangular, em geral moderadamente desenvolvida.

A diferença textural, a presença de cerosidade e a estruturação são três importantes características morfológicas empregadas na identificação desses solos.

A espessura dos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos não é tão grande quanto a dos Latossolos; contudo, os horizontes A e B, em geral somam mais de 200 cm, não apresentando, portanto, limitações quanto à profundidade efetiva.

Os solos desta classe, presentes na área de estudo, são os seguintes:

. UNIDADE ALVA (PV1)

- . Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo abrupto, A moderado, espesso, textura arenosa/média, relevo ondulado ou forte ondulado.
- . Arenic Abruptic Paleudult (USA).
- . Ferric Acrisol (FAO).
- . Descrição da paisagem: o relevo é em geral ondulado a forte ondulado, com declividades de 8 % a 15 %, e altitudes entre 540 m e 640 m. O material de origem é representado por arenitos finos do grupo Tubarão. São solos utilizados principalmente com o plantio de cana-de-açúcar e, secundariamente, com citros e outras culturas.

. UNIDADE USINA (PV2)

- . Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo álico, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média, relevo suave ondulado.
- . Typic Paleudult (USA).
- . Dystric Nitosol (FAO).
- . Descrição da paisagem: relevo predominantemente suave ondulado e ondulado. O relevo suave ondulado se desenvolve em geral entre 620 m e 670 m, enquanto que no relevo ondulado as cotas variam de 500 m a 620 m. A declividade no primeiro caso varia de 4 % a 7 %, enquanto no segundo chega a

atingir 15 % . O material de origem é proveniente do retrabalhamento de arenitos finos do grupo Tubarão. A utilização mais freqüente desses solos é com as culturas de citros e cana-de-açúcar e, secundariamente, culturas anuais e pastagens.

UNIDADE OLARIA (PV4)

- . Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo álico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado.
- . Typic Paleudult (USA).
- . Dystric Nitosol (FAO).
- . Descrição da paisagem: os solos desta unidade ocorrem, em geral, em relevo suave ondulado, podendo em alguns casos ocorrer em relevo um pouco mais acidentado. As declividades variam, no primeiro caso, de 4 % a 7 %, e no segundo podem chegar a 10 % . A maior parte dos solos desta unidade se distribui entre as altitudes de 560 m e 620 m. O material de origem é proveniente de sedimentos argilosos e siltosos do grupo Tubarão e formação Irati, com algum retrabalhamento. Citros e cana-de-açúcar são as principais culturas verificadas nessa unidade, ocorrendo também, com menor importância, culturas anuais.

. UNIDADE PALMEIRAS (PV5)

. Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo,
A moderado, textura média ou argilosa, relevo
ondulado.

. Typic Paleudult (USA).

. Dystric Nitosol (FAO).

. Descrição da paisagem: ocupam, em geral, o terço inferior ou médio das vertentes que drenam para os cursos d'água mais importantes. A declividade varia de 6 % a 10 % e o relevo é em geral ondulado. As altitudes variam de 540 m a 600 m. O material de origem é proveniente de sedimentos do grupo Tubarão, com algum retrabalhamento. Atualmente são cultivados com citros e cana-de-açúcar.

. UNIDADE VALINHOS (PV6)

. Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo,
A moderado, textura argilosa, relevo suave
ondulado a ondulado.

. Typic Paleudult (USA).

. Dystric Nitosol (FAO).

. Descrição da paisagem: ocorre em relevo suave ondulado a ondulado, constituído pelas áreas rebaixadas do Planalto Atlântico limitrofes com a Depressão Periférica. O material de origem é

proveniente de rochas do Pré-Cambriano com contribuição de sedimentos do Permiano e também de basalto. Ocupado principalmente com pastagem, café e cana-de-açúcar.

TERRA ROXA ESTRUTURADA: São solos afins ao Podzólico Vermelho-Amarelo, principalmente no que diz respeito à presença de horizonte B textural. Contudo, são enquadrados em classes diferentes, primordialmente por não possuírem subhorizonte A2, terem pequeno gradiente textural e serem desenvolvidos de rochas básicas, à semelhança do Latossolo Roxo. Aparecem, na área de estudo, em geral em faixas que raramente ultrapassam 500 m de largura, em relevo suave ondulado, geralmente nas quebras de gradiente das encostas, em declividades variáveis de 5 % a 10 % :

São solos espessos, argilosos ao longo do perfil, e muito semelhantes aos Latossolos Roxos, diferindo deles essencialmente pela presença de estrutura no horizonte B, daí o seu nome. Tal estrutura é do tipo prismática, que se rompe em subangular moderada ou forte. É comum a presença, nas unidades estruturais, de cerosidade, por vezes abundante e fortemente desenvolvida, aspecto também diferencial entre essa unidade e os Latossolos Roxos.

Essa classe de solos apresentou apenas uma unidade na quadricula: Estruturada.

. UNIDADE ESTRUTURADA (TE)

- . Classificação: Terra Roxa Estruturada distrófica ou eutrófica, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado a ondulado.
- . Rhodic Paleudult . Inclui Rhodic Paleudalf (USA).
- . Dystric Nitosol. Inclui Eutric Nitosol (FAO).
- . Descrição da paisagem: ocorrem em relevo suave ondulado a ondulado, com declividades geralmente entre 5 % e 10 % e altitudes variando de 540 m a 730 m. O material original resulta do intemperismo de basalto, por vezes, com contribuição de material proveniente do Irati. É comum observar-se, nos barrancos de estrada, em relevos mais movimentados (declividade em torno de 10 %) o material proveniente de basalto com cerca de 200 cm a 300 cm assente em discordância erosiva sobre argilito ou siltito muito fino do Irati. São solos explorados intensamente com cana-de-açúcar e citros.

SOLOS LITOLICOS: Apresentam como principal característica a pequena espessura do "solum", a qual em geral é inferior a 30 cm. Apresentam horizonte A sobre a camada R, sendo que a rocha subjacente, em geral, apresenta-se alterada e branda.

O horizonte A é geralmente do tipo moderado,

porém ocorre também A proeminente.

A textura é bastante variada e está estreitamente relacionada à natureza do substrato. Os solos derivados de basalto são argilosos, aqueles provenientes de granito-gnaiss são barrentos e com apreciáveis teores de areia grossa e os solos derivados de sedimentos siltsos ou fino-arenosos do grupo Tubarão são essencialmente arenosos ou fino-areno-barrentos.

Devido à rocha subjacente apresentar-se, em geral, bastante intemperizada na zona de contato com o "solum", as raízes das plantas cultivadas não encontram dificuldade de penetração. Este fato justifica e explica a freqüente ocupação desses solos, especialmente aqueles desenvolvidos em sedimentos do grupo Tubarão, com culturas anuais ou permanentes, principalmente cana-de-açúcar e citros.

Esses solos ocorrem em relevo ondulado ou ondulado dissecado e estão em geral associados a outras unidades.

Na área de estudo foram identificadas duas unidades:

- 1 - Solos Litólicos, A moderado ou proeminente, substrato arenito fino ou siltito do grupo Tubarão (Li1).
- 2 - Solos Litólicos, A moderado, substrato basalto (Li2).

A unidade Li1 é a mais comum, ocorrendo como unidade isolada ou, mais freqüentemente, associada a Cambissolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos (unidades Usina e Alva).

A unidade Li2 (substrato basalto) ocorre apenas como unidade de mapeamento simples. A maior ocorrência se dá na Fazenda Quilombo, no município de Limeira.

CAMBISSOLOS: São solos não hidromórficos, que apresentam horizonte A moderado seguido de um horizonte B incipiente, ou então horizonte A proeminente ou chernozêmico sobre horizonte C sem carbonato de cálcio ou rocha consolidada. Trata-se de solo com características ainda pouco desenvolvidas, isto é, com o tempo de atuação dos fatores de sua formação relativamente curto.

A presença de um horizonte B incipiente exclui as características morfológicas e analíticas relacionadas com os Latossolos e os Podzólicos; por isso, esses solos apresentam valores de capacidade de troca de cátions, da relação silte/argila e de minerais primários intemperizados mais elevados do que os encontrados para os Latossolos, aliados à ausência de cerosidade e relação textural pouco acentuada, características típicas dos Podzólicos.

A espessura desses solos raramente

ultrapassa 120 cm, porém como o material subjacente é representado por sedimentos finos do Permo-Carbonífero, em geral pouco duros, bastante diaclasados e alterados, esse regolito não oferece qualquer resistência à penetração de raízes. Apesar de serem moderadamente profundos, devem ser considerados sem limitações quanto à profundidade efetiva.

Apenas uma unidade de Cambissolo foi identificada na área:

. UNIDADE PALHA (Cb)

. Classificação: Cambissolo distrófico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado a ondulado.

. Dystrochrept (USA).

. Ferralic Cambisol (FAO).

. Descrição da paisagem: o relevo é ondulado a suave ondulado, sendo neste último caso bem dissecado. Os solos desta unidade ocupam, em geral, o terço inferior ou médio das vertentes e situam-se predominantemente em altitudes que variam de 540 m a 620 m. O material de origem é proveniente de sedimentos fino-arenosos do grupo Tubarão. Atualmente estes solos são utilizados principalmente para pastagens e reflorestamento com eucalipto, e secundariamente com as culturas de cana-de-açúcar e citros.

Os Solos Hidromórficos praticamente não possuem expressão espacial na área de estudo, não sendo, por esse motivo, descritos neste trabalho.

A distribuição geográfica das diversas unidades de solo na área de estudo é mostrada na Figura 5. A distribuição das unidades em função do relevo está representada na Figura 6.

3.1.2. Material cartográfico

Na execução deste trabalho foram utilizadas as seguintes cartas:

- . Folha LIMEIRA (SP), SF. 23-Y-A-V-1, do IBGE, na escala 1:50.000 , 2.ed. , 1983 ;
- . Mapa Geológico do Estado de São Paulo: Folha de Campinas, produzido pelo convênio entre a Secretaria de Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e a Universidade Estadual Paulista, na escala 1:250.000 , 1982 ;
- . Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, produzido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, na escala 1:1.000.000, 1981;
- . Mapa do Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de Campinas, produzido pelo Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, na escala 1:100.000 , 1977 .

Figura 5 - Mapa de solos da área de estudo.
(Fonte: OLIVEIRA et alii, 1977)

Fig. 6 - Perfis representativos da distribuição das unidades de solo da área de estudo em função do relevo.

3.1.3. Imagens de satélite.

As imagens orbitais empregadas neste trabalho foram obtidas a partir do sensor "Thematic Mapper" (TM), instalado a bordo do satélite LANDSAT-5.

O LANDSAT-5 (Figura 7) pertence a uma família de satélites, projetados para a coleta de dados da superfície terrestre e de seus recursos naturais. Três satélites, inicialmente denominados "Earth Resources Technology Satellites" (ERTS), lançados pela "National Aeronautics and Space Administration" (NASA) entre 1972 e 1978, compreenderam a primeira geração da série LANDSAT. Sendo capazes de fornecer dados multiespectrais e repetitivos de grandes áreas, os satélites dessa primeira geração iniciaram uma forma inteiramente nova de monitoramento e análise da superfície terrestre. Carregavam a bordo dois sistemas distintos de sensores:

- a) um sistema de televisão de três bandas (apenas uma no LANDSAT-3), denominado "Return Beam Vidicon" (RBV), com resolução espacial de 80 m (40 m no LANDSAT-3);
- b) um sistema de varredura multiespectral denominado "Multispectral Scanner" (MSS), cobrindo uma faixa no terreno de 185 Km de largura em quatro bandas de comprimentos de onda, duas no visível e duas no infravermelho refletido. A resolução espacial desse sistema era de 80 m.

Figura 7 - Satélite LANDSAT-5.

A segunda geração de satélites da série LANDSAT foi iniciada em julho de 1982, com o lançamento do quarto satélite da série. Em março de 1984 foi lançado em órbita o LANDSAT-5, em operação até os dias de hoje. Esses dois últimos satélites não foram mais equipados com o RBV, entrando em seu lugar um novo varredor multiespectral denominado "Thematic Mapper" (TM), um sistema sensor de segunda geração, cujas modificações mais importantes, em relação ao MSS, são:

- a) o TM apresenta sete bandas, inclusive uma na faixa do infravermelho termal;

b) a resolução espacial das bandas do TM na parte refletida do espectro eletromagnético (visível e infravermelho refletido) é de 30 m. Na parte emitida do espectro (infravermelho térmal) o TM apresenta uma resolução espacial de 120 m.

O LANDSAT-5 apresenta órbita circular, quase-polar, repetitiva, síncrona com o Sol, a uma altitude de 705 Km. O ângulo de inclinação da órbita em relação ao equador terrestre é de $98,2^\circ$. O satélite cruza o equador aproximadamente às 9:45 hs (hora local), durante a parte descendente (do norte para o sul) da órbita. Cada órbita dura cerca de 99 minutos, sendo realizadas 14,5 órbitas por dia. Devido à rotação da Terra, a distância entre as faixas de imageamento referentes a duas órbitas consecutivas é de 2.752 Km no equador. A repetitividade de imageamento é de 16 dias.

Os dados coletados pelo satélite são transmitidos a estações terrenas de recepção, onde são gravados e processados, sendo então colocados à disposição dos usuários. O Brasil recebe os dados LANDSAT através do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) que, para isso, possui uma estação de rastreamento, recepção e gravação em Cuiabá (MT) e um laboratório de processamento de imagens em Cachoeira Paulista (SP).

Os dados LANDSAT podem apresentar-se sob dois formatos:

- a) produtos fotográficos: resultantes da gravação de dados dos sensores em filmes fotográficos que, por reprodução, são colocados à disposição do usuário sob as formas de transparências (positivas ou negativas) ou cópias em papel, em várias escalas;
- b) produtos digitais: são fitas magnéticas compatíveis com computador ou discos flexíveis, usados na interpretação automática das imagens.

No presente trabalho foram empregados produtos fotográficos do sensor "Thematic Mapper", do LANDSAT-5, sob a forma de cópias em papel, em preto-e-branco, em duas escalas, 1:100.000 e 1:250.000, e de três diferentes bandas: TM-3 (630-690 nm), correspondente à região do vermelho; TM-4 (760-900 nm), correspondente ao infravermelho próximo; TM-5 (1.550-1.750 nm), correspondente ao infravermelho médio. As demais características das imagens utilizadas são apresentadas na Tabela 2.

3.1.4. Equipamentos

Para facilitar a extração de informações das imagens, estas foram observadas sob lente de aumento com luminária acoplada. Foram ainda empregados, no decorrer do trabalho, equipamentos convencionais de medição e desenho, como escalímetro, curvímeter, planímetro, compasso e outros.

Tabela 2 - Características das imagens orbitais empregadas.

Sensor.....	"Thematic Mapper" (TM)
Data da passagem.....	06 / 07 / 84
Orbita/Ponto.....	WRS 220/076
Quadrante.....	B
Ângulo de elevação solar...	30 ^o
Azimute.....	43 ^o
Processamento.....	Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)

3.2. Métodos

3.2.1. Seleção da área de estudo

A seleção da área de estudo foi feita em função de determinados fatores, sendo o principal deles a determinação de uma região que já possuísse um mapeamento de solos em nível compatível com os propósitos deste estudo, oferecendo maior segurança, e também minimizando o trabalho na fase de correlação entre o produto da interpretação das imagens e a verdade terrestre (solos). Ao mesmo tempo, era de interesse que a área possuísse uma certa heterogeneidade com relação às unidades de solo ocorrentes, permitindo com isso a avaliação do material (imagens orbitais em duas escalas) e dos critérios de

interpretação em situações diversificadas.

Assim, a escolha recaiu sobre a região correspondente à carta de Limeira (FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1983), com os solos já mapeados por OLIVEIRA et alii (1977) no levantamento pedológico semidetalhado da quadricula de Campinas e que, numa área de aproximadamente 70.000 ha, apresenta ao redor de vinte diferentes unidades de mapeamento, distribuídas entre as principais classes de solo ocorrentes na província geomorfológica da Depressão Periférica, ou seja, Latossolos, Podzólicos, Litossolos e Cambissolos (estes últimos em menor extensão).

3.2.2. Seleção das imagens

Na escolha das bandas espectrais (canais) das imagens, procurou-se cobrir uma faixa relativamente ampla do espectro eletromagnético de energia, com um mínimo de imagens e com a mesma resolução espacial. Deste modo foram eleitos os canais TM-3, TM-4 e TM-5, correspondentes às regiões do espectro visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio, respectivamente, todos com resolução espacial de trinta metros.

Com relação à época de tomada das imagens, optou-se, com base na literatura, por uma passagem correspondente ao inverno pois, nessa época, os menores

ângulos de elevação solar propiciam um melhor destaque de detalhes topográficos, através da alternância entre vertentes mais iluminadas e menos iluminadas (sombreadas), com reflexos diretos na textura fotográfica.

3.2.3. Elaboração dos mapas da rede de drenagem superficial.

Para cada uma das duas escalas estudadas (1:100.000 e 1:250.000), foi elaborado um mapa da rede de drenagem superficial, a partir da interpretação das imagens orbitais.

Inicialmente foi feita a delimitação da área de estudo sobre as imagens, com o auxílio da carta topográfica, na escala 1:50.000, da região (Folha de Limeira, do IBGE). A seguir, os elementos da rede de drenagem superficial foram traçados em uma folha de acetato transparente, colocada sobre as imagens, reunindo-se as informações obtidas em cada uma das três bandas (TM-3, TM-4 e TM-5). O procedimento de empregar-se imagens de mais de uma banda no traçado da rede de drenagem advém justamente do fato de cada uma delas operar em uma região distinta do espectro eletromagnético, fornecendo, desse modo, informações sobre a área imageada que se complementam, assegurando um traçado melhor da rede.

Na confecção de mapas de drenagem através de fotografias aéreas, os elementos a serem decalcados são todos os canais bem definidos, perenes ou temporários (à exceção daqueles resultantes de erosão acelerada), desde que façam parte do sistema funcional de drenagem, conforme sugerem STRAHLER (1957), LUEDER (1959) e RAY (1963). Empregando-se imagens LANDSAT, as limitações impostas pela resolução espacial e, principalmente, pela escala do material, tornam difícil o traçado dos canais de ordens inferiores, ou sejam, das cabeceiras de drenagem, principalmente em áreas de maior densidade hidrográfica, conforme atestam vários autores (KOFFLER, 1976; TOWNSHEND et alii, 1979; EPIPHANIO et alii, 1983; COVRE et alii, 1986 e outros). Valendo-se da visão sinóptica da área, possibilitada pelas imagens em escalas pequenas, e através da avaliação de relevo, uso da terra, vegetação remanescente em cabeceiras da rede de drenagem, etc., procurou-se uma melhor aproximação no traçado da rede, por inferências sobre a existência ou não de canais funcionais (principalmente os de primeira e segunda ordens).

Assim como neste item, todos os passos metodológicos que se seguem, referem-se à descrição do trabalho realizado para cada uma das duas escalas estudadas, sendo omitido este esclarecimento nos próximos itens do texto com a finalidade de não torná-lo repetitivo.

3.2.4. Delimitação de áreas homogêneas quanto ao relevo.

Devido à estreita relação entre as características da rede de drenagem e as condições topográficas de uma região, a delimitação das áreas homogêneas quanto ao relevo foi feita sobre os próprios mapas da rede de drenagem.

Conforme sugerido por GOOSEN (1967), essa delimitação foi feita com base nas mudanças do relevo possíveis de serem detectadas nas imagens.

Além de aspectos da drenagem superficial, a compartimentação do relevo em áreas homogêneas baseou-se também nas variações ocorridas com a textura fotográfica que, em última análise, refletem alterações, entre outras coisas, no uso da terra, na rede de drenagem (ambos fornecendo indicativos sobre as condições topográficas) e no próprio relevo, neste caso através do efeito de sombras, procedimento este comprovado por vários autores, como GIMBARZEVSKY (1974a), WALKER & TREXLER (1977) e VALERIO FILHO (1984).

Procurando-se extrair o máximo de informações das imagens orbitais, que auxiliassem na compartimentação do relevo, também nesta fase do trabalho foram empregadas as três bandas (TM-3, TM-4 e TM-5), embora a literatura indicasse uma superioridade da faixa do infravermelho próximo em estudos do relevo (DONZELLI et alii, 1983).

3.2.5. Mapeamento das unidades fisiográficas

Sobre os mapas da rede de drenagem, acrescidos do traçado dos limites indicativos das mudanças no relevo, quando necessário foi feita uma nova compartimentação, desta vez em função de aspectos qualitativos (visuais) da drenagem superficial, isto é, as áreas homogêneas quanto ao relevo foram subdivididas em áreas homogêneas também quanto à rede de drenagem. As áreas resultantes foram denominadas "unidades fisiográficas", com características que permitem o seu enquadramento na definição de "unidade de mapeamento morfológico" dada por BRINK et alii (1966), ou seja, "uma área com padrão definido de fisionomias do terreno que estão geneticamente relacionadas".

Este procedimento de mapeamento foi adotado com base nos fundamentos do método de "análise de elementos" que, segundo GOOSEN (1967), parte do princípio que qualquer elemento da paisagem pode estar relacionado a uma certa unidade de mapeamento de solo e, portanto, uma mudança no elemento pode estar correlacionada com um limite entre solos. Cita ainda aquele autor que, cada elemento pode ser analisado separadamente e os resultados das análises individuais serem combinados, através da superposição de mapas. Como resultado ter-se-á um mapa com um grande número de linhas, nem todas coincidindo com limites entre solos. Trabalhos posteriores de campo é que

irão definir as linhas que deverão permanecer e as que serão eliminadas.

As unidades fisiográficas foram então numeradas e, posteriormente, cada uma delas foi analisada e caracterizada em detalhes, com relação aos critérios "relevo" e "rede de drenagem".

3.2.6. Caracterização das unidades fisiográficas quanto à rede de drenagem e ao relevo.

3.2.6.1. Rede de drenagem superficial

As unidades fisiográficas foram caracterizadas, quanto ao padrão da rede de drenagem, tanto descritiva quanto quantitativamente.

A) Características descritivas

Foram adotadas as características sugeridas por LUEDER (1959), acrescidas do "tipo ou modelo" (PARVIS, 1950).

A.1) Densidade: indica o número relativo de canais de drenagem por unidade de área. Segundo MONTEIRO & SILVA (1979), a análise correta da densidade permite inferências acerca de aspectos do terreno como textura, permeabilidade, porosidade, escoamento superficial, erosão e também condições climáticas. Pode ser classificada em: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

A.2) Grau de uniformidade: indica a repetição de formas num determinado espaço, ou seja, a homogeneidade relativa dos canais numa determinada área, no caso a unidade fisiográfica. De acordo com ROCHA (1986), o grau de uniformidade da rede de drenagem fornece subsídios para assinalar unidades de solos e rochas para os respectivos mapeamentos. O padrão de drenagem pode ser classificado, quanto ao grau de uniformidade em: não uniforme, pouco uniforme e uniforme.

A.3) Ângulos de junção: são os ângulos formados na confluência de um tributário com seu receptor. MONTEIRO & SILVA (1979) citam que a análise correta desses ângulos fornece evidências de elementos estruturais e indicações do substrato rochoso quanto à sua profundidade relativa. Podem ser classificados, genericamente, em: retos, agudos e obtusos; os agudos podem ser subdivididos em abertos e fechados.

A.4) Orientação: diz respeito a aspectos direcionais, tais como a predominância de direção dos canais. Esta característica, segundo MONTEIRO & SILVA (1979), fornece indicações sobre os elementos tectônicos (falhas, fraturas, dobramentos, etc.), profundidade relativa do substrato, etc. O padrão de drenagem, quanto à orientação, pode ser classificado em: não orientado, pouco orientado e orientado.

A.5) Angularidade: refere-se à mudança brusca de

direção dos canais em vales encaixados. Pode indicar, de acordo com MONTEIRO & SILVA (1979), a influência de fatores estruturais, como por exemplo falhas, e existência e localização do material rochoso. Pode ser classificada em baixa, média e alta.

A.6) Grau de controle: é função dos fatores que alteram o sentido geral da drenagem, tais como orientação e angularidade. Quanto ao grau de controle o padrão de drenagem pode ser classificado em: não controlado, ou com graus de controle baixo, médio ou alto.

A.7) Tipo ou modelo: refere-se à semelhança entre o esquema em planta dos canais de uma rede de drenagem, ou de parte dela, e objetos ou conceitos geométricos, tais como: modelos dendrítico ou arborescente, paralelo, retangular, radial, etc. Devido ao fato dos modelos de padrão de drenagem serem influenciados por muitos fatores, como declividades regionais, desigualdades na dureza das rochas, controle estrutural, etc., eles são extremamente úteis na interpretação de feições geomórficas e o seu estudo representa um dos meios mais práticos para o entendimento do controle litológico e estrutural na evolução da fisiografia local (THORNBURY, 1954).

Das características sugeridas por LUEDER (1959), não foi utilizada apenas o grau de integração, que se refere a maior ou menor definição do percurso dos canais de drenagem. Tal procedimento deveu-se à dificuldade na

obteção de informações a partir das imagens, para a área estudada, que permitisse uma caracterização correta da rede de drenagem quanto ao grau de integração dos canais, notadamente para a escala 1:250.000 .

B) Características quantitativas

A determinação de índices quantitativos da rede de drenagem possibilita inferências sobre diversas condições do terreno, não apresentando a subjetividade da caracterização descritiva (HORTON, 1945).

Os índices de drenagem empregados neste estudo foram a densidade de drenagem (Dd), a frequência de rios (Fr) e o comprimento médio de rios (Lm).

Na determinação destes índices tradicionalmente são empregadas unidades amostrais constituídas ou por bacias hidrográficas ou por amostras circulares (de área variável de acordo com a escala das imagens fotográficas utilizadas). No presente trabalho a unidade amostral adotada foi a própria unidade fisiográfica. Essas unidades, embora de formas e dimensões variáveis, apresentaram homogeneidade individual pronunciada, em relação à rede de drenagem e ao relevo, o que sugeria uma provável homogeneidade também quanto aos aspectos morfológicos e funcionais dos solos, justificando assim a sua adoção como unidades amostrais neste trabalho.

B.1) Densidade de drenagem (Dd):

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

sendo Lt o comprimento total de rios (canais) das diversas ordens, em Km, e A a área da amostra, em Km².

B.2) Freqüência de rios (Fr):

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

onde N é o número total de rios e A é a área da amostra, em Km².

B.3) Comprimento médio de rios (Lm):

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

sendo Lt o comprimento total de rios, em Km, e N o número total de rios na amostra.

3.2.6.2. Relevo

Quanto ao padrão de relevo, as unidades fisiográficas foram caracterizadas de acordo com os elementos: tipo e classe de relevo, comprimento das vertentes e posição topográfica.

A) Tipo de relevo: refere-se à relação entre infiltração e escoamento superficial (deflúvio) das águas

provenientes de precipitação pluvial sobre o terreno, sendo função principalmente da declividade e posição topográfica. Assim, três são os tipos principais de relevo, com base no SOIL SURVEY STAFF (1951), que podem ocorrer: normal, excessivo e subnormal. No relevo normal há certa equivalência entre o total de água infiltrada e a escoada superficialmente no terreno, permitindo o desenvolvimento normal do solo, daí geralmente estar associado a solos profundos, como Latossolos e Podzólicos. No relevo excessivo, em função de altos valores de declividade do terreno, o deflúvio é mais intenso que a infiltração, ocasionando um predomínio da erosão sobre os demais fatores de formação do solo; normalmente está relacionado a solos rasos, como os Litossolos. O relevo subnormal aparece em depressões no terreno (normalmente fundos de vale), com baixas declividades e camadas de impedimento no subsolo que favorecem o acúmulo de águas; estão normalmente associados a solos hidromórficos e aluviais.

B) Classe de relevo: em relação à movimentação (repetição de formas) do relevo e às declividades locais, o terreno pode ser classificado em: plano, suavemente ondulado, ondulado, fortemente ondulado, montanhoso e escarpado. Tanto a classe quanto o tipo de relevo foram inferidos sobre as imagens, com base em elementos como textura fotográfica, efeito de sombras, uso da terra, etc. No caso específico da classe de relevo, adotou-se também

procedimento sugerido por VETTORAZZI et alii (1987), através do qual as classes de declividade do terreno são estimadas com base no padrão da rede de drenagem superficial observado nas imagens orbitais.

C) Comprimento das vertentes: com um escalímetro foram medidos os comprimentos das vertentes, calculando-se posteriormente um valor médio para cada unidade fisiográfica. As medições foram feitas diretamente sobre as imagens fotográficas, recobertas pelos mapas de unidades fisiográficas em acetato transparente. Devido à imprecisão esperada dos resultados, em função principalmente do material fotográfico empregado (imagens orbitais em escalas pequenas), optou-se pela transformação dos resultados numéricos médios obtidos para cada unidade em dados qualitativos, ou seja, as vertentes foram classificadas em: curtas (com menos de 100 m), médias (entre 100 m e 250 m), longas (entre 250 m e 500 m) e muito longas (com mais de 500 m), conforme SOIL SURVEY STAFF (1951).

D) Posição topográfica: na definição da posição topográfica ocupada pela unidade fisiográfica, empregou-se a seguinte classificação: interflúvio (ou espigão), terço superior da vertente (topo da encosta), terço médio da vertente (meia-encosta), terço inferior da vertente (sopé). Na ausência de áreas significativas, na região de estudo, de planícies aluviais, não foi incluída na classificação

uma posição topográfica que designasse os fundos chatos de vales ou baixadas, entre uma vertente e outra.

3.2.7. Caracterização pedológica das unidades fisiográficas

A determinação das unidades de solo predominantes nas unidades fisiográficas foi feita através dos dados do trabalho de campo e do mapa publicado do levantamento pedológico semidetalhado da quadrícula de Campinas, realizado por OLIVEIRA et alii (1977). No citado levantamento, a densidade de pontos de observação foi de 0,8 ponto/Km² (1 ponto/1,2 Km²), embora em determinadas áreas (notadamente naquelas com ocorrência de Solos Litólicos e em núcleos urbanos), a densidade tenha sido bem menor. Em cada um dos pontos de observação o solo correspondente foi classificado em nível de semidetalhe, sendo coletado material, de uma ou mais camadas, em vários pontos, para posterior análise de laboratório.

Os dados utilizados para a caracterização pedológica das unidades fisiográficas deste trabalho, referem-se a 372 pontos de observação, dos quais 117 apresentavam também dados de análises física e química em laboratório. Esses pontos, demarcados na carta topográfica de Limeira, utilizada pela equipe de levantamento no trabalho de campo, foram devidamente transferidos para os mapas de unidades fisiográficas, estabelecendo-se a relação

entre cada unidade e os pontos correspondentes, permitindo assim a identificação do(s) solo(s) predominante(s) em cada uma delas.

Nos casos de unidades fisiográficas sem pontos de observação ou com número de pontos insuficiente para caracterização, recorreu-se ao mapa de solos como fonte complementar de informações.

3.2.8. Checagem de campo

A checagem de campo foi realizada com a finalidade de proporcionar ao autor um contato direto com a fisiografia e as principais unidades de solo ocorrentes na área de estudo, bem como sanar dúvidas que se apresentaram no decorrer da interpretação das imagens, conseqüentemente permitindo uma melhor análise e discussão dos resultados obtidos.

A checagem não foi sistematizada, e consistiu em percorrer-se a região de estudo em trajeto pré-determinado, de maneira a cobrir áreas de interesse principalmente em termos de solos e relevo.

3.2.9. Análise estatística

3.2.9.1. Introdução

O tratamento estatístico dos dados obtidos foi feito através de programas do "Statistical Analysis

System" (SAS, 1987) para computadores pessoais. Este sistema, como o nome indica, é uma coleção de programas ("pacote") específicos para análises estatísticas.

Para poderem receber tratamento matemático, os dados qualitativos (referentes às características descritivas da rede de drenagem e do relevo) foram transformados em valores numéricos, conforme codificação apresentada a seguir:

A) Rede de drenagem

A.1) Densidade

- 3 - muito baixa
- 4 - baixa
- 5 - média
- 6 - alta
- 7 - muito alta

A.2) Grau de uniformidade

- 3 - não uniforme
- 4 - pouco uniforme
- 5 - uniforme

A.3) Ângulos de junção

- 3 - agudos fechados
- 4 - agudos abertos
- 5 - retos

6 - obtusos.

A.4) Orientação

3 - não orientada

4 - pouco orientada

5 - orientada

A.5) Angularidade

3 - baixa

4 - média

5 - alta

A.6) Grau de controle

3 - muito baixo (rede não controlada)

4 - baixo

5 - médio

6 - alto

A.7) Tipo ou modelo

3 - dendritico

4 - paralelo

5 - subparalelo

6 - retangular

7 - subretangular

Quando a amostra (unidade fisiográfica) não apresentava canais de drenagem (rede de drenagem ausente), o código empregado era o número 1; quando a rede de

drenagem era insuficiente para a caracterização, recebia o código 2.

B) Relevo

B.1) Tipo

- 1 - subnormal
- 2 - normal
- 3 - normal a excessivo
- 4 - excessivo

B.2) Classe

- 1 - plano
- 2 - plano a suave ondulado
- 3 - suave ondulado
- 4 - suave ondulado a ondulado
- 5 - ondulado
- 6 - ondulado a forte ondulado
- 7 - forte ondulado

B.3) Comprimento das vertentes

- 1 - não aplicável (amostra ocupando posição de interflúvio)
- 2 - curtas
- 3 - médias
- 4 - longas

5 - muito longas

6 - amostra insuficiente para caracterização

B.4) Posição topográfica

1 - terço inferior da vertente (ti)

2 - terço médio da vertente (tm)

3 - terço superior da vertente (ts)

4 - interflúvio (i)

5 - ti + tm

6 - ti + tm + ts

7 - ti + tm + ts + i

8 - tm + ts

9 - tm + ts + i

10 - ts + i

11 - amostra insuficiente para caracterização

3.2.9.2. Passos da análise

1) Análise de agrupamentos

O primeiro passo da análise foi a definição de grupos homogêneos de unidades fisiográficas, em função de suas características da rede de drenagem e do relevo. Essa definição foi feita através da Análise de Agrupamentos (Cluster Analysis).

Análise de Agrupamentos é um nome genérico

para uma série de métodos matemáticos que podem ser usados para definir quais os elementos, dentro de um dado conjunto, são similares, ou seja, para fazer classificações. Com base em ROMESBURG (1984), é feita a seguir uma descrição resumida desse tipo de análise.

Os métodos de análise de agrupamentos seguem um conjunto determinado de passos, dos quais os principais são:

- (1) coletar uma matriz de dados, cujas colunas são reservadas para os elementos a serem analisados, ficando as linhas com os atributos que descrevem os elementos;
- (2) opcionalmente, padronizar a matriz de dados;
- (3) calcular os valores de um coeficiente de semelhança, para medir as similaridades entre todos os pares de elementos;
- (4) usar um método de agrupamento para processar os valores do coeficiente de semelhança, o que resulta num diagrama chamado de árvore, ou dendrograma ou fenograma, que mostra a hierarquia de similaridades entre todos os pares de elementos. Os grupos (clusters) podem então ser definidos através desse diagrama.

Dentro do conjunto de passos tem-se a liberdade de escolher caminhos alternativos para padronizar a matriz de dados, escolher um coeficiente de semelhança e

um método de agrupamento. Logo, o pesquisador tem amplas possibilidades de adaptar a análise a aplicações específicas.

Após a obtenção da matriz de dados, onde os elementos foram as unidades fisiográficas e os atributos foram as características de drenagem e de relevo, foi feita a padronização da matriz, ou seja, os atributos originais foram convertidos em novos atributos adimensionais. Há duas razões principais para se padronizar a matriz. Primeira razão: remover efeitos arbitrários que podem afetar a análise, provocados pelas unidades escolhidas para medir os atributos. Segunda razão: a padronização faz com que os atributos contribuam mais equitativamente com as similaridades entre elementos; por exemplo, se a variação de valores de um certo atributo é muito maior que a de um outro, então o primeiro terá maior peso na determinação das similaridades entre os elementos.

A padronização é feita através da aplicação à matriz de dados de uma função de padronização.

Uma matriz possuindo n atributos, $i = 1, 2, \dots, n$, e t elementos, $j = 1, 2, \dots, t$, terá o valor do dado para a i -ésimo atributo e j -ésimo elemento designado por X_{ij} . O valor correspondente na matriz padronizada será designado por Z_{ij} .

A função de padronização aplicada aos dados deste trabalho foi:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i}$$

isto é, no cálculo do valor padronizado Z_{ij} para o i -ésimo atributo e j -ésimo elemento, toma-se o valor correspondente X_{ij} na matriz, subtrai-se dele a média $\bar{X}_i$ de valores do i -ésimo atributo e divide-se o resultado pelo desvio padrão S_i dos valores do i -ésimo atributo.

A etapa seguinte da análise foi a determinação do coeficiente de semelhança, o qual mede a similaridade entre cada par de elementos do conjunto.

Um dos coeficientes que podem ser empregados é a Distância Euclideana. Como o nome sugere, ele mede a distância entre dois elementos, quando eles são representados por pontos em um espaço bidimensional formado por seus atributos. Esta distância é calculada usando-se o teorema de Pitágoras.

A notação da Distância Euclideana entre dois elementos j e k é e_{jk} , onde j é o menor dos dois números de identificação do elemento. O coeficiente e_{jk} não pode ser menor do que 0,0 (zero), uma vez que este valor indica a máxima semelhança entre os elementos, ou seja, eles são idênticos quando $e_{jk} = 0,0$.

O cálculo da Distância Euclideana é feito da seguinte maneira:

$$e_{jk} = \left[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2 \right]^{1/2},$$

ou seja, para um dado par de elementos, atributo por atributo são tomadas as diferenças entre seus valores; as diferenças são elevadas ao quadrado e somadas, sendo posteriormente extraída a raiz quadrada desta soma.

O coeficiente de semelhança empregado neste trabalho foi a Distância Euclideana Média (d_{jk}), uma variação de e_{jk} , diferindo deste por ter em seu cálculo a média dos quadrados das diferenças, dividindo-os por n :

$$d_{jk} = \left[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2 / n \right]^{1/2}.$$

Uma das vantagens de d_{jk} é poder ser empregado quando a matriz de dados contém valores perdidos.

Calculados os coeficientes de semelhança, passa-se à execução do método de agrupamento. O método empregado neste trabalho foi o "Average Linkage", onde a distância entre dois grupos é a distância média entre pares de observações, um em cada grupo. Este método tende a formar grupos com a mesma variância.

A execução do método de agrupamento possibilita a construção de um diagrama (árvore, dendrograma ou fenograma), que torna mais fácil a

verificação da similaridade entre todos os pares de elementos analisados.

Na Figura 8 é apresentado um exemplo hipotético de fenograma, a ser usado na explicação de como formar os grupos.

Figura 8 - Exemplo hipotético de fenograma.

A decisão de onde "cortar" o fenograma para se definirem os grupos (classificação) depende de uma combinação de fatores. Geralmente, segundo ROMESBURG (1984), é desejável que os grupos sejam poucos em número e

bem definidos. Entretanto, o propósito de uma classificação também é um fator a ser considerado, ou seja, o fenograma deve ser cortado em um ponto que atenda aos propósitos do trabalho. Normalmente isto coincide com a formação de poucos grupos e bem definidos.

Du TOIT et alii (1986) citam que a escolha, um tanto subjetiva, de um valor através do qual os grupos são eventualmente formados, pode ser considerada uma desvantagem na análise de agrupamentos hierárquica. Segundo esses autores, deve-se ter em mente, entretanto, que a análise de agrupamentos é uma análise determinística exploratória e é usada somente para identificar grupos relativamente homogêneos de observações em um conjunto de dados simples, e raramente como uma técnica inferencial clássica.

Na Figura 8 são exemplificadas três situações de corte do fenograma. O corte em A, no valor 24,0 para o coeficiente de semelhança, não irá separar os cinco elementos, mantendo-os todos em um único grupo. Cortando-se em B (coeficiente de semelhança igual a 16,0), há a separação dos elementos em dois grupos: o primeiro formado pelos objetos 3, 4 e 2, e o segundo pelos elementos 1 e 5. À medida que aumenta o grau de similaridade entre cada par de elementos, ou seja, diminui o coeficiente de semelhança, a tendência é aumentar o número de grupos formados. Um corte feito ao nível do valor 8,0 (corte C), por exemplo,

resulta na formação de três grupos: no primeiro grupo encontram-se os elementos 3 e 4 , no segundo o elemento 2 e no terceiro os elementos 1 e 5 .

O procedimento PROC TREE do sistema SAS, empregado neste trabalho, não produz um fenograma ou dendrograma típico, mas sim um mapa de agrupamentos (cluster map), cuja interpretação também não oferece maiores dificuldades.

2) Cálculo das medidas de tendência central e de dispersão

Para cada variável (elemento de interpretação), dentro de cada um dos grupos definidos, foram calculadas medidas de tendência central (média aritmética e moda) e de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação). Essas medidas foram usadas na caracterização de cada grupo através das variáveis estudadas.

3) Análise de variância

Para analisar a eficiência de cada variável na separabilidade dos grupos, foram aplicados, para cada elemento de interpretação, o teste F e o teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Traçado da rede de drenagem superficial

Os traçados da rede de drenagem superficial da área de estudo, obtidos através das imagens nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, podem ser observados nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

No delineamento da rede, para ambas as escalas, foi de grande utilidade o emprego de imagens das três diferentes bandas (TM-3, TM-4 e TM-5), pois o fato de serem produtos da operação do sensor em faixas distintas do espectro eletromagnético permitiu a extração de informações que se complementam na sua interpretação.

A utilização de imagens orbitais de pequena escala, em estudos envolvendo rede de drenagem, apresenta como uma de suas limitações a dificuldade em obter-se o traçado completo da rede, conforme verificado por vários autores, como KOFFLER (1976), TOWNSHEND et alii. (1979), EPIPHANIO et alii (1983) e COVRE et alii (1986). Com o emprego de imagens referentes a diferentes bandas, reunindo um número maior de informações espectrais e espaciais sobre o terreno, pode-se obter uma aproximação maior do traçado

Figura 9 - Rede de drenagem superficial da área de estudo, obtida através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:100.000 . (Redução do original)

Figura 10 - Rede de drenagem superficial da área de estudo, obtida através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:250.000 .

real da rede de drenagem. De qualquer forma, é preciso ter em conta que o tipo de imagem fotográfica e também sua escala, devem ser sempre compatíveis com o nível de detalhamento requerido pelo trabalho, como comentado por VALERIO FILHO et alii (1981). Assim, a perda de informações, inerente ao uso de imagens orbitais de pequena escala, pode não prejudicar significativamente os resultados de levantamentos em escalas também pequenas.

Nas imagens da banda TM-3 (630-690 nm), em áreas de ocupação agropecuária observou-se um bom destaque da rede de drenagem, devido ao contraste entre as tonalidades mais claras das culturas e as mais escuras da vegetação que normalmente acompanha os canais de escoamento (remanescentes da vegetação original). Esse contraste é ainda mais evidente em áreas de solo descoberto, que aparecem em tonalidades bem claras de cinza.

Já na região do infravermelho próximo, ou seja, nas imagens da banda TM-4 (760-900 nm), essa identificação foi um pouco mais difícil, havendo destaque apenas para os cursos d'água de ordens mais elevadas e para as represas, uma vez que esses corpos d'água apresentam-se muito escuros nas imagens, em decorrência da interação com as ondas eletromagnéticas do infravermelho.

Nas imagens da banda TM-5 (1550-1750 nm), correspondente à região do infravermelho médio, foi possível uma identificação muito boa dos canais de

drenagem, inclusive os de ordens mais inferiores, devido ao contraste melhor que o observado nas imagens do TM-3.

Estes resultados, no que diz respeito às bandas referentes às faixas do visível e do infravermelho próximo, estão de acordo com os obtidos através de imagens MSS/LANDSAT, nas bandas 5 e 7, por VALERIO FILHO et alii (1976).

Em áreas cobertas por formações arbóreas densas, como reflorestamentos e remanescentes da vegetação florestal original, foi difícil, através da banda TM-3, a identificação dos canais de drenagem, já que a vegetação apresenta-se nas imagens numa tonalidade bastante escura, em função da absorção da energia eletromagnética da faixa do vermelho pelos pigmentos envolvidos na fotossíntese. Na banda TM-5 o problema se repetiu, pois nas imagens deste canal os alvos florestais também aparecem bem escuros, supostamente em decorrência da absorção da energia eletromagnética pela umidade presente na biomassa florestal. Para esta condição do terreno, uma boa identificação dos canais foi possível apenas através das imagens da banda TM-4, uma vez que para essa faixa de comprimentos de onda, os alvos florestais apresentam-se em tonalidades claras de cinza, devido à alta reflectância, permitindo uma apreciação melhor das condições topográficas do terreno e, conseqüentemente, a localização dos canais de escoamento de ordens menores, já que aqueles de maior

ordem, contendo água em seu leito, como já comentado, são facilmente identificados pela sua tonalidade bastante escura nesta banda.

Com relação ao emprego de duas escalas para as imagens, as dificuldades encontradas no traçado da rede sobre imagens de escala 1:250.000, em relação às de escala 1:100.000, foram as esperadas, ou seja, à medida que diminui a escala das imagens torna-se mais difícil a identificação dos canais de drenagem. Este problema foi em parte contornado pelo uso de imagens relativas a diferentes bandas.

4.2. Delimitação de áreas homogêneas quanto ao relevo

Na estratificação do terreno em áreas homogêneas quanto ao relevo, através de procedimento sugerido por GOOSEN (1967), ou seja, delimitação das linhas indicativas de mudança no padrão de relevo, também foram empregadas imagens das três bandas (TM-3, TM-4 e TM-5), pois também nesse caso a complementação de informações auxilia no processo de interpretação.

As imagens das bandas relativas aos comprimentos de onda do infravermelho (TM-4 e TM-5) foram as que melhor contribuição forneceram nesta fase do trabalho. A alta reflectância por parte da cobertura vegetal verificada na banda TM-4, somada ao efeito de sombreamento das vertentes, permitiu uma melhor avaliação

das condições topográficas do terreno.

O emprego de imagens referentes à época de inverno, ou seja, obtidas com baixo ângulo de elevação solar, mostrou-se útil sob o aspecto do efeito de sombreamento, fornecendo indicativos para a classificação do relevo local, fato já constatado por GIMBARZEVSKY (1974a), PACHECO & HOWARD (1977), WALKER & TREXLER (1977), WESTIN & BRANDNER (1980), VALÉRIO FILHO et alii (1979) e VALÉRIO FILHO (1984). O efeito de sombras também pode ser observado nas imagens da banda TM-5. Esse fato, aliado ao destaque apresentado pela rede de drenagem, possibilitou uma avaliação do grau de dissecação do relevo, de utilidade na sua classificação. Apenas em áreas com cobertura florestal não foi possível uma boa caracterização do relevo através da banda TM-5, bem como da banda TM-3, pelo fato, já citado, dos alvos florestais apresentarem-se bem escuros nesses casos.

As informações extraídas das imagens do TM-3, como textura fotográfica, rede de drenagem, etc., também auxiliaram na delimitação das áreas homogêneas quanto ao relevo. A textura fotográfica é consequência, principalmente, do tipo de uso da terra, ou seja, da cobertura do solo que, por sua vez, relaciona-se às condições topográficas do terreno. A rede de drenagem também mantém estreita relação com o relevo (HORTON, 1945; SMITH, 1950 e STRAHLER, 1957). Assim, a reunião de todas

essas informações contribuiu significativamente para uma melhor caracterização do relevo, confirmando resultados obtidos, através de produtos de outros sensores, por GIMBARZEVSKY (1974a), CARTER & STONE (1974), VALÉRIO FILHO et alii (1979) e DONZELI et alii (1983).

Quanto ao emprego de imagens de duas escalas, o mesmo comentário feito para o caso do traçado da rede de drenagem pode ser aplicado para o relevo, ou seja, os problemas decorrentes da utilização de imagens de escala muito pequena (1:250.000) foram parcialmente solucionados pela complementação de informações obtidas das três bandas.

4.3. Delimitação das unidades fisiográficas

As unidades fisiográficas delimitadas na área de estudo são mostradas nas Figuras 11 e 13, respectivamente para as escalas 1:100.000 e 1:250.000, juntamente com o traçado da rede de drenagem superficial. Para uma melhor identificação das unidades, elas são apresentadas novamente nas Figuras 12 e 14, sem o traçado da rede e devidamente numeradas.

O procedimento adotado para essa compartimentação do terreno mostrou-se satisfatório para os propósitos visados, ou seja, a subdivisão do terreno em áreas homogêneas com relação aos padrões de drenagem superficial e de relevo (denominadas unidades

Figura 11 - Unidades fisiográficas e rede de drenagem superficial da área de estudo, obtidas através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:100.000 .
(Redução do original)

Figura 12 - Unidades fisiográficas da área de estudo, obtidas através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:100.000. (Redução do original)

Figura 13. - Unidades fisiográficas e rede de drenagem superficial da área de estudo, obtidas através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:250.000.

Figura 14 - Unidades fisiográficas da área de estudo, obtidas através de imagens TM/LANDSAT-5 (bandas 3, 4 e 5) na escala 1:250.000 .

fisiográficas), para um posterior estudo detalhado dos elementos de cada um desses dois critérios de interpretação, e a correlação entre as características dessas unidades e os solos predominantes nelas. Este resultado está de acordo com o obtido por MONTOYA (1977), para o qual, tanto o relevo como a rede de drenagem foram muito úteis como auxiliares na identificação das unidades fisiográficas associadas a solos.

4.4. Caracterização das unidades fisiográficas quanto à rede de drenagem e ao relevo

As características das unidades fisiográficas (qualitativas e quantitativas) quanto à rede de drenagem e ao relevo, são apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente para as escalas 1:100.000 e 1:250.000. Para facilitar a sua apresentação, as características qualitativas foram representadas, nas tabelas, pelos códigos numéricos empregados no tratamento matemático; a sua correspondência com a classificação qualitativa é apresentada no item 3.2.9. Análise estatística.

Comparando-se os dados apresentados nas tabelas citadas e observando-se as Figuras 11 a 14, pode-se verificar que, para unidades fisiográficas equivalentes nas duas escalas (por exemplo as unidades 19 e 17, respectivamente para as escalas 1:100.000 e 1:250.000) enquanto as características qualitativas da rede de

Tabela 3 - Características da drenagem superficial e do relevo (codificadas), das unidades fisiográficas, para a escala 1:100.000.

Unid. Fisiogr.	Características													
	Grau Ang.				Grau				Dens.	Freq.	Compr.	Tipo	Clas.	Compr.
	Dens.	Unif.	Jun.	Orien.	Ang.	Contr.	Tipo	Dren.	Rios	M.Rios	Rel.	Rel.	Vert.	Pos.
1	3	2	2	2	2	2	2	0,24	0,80	0,30	2	2	1	10
2	7	5	3	4	4	5	3	4,03	11,15	0,36	4	4	2	6
3	5	4	3	4	4	5	5	4,17	5,22	0,80	2	3	3	1
4	5	4	3	4	3	4	3	2,18	2,15	1,01	2	4	4	7
5	7	5	3	4	3	4	3	4,65	13,11	0,35	4	4	2	7
6	5	2	3	2	3	4	2	3,23	2,31	1,40	2	5	4	1
7	4	4	2	2	4	4	2	1,42	0,55	2,60	2	4	5	5
8	6	4	3	4	3	4	3	4,86	5,94	0,82	2	5	3	5
9	6	5	3	3	3	3	3	3,09	5,64	0,55	2	5	3	4
10	5	4	3	5	3	5	3	3,68	4,21	0,87	2	3	3	5
11	4	4	3	4	3	4	3	2,81	5,31	0,53	2	5	3	8
12	6	5	3	4	3	4	3	3,16	7,37	0,43	2	5	2	8
13	6	4	3	3	3	3	3	3,31	9,79	0,34	3	5	2	6
14	4	2	3	3	3	3	7	1,69	3,85	0,44	2	3	3	7
15	5	3	3	3	3	3	7	2,50	2,54	0,98	2	3	4	7
16	4	2	3	2	2	2	2	4,89	4,44	1,10	2	3	6	11
17	4	4	3	4	3	4	7	1,55	1,05	1,47	2	3	5	6
18	7	5	3	4	3	4	3	5,85	13,85	0,42	4	4	2	6
19	7	5	3	5	3	5	3	5,05	15,71	0,32	4	4	2	6
20	6	4	3	4	3	4	3	3,00	7,00	0,43	3	5	3	6
21	5	4	2	2	3	4	2	3,64	3,64	1,00	2	5	6	1
22	5	3	4	3	3	3	3	2,27	2,16	1,05	2	5	4	6
23	5	3	3	3	3	3	3	2,86	4,14	0,69	2	4	3	6
24	7	5	3	4	3	4	3	4,50	8,84	0,51	4	4	2	7
25	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	10
26	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	2	1	10
27	3	2	2	2	2	2	2	0,21	0,33	0,65	2	3	1	10
28	6	4	3	4	3	4	3	4,00	7,50	0,53	3	5	2	6
29	3	2	2	2	3	4	2	0,29	0,35	0,84	2	3	1	10
30	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	10
31	3	2	2	2	2	2	2	0,11	0,28	0,40	2	3	1	10
32	3	2	2	2	2	2	2	0,34	0,18	1,90	2	3	5	10
33	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	9

Tabela 3 - Continuação.

Unid. Fisioagr.	Características													
	Grau		Ang.		Grau		Dens.	Freq.	Compr.	Tipo	Clas.	Compr.	Pos.	
	Dens.	Unif.	Jun.	Orien.	Ang.	Contr.	Tipo	Dren.	Rios	M.Rios	Rel.	Rel.	Vert.	Top.
34	3	2	2	2	2	2	2	0,26	0,65	0,40	2	3	1	9
35	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	10
36	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	2	1	10
37	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	9
38	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	2	1	9
39	5	3	4	3	4	4	7	1,65	1,41	1,17	3	5	4	5
40	5	3	3	5	3	5	3	0,97	2,93	0,33	4	5	4	8
41	5	5	4	5	5	6	6	3,46	1,92	1,80	2	5	4	1
42	5	4	4	5	4	6	6	2,52	1,39	1,61	2	5	4	1
43	7	4	3	4	3	4	3	4,20	11,24	0,38	4	6	2	6
44	7	4	3	4	3	4	3	5,09	10,61	0,48	4	6	2	6
45	7	4	3	4	3	4	3	5,00	12,06	0,41	4	6	2	6
46	6	3	4	4	3	4	3	2,59	3,19	0,81	2	5	3	6
47	5	3	3	3	4	4	3	2,13	1,56	1,36	2	4	3	6
48	6	4	3	4	3	4	3	2,64	4,00	0,66	2	5	3	6
49	4	4	3	4	3	4	2	0,25	0,13	1,68	2	4	4	1
50	5	3	4	4	3	4	7	2,49	2,10	1,18	2	4	3	6
51	7	5	3	5	3	5	3	4,54	8,72	0,52	4	6	2	6
52	6	4	3	3	3	4	3	2,94	5,14	0,57	3	5	2	7
53	7	5	3	4	3	4	3	3,68	9,38	0,39	4	6	2	8
54	6	3	4	3	3	3	7	3,12	4,90	0,64	2	5	3	8
55	7	5	3	4	3	4	3	5,71	13,06	0,44	4	6	2	8
56	5	4	4	5	3	5	7	2,38	2,90	0,82	2	5	3	5
57	6	3	3	4	3	4	3	2,17	2,20	0,98	2	5	3	6
58	6	4	3	4	3	4	3	3,30	7,04	0,47	2	5	2	8
59	5	5	5	5	3	5	6	1,27	1,71	0,74	2	4	4	6
60	4	2	4	3	3	3	6	0,97	1,00	0,97	2	4	4	6
61	4	4	4	3	3	3	6	0,82	0,41	2,00	2	2	5	7
62	4	4	4	4	3	4	6	0,73	0,36	2,03	2	2	5	7
63	4	3	4	3	3	4	6	0,58	0,44	1,32	2	2	5	7
64	4	3	4	3	3	3	6	0,58	0,54	1,08	2	2	5	7
65	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	2	6	11
66	5	5	3	5	3	5	4	2,50	5,00	0,50	2	5	3	8

Tabela 4 - Características da drenagem superficial e do relevo (codificadas), das unidades fisiográficas, para a escala 1:250.000 .

Unid. Fisiogr.	Características														
	Grau			Ang.			Grau			Dens.	Freq.	Compr.	Tipo	Clas.	Compr.
	Dens.	Unif.	Jun.	Orien.	Ang.	Contr.	Tipo	Dren.	Rios	Q.Rios	Rel.	Rel.	Vert.	Top.	Pos.
1	7	5	3	4	3	4	3	4,04	11,79	0,34	4	6	2	8	
2	6	3	3	4	3	4	3	2,45	3,49	0,70	2	5	3	1	
3	5	3	3	5	4	5	5	2,29	2,97	0,77	2	4	3	6	
4	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	2	1	10	
5	7	5	3	4	4	5	3	3,82	8,08	0,47	4	6	2	6	
6	6	4	3	3	3	3	3	2,70	4,80	0,56	2	5	3	6	
7	5	4	3	4	3	4	5	1,48	1,41	1,05	2	3	4	6	
8	6	4	3	4	3	4	3	2,42	4,40	0,55	2	5	3	6	
9	6	3	3	4	3	4	3	2,12	4,00	0,53	2	5	2	8	
10	5	5	5	5	3	5	6	1,72	1,83	0,94	2	4	4	6	
11	6	4	3	4	3	4	3	2,44	5,45	0,45	2	5	2	6	
12	5	2	3	3	3	3	7	1,93	1,07	1,81	2	4	6	6	
13	5	4	3	3	3	3	3	2,68	4,49	0,60	2	4	3	7	
14	4	4	3	3	3	3	7	1,77	0,98	1,80	2	3	6	7	
15	5	2	3	2	2	2	2	4,43	6,45	0,69	2	3	3	11	
16	7	4	3	5	3	5	3	8,11	37,84	0,21	4	6	2	6	
17	7	5	3	5	3	5	3	5,75	21,92	0,26	4	6	2	6	
18	6	3	3	4	3	4	3	2,23	6,16	0,36	2	5	3	6	
19	7	5	3	4	3	4	3	3,93	8,09	0,49	4	5	2	7	
20	6	3	3	3	3	3	3	3,14	6,28	0,50	2	4	3	6	
21	5	4	2	2	3	2	2	3,42	3,22	1,06	2	5	6	1	
22	6	3	3	3	3	3	3	2,87	4,75	0,60	3	5	3	6	
23	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	10	
24	3	2	2	2	2	2	2	0,16	0,30	0,54	2	2	1	10	
25	6	3	4	4	3	4	3	2,94	6,39	0,46	3	5	3	6	
26	6	4	3	3	3	3	3	3,02	8,22	0,37	3	5	3	8	
27	7	5	3	3	3	3	3	3,63	10,34	0,35	4	6	2	8	
28	5	3	3	3	3	3	3	2,71	3,81	0,71	2	5	3	6	
29	5	3	3	3	4	4	3	2,13	2,83	1,05	2	4	3	6	
30	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	10	

Tabela 4 - Continuação.

Unid. Fislogr.	Características														
	Grau				Ang.				Dens.	Freq.	Compr.	Tipo	Clas.	Compr.	Pos.
	Dens.	Unif.	Jun.	Orien.	Ang.	Contr.	Tipo	Dren.	Rios	M.Rios	Rel.	Rel.	Vert.	Top.	
31	4	3	3	4	3	4	3	2,42	2,21	1,10	2	4	3	1	
32	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	10	
33	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	10	
34	3	2	2	2	2	2	6	0,53	0,77	0,69	2	3	4	9	
35	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	3	1	10	
36	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	2	1	10	
37	3	2	2	2	2	2	2	0,43	0,69	0,62	2	3	1	9	
38	3	2	2	2	2	2	2	0,89	1,78	0,50	2	2	1	9	
39	5	5	4	4	3	4	7	2,54	5,26	0,48	2	4	3	7	
40	1	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	2	2	1	10	
41	5	3	4	3	3	3	3	2,76	4,00	0,69	2	5	3	6	
42	7	5	3	4	3	4	3	3,83	8,86	0,43	4	6	2	6	
43	6	4	3	4	3	4	3	3,28	7,39	0,44	4	5	2	8	
44	7	5	3	5	3	5	3	6,17	14,42	0,43	4	6	2	6	
45	6	3	3	3	4	4	3	2,89	5,51	0,52	2	5	3	7	
46	6	5	3	3	3	3	3	3,64	7,69	0,47	3	5	2	7	
47	6	3	3	3	3	3	3	2,69	3,79	0,71	2	5	3	7	
48	6	3	3	4	3	4	3	3,11	7,28	0,43	2	5	3	9	
49	5	3	4	3	3	3	7	2,22	3,20	0,69	2	4	3	6	
50	5	4	4	4	4	5	6	2,38	2,22	1,08	2	5	3	1	
51	5	5	3	5	5	6	6	2,40	0,96	2,50	2	5	6	1	
52	5	3	3	4	4	5	7	1,55	1,24	1,25	2	5	4	5	
53	4	3	3	4	3	4	3	0,40	0,73	0,55	4	5	2	6	
54	3	3	4	3	3	3	6	0,58	0,64	0,90	2	2	5	7	
55	3	3	4	3	4	4	6	0,68	0,49	1,40	2	2	5	7	
56	3	3	4	3	3	3	7	0,69	0,31	2,23	2	2	5	7	
57	5	5	3	5	3	5	4	3,09	4,94	0,62	2	5	3	8	
58	5	4	3	4	3	4	7	3,67	4,00	0,92	2	4	3	1	
59	5	3	4	4	3	4	7	3,08	4,71	0,65	2	5	3	6	

drenagem e as do relevo praticamente não variaram, os índices de drenagem, de um modo geral, mostraram alterações em seus valores. Essas alterações não apresentaram uma tendência definida, isto é, para algumas unidades fisiográficas o valor de um determinado índice de drenagem foi maior na escala 1:250.000 que o seu equivalente na escala 1:100.000, enquanto que para outras unidades ocorreu o inverso. Essas comparações são válidas apenas para o caso de unidades fisiográficas que foram delimitadas, em ambas as escalas, com a forma e a área bastante semelhantes.

A variação nos valores dos índices, de uma escala para outra, é uma consequência principalmente das diferenças entre os respectivos traçados das redes de drenagem, no tocante ao número e ao comprimento dos rios. Partindo-se do princípio de que o traçado da rede a partir de imagens na escala 1:100.000 aproxima-se mais da "verdade terrestre" que o obtido sobre imagens na escala 1:250.000, por motivos inerentes à própria escala, a redução no número de rios e/ou no seu comprimento, pode ser considerado um fato normal. O aumento desses valores (número e/ou comprimento de rios), quando se passa da escala 1:100.000 para a 1:250.000, pode ser atribuído também às deficiências da escala menor, não proporcionando condições para uma correta interpretação de detalhes. No caso específico da rede de drenagem, determinadas feições da paisagem,

registradas nas imagens de escala muito pequena, podem confundir o fotointérprete, induzindo-o a incluí-las no traçado da rede, como sendo canais de drenagem. Uma consequência direta das deficiências da escala 1:250.000 é o número menor de unidades fisiográficas (59) delimitadas sobre imagens nessa escala, em relação à escala 1:100.000 (66 unidades).

4.5. Caracterização pedológica das unidades fisiográficas

Através do mapa de solos e da listagem dos pontos de observação no campo, foi possível o estabelecimento da(s) unidade(s) de solo predominante(s) em cada unidade fisiográfica. Nos casos de unidades fisiográficas com mais de três unidades de solo, considerou-se uma associação com apenas as três de maior expressão geográfica. A relação das unidades fisiográficas com os seus respectivos solos é apresentada nas Tabela 5 e 6, respectivamente para as escalas 1:100.000 e 1:250.000.

4.6. Análise de agrupamentos

4.6.1. Escala 1:100.000

O diagrama obtido a partir da Análise de Agrupamentos para as unidades fisiográficas (amostras)

Tabela 5 - Caracterização pedológica das unidades fisiográficas, para a escala 1:100.000.

Unid. Fisiogr.	Unidades de Solo Predom.	Unid. Fisiogr.	Unidades de Solo Predom.	Unid. Fisiogr.	Unidades de Solo Predom.
01	LH	23	PV4	45	Li1
02	Li1	24	Li1	46	PV2
03	PV2	25	LE2	47	PV2 + PV5
04	PV1 + PV2	26	LV4 + LE2 + LE1	48	PV2 + PV5
05	Li1	27	LE1	49	PV4 + PV5
06	PV2	28	PV2	50	PV2 + PV4
07	PV4	29	LRd + LE1 + LH	51	Li1
08	PV2	30	LV1	52	PV1
09	PV2	31	LE1 + LE4 + LH	53	Li1
10	PV2	32	LV4	54	PV2 + PV5
11	PV(±)	33	LE1	55	Li1
12	PV2	34	LE1	56	PV2 + PV4
13	PV2	35	LE1	57	PV2
14	LV3	36	LE1	58	PV1 + PV2
15	PV4 + TE	37	LE1 + LRd	59	PV2 + LV4
16	PV6	38	LRd	60	PV2 + LV4 + TE
17	PV6	39	TE	61	LE1 + LRd
18	Li1	40	Li2	62	LV1 + LE1 + LRd
19	Li1	41	LE4 + LRd + LRe	63	LV1 + LE1 + LRd
20	PV2	42	TE	64	LV3
21	PV2	43	Li1	65	LV1
22	PV2	44	Li1	66	PV2

(±) Área urbana de Americana

Tabela 6 - Caracterização pedológica das unidades fisiográficas, para a escala 1:250.000.

Unid. Fisiogr.	Unidades de Solo Predom.	Unid. Fisiogr.	Unidades de Solo Predom.	Unid. Fisiogr.	Unidades de Solo Predom.
01	Li1	21	PV2 + TE	41	PV1 + PV5
02	PV2	22	PV2	42	Li1 + PV2
03	PV1 + PV2	23	LE1	43	Li1 + PV2
04	LH	24	LV4 + LE2 + LE1	44	Li1
05	Li1	25	Li1 + PV2	45	PV1 + PV2
06	PV2	26	Li1	46	PV1
07	PV2	27	Li1 + PV2	47	Li1 + PV2
08	PV(±)	28	PV2 + PV1	48	Li1 + PV2
09	PV2	29	PV2 + PV5	49	PV2
10	PV2 + LV4	30	LE1 + LE4 + LH	50	TE + PV4
11	PV2	31	PV4 + PV5	51	LE4 + LRd + LRc
12	LV4 + PV2 + TE	32	LRc	52	TE
13	LV3	33	LE1	53	Li2 + TE
14	PV4 + TE	34	LE1	54	LV3
15	PV6	35	LE1	55	LV1 + LE1 + LRd
16	Li1	36	LE1	56	LE1 + LRd
17	Li1	37	LE1 + LRd	57	PV2
18	PV2	38	LRd	58	PV2
19	Li1	39	PV1 + LV4	59	PV4
20	PV4	40	LV4 + LE1		

(*) Inclui parte da área urbana de Americana.

relativas à interpretação das imagens na escala 1:100.000, é apresentado na Figura 15.

Pela análise desse diagrama, observa-se que um grupo de amostras destaca-se facilmente das demais (a um valor maior que 1,2 para o coeficiente de semelhança), sendo formado pelas unidades: 2; 43; 44; 45; 5; 55; 18; 13; 24; 53; 51 e 19.

Recorrendo-se à Tabela 5, pode-se verificar que este grupo, denominado GR1, é formado por todas as unidades fisiográficas cujos solos predominantes são os Solos Litólicos substrato sedimentos do grupo Tubarão (Li1), à exceção da unidade 13 (PV2), cuja inclusão em GR1, muito provavelmente tenha sido em decorrência do elevado número de canais de escoamento observado nas cabeceiras de drenagem dessa área.

Os solos predominantes (Li1) nas unidades fisiográficas deste grupo, conforme OLIVEIRA et alii (1979) e OLIVEIRA (1980), têm como material de origem sedimentos siltosos ou fino-arenosos do grupo Tubarão. São solos rasos, de permeabilidade moderada a fraca, com horizonte A moderado ou proeminente (assentado diretamente sobre a rocha), de textura arenosa ou fino-areno-barrenta e estrutura variável. A susceptibilidade desses solos à erosão hídrica é alta.

A caracterização das unidades fisiográficas de GR1, em relação aos elementos da drenagem superficial e

Figura 15 - Diagrama correspondente a análise de agrupamentos para a escola

do relevo, obtida a partir da interpretação das imagens orbitais, é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000, para GR1.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	6,92	7,00	0,29	4,17	Muito alta
Grav. de Unif.	4,67	5,00	0,49	10,55	Uniforme
Âng. de Junção	3,00	3,00	0,00	0,00	Agudos fechados
Orientação	4,08	4,00	0,51	12,61	Pouco orientada
Angularidade	3,08	3,00	0,29	9,36	Baixa
Grav. de Contr.	4,17	4,00	0,58	13,86	Baixo
Tipo ou Mod.	3,00	3,00	0,00	0,00	Dendrítico
Dens. de Dren.	4,63	3,31	0,76	16,45	--
Freq. de Rios	11,46	8,72	2,17	18,93	--
Compr.M. de Rios	0,41	0,32	0,07	16,18	--
Tipo de Relevo	3,92	4,00	0,29	7,37	Excessivo
Classe de Relevo	5,92	6,00	0,29	4,48	Ondulado a forte ondulado
Compr. das Vert.	2,00	2,00	0,00	0,00	Curtas
Pos. Topográfica	6,50	6,00	0,80	12,27	Toda a extensão das vertentes

Os coeficientes de variação calculados para as variáveis podem ser considerados baixos, atestando a homogeneidade deste grupo de unidades fisiográficas.

Voltando ao diagrama da Figura 15, observa-se que a um valor próximo a 1,0 para o coeficiente de semelhança um outro grupo pode ser isolado. Este novo grupo (GR2) é constituído pelas unidades: 1; 27; 31; 34; 29; 25; 30; 35; 26; 36; 33; 37; 38; 32; 65 e 16.

Pela Tabela 5 verifica-se que, à exceção da unidade 16 (PV6), todas as demais correspondem a Latossolos, tanto em unidades taxonômicas simples como em associações. A análise das Figuras 11 e 12 nos mostra que a grande maioria das unidades fisiográficas reunidas neste grupo, possuem em comum o fato de ocuparem as partes altas do relevo local, ou seja, posições de interflúvio e terço superior da vertente. Tal fato confere a essas unidades a característica de não apresentarem rede de drenagem, ou então apenas trechos curtos de canais, normalmente de cabeceiras de drenagem.

A inclusão da unidade 16 nesse grupo pode ter ocorrido em função de tratar-se de uma amostra incompleta, o que impediu uma melhor caracterização através dos critérios e elementos empregados neste trabalho. Reforçando esta hipótese há o fato de que, a um valor de coeficiente de semelhança próximo a 0,9 (Figura 15), a amostra 16 isola-se de todas as demais.

Os solos deste grupo (GR2) apresentam material de origem variável, mas a predominância é de materiais provenientes de retrabalhamento de sedimentos do grupo Tubarão e, no caso do Latossolo Roxo, de intemperismo de diabásio. São solos profundos e de boa permeabilidade. A textura no horizonte A é variável e no horizonte B é argilosa, sendo a relação textural normalmente menor que 1,2. A estrutura no horizonte A é predominantemente

granular (pequena a média, fraca ou moderada), podendo ser também subangular, enquanto o horizonte B é apédico. A transição A/B é normalmente gradual, ou difusa, e plana. Como horizonte diagnóstico de superfície predomina o A moderado. São solos com baixa susceptibilidade à erosão (OLIVEIRA et alii, 1979 e OLIVEIRA, 1980).

A caracterização de GR2, quanto aos elementos interpretativos de drenagem e de relevo, é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000, para GR2.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coeff. de Variação	Interpretação
Densidade	1,94	1,00	1,12	57,99	Muito baixa, ou rede ausente
Grau de Unif.	1,44	1,00	0,51	35,64	Rede de dren. aus. ou insufic. p/ caract.
Âng. de Junção	1,50	1,00	0,63	42,16	Idem
Orientação	1,44	1,00	0,51	35,64	Idem
Angularidade	1,50	1,00	0,63	42,16	Idem
Grau de Contr.	1,56	1,00	0,81	52,09	Idem
Tipo ou Mod.	1,44	1,00	0,51	35,64	Idem
Dens. de Dren.	0,40	0,00	1,20	304,10	--
Freq. de Rios	0,44	0,00	1,10	249,52	--
Compr.A. de Rios	0,35	0,00	0,54	155,11	--
Tipo de Relevo	2,00	2,00	0,00	0,00	Normal
Classe de Relevo	2,69	3,00	0,43	17,81	Suave Ondulado
Compr. das Vert.	1,87	1,00	1,89	100,96	Não aplicável (pela pos. topográfica)
Pos. Topográfica	9,87	10,00	0,62	6,27	Interflúvio e terço sup. das vertentes

Excluídas as unidades fisiográficas dos grupos GR1 e GR2, as demais formam um grupo relativamente heterogêneo, onde a predominância numérica é para as

amostras com solos que apresentam horizonte B textural (Podzólicos Vermelho-Amarelos e Terra Roxa Estruturada). Contudo, há um grupo bastante importante pela sua expressão geográfica, que pode ser isolado das amostras restantes, no diagrama (Figura 15), a um valor de coeficiente de semelhança próximo a 0,4. Neste grupo (GR3) concentram-se as unidades referentes às grandes áreas de domínio dos Latossolos. Com isso há a separação das amostras não pertencentes nem a GR1, nem a GR2, em três grupos: GR3, GR4 e GR5.

De GR3 fazem parte as unidades: 17; 61; 62; 63 e 64. Verifica-se pela Tabela 5 que, à semelhança do ocorrido em GR2, uma amostra incompleta foi incluída indevidamente no grupo, no caso a amostra 17, cujo solo representativo é um Podzólico Vermelho-Amarelo (PV6), enquanto nas demais predominam os Latossolos. Contudo, a amostra 17 isola-se das outras quatro a um valor próximo a 0,3 para o coeficiente de semelhança.

As unidades fisiográficas deste grupo, embora também constituídas por Latossolos, diferem das do grupo anterior por ocuparem áreas extensas do terreno, não estando restritas às posições topográficas de interflúvio e terço superior das vertentes, e por possuírem uma rede de drenagem definida.

As características morfológicas e funcionais dos solos deste grupo são, basicamente, as mesmas daqueles

do grupo GR2. Sua caracterização em termos de drenagem superficial e de relevo, feita com base na interpretação das imagens, é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000, para GR3.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	4,00	4,00	0,00	0,00	Baixa
Grau de Unif.	3,60	4,00	0,55	15,21	Pouco uniforme
Âng. de Junção	3,80	4,00	0,45	11,77	Agudos abertos
Orientação	3,40	3,00	0,55	16,11	Não orientada
Angularidade	3,00	3,00	0,00	0,00	Baixa
Grau de Contr.	3,60	4,00	0,55	15,21	Baixo
Tipo ou Mod.	6,20	6,00	0,45	7,21	Retangular
Dens. de Dren.	0,85	0,58	0,40	47,35	--
Freq. de Rios	0,56	0,36	0,28	50,30	--
Compr. A. de Rios	1,58	1,08	0,42	26,64	--
Tipo de Relevo	2,00	2,00	0,00	0,00	Normal
Classe de Relevo	2,20	2,00	0,45	20,33	Plano a suave ondulado
Compr. das Vert.	5,00	5,00	0,00	0,00	Muito longas
Pos. Topográfica	6,80	7,00	0,45	6,58	Áreas extensas (todas as posições)

O próximo grupo (GR4) engloba as unidades: 3; 41; 42; 6; 21; 7; 49; 4; 47; 22; 23; 46; 57; 48; 10; 40; 8; 9; 11; 52; 12; 58; 20; 28; 66; 14; 15 e 54 (ver Figura 15).

As unidades fisiográficas de GR4 são caracterizadas pela presença predominante de solos com horizonte B textural, em sua grande maioria Podzólicos Vermelho-Amarelos (Tabela 5).

É um grupo bastante heterogêneo em termos de solos, pois é constituído por diversas unidades de

Podzólicos Vermelho-Amarelos, além da Terra Roxa Estruturada, com características morfológicas e funcionais bem distintas. A unidade de solo de maior frequência em GR4 é a Usina (PV2), de textura arenosa/média, ocorrendo em relevo suave ondulado a ondulado.

Os solos representativos deste grupo são, em sua maioria, resultantes do retrabalhamento de materiais fino-arenosos do grupo Tubarão. São normalmente profundos, de características texturais e estruturais variáveis para o horizonte A. O horizonte B é geralmente de textura fino-areno-barrenta e estrutura subangular. A transição A/B é, em geral, gradual ou clara e plana, sendo abrupta e ondulada para a unidade Alva (PV1). O horizonte diagnóstico de superfície mais frequente é o A moderado. A susceptibilidade à erosão hídrica é variável, podendo ser média ou alta (OLIVEIRA et alii, 1979 e OLIVEIRA, 1980).

As características fotointerpretativas de GR4 são apresentadas na Tabela 10.

As unidades 14, 40 e 41 foram agrupadas indevidamente em GR4, uma vez que são constituídas por Latossolos (amostras 14 e 41) e por Solo Litólico substrato basalto (amostra 40).

A inclusão da amostra 14 provavelmente deveu-se ao fato dela ser incompleta, envolvendo boa parte da cabeceira de drenagem da área, resultando numa densidade maior que a normal para Latossolos.

Tabela 10 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000, para GR4.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	5,32	5,00	0,67	12,58	Média
Grau de Unif.	3,71	4,00	0,81	21,81	Pouco uniforme
Âng. de Junção	3,11	3,00	0,50	16,01	Ângulos fechados
Orientação	3,68	4,00	0,90	24,60	Pouco orientada
Angularidade	3,21	3,00	0,50	15,51	Baixa
Grau de Contr.	4,07	4,00	0,81	19,97	Baixo
Tipo ou Mod.	3,61	3,00	1,55	42,91	Dendritico
Dens. de Dren.	2,75	2,50	0,96	34,97	--
Freq. de Rios	3,89	0,13	2,07	53,12	--
Compr.M. de Rios	0,93	0,43	0,54	58,80	--
Tipo de Relevo	2,18	2,00	0,47	21,83	Normal
Classe de Relevo	4,54	5,00	0,74	16,41	Ondulado
Compr. das Vert.	3,32	3,00	0,90	27,24	Médias
Pos. Topográfica	5,39	6,00	2,51	46,62	Toda a vertente mais interflúvio

A amostra 41 foi delimitada como unidade fisiográfica, pelo alto grau de controle observado nos canais de drenagem, diferenciando-os dos demais ao redor. Sendo uma unidade relativamente estreita (ver Figuras 9 e 11), de área reduzida, os índices Dd e Fr calculados para ela resultaram em valores semelhantes aos apresentados pelas amostras com solos possuindo B textural. O próprio controle geológico a aproximou bastante da amostra 42, na qual o solo representativo é a Terra Roxa Estruturada. Muito provavelmente, o controle geológico observado nessas

duas unidades seja decorrente da presença de corpos litológicos mais resistentes, por se tratar de área das suítes básicas, de acordo com citação de ALMEIDA (1964), ao descrever a rede de drenagem da zona do Médio Tietê.

Na amostra 40 o relevo é pouco dissecado, mas a declividade é alta, tendo como solo predominante um Litossolo substrato basalto. A sua inclusão no grupo dos solos com horizonte B textural, mais uma vez pode ter sido decorrência dos valores médios verificados para os índices de drenagem, uma vez que apresenta apenas parte de uma cabeceira de drenagem em área relativamente restrita de sua superfície de abrangência.

O último grupo definido na área de estudo, para a escala 1:100.000, denominado GR5, inclui as unidades: 39; 60; 50; 58 e 59 (Figura 15). Pela Tabela 5 pode-se observar que essas unidades fisiográficas, em sua maioria, são constituídas por associações de solos. Essas associações envolvem tanto solos tendo em comum o horizonte B textural, como solos com B textural junto de outros com B latossólico.

Pode-se dizer que a predominância, em GR5, é de solos provenientes de retrabalhamento de sedimentos do grupo Tubarão, profundos, de permeabilidade boa a moderada e susceptibilidade à erosão hídrica média a baixa. Textura

e estrutura são bastante variáveis nesse grupo (OLIVEIRA et alii, 1979 e OLIVEIRA, 1980).

Em consequência dessa diversificação, as unidades fisiográficas de GRS possuem, no geral, como mostram os dados da Tabela 11, características de drenagem e de relevo intermediárias entre os grupos com predominância de Latossolos e o representado pelos solos com B textural.

Tabela 11 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000, para GRS.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	4,80	5,00	0,45	9,32	Média
Grau de Unif.	3,40	3,00	1,14	33,53	Não uniforme a pouco uniforme
Âng. de Junção	4,20	4,00	0,45	10,65	Agudos abertos
Orientação	4,00	3,00	1,00	25,00	Não orient. ou pouco orientada
Angularidade	3,20	3,00	0,45	13,97	Baixa
Grau de Contr.	4,20	4,00	0,84	19,92	Baixo
Tipo ou Mod.	6,60	7,00	0,55	8,30	Subretangular
Dens. de Dren.	1,75	0,97	0,67	38,22	--
Freq. de Rios	1,82	1,00	0,72	39,70	--
Compr. R. de Rios	0,98	0,74	0,20	20,45	--
Tipo de Relevo	2,20	2,00	0,45	20,33	Normal
Classe de Relevo	4,40	4,00	0,55	12,45	Suave ondulado a ondulado
Compr. das Vert.	3,60	4,00	0,55	15,21	Longas
Pos. Topográfica	5,60	6,00	0,55	9,78	Toda a extensão das vertentes

O resultado final da Análise de Agrupamentos para a escala 1:100.000 é apresentado, resumidamente, na Tabela 12.

Tabela 12 - Grupos de unidades fisiográficas definidos pela Análise de Agrupamentos, e solos a eles associados, para a escala 1:100.000 .

Grupos	Número de Amostras	Unidades Fisiográficas	Solos Predominantes
GR1	12	02-43-44-45- 05-55-18-13- 24-53-51-19	Solos Litólicos substr. sedimentos do grupo Tubarão (Li1).
GR2	16	01-27-31-34- 29-25-30-35- 26-36-33-37- 38-32-65-16	Latossolos com rede de drenagem ausente ou escassa, por ocuparem as posições de terço superior das vertentes e interflúvio.
GR3	5	17-61-62-63- 64	Latossolos, ocupando superfícies extensas na região, com rede de drenagem definida.
GR4	28	03-41-42-06- 21-07-49-04- 47-22-23-46- 57-48-10-40- 08-09-11-52- 12-58-20-28- 66-14-15-54	Solos com horizonte B textural, predominando Podzólicos Vermelho-Amarelos.
GR5	5	39-60-50-56- 59	Sem predominância bem definida. Associações entre solos com B textural, e entre estes e solos com B latossólico.

4.6.2. Escala 1:250.000

Pelo diagrama derivado da Análise de Agrupamentos referente à escala 1:250.000 (Figura 16),

Figura 16 - Diagrama correspondente à análise de agrupamentos para a escala 1:250.000.

verificou-se que a unidade 16 destaca-se facilmente de todas as demais, e que forma, juntamente com as unidades 17 e 44, o primeiro grupo possível de ser isolado (ao nível do coeficiente de semelhança igual a 1,5).

De acordo com as informações contidas na Tabela 6, este grupo (GR1') é constituído por unidades fisiográficas referentes a Solos Litólicos substrato sedimentos do grupo Tubarão (Li1), tendo em comum uma densidade bastante elevada de canais de drenagem (ver Figuras 13 e 14), isto é, ocorrem em relevo bastante dissecado.

Os elementos da drenagem superficial e do relevo que caracterizam GR1', obtidos pela interpretação das imagens, são mostrados na Tabela 13.

A um valor do coeficiente de semelhança próximo a 1,0, um novo grupo (GR2') pode ser isolado, sendo formado pelas amostras: 4; 36; 40; 23; 30; 32; 33; 35; 24; 37 e 38. Pelos dados da Tabela 6 e observação das Figuras 13 e 14, verifica-se que este grupo reúne unidades fisiográficas relacionadas a Latossolos, com rede de drenagem escassa ou ausente, devido à posição topográfica que ocupam, ou seja, áreas de interflúvio e terço superior das vertentes, similarmente às unidades de GR2 para a escala 1:100.000. Na Tabela 14 são apresentadas as características da drenagem e do relevo, relativas a este grupo.

Tabela 13 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000, para GR1'.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	7,00	7,00	0,00	0,00	Muito alta
Grau de Unif.	4,67	5,00	0,58	12,37	Uniforme
Âng. de Junção	3,00	3,00	0,00	0,00	Agudas fechados
Orientação	5,00	5,00	0,00	0,00	Orientada
Angularidade	3,00	3,00	0,00	0,00	Baixa
Grau de Contr.	5,00	5,00	0,00	0,00	Médio
Tipo ou Mod.	3,00	3,00	0,00	0,00	Dendrítico
Dens. de Dren.	6,68	5,75	1,26	18,86	--
Freq. de Rios	24,73	14,42	11,96	48,37	--
Compr.A. de Rios	0,30	0,21	0,11	38,44	--
Tipo de Relevo	4,00	4,00	0,00	0,00	Excessivo
Classe de Relevo	6,00	6,00	0,00	0,00	Ondulado a forte ondulado
Compr. das Vert.	2,00	2,00	0,00	0,00	Curtas
Pos. Topográfica	6,00	6,00	0,00	0,00	Toda a extensão das vertentes

Continuando-se a análise do diagrama (Figura 16), observa-se que, a um coeficiente de semelhança próximo a 0,7, um outro grupo pode ser formado (GR3'), reunindo as amostras: 12; 14; 54; 55; 56 e 34. Neste grupo está incluída a quase totalidade dos Latossolos restantes, não incluídos em GR2' por apresentarem uma rede de drenagem mais desenvolvida. A unidade 14, relacionada a uma associação entre Podzólico Vermelho-Amarelo argiloso (PV4) e Terra Roxa Estruturada, foi incluída neste grupo provavelmente em função do traçado atípico da rede de drenagem para unidades de solo com horizonte B textural, isto é, poucos canais em relação à área ocupada (baixa

Tabela 14 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000, para GR2'.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	1,54	1,00	0,93	60,45	Muito baixa, ou rede ausente
Grau de Unif.	1,27	1,00	0,47	36,70	Rede de dren. aus. ou insufic. p/ caract.
Âng. de Junção	1,27	1,00	0,47	36,70	Idem
Orientação	1,27	1,00	0,47	36,70	Idem
Angularidade	1,27	1,00	0,47	36,70	Idem
Grau de Contr.	1,27	1,00	0,47	36,70	Idem
Tipo ou Mod.	1,27	1,00	0,47	36,70	Idem
Dens. de Dren.	0,13	0,00	0,28	210,68	--
Freq. de Rios	0,25	0,00	0,55	218,84	--
Compr. A. de Rios	0,15	0,00	0,26	172,22	--
Tipo de Relevo	2,00	2,00	0,00	0,00	Normal
Classe de Relevo	2,54	3,00	0,52	20,52	Suave ondulado
Compr. das Vert.	1,00	1,00	0,00	0,00	Não aplicável (pela pos. topográfica)
Pos. Topográfica	9,82	10,00	0,40	4,12	Interflúvio e terço sup. das vertentes

densidade), supostamente em função de boas condições de infiltração e permeabilidade interna dos solos. Além disso, a área de ocorrência dessa unidade apresenta relevo suave ondulado. A caracterização de GR3', quanto aos elementos da drenagem superficial e do relevo, é apresentada na Tabela 15.

Neste ponto, falta ainda definir os grupos relativos aos solos com B textural e aos Litossolos restantes. Estes últimos podem ser agrupados (GR4') a um valor de coeficiente de semelhança ao redor de 0,5 (Figura 16), e referem-se às unidades: 1; 27; 5; 19; 42; 26; 46; 43 e 48 (ver Tabela 6). Trata-se de um grupo

Tabela 15 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000, para GR3'.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	3,50	3,00	0,84	23,90	Muito baixa
Grau de Unif.	2,83	3,00	0,75	26,57	Não uniforme
Âng. de Junção	3,33	4,00	0,82	24,49	Agudos abertos
Orientação	2,83	3,00	0,41	14,41	Não orientada
Angularidade	3,00	3,00	0,63	21,08	Baixa
Grau de Contr.	3,00	3,00	0,63	21,08	Não controlada
Tipo ou Mod.	6,50	6,00	0,55	8,43	Retangular a subretangular
Dens. de Dren.	1,03	0,53	0,64	62,14	--
Freq. de Rios	0,71	0,31	0,29	40,79	--
Compr.M. de Rios	1,47	0,69	0,59	40,09	--
Tipo de Relevo	2,00	2,00	0,00	0,00	Normal
Classe de Relevo	2,67	2,00	0,82	30,62	Plano a suave ondulado
Compr. das Vert.	5,17	5,00	0,75	14,57	Muito longas
Pos. Topográfica	7,17	7,00	0,98	13,72	Áreas extensas (todas as posições)

relativamente homogêneo quanto às características de drenagem superficial e de relevo, como pode ser visto pelos dados apresentados na Tabela 16. A exceção neste grupo ficou por conta da amostra 46, relativa a um Podzólico Vermelho-Amarelo com mudança textural abrupta (PV1), cujo traçado da rede de drenagem, em função da baixa resistência à erosão apresentada por esse solo, mostra uma alta densidade de canais (ver Figuras 13 e 14).

Deve-se ainda chamar a atenção para o fato de que, embora as unidades agrupadas em GR4' sejam constituídas predominantemente por Solos Litólicos (Li1), várias delas referem-se à associação Li1 + PV2, o que

Tabela 16 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000, para GR4'.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	6,55	7,00	0,53	8,04	Alta a muito alta
Grau de Unif.	4,55	5,00	0,73	15,95	Pouco uniforme a uniforme
Âng. de Junção	3,00	3,00	0,00	0,00	Agudos fechados
Orientação	3,67	4,00	0,50	13,64	Não orient. a pouco orientada
Angularidade	3,11	3,00	0,33	10,71	Baixa
Grau de Contr.	3,78	4,00	0,67	17,65	Baixo
Tipo ou Mod.	3,00	3,00	0,00	0,00	Dendrítico
Dens. de Dren.	3,59	3,02	0,37	10,26	--
Freq. de Rios	8,64	7,28	1,50	17,35	--
Compr. R. de Rios	0,42	0,43	0,05	13,08	--
Tipo de Relevo	3,55	4,00	0,73	20,43	Excessivo
Classe de Relevo	5,44	5,00	0,53	9,68	Ondulado
Compr. das Vert.	2,22	2,00	0,44	19,84	Curtas
Pos. Topográfica	7,44	8,00	1,01	13,62	Toda a vertente mais interflúvio

sugere uma menor capacidade desta escala, em relação à escala 1:100.000, na separabilidade entre as duas unidades.

Finalmente, o último grupo definido (GR5') é composto pelas unidades: 3; 7; 29; 10; 52; 39; 49; 59; 6; 22; 28; 41; 47; 13; 8; 11; 18; 25; 20; 45; 9; 57; 53; 15; 2; 31; 50; 58; 51 e 21 (ver Figura 16). Este grupo reúne as unidades fisiográficas representativas de solos com horizonte B textural, a maioria Podzólicos Vermelho-Amarelos, conforme pode ser verificado pelas informações contidas na Tabela 6.

Duas unidades referentes a Latossolos (amostras 13 e 51) foram agrupadas em GR5', e correspondem

basicamente às mesmas áreas das unidades 14 e 41 do mapeamento realizado através das imagens na escala 1:100.000, cuja inclusão, também indevida, no grupo dos solos com B textural, já foi discutida no item anterior.

Também são observadas neste grupo, unidades referentes a associação entre solos Litólicos e Podzólicos, ou Terra Roxa Estruturada, e a justificativa para isto pode estar na fato, já comentado, de uma provável menor capacidade da escala 1:250.000 em separar estes solos.

As características do padrão de drenagem e do relevo, para este grupo, são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Medidas de tendência central e de dispersão, e sua interpretação, das variáveis da rede de drenagem e do relevo obtidas a partir de imagens TM/LANDSAT na escala 1:250.000, para GR5'.

Variável	Média	Moda	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Interpretação
Densidade	5,30	5,00	0,60	11,24	Média
Grau de Unif.	3,50	3,00	0,78	22,19	Não uniforme
Âng. de Junção	3,23	3,00	0,57	17,58	Agudos fechados
Orientação	3,67	4,00	0,80	21,88	Pouco orientada
Angularidade	3,20	3,00	0,55	17,21	Baixa
Grau de Contr.	3,83	4,00	0,91	23,81	Baixo
Tipo ou Mod.	4,07	3,00	1,70	41,82	Dendritico
Dens. de Dren.	2,54	2,42	0,72	28,45	--
Freq. de Rios	3,82	4,00	1,68	43,84	--
Compr. R. de Rios	0,78	0,69	0,40	51,35	--
Tipo de Relevo	2,13	2,00	0,43	20,35	Normal
Classe de Relevo	4,57	5,00	0,63	13,71	Ondulado
Compr. das Vert.	3,20	3,00	0,89	27,71	Médias
Pos. Topográfica	5,40	6,00	2,47	45,78	Toda a extensão das vertentes

O resumo do resultado final da Análise de Agrupamentos, para a escala 1:250.000, com os grupos formados e os respectivos solos predominantes, é mostrado na Tabela 18.

Tabela 18 - Grupos de unidades fisiográficas definidos pela Análise de Agrupamentos, e solos a eles associados, para a escala 1:250.000.

Grupos	Número de Amostras	Unidades Fisiográficas	Solos Predominantes
GR1'	3	16-17-44	Solos Litólicos substr. sedim. do grupo Tubarão (Li1). Relevo com alto grau de dissecação (valores altos para os índices Dd e Fr).
GR2'	11	04-36-40-23-30-32-33-35-24-37-38	Latossolos com rede de drenagem ausente ou escassa (valores muito baixos para os índices Dd e Fr).
GR3'	6	12-14-54-55-56-34	Latossolos, em geral ocupando superfícies extensas na região, com rede de drenagem definida.
GR4'	9	01-27-05-19-42-26-46-43-48	Solos Litólicos substr. sedimentos do grupo Tubarão (Li1), associados ou não a PV2.
GR5'	30	03-07-29-10-52-39-49-59-06-22-28-41-47-13-08-11-18-25-20-45-09-57-53-15-02-31-50-58-51-21	Solos com horizonte textural, predominando Podzólicos Vermelho-Amarelos.

4.6.3. Considerações sobre os resultados da Análise de Agrupamentos

A aplicação da Análise de Agrupamentos para os dados obtidos na interpretação das imagens, visando à formação de grupos homogêneos de unidades fisiográficas, mostrou-se de grande utilidade, pois orientou a operação de agrupamento de maneira a eliminar parcialmente a subjetividade, que seria inevitável sem o seu emprego. Outro fator positivo constatado, foi a possibilidade de associar-se o grau de dificuldade na separação de unidades fisiográficas a uma escala de valores numéricos (coeficientes de semelhança).

Os resultados obtidos através dessa análise mostraram que, para ambas as escalas estudadas, os critérios rede de drenagem e relevo podem ser aplicados com sucesso na interpretação visual de imagens orbitais, com vistas à estratificação regional em paisagens homogêneas associadas a solos morfogeneticamente semelhantes (dentro é claro, dos limites de nível de detalhamento impostos pelas escalas).

Uma prova dessa aplicabilidade é a coerência verificada entre as características da rede de drenagem superficial e do relevo (Tabelas 7 a 11 e 13 a 17), dos grupos formados, e os solos associados a cada um deles. Por exemplo, nos grupos de unidades fisiográficas referentes aos Solos Litólicos (GR1, GR1' e GR4') e aos solos com

horizonte B textural (GR4 e GR5'), o modelo dendrítico da rede de drenagem e o seu grau de controle em geral baixo, são bons indicativos do desenvolvimento da rede sobre material sedimentar, o que ocorre na realidade.

Os resultados para a densidade da rede de drenagem (elemento descritivo) e para os índices quantitativos a ela relacionados (Dd e Fr), também demonstraram estreita correlação com o grau de evolução e a susceptibilidade à erosão dos tipos de solo característicos de cada grupo. A densidade observada para os Solos Litólicos foi muito alta a alta; média para os grupos de solos com B textural e baixa a muito baixa para os Latossolos. Os valores de Dd e Fr também decresceram na mesma ordem, o que concorda com a afirmação de RAY (1963), segundo a qual, à medida que diminui a resistência à erosão hídrica, ocorre um aumento na densidade da rede de drenagem superficial. Para FRANÇA (1968), essa relação não depende apenas do tipo de material sobre o qual a rede de drenagem encontra-se, mas também da natureza dos solos que se desenvolveram à partir desse material.

A correlação encontrada entre as características do padrão de drenagem, para cada grupo formado, e os respectivos solos, está de acordo com a afirmação de GARCIA (1982), de que a rede de drenagem destaca-se entre os critérios fotointerpretativos, uma vez

que a sua gênese está ligada a condições que também determinam o desenvolvimento das unidades de solo. LUEDER (1959) também ressalta a importância do padrão de drenagem, ao afirmar que "depois do relevo, a rede de drenagem superficial é o mais consistente e confiável indicador das condições reais do terreno".

A relação existente entre a rede de drenagem e o relevo, conforme citam vários autores, como HORTON (1945), SMITH (1950), STRAHLER (1953), SMITH & RANDBL (1957) e GOOSEN (1967), também pode ser observada nos resultados obtidos.

O relevo ondulado a forte ondulado, do tipo excessivo, associado aos Solos Litólicos, favorece o deflúvio, em detrimento da infiltração, aumentando a ação erosiva das águas pluviais e resultando na formação de muitos canais de escoamento (alta densidade de drenagem).

Nas unidades fisiográficas associadas aos Latossolos o que se observa é o outro extremo da situação, ou seja, a infiltração bastante favorecida pela condição de relevo suave ondulado (além das características do próprio solo), resultando numa rede de drenagem de densidade baixa a muito baixa, ou mesmo ausência de canais de drenagem, no caso de Latossolos ocupando os topos aplainados das colinas (áreas de interflúvio). No meio termo encontram-se as unidades relativas aos solos com horizonte B textural.

4.7. Avaliação da eficiência dos elementos de interpretação.

A eficiência, ou seja, a maior ou menor contribuição de cada um dos elementos da drenagem superficial e do relevo, na discriminação entre os grupos de unidades fisiográficas, foi verificada através de uma análise de variância.

Pelos resultados do teste F (Tabelas 19 e 20), constata-se que, para todas as variáveis estudadas, tanto na escala 1:100.000 como na escala 1:250.000, ocorreu uma significância ao nível de 1 % de probabilidade. Esse fato demonstra que todos os elementos interpretativos estudados foram capazes de acusar diferenças estatísticas, altamente significativas, entre pelo menos dois dos cinco grupos formados.

A contribuição de cada um dos elementos de interpretação na distinção entre os grupos, pode então ser analisada a partir dos resultados do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, aplicado a cada um deles e apresentados nas Tabelas 21 a 48.

Para os dados obtidos a partir da interpretação das imagens na escala 1:100.000 (Tabelas 21; 23; 25; 27; 29; 31; 33; 35; 37; 39; 41; 43; 45 e 47), observa-se que os resultados do teste de Tukey, para quase todas as variáveis, não acusaram diferença significativa para os grupos 3 e 4 em relação ao grupo 5. Isso decorreu

Tabela 19 - Resultados do teste F para as variáveis da rede de drenagem e do relevo, dos cinco grupos definidos de unidades fisiográficas, para a escala 1:100.000.

Causa de Variação	G.L.	G.M.Trat.	F	C.V.
Densidade	4	48,55	90,41 **	15,75
Grau de Unif.	4	20,80	41,31 **	21,48
Âng. de Junção	4	11,22	47,94 **	17,07
Orientação	4	17,22	30,74 **	23,30
Angularidade	4	8,42	35,60 **	17,64
Grau de Contr.	4	19,22	33,07 **	22,07
Tipo ou Mod.	4	38,78	33,50 **	31,70
Dens. de Dren.	4	35,29	38,66 **	28,91
Freq. de Rios	4	238,45	77,57 **	34,92
Compr.M. de Rios	4	2,13	9,75 **	26,78
Tipo de Rel.	4	8,11	63,22 **	14,68
Classe de Rel.	4	23,79	68,08 **	14,24
Compr. das Vert.	4	13,99	11,08 **	39,04
Pos. Topográfica	4	53,75	17,68 **	25,63

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 20 - Resultados do teste F para as variáveis da rede de drenagem e do relevo, dos cinco grupos definidos de unidades fisiográficas, para a escala 1:250.000 .

Causa de Variação	G.L.	D.A.Trat.	F	C.V.
Densidade	4	43,94	95,87 **	14,42
Grau de Unif.	4	16,82	33,14 **	22,00
Ang. de Junção	4	8,35	30,32 **	18,55
Orientação	4	14,97	34,13 **	20,67
Angularidade	4	7,92	30,84 **	18,12
Grau de Contr.	4	16,24	27,49 **	23,14
Tipo ou Mod.	4	30,21	18,64 **	35,60
Dens. de Dren.	4	33,86	82,09 **	19,41
Freq. de Rios	4	419,69	58,27 **	47,60
Compr.Å. de Rios	4	2,03	15,45 **	21,93
Tipo de Rel.	4	6,14	34,20 **	17,60
Classe de Rel.	4	17,98	49,40 **	14,35
Compr. das Vert.	4	19,74	39,20 **	25,53
Pos. Topográfica	4	41,32	11,63 **	25,94

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 21 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável DENSIDADE (escala 1:100.000).

Médias					
	6,917	1,937	4,000	5,321	4,800
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	4,980 *	2,917 *	1,596 *	2,117 *
2	--	--	2,063 *	3,384 *	2,863 *
3	--	--	--	1,321 *	0,800
4	--	--	--	--	0,521
5	--	--	--	--	--

Tabela 22 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável DENSIDADE (escala 1:250.000).

Médias					
	7,000	1,545	3,500	6,555	5,300
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	5,455 *	3,500 *	0,445	1,700 *
2	--	--	1,955 *	5,010 *	3,755 *
3	--	--	--	3,055 *	1,800 *
4	--	--	--	--	1,255 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 23 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável GRAU DE UNIFORMIDADE (escala 1:100.000).

Médias					
	4,667	1,437	3,600	3,714	3,400
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	3,230 *	1,067 *	0,953 *	1,267 *
2	--	--	2,163 *	2,277 *	1,963 *
3	--	--	--	0,114	0,200
4	--	--	--	--	0,314
5	--	--	--	--	--

Tabela 24 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável GRAU DE UNIFORMIDADE (escala 1:250.000).

Médias					
	4,667	1,273	2,833	4,555	3,500
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	3,394 *	1,834 *	0,112	1,167
2	--	--	1,560 *	3,282 *	2,227 *
3	--	--	--	1,722 *	0,667
4	--	--	--	--	1,055 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 25 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ÂNGULOS DE JUNÇÃO (escala 1:100.000).

Médias					

	3,000	1,500	3,800	3,107	4,200
Grupos	1	2	3	4	5

1	--	1,500 *	0,800 *	0,107	1,200 *
2	--	--	2,300 *	1,607 *	2,700 *
3	--	--	--	0,693 *	0,400
4	--	--	--	--	1,053 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 26 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ÂNGULOS DE JUNÇÃO (escala 1:250.000).

Médias					

	3,000	1,273	3,333	3,000	3,233
Grupos	1	2	3	4	5

1	--	1,727 *	0,333	0,000	0,233
2	--	--	2,060 *	1,727 *	1,960 *
3	--	--	--	0,333	0,100
4	--	--	--	--	0,233
5	--	--	--	--	--

Tabela 27 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ORIENTAÇÃO (escala 1:100.000).

Grupos	Médias				
	4,083	1,437	3,400	3,678	4,000
1	--	2,646 *	0,683	0,405	0,083
2	--	--	1,963 *	2,241 *	2,563 *
3	--	--	--	0,278	0,600
4	--	--	--	--	0,322
5	--	--	--	--	--

Tabela 28 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ORIENTAÇÃO (escala 1:250.000).

Grupos	Médias				
	5,000	1,273	2,833	3,667	3,667
1	--	3,727 *	2,167 *	1,333 *	1,333 *
2	--	--	1,560 *	2,394 *	2,394 *
3	--	--	--	0,834	0,834
4	--	--	--	--	0,000
5	--	--	--	--	--

Tabela 29 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ANGULARIDADE (escala 1:100.000).

----- Médias -----					
	3,083	1,500	3,000	3,214	3,200
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	1,583 *	0,083	0,131	0,117
2	--	--	1,500 *	1,714 *	1,700 *
3	--	--	--	0,214	0,200
4	--	--	--	--	0,014
5	--	--	--	--	--

Tabela 30 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável ANGULARIDADE (escala 1:250.000).

----- Médias -----					
	3,000	1,273	3,000	3,111	3,200
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	1,727 *	0,000	0,111	0,200
2	--	--	1,727 *	1,838 *	1,927 *
3	--	--	--	0,333	0,200
4	--	--	--	--	0,089
5	--	--	--	--	--

Tabela 31 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável GRAU DE CONTROLE (escala 1:100.000).

Médias					

	4,167	1,562	3,600	4,071	4,200

Grupos	1	2	3	4	5

1	--	2,605 *	0,567	0,096	0,033
2	--	--	2,038 *	2,509 *	2,638 *
3	--	--	--	0,471	0,600
4	--	--	--	--	0,129
5	--	--	--	--	--

Tabela 32 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável GRAU DE CONTROLE (escala 1:250.000).

Médias					

	5,000	1,273	3,000	3,778	3,833

Grupos	1	2	3	4	5

1	--	3,727 *	2,000 *	1,222	1,167
2	--	--	1,727 *	2,505 *	2,560 *
3	--	--	--	0,778	0,833
4	--	--	--	--	0,055
5	--	--	--	--	--

Tabela 33 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável TIPO OU MODELO (escala 1:100.000).

Médias					
	3,000	1,437	6,200	3,607	6,600
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	1,563 *	3,200 *	0,607	3,600 *
2	--	--	4,763 *	2,170 *	5,163 *
3	--	--	--	2,593 *	0,400
4	--	--	--	--	2,993 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 34 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável TIPO OU MODELO (escala 1:250.000).

Médias					
	3,000	1,273	6,500	3,000	4,067
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	1,727 *	3,500 *	0,000	1,067
2	--	--	5,227 *	1,727 *	2,794 *
3	--	--	--	3,500 *	2,433 *
4	--	--	--	--	1,067
5	--	--	--	--	--

Tabela 35 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável DENSIDADE DE DRENAGEM (escala 1:100.000).

Médias					
	4,634	0,396	0,852	2,755	1,752
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	4,238 *	3,782 *	1,879 *	2,882 *
2	--	--	0,456	2,359 *	1,356
3	--	--	--	1,903 *	0,900
4	--	--	--	--	1,003
5	--	--	--	--	--

Tabela 36 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável DENSIDADE DE DRENAGEM (escala 1:250.000).

Médias					
	6,677	0,134	1,030	3,589	2,542
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	6,543 *	5,647 *	3,088 *	4,135 *
2	--	--	0,896	3,455 *	2,408 *
3	--	--	--	2,559 *	1,512 *
4	--	--	--	--	1,047 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 37 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável FREQUENCIA DE RIOS (escala 1:100.000).

Médias					

	11,460	0,439	0,560	3,890	1,824
Grupos	1	2	3	4	5

1	--	11,021 *	10,900 *	7,570 *	9,636 *
2	--	--	0,121	3,451 *	1,385
3	--	--	--	3,330 *	1,264
4	--	--	--	--	2,066
5	--	--	--	--	--

Tabela 38 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável FREQUENCIA DE RIOS (escala 1:250.000).

Médias					

	24,727	0,252	0,710	8,638	3,823
Grupos	1	2	3	4	5

1	--	24,475 *	24,017 *	16,089 *	20,904 *
2	--	--	0,458	8,386 *	3,571 *
3	--	--	--	7,928 *	3,113
4	--	--	--	--	4,815 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 39 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável COMPRIMENTO MÉDIO DE RIOS (escala 1:100.000).

Grupos	Médias				
	0,410	0,349	1,580	0,926	0,976
	1	2	3	4	5
1	--	0,061	1,170 *	0,516 *	0,566
2	--	--	1,231 *	0,577 *	0,627
3	--	--	--	0,654 *	0,604
4	--	--	--	--	0,050
5	--	--	--	--	--

Tabela 40 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável COMPRIMENTO MÉDIO DE RIOS (escala 1:250.000).

Grupos	Médias				
	0,300	0,151	1,472	0,421	0,778
	1	2	3	4	5
1	--	0,149	1,172 *	0,121	0,478
2	--	--	1,321 *	0,270	0,627 *
3	--	--	--	1,051 *	0,694 *
4	--	--	--	--	0,357
5	--	--	--	--	--

Tabela 41 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável TIPO DE RELEVO (escala 1:100.000).

----- Médias -----					
	3,917	2,000	2,000	2,178	2,200
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	1,917 *	1,917 *	1,739 *	1,717 *
2	--	--	0,000	0,178	0,200
3	--	--	--	0,178	0,200
4	--	--	--	--	0,022
5	--	--	--	--	--

Tabela 42 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável TIPO DE RELEVO (escala 1:250.000).

----- Médias -----					
	4,000	2,000	2,000	3,555	2,133
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	2,000 *	2,000 *	0,445	1,867 *
2	--	--	0,000	1,555 *	0,133
3	--	--	--	1,555 *	0,133
4	--	--	--	--	1,422 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 43 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável CLASSE DE RELEVO (escala 1:100.000).

Médias					
	5,917	2,687	2,200	4,536	4,400
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	3,230 *	3,717 *	1,381 *	1,517 *
2	--	--	0,487	1,849 *	1,713 *
3	--	--	--	2,336 *	2,200 *
4	--	--	--	--	0,136
5	--	--	--	--	--

Tabela 44 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável CLASSE DE RELEVO (escala 1:250.000).

Médias					
	6,000	2,545	2,667	5,444	4,567
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	3,455 *	3,333 *	0,556	1,433 *
2	--	--	0,122	2,899 *	2,022 *
3	--	--	--	2,777 *	1,900 *
4	--	--	--	--	0,877 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 45 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável COMPRIMENTO DAS VERTENTES (escala 1:100.000).

Grupos	Médias				
	2,000	1,875	5,000	3,321	3,600
1	--	0,125	3,000 *	1,321 *	1,600
2	--	--	3,125 *	1,446 *	1,725 *
3	--	--	--	1,679 *	1,400
4	--	--	--	--	0,279
5	--	--	--	--	--

Tabela 46 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável COMPRIMENTO DAS VERTENTES (escala 1:250.000).

Grupos	Médias				
	2,000	1,000	5,167	2,222	3,200
1	--	1,000	3,167 *	0,222	1,200
2	--	--	4,167 *	1,222 *	2,200 *
3	--	--	--	2,945 *	1,967 *
4	--	--	--	--	0,978 *
5	--	--	--	--	--

Tabela 47 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável POSIÇÃO TOPOGRÁFICA (escala 1:100.000).

	Médias				
	6,500	9,875	6,800	5,393	5,600
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	3,375 *	0,300	1,107	0,900
2	--	--	3,075 *	4,482 *	4,275 *
3	--	--	--	1,407	1,200
4	--	--	--	--	0,207
5	--	--	--	--	--

Tabela 48 - Resultado do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade, para a variável POSIÇÃO TOPOGRÁFICA (escala 1:250.000).

	Médias				
	6,000	9,818	7,167	7,444	5,400
Grupos	1	2	3	4	5
1	--	3,818 *	1,167	1,444	0,600
2	--	--	2,651	2,374	4,418 *
3	--	--	--	0,277	1,767
4	--	--	--	--	2,044 *
5	--	--	--	--	--

do fato de GR5 apresentar características intermediárias entre os outros dois, devido à presença significativa de Latossolos em associações com Podzólicos, enquanto que em GR3 os solos predominantes são os Latossolos com rede de drenagem definida, e em GR4 os Podzólicos. O teste de Tukey é usado na comparação de médias, com isso, as médias obtidas para os elementos de interpretação, tanto para GR3 como para GR4, não diferiram das obtidas para GR5.

Levando-se em consideração este fato, pode-se afirmar que, dentre as características qualitativas da rede de drenagem, a mais eficiente na distinção entre os grupos foi a densidade, pois só não apresentou diferença significativa entre GR3 e GR5, e entre GR4 e GR5, pelos motivos já discutidos. Os elementos ângulos de junção e tipo ou modelo também apresentaram boa eficiência, não fazendo distinção apenas entre GR1 e GR4, e entre GR3 e GR5. A não diferenciação entre os grupos 1 e 4 através desses dois elementos já era esperada, uma vez que esses grupos estão associados, respectivamente, a Solos Litólicos (Li1) e Podzólicos Vermelho-Amarelos, ambos apresentando ângulos de junção agudos fechados e modelo dendrítico para a rede de drenagem. Os elementos grau de uniformidade, orientação, angularidade e grau de controle, isoladamente pouca contribuição ofereceram na discriminação entre os grupos. VALERIO FILHO et alii (1976), trabalhando com imagens do LANDSAT-1, concluíram que o elemento tipo ou

modelo foi o mais importante, dentre as características qualitativas analisadas, na diferenciação entre solos.

Quanto aos índices quantitativos, os melhores resultados foram proporcionados pela densidade de drenagem (Dd) e pela frequência de rios (Fr). Ambos permitiram a separação entre os grupos caracterizados pelos Solos Litólicos, pelos Podzólicos e pelos Latossolos; porém, não separaram GR2, GR3 e GR4 (os dois primeiros referentes a Latossolos, e o terceiro a Podzólicos) de GR5 (associações entre Latossolos e Podzólicos). A eficiência desses dois índices (Dd e Fr) tem sido demonstrada em inúmeros trabalhos, a maioria deles realizados com fotografias aéreas. A consistência do índice densidade de drenagem na diferenciação entre solos foi comprovada, entre outros, por SOUZA (1975), NOGUEIRA (1979), VALERIO FILHO (1984) e SILVA (1988). Já entre os que citam a frequência de rios como índice bastante eficiente, estão VALERIO FILHO et alii (1976), CARVALHO (1977), GUIMARAES (1984) e VETTORAZZI (1985).

O comprimento médio de rios apresentou um desempenho mais fraco que os dois índices anteriores, porém, ainda assim, evidenciou diferenças entre Solos Litólicos, Podzólicos e Latossolos com rede de drenagem definida (respectivamente GR1, GR4 e GR3). Nenhum dos grupos, porém, diferenciou-se de GR5 quanto ao comprimento médio de rios. Outro ponto a ser levantado é o fato deste

elemento não ter evidenciado diferença significativa entre os Solos Litólicos (GR1) e os Latossolos ocupando as posições de interflúvio e terço superior das vertentes (GR2). A baixa relação infiltração/deflúvio resulta numa alta densidade de drenagem, com a conseqüente diminuição do comprimento médio de rios, relação esta constatada por STRAHLER (1957) e confirmada por vários outros autores. Os Solos Litólicos (Li1) da área de estudo enquadram-se perfeitamente nesse caso, apresentando valores médios bastante baixos para o comprimento dos canais de escoamento. Já no caso dos Latossolos agrupados em GR2, o baixo valor médio do grupo para o elemento comprimento médio de rios, ocorreu em razão das unidades fisiográficas apresentarem, geralmente, apenas o trecho dos canais de drenagem mais próximo às suas nascentes, pelo fato dessas unidades ocuparem as porções mais elevadas do relevo. A baixa eficiência do índice comprimento médio de rios foi constatada por ESPINDOLA & GARCIA (1978) e VALERIO FILHO (1984), entre outros. Já para FRANÇA (1968), este índice permitiu estabelecer diferenças entre os solos estudados.

Quanto ao relevo, na discriminação entre os grupos de unidades fisiográficas destacou-se o elemento classe de relevo. Ele só não permitiu a separação, em um nível de significância de 5 % de probabilidade, entre GR2 e GR3 (ambos associados aos Latossolos, com relevos enquadrando-se nas classes suave ondulado e plano a suave

ondulado, respectivamente) e entre GR4 e GR5 (Podzólicos e associações B textural/B latossólico, ligados às classes de relevo, respectivamente, ondulado e suave ondulado a ondulado).

O elemento comprimento das vertentes apresentou resultados relativamente satisfatórios, não sendo capaz de mostrar diferenças significativas entre GR5 e GR1, GR3 e GR4, e entre GR1 e GR2.

De um modo geral, pode-se considerar bom o desempenho desses dois elementos na análise de agrupamentos, o que vem a confirmar resultados obtidos por diversos autores para o critério relevo, na diferenciação entre solos (MARCHETTI, 1969; KOFFLER, 1982; LEAO, 1983; VALERIO FILHO, 1984; ANGULO FILHO, 1986 e SILVA, 1988).

Já os elementos tipo de relevo e posição topográfica apresentaram baixa eficiência na diferenciação entre os grupos. No caso do tipo de relevo, contudo, é preciso destacar que este elemento cumpriu o seu papel, ao separar o grupo dos Solos Litólicos, único com relevo do tipo excessivo (infiltração menor que o deflúvio), dos demais grupos, todos com relevo do tipo normal (onde há uma certa equivalência entre infiltração e deflúvio). Quanto ao elemento posição topográfica, o seu fraco desempenho decorreu da grande diversidade observada na área de estudo, na relação entre as unidades de solos e as posições por

elas ocupadas no relevo. O que se observou foi um destaque apenas para GR2, que se isolou de todas as demais unidades por apresentar, como característica marcante, o fato de ocupar apenas as posições mais elevadas do relevo.

Os resultados do teste de Tukey obtidos para os dados referentes à escala 1:250.000 (apresentados nas Tabelas 22; 24; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 44; 46 e 48), foram bastante semelhantes aos obtidos para a escala 1:100.000.

Observou-se também uma nítida superioridade do elemento densidade sobre todos os demais, relativos a caracterização qualitativa da rede de drenagem superficial, uma vez que não apresentou diferença significativa apenas entre GR1' e GR4', ambos associados aos Solos Litólicos (Li1).

Dentre os índices quantitativos, a densidade de drenagem foi o que melhor desempenho demonstrou na distinção entre os cinco grupos, confirmando uma vez mais os resultados obtidos por SOUZA (1975), NOGUEIRA (1979), VALERIO FILHO (1984) e SILVA (1988). Este índice só não permitiu a diferenciação entre GR2' e GR3' (Latosolos em ambos os casos). A frequência de rios teve um desempenho satisfatório, não diferenciando GR2' de GR3', e GR3' de GR5'. A não distinção entre estes dois últimos grupos (GR3' e GR5'), caracterizados respectivamente por Latossolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos, provavelmente tenha ocorrido

em função dos valores muito altos de frequência de rios obtidos para os grupos referentes aos Solos Litólicos (GR1' e GR4'), elevando, com isso, o valor da diferença mínima significativa na comparação entre médias pelo teste de Tukey.

O comprimento médio de rios, da mesma forma que o ocorrido no caso da escala 1:100.000, não apresentou bons resultados na discriminação entre os grupos de unidades fisiográficas.

Quanto aos elementos do relevo, também para a escala 1:250.000 a classe de relevo foi a variável mais consistente, seguida do comprimento médio das vertentes e do tipo de relevo.

É preciso levar-se em consideração que, o baixo desempenho apresentado por determinados elementos de interpretação, na distinção entre grupos representativos de solos diferentes, decorre do fato desses elementos não apresentarem caráter decisivo, mas sim auxiliar ou complementar, nessa separação. É o caso do elemento tipo de relevo; um número grande de unidades de solo desenvolve-se sobre relevo do tipo normal, diminuindo bastante este número quando se trata do tipo excessivo, por exemplo. Da mesma forma pode-se citar os elementos orientação, angularidade e grau de controle. Diversos tipos de solo podem apresentar rede de drenagem superficial com o mesmo

grau de controle, não implicando isso, necessariamente, na similaridade morfogenética entre esses solos.

4.8. Considerações sobre o cálculo dos índices de drenagem para as unidades fisiográficas.

Analisando-se os índices de drenagem obtidos na escala 1:100.000, para o grupo dos solos com B textural (GR4) e para o grupo dos Latossolos ocupando grandes extensões contínuas na região (GR3), respectivamente nas Tabelas 10 e 9, verifica-se que a razão entre a densidade de drenagem (Dd) desses dois grupos foi igual a 3,2:1, concordando com ESPINDOLA & GARCIA (1978) e com VALERIO FILHO (1984), que obtiveram razões próximas a 3:1, trabalhando com amostras circulares em fotografias aéreas. Para os índices frequência de rios (Fr) e comprimento médio de rios (Lm), as razões encontradas foram, respectivamente, 6,9:1 e 1:1,7, uma vez mais concordando com os resultados obtidos por VALERIO FILHO (1984), que encontrou relações da ordem de 8:1 e 1:2.

Este fato demonstra a consistência dos índices obtidos a partir de amostras constituídas por unidades fisiográficas, definidos a partir da interpretação das imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000, confirmando a hipótese de que essas unidades teriam, com relação aos solos a elas relacionados, homogeneidade morfológica e

funcional suficiente para permitir a sua utilização como unidade amostral, no cálculo dos índices quantitativos, para fins de análises comparativas. Deve-se, entretanto, ter sempre em mente um dos princípios básicos da amostragem, que é o de que a amostra deve ser representativa do objeto de estudo. Os problemas ocorridos neste trabalho com a caracterização e classificação de unidades fisiográficas incompletas, seja por estarem nos limites da área de estudo, ou então por estarem parcialmente cobertas por águas de represas, ilustram bem a questão.

Com relação às razões obtidas para a escala 1:250.000, entre índices dos solos com B textural e com B latossólico, foram observados pequenos desvios, para Dd e Fr, em relação aos resultados de ESPINDOLA & GARCIA (1978) e VALERIO FILHO (1984). Para a densidade de drenagem a razão foi igual a 2,5:1 e para a frequência de rios igual a 5,4:1. Esses desvios são indicativos das deficiências já esperadas para essa escala, com relação aos traçados da rede de drenagem e dos limites referentes à mudança do padrão de relevo. Para o comprimento médio de rios, a razão foi igual a 1:1,9, estando de acordo com o resultado obtido por VALERIO FILHO (1984).

5. CONCLUSÕES

A partir dos materiais e métodos utilizados e dos resultados obtidos e analisados, chegou-se às seguintes conclusões:

- . o emprego conjugado de imagens de três bandas diferentes (TM-3, TM-4 e TM-5) foi de grande utilidade na delimitação das unidades fisiográficas, para ambas as escalas estudadas;
- . no traçado da rede de drenagem, as maiores contribuições foram dadas pelas imagens das bandas TM-3 e TM-5, referentes às regiões, respectivamente, do visível (vermelho) e do infravermelho médio;
- . as imagens das bandas relativas aos comprimentos de onda do infravermelho (TM-4 e TM-5) foram as que melhor contribuição forneceram na delimitação de áreas homogêneas quanto ao relevo;

- . os critérios rede de drenagem e relevo tiveram comprovada, uma vez mais, sua grande utilidade em trabalhos de interpretação visual de imagens, na estratificação regional em áreas fisiograficamente distintas;
- . um número maior de unidades fisiográficas foi delimitado sobre imagens na escala 1:100.000 , em relação à escala 1:250.000.
- . a utilização da Análise de Agrupamentos possibilitou a formação de grupos de unidades fisiográficas, relacionados a solos morfológica e geneticamente semelhantes;
- . para ambas as escalas estudadas, o elemento densidade, entre as características qualitativas do padrão de drenagem, foi o que melhor desempenho apresentou na distinção entre os diferentes grupos de unidades fisiográficas;
- . dentre os índices de drenagem, para as duas escalas estudadas, a densidade de drenagem (Dd) e a frequência de rios (Fr) foram eficientes na discriminação entre os grupos, o mesmo não ocorrendo com o índice comprimento médio de rios (Lm);

. os índices de drenagem, obtidos a partir de amostras constituídas pelas próprias unidades fisiográficas, mostraram-se consistentes para fins de análises comparativas, fixando-se o tipo de imagem e o valor de escala;

as melhores contribuições na separação entre grupos diferentes de unidades fisiográficas, foram fornecidas, dentre os elementos do relevo, pela classe de relevo, seguida pelo comprimento das vertentes;

a metodologia empregada mostrou-se potencialmente válida para levantamentos morfopedológicos, ao nível de associações de grandes grupos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AB'SABER, A.N. A depressão periférica paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácea na Bacia do Paraná. São Paulo, IGEOG/USP, 1969. 11p. (Geomorfologia, 15).
- ALMEIDA, F.F.M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. Bol. Inst. Geogr. e Geol., São Paulo, (41): 169-263, 1964.
- AMARAL, A.Z. & AUDI, R. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., coord. Elementos de Pedologia. São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo/Polígono, 1972. p.429-42.
- ANGULO FILHO, R. Caracterização da drenagem e do relevo de três solos do Estado de São Paulo através de fotografias aéreas e cartas planialtimétricas. Piracicaba, 1986. 132p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- BALEANI, O.A. & RAED, M.A. Aplicación del análisis digital de imágenes satelitárias en la diferenciación de suelos. In: SIMPOSIO LATINO-

AMERICANO (SIMPOSIO BRASILEIRO, 4.) DE SENSORIAMENTO REMOTO. Gramado, 1986. Anais. São José dos Campos, SELPER/INPE/SBC, 1986, p.7. (Resumo)

BARBOSA, M.N. & CUNHA, R.P. Sensoriamento remoto: a Terra vista do espaço. Rev. Bras. Tecnol., Brasília, 18(4):39-46, 1987.

BARR, D.J. & MILES, R.D. SLAR imagery and site selection. Photogrammetric Engineering, Falls Church, 36(11):1155-70, 1970.

BARROS, Z.X. Caracterização de bacias hidrográficas mediante o uso de análise multivariada. Botucatu, 1988. 109p. (Doutorado - Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP).

BRINK, A.B.; MABBUTT, J.A.; WEBSTER, R.; BECKETT, P.H.T. Report of the Working Group on Land Classification and Data Storage. Christchurch, Mexe Rep., 1966. 95p.

BURINGH, P. The applications of aerial photographs in soil survey. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, ed. Manual of Photographic Interpretation. Falls Church, Va, 1960. Cap. 11, p. 633-66.

CARNEIRO, C.M.R. Estudo da aplicabilidade de imagens MSS do ERTS-1 em levantamento de solos. Santa Maria, 1975. 63p. (Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria).

CARROLL, D.M. Remote sensing techniques and their application to soil science. Part 1: The photographic sensors. Soils & Fertilizers, Harpenden, 36(8): 259-66, 1973a.

CARROLL, D.M. Remote sensing techniques and their application to soil science. Part 2: The non-photographic sensors. Soil & Fertilizers, Harpenden, 36(8): 313-20, 1973b.

CARTER, L.D. & STONE, R.O. Interpretation of orbital photographs. Photogrammetric Engineering, Falls Church, 15(3): 193-97, 1974.

CARVALHO, W.A. Fotointerpretação de bacias hidrográficas e amostras circulares de redes de drenagem de solos com horizonte B textural. Piracicaba, 1977. 126p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

CHRISTIAN, C.S. & STEWART, G.A. Methodology of integrated surveys. Nat. Resour. Res., 6: 233-80, 1968.

COCHRANE, G.R. & BROWNE, G.H. Geomorphic mapping from LANDSAT-3 Return Beam Vidicon (RBV) imagery. Photogrammetric Engineering, Falls Church, 47(8): 1205-13, 1981.

COLWELL, R.N. Photographic interpretation for civil purposes. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, ed. Manual of Photogrammetry. Falls Church, Va, 1952. p. 535-602.

COVRE, M.; RIEDEL, P.S.; EPIPHANIO, J.C.N. Análise quantitativa da drenagem através de imagens TM/LANDSAT e fotografias aéreas. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO (SIMPÓSIO BRASILEIRO, 4.) DE SENSORIAMENTO REMOTO. Gramado (RS), 1986. Anais. S. José dos Campos, SELPER/INPE/SBC, 1986, p. 280. (Resumo)

CREPANI, E. Princípios básicos de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1983. 45p.

DEFFONTAINES, P. Regiões e paisagens do Estado de São Paulo: primeiro esboço de divisão regional. Geografia, São Paulo, 1(2): 117-69, 1935.

DONZELI, P.L.; VALERIO FILHO, M.; PEREZ FILHO, A.; NOGUEIRA, F.P.; KOFFLER, N.F. Imagens orbitais e de radar na definição de padrões fisiográficos

aplicados a solos. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, 7(1): 89-94 , 1983.

Du .TOIT,S.H.C.; STEYN,A,G,W;; STUMPF,R.H. Cluster analysis. In:_____ . Graphical exploratory data analysis. New York, Springer-Verlag New York Inc., 1986. cap.5, p.73-104.

EPIPHANIO,J.C.N.; FORMAGGIO,A.R.; VALERIO FILHO,M. Imagens RBV/LANDSAT-3 em estudos da rede de drenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. Brasília, 1983. Anais. S. José dos Campos, INPE/CNPq, 1983, v. 1, p. 285-92.

ESPINDOLA,C.R. & GARCIA,G.J. Interpretação fotográfica de redes de drenagem em diferentes categorias de solos. Not. Geomorfol., Campinas, 18(35): 71-94, 1978.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, D.C., USDA, 1975. 330p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Soil map of the world. Paris, FAO/UNESCO, 1974. v.1, 59p.

FRANÇA, G.V. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. 1968. 151p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

FROST, R.E. Photointerpretation of soil. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, ed. Manual of Photographic Interpretation. Falls Church, Va, 1960. Cap. 5, p. 343-402.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Folha Topográfica de Limeira. Rio de Janeiro, Diretoria de Geodésia e Cartografia, escala 1:50.000, 2. ed., 1983.

GARCIA, G.J. Técnicas de sensoriamento remoto na avaliação do potencial de uso de regiões de cerrado. Botucatu, 1979. 134p. (Livre-docência - Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP)

GARCIA, G.J. Estudos do solo e relevo. In: _____ . Sensoriamento Remoto - Princípios e Interpretação de Imagens. São Paulo, Nobel, 1982. Cap. 7, p. 194-204.

GARCIA, G.J.; NORTON, L.D.; ESPINDOLA, C.R. Fotointerpretação comparativa de fotografias pancromáticas, imagens de radar e de satélite. Botucatu Científica, Botucatu, 9(1):37-43. 1981

GIMBARZEVSKY, P.: ERTS-1 images in biophysical studies. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2. Guelph, 1974. Proceedings. Ottawa, Department of Energy, Mines and Resources, 1974a, v. 2, p. 391-403.

GIMBARZEVSKY, P. The significance of topographic relief in air photo analysis of landscape pattern. In: SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING AND PHOTO INTERPRETATION. Alberta, 1974. Proceedings. Alberta, International Society of Photogrammetry, 1974b, v. 1, p. 165-76.

GOOSEN, D. Aerial photo interpretation in soil survey. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1967. 55p. (Soil Bulletin, 6).

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa Geológico do Estado de São Paulo: Folha de Campinas. São Paulo, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente e Universidade Estadual Paulista, Escala 1:250.000, 1982.

GUIMARÃES, M.F. Evolução do relevo e do padrão de drenagem em solos provenientes de rochas eruptivas básicas. Piracicaba, 1984. 102p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bul. Geol. Soc. Amer., 56(1): 275-370, 1945.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 1981a, v. 1 (Relatório), 94p. (Série Monografias, 5).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 1981b, v.2 (Mapa), Escala 1:1.000.000. (Série Monografias, 5).

KOFFLER, N.F. Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru. São José dos Campos, 1976. 167p. (Mestrado - Instituto de Pesquisas Espaciais).

KOFFLER, N.F. Análise de relevo a partir de índices de drenagem obtidos com fotografias aéreas. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, 12(23-24): 69-76, 1982.

LEAO, S.R.F. Interpretação fotográfica de características do relevo e da drenagem em dois

- solos do Distrito Federal. Piracicaba, 1983. 166p.
(Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- LEBERL, F. Imaging radar applications to mapping and charting. Photogrammetria, 32: 75-100, 1976.
- LEPSCH, I.F. O inventário de solos como base ao planejamento racional do uso da terra. In: FUNDAÇÃO CARGILL, ed. Aspectos de Manejo do Solo. Campinas, 1985, p. 1-42.
- LEPSCH, I.F. & OLIVEIRA, J.B. Explicações sumárias sobre a nova nomenclatura das legendas de mapas pedológicos de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1987. 36p. (Boletim Técnico, 117).
- LUEDER, D.R. Aerial Photographic Interpretation; Principles and Applications. New York, Mc Graw-Hill Ed., 1959. 462 p.
- MARCHETTI, D.A.B. Fotointerpretação de atributos do relevo aplicados a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, 1969. 58p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- MONTEIRO, M.F. & SILVA, T.C. Aspectos fluviais importantes para a fotointerpretação. 2. ed.

Salvador, BA, Universidade Federal da Bahia, 1979.
44p.

MONTOYA, J.A. Comparación de interpretaciones fisiográficas de imágenes LANDSAT, radar y fotografías aéreas para una zona de los Llanos Orientales de Colombia. Revista CIAF, Bogotá, 4(1): 83-9, 1977.

MONTOYA, J.A. Interpretación de imágenes LANDSAT para el mapeo de suelos; bases para una metodología. Revista CIAF, Bogotá, 8(1): 201-33, 1983.

NOGUEIRA, F.P. Utilização de fotografias aéreas em três escalas no estudo de redes de drenagem em diferentes unidades de solo. Piracicaba, 1979. 110p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

OLIVEIRA, J.B. Características morfológicas, analíticas, limitações e aptidão agrícola dos solos da quadricula de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1980. 79p. (Circular, 109).

OLIVEIRA, J.B.; ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J. Regimes hídricos e térmicos dos solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Anais. Campinas, SBCE, 1975. p. 359-62.

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; ROTTA, C.L. Levantamento Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo: Quadricula de Campinas. Campinas, Instituto Agrônômico, 1977. Mapa, Escala 1:100.000 .

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; ROTTA, C.L. Levantamento Pedológico Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo: Quadricula de Campinas. Rio de Janeiro, IBGE, 1979. 172p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 5).

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; BARBIERI, J.L.; ROTTA, C.L.; TREMOCOLDI, W. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de Araras. Campinas, Instituto Agrônômico, 1982. 180p. (Boletim Técnico, 71).

OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de São Carlos. II Memorial Descritivo. Campinas, Instituto Agrônômico, 1984. 188p. (Boletim Técnico, 98).

PACHECO, R.A. & HOWARD, J.A. Application of satellite remote sensing to landscapes and soils. In: SOIL SURVEY REMOTE SENSING, 1., Roma, 1977. Proceedings. Roma, 1977. p. 159-72.

PARRY, J.T. X-Band radar in terrain analysis under summer and winter conditions. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Guelph, ON, 1974. Proceedings. Ottawa, Department of Energy, Mines and Resources, 1974. v.2, p.472-85.

PARVIS, M. Drainage - pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks. Photogrammetric Engineering, Falls Church, 16(3): 387-408, 1950.

PENTEADO, M.M. Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista. São Paulo, IGEOG, 1976. 86p. (Teses e Monografias, 22).

RAY, R.G. Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico. Trad. de Jesuino Felicissimo Júnior. São Paulo, Inst. Geogr. e Geol., 1963. 162p.

RAY, R.G. & FISCHER, W.A. Quantitative photography: a geologic research tool. Photogrammetric Engineering, Falls Church, 26(1): 143-50, 1960.

ROCHA, J.S.M. Estudo dos padrões ou sistemas de drenagem; Abastecimento de água para núcleos rurais e cidades. Santa Maria, UFSM, 1986. 47p. (Manual de Interpretação de Aerofotogramas, 13).

ROMESBURG, H.C. Cluster analysis for researchers. California, Lifetime Learning Publications, 1984. 334p.

ROUDABUSH, R.D.; HERRIMAN, R.C.; BARMORE, R.L.; SCHELLENTRAGER, G.W. Use of LANDSAT Multispectral Scanning data for soil surveys on Arizona Rangeland. Journal of Soil and Water Conservation, Utah, 40(2): 242-5, 1985.

SAS Institute Inc. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 6 Edition. Cary, NC, SAS Institute Inc., 1987. 1.028 p.

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. Geologia do Brasil. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, 1984. 501p.

SEGOVIA, A.V.; FOSS, J.E.; SOLER, E.A. 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, 1980. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1980. v.2, p.913-28.

SIEGAL, B.S. & GOETZ, A.F.H. Effect of vegetation on rock and soil type discrimination. Photogrammetric

Engineering and Remote Sensing, Falls Church,
43(2): 191-6, 1977.

SILVA, M.S. Fotointerpretação da rede de drenagem e do relevo de três solos do município de São Manuel - SP. Botucatu, 1988. 163p. (Doutorado - Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP).

SIMONSON, R.W. Use of aerial photographs in soil survey. Photogrammetric Engineering, Falls Church, 16(2): 308-15, 1950.

SMITH, K.G. Standards for grading texture of erosional topography. American Journal of Science, (248): 655-68, 1950.

SMITH, K.G. & AANDAHL, A.R. Soil classification and survey. In: U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil. Washington, D.C., USDA, 1957. p.396-400. (Yearbook of Agriculture).

SOIL SURVEY STAFF. Soil Survey Manual, Washington, D.C., USDA, 1951. 503p. (Handbook 18).

SOUZA, M.L.P. Fotointerpretação das redes de drenagem de três solos com horizonte B latossólico ocorrentes no município de Ponta Grossa (PR). Piracicaba, 1975. 135p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Am. Geophys. Un., New Haven, 38: 913-20, 1957.

THORNBURY, W.D. Principles of geomorphology. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1954. 618p.

TOWNSHEND, J.R.; WILLIAMS, D.F.; JUSTICE, C.O. 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, 1979. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1979. v.3, p. 1839-52.

VALERIO FILHO, M. Parâmetros da drenagem e do relevo na caracterização de solos e suas relações fotointerpretativas em imagens de pequena escala. Piracicaba, 1984. 141p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

VALERIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. Avaliação das imagens orbitais (LANDSAT-1) como base para o levantamento de solos. São José dos Campos, 1976. 276p. (Mestrado - Instituto de Pesquisas Espaciais/CNPq).

VALERIO FILHO, M.; QUEIROZ NETO, J.P.; KOFFLER, N.F.; NAKASHIMA, P.; MATTOS, J.T. Reconhecimento dos

grandes domínios pedológicos na Bacia do Paraíba (Parte Ocidental) através de imagens LANDSAT. São José dos Campos, INPE/CNPq, 1979. 53p. (INPE- 1632 - RPE/088).

VALÉRIO FILHO, M.; EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em pedologia. São José dos Campos, INPE/CNPq, 1981. 58p. (INPE - 2211 - MD/008).

VETTORAZZI, C.A. Fotointerpretação de bacias hidrográficas e redes de drenagem em cinco solos da região do rio Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1985. 151p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

VETTORAZZI, C.A.; ANGULO FILHO, R.; KOFFLER, N.F. Análise de áreas com diferentes classes de declividade através de imagens TM/LANDSAT. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 44(2): 1579-606, 1987.

WALKER, P.M. & TREXLER, D.T. Low sun-angle photography. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 43(4): 493-506, 1977.

- WESTIN, F.C. ERTS-1 MSS imagery: its use in delineating soil associations and as a base map for publishing soil informations. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., Washington, D.C., 1973. Proceedings. Washington, D.C., NASA, 1973. v.1, p.183-204.
- WESTIN, F.C. & FRAZEE, C.J. LANDSAT data: its use in a soil survey program. Soil Sci. Soc. Am. J., Baltimore, 40(1): 81-9, 1976.
- WESTIN, F.C. & BRANDNER, T.M. Use of LANDSAT data in soil and agricultural land use studies. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14., San Jose, 1980. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1980. v.1, p.389-400.
- WONG, K.W.; THORNBURN, T.H.; KHOURY, M.A. Automatic soil identification from remote sensing data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 43(1): 73-80, 1977.
- YOUNG, A. Tropical Soils and Soil Survey. Cambridge, Cambridge University Press, 1976. 468 p.