

VALTER ANTONIO BECEGATO

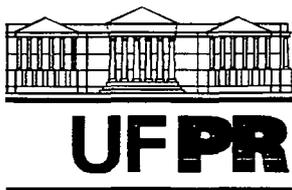
**ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS EM AMBIENTE DE  
GEOPROCESSAMENTO NA DISCRIMINAÇÃO  
DE UNIDADES FISIAGRÁFICAS PARA  
ESTUDOS DE SOLOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração Ciência do Solo - Subárea Interpretação de Imagens e Cartografia de Solos, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Helio Olympio da Rocha

CURITIBA

1999



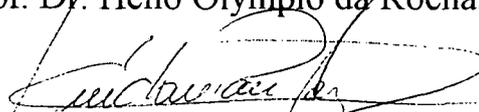
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e  
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)  
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone: 041-350-5648-Fax:041-252-3689  
E-mail: [pgcisol@agrarias.ufpr.br](mailto:pgcisol@agrarias.ufpr.br)

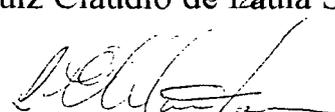
## PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **VALTER ANTONIO BECEGATO**, com o título: "**Análise de agrupamentos em ambiente de geoprocessamento na discriminação de unidades fisiográficas para estudos de solos**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com conceito "**B**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 04 de novembro de 1999.

  
Prof. Dr. Helio Olympio da Rocha, Presidente.

  
Prof. Dr. Luiz Claudio de Paula Souza, Iº Examinador.

  
Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani, IIº Examinador.

À minha esposa e companheira Olivia, pelo apoio e incentivo;  
Aos meus filhos Vitor e Lara Carolina, que foram a grande energia  
para a concretização deste trabalho;  
À minha mãe “in memoriam”.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Helio Olympio da Rocha e Luiz Cláudio de Paula e Souza pela orientação.

À Universidade do Estado de Santa Catarina pela oportunidade.

À CAPES-PICDT, pela bolsa de estudos.

Ao Instituto Ambiental do Paraná pelo fornecimento das imagens de satélite.

À ENGEFOTO pela reprodução das fotografias aéreas.

À ENGESAT pela doação das imagens de satélite.

À COMEC pelo empréstimo de parte da base digital, em especial ao arquiteto Milton Luiz.

Ao IPARDES, em especial aos amigos: Renate, Lucrecia, Mariana e Júlio.

Ao CIEG pela oportunidade de utilizar o laboratório de geoprocessamento.

Ao Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas.

Ao amigo e companheiro de todas as horas Manoel Marques Maciel.

Aos amigos Rodrigo e Sílvia.

Ao amigo Gerson, secretário da Pós-graduação em Ciência do solo.

Ao amigo Vitor.

Aos funcionários da biblioteca setorial e central.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiv</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Aplicações de fotografias aéreas em estudos de solos.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1. Introdução.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2. Fundamentos da fotointerpretação.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3. Características e fotointerpretação da rede de drenagem superficial para estudos de solo.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.4. Análise do relevo e fisiografia aplicada à estudos de solos.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. Uso de imagens orbitais em estudos de solos.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1. Comportamento espectral dos solos em imagens orbitais.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2. Vantagens e desvantagens do uso de imagens orbitais em estudos de solos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Análise multivariada aplicada à pesquisa de solos.....</b>	<b>15</b>

2.3.1. Introdução.....	15
2.3.2. Transformação por componentes principais aplicadas à estudos de solos.....	16
2.3.3 Análise de agrupamentos na delimitação de unidades fisiográficas.....	18
2.4. O ambiente de Sistemas Geográficas de Informações (SIG).....	21
2.4.1. Introdução.....	21
2.4.2. Estrutura e representação de dados em ambiente de Geoprocessamento.....	23
2.4.3. O uso do Geoprocessamento em estudos de solos.....	25
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO.....</b>	<b>27</b>
3.1.1. Localização da área.....	27
3.1.2. Vegetação.....	27
3.1.3. Clima.....	29
3.1.4. Geologia.....	29
3.1.5. Relevo.....	32
3.1.6. Hidrografia.....	32
3.1.7. Solos.....	34
<b>3.2. MATERIAL.....</b>	<b>39</b>
3.2.1. Base cartográfica.....	39
3.2.1.1. Material analógico.....	39
3.2.1.2. Base digital parcial.....	40

<b>3.2.2. Produtos de sensores remotos.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2.1. Fotografias aéreas.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2.2. Imagens de satélite.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.3. Equipamentos de informática e softwares.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.3.1. Equipamentos de informática.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.3.2. Softwares.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.4. Outros.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3. MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.1. Seleção e interpretação da área de estudos.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.2. Delimitação das unidade de mapeamento por sub-área amostral.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.3. Particionamento da área.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.4. Tratamento dos dados das imagens do satélite TM/Landsat-5.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.4.1. Pré-processamento das imagens.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.5. Rede de drenagem.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.5.1. Extração da malha de drenagem superficial por meio de fotointerpretação.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.5.2. Classificação da rede de drenagem por ordens dos canais.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.5.3. Separação dos canais por planos de informação (“layers”).....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.6. Construção e utilização da grade regular como unidade de observação.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.6.1. Sobreposição da grade para obtenção dos comprimentos dos canais de drenagem.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.6.2. Sobreposição da grade para obtenção dos níveis de cinza do TM/Landsat -5 (bandas 3, 4 e 5).....</b>	<b>49</b>

<b>3.3.6.3. Sobreposição da grade para obtenção dos valores de altimetria do modelo numérico do terreno.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.7. Construção da matriz de dados.....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.8. Análise estatística multivariada.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.8.1. Análise de agrupamentos.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.8.2. Análise de componentes principais.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3.9. Elaboração do pictograma.....</b>	<b>57</b>
<b>3.3.10. Integração de dados para interpretação das imagens digitais.....</b>	<b>57</b>
<b>3.3.11. Trabalhos de campo.....</b>	<b>58</b>
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1. Geoprocessamento na integração de dados.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.1. Matrizes de dados parciais.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.2. Análise da rede de drenagem superficial.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1.2.1. Parâmetros da composição da rede de drenagem.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1.2.2. Características quantitativas do padrão de drenagem.....</b>	<b>69</b>
<b>4.1.3. Análise do relevo.....</b>	<b>70</b>
<b>4.1.4. Análise das medidas espectrais das imagens do TM/Landsat-5.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1.5. Análise de Agrupamentos (“cluster”).....</b>	<b>78</b>
<b>4.1.5.1. Interpretação dos dendrogramas por sub-área.....</b>	<b>79</b>
<b>4.1.5.1.1 Sub-área 01.....</b>	<b>79</b>
<b>4.1.5.1.1.1. Unidade de mapeamento (Ca11).....</b>	<b>79</b>
<b>4.1.5.1.1.2. Associação (PVa20).....</b>	<b>80</b>

	<b>Página</b>
<b>4.1.5.1.2. Sub-área 04.....</b>	<b>80</b>
<b>4.1.5.1.2.1. Associação (PVa20).....</b>	<b>80</b>
<b>4.1.5.1.2.2. Associação (LVa12).....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.5.1.3. Sub-área 06.....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.5.1.3.1. Associação (PVa20).....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.5.1.3.2. Unidade de mapeamento (Ca11).....</b>	<b>82</b>
<b>4.1.6. Análise de componentes principais.....</b>	<b>82</b>
<b>4.1.7. Análise das imagens Landsat – integração de dados do terreno na transformação IHS/RGB.....</b>	<b>96</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>107</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	<b>Página</b>
1 – Localização da área de estudos.....	28
2 – Mapa geológico.....	31
3 – Mapa da rede de drenagem com sobreposição do mapa de solos das áreas de várzea....	33
4 – Mapa de solos a nível de reconhecimento.....	36
5 – Mapa de semidetalhe dos solos das várzeas do Rio Iguaçu.....	37
5a – Unificação dos mapas EMBRAPA (84) e IAPAR (94) .....	38
6 – Visualização das sub-áreas.....	43
7 – Malha de drenagem da (sub-área 01) separada por “layer” .....	47
8 – Grade preconizada por ROCHA (1993) modificada.....	48
9 – Rede de drenagem com grade sobreposta.....	49
10 – Visualização da grade sobre a imagem.....	50
11 – Visualização da grade sobre o MDT (sub-área 06).....	51
12 – Exemplo ilustrativo de um dendrograma.....	55
13 – Fluxograma dos procedimentos para confecção dos pictogramas.....	60
14 – Rede de drenagem (sub-área 01).....	65
15 – Rede de drenagem (sub-área 04).....	66

<b>16 – Rede de drenagem (sub-área 06).....</b>	<b>67</b>
<b>17 – Modelo digital do terreno (sub-área 01).....</b>	<b>73</b>
<b>18 – Modelo digital do terreno (sub-área 04).....</b>	<b>73</b>
<b>19 – Modelo digital do terreno (sub-área 06).....</b>	<b>74</b>
<b>20 – Dendrograma unidade (Ca11) sub-área 01.....</b>	<b>87</b>
<b>21 – Dendrograma associação (PVa20) sub-área 01.....</b>	<b>88</b>
<b>22 – Dendrograma associação (LVa12) sub-área 04.....</b>	<b>89</b>
<b>23 – Dendrograma associação (PVa20) sub-área 04.....</b>	<b>90</b>
<b>24 – Dendrograma associação (PVa20) sub-área 06.....</b>	<b>91</b>
<b>25 - Dendrograma unidade (Ca11) sub-área 06.....</b>	<b>92</b>
<b>26 – Pictograma com drenagem sobreposta (sub-área 01).....</b>	<b>93</b>
<b>27 – Pictograma com drenagem sobreposta (sub-área 04).....</b>	<b>94</b>
<b>28 – Pictograma com drenagem sobreposta (sub-área 06).....</b>	<b>95</b>
<b>29 – Composição colorida bandas 5, 4 e 3 IHS/RGB integrando relevo com drenagem sobreposta e grade guia (sub-área 01).....</b>	<b>98</b>
<b>30 – Composição colorida bandas 5, 4 e 3 IHS/RGB integrando relevo com drenagem sobreposta e grade guia (sub-área 04).....</b>	<b>99</b>
<b>31 – Composição colorida bandas 5, 4 e 3 IHS/RGB integrando relevo com drenagem sobreposta e grade guia (sub-área 06).....</b>	<b>100</b>
<b>32 – Mapa de solos – resultado da integração entre análise de agrupamentos e interpretação da imagem codificada, com apoio de campo e literatura (sub-área 01).....</b>	<b>102</b>

<b>33 – Mapa de solos – resultado da integração entre análise de agrupamentos e interpretação da imagem codificada, com apoio de campo e literatura (sub-área 04).....</b>	<b>103</b>
<b>34 – Mapa de solos – resultado da integração entre análise de agrupamentos e interpretação da imagem codificada, com apoio de campo e literatura (sub-área 06).....</b>	<b>104</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELAS</b>	<b>Página</b>
<b>1 – Características das fotografias aéreas.....</b>	<b>40</b>
<b>2 – Matriz parcial dos dados da unidade Ca11 (sub-área 01) utilizados na análise de agrupamentos.....</b>	<b>52</b>
<b>3 – Matriz de dados parcial – unidade de mapeamento Ca11 (sub-área 01).....</b>	<b>62</b>
<b>4 – Matriz de dados parcial – associação PVa20 (sub-área 01).....</b>	<b>62</b>
<b>5 – Matriz de dados parcial – associação LVa12 (sub-área 04).....</b>	<b>63</b>
<b>6 – Matriz de dados parcial – associação PVa20 (sub-área 04).....</b>	<b>63</b>
<b>7 – Matriz de dados parcial – unidade de mapeamento Ca11 (sub-área 06).....</b>	<b>64</b>
<b>8 – Matriz de dados parcial – associação PVa20 (sub-área 06).....</b>	<b>64</b>
<b>9 – Número, comprimento total e comprimento médio dos canais – unidade PVa1.....</b>	<b>68</b>
<b>10 – Número, comprimento total e comprimento médio dos canais – associação PVa2.....</b>	<b>68</b>
<b>11 – Número, comprimento total e comprimento médio dos canais – associação LVa1.....</b>	<b>68</b>
<b>12 – Características quantitativas do padrão de drenagem.....</b>	<b>69</b>
<b>13 – Estatística descritiva do modelo digital do terreno sub-área 01.....</b>	<b>71</b>
<b>14 – Estatística descritiva do modelo digital do terreno sub-área 04.....</b>	<b>71</b>
<b>15 – Estatística descritiva do modelo digital do terreno sub-área 06.....</b>	<b>72</b>

<b>16 – Estatística descritiva dos níveis de cinza do TM/Landsat-5 dos solos da (sub-área 01).....</b>	<b>76</b>
<b>17 – Estatística descritiva dos níveis de cinza do TM/Landsat-5 dos solos da (sub-área 04).....</b>	<b>76</b>
<b>18 – Estatística descritiva dos níveis de cinza do TM/Landsat-5 dos solos da (sub-área 06).....</b>	<b>77</b>
<b>19 – Análise de componentes principais – unidade Ca11 (sub-área 01).....</b>	<b>83</b>
<b>20 – Análise de componentes principais – associação PVa20 (sub-área 01).....</b>	<b>84</b>
<b>21 – Análise de componentes principais – associação LVa12 (sub-área 04).....</b>	<b>84</b>
<b>22 – Análise de componentes principais – associação PVa20 (sub-área 04).....</b>	<b>85</b>
<b>23 – Análise de componentes principais – unidade Ca11 (sub-área 06).....</b>	<b>85</b>
<b>24 – Análise de componentes principais – associação PVa20 (sub-área 06).....</b>	<b>86</b>

# **ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS EM AMBIENTE DE GEOPROCESSAMENTO NA DISCRIMINAÇÃO DE UNIDADES FISIOGRAFICAS PARA ESTUDOS DE SOLOS.**

Autor: Valter Antonio Becegato

Orientador: Prof. Dr. Hélio Olympio da Rocha

## **RESUMO**

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a potencialidade de 8 variáveis: níveis de cinza das bandas 3, 4 e 5 do TM/Landsat-5, modelo numérico do terreno e comprimentos dos canais de drenagem 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> ordens, utilizando-se a análise multivariada. A presente área localiza-se no Estado do Paraná, município de Fazenda Rio Grande pertencente à região metropolitana de Curitiba, entre as coordenadas UTM 663000 a 675000 m. E 7152800 a 7169000 m. N do meridiano central -51° W.

Os dados foram coletados de células (observações) de 150 x 150m georreferenciadas, representativas das unidades de mapeamento oriundas do levantamento de solos a nível de reconhecimento da EMBRAPA (1984), que foram tratados em ambiente de geoprocessamento para a discriminação de unidades fisiográficas. Gerou-se através da análise de agrupamentos, gráficos em forma de dendrogramas que após interpretados, possibilitaram a separação de grupos de indivíduos, resultando em pictogramas (guias - imagens raster), combinados com integração de dados: transformações IHS/RGB das imagens do TM/Landsat-5, modelo numérico do terreno e drenagem, o que viabilizou a separação das unidades fisiográficas, que após o apoio de campo permitiu a confecção dos mapas de solos.

Os resultados permitiram concluir que a metodologia de células utilizando-se análise multivariada em ambiente de geoprocessamento integrando dados da drenagem, do relevo, com as imagens do TM/Landsat-5, foi eficiente para a discriminação dos solos.

# **CLUSTERING ANALYSIS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN THE DISCRIMINATE THE PHYSIOGRAPHIC UNITS OF THE SOIL.**

Author: Valter Antonio Becegato

Adviser: Prof. Dr. Hélio Olympio da Rocha

## **SUMMARY**

This work was conducted with the goal of to estimate the potentiality of eight variables: gray levels of 3, 4 and 5 band of TM/Landsat – 5, numeric model of the terrain and 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> order channels lengths using a mutivariate analysis. The studied area is located at Fazenda Rio Grande, a country of Curitiba metropolitan region, Paraná State, Brazil, placed between coordinates 663000 to 675000 m. E 71528000 to 7169000 m. N of the central meridian -51° W.

The set data were collect from geocoded cells (observation) of 150 x 150 m., which represent the map units proceed from the surveying at the EMBRAPA (1984) recognizing level, which were treated into Geographic Information System environment, to discriminate the physiographic units. It were generated, through of cluster analysis, graphics with dendrograms forms that, after interpretation, allowed to separate the individual groups, resulting pictograms (guides – raster images), combined with data integration: IHS/RGB of TM/Landsat – 5 image transformation, numeric terrain models and drainage. All these elements allowed to separate the physiographics units, after field works, and the soils map generation.

The results allowed to conclude that the cells methodology adopted, using multivariate analysis gis environment, integrating drainage data, relief data with TM/Landsat-5 images, was efficient to soils discrimination.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o advento dos Sistemas Geográficos de Informações, possibilitando a integração vários tipos de dados, como o sensoriamento remoto, computação gráfica, banco de dados, vem influenciando diversas áreas, dentre elas a pedologia, que tem apresentado avanços significativos nos levantamentos e cartografia de solos. Toda esta tecnologia facilita e automatiza tarefas complexas; possibilitada pela arquitetura aberta dos computadores a partir do início dos anos 90.

Especificamente na área de levantamento de solos, o mapeamento convencional implica necessariamente em trabalhos de campo, escritório, laboratórios, envolvendo a descrição de perfis, coleta de solos para análises física, química e mineralógica dentre outras tarefas.

A utilização de ambiente de geoprocessamento, envolvendo a interação de imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas temáticos, processadas em ambiente computacional, tem sido um instrumental que tem permitido aos pesquisadores na área de levantamento de solos, um melhor planejamento das prospecções de campo e entendimento da paisagem onde estão inseridos os solos, bem como sua distribuição espacial.

Dentre os vários aspectos do terreno que são registrados nas fotografias e imagens de satélites, está a drenagem, que conjuntamente com o relevo tem alta correlação com a formação do solos. Vários são os trabalhos que tem utilizado isolado ou conjuntamente a rede de drenagem, relevo, níveis de cinza das imagens de satélite principalmente do TM/Landsat-5, com o objetivo de delimitar unidades fisiográficas, como apoio para estudos de solos. O estudo de todas estas variáveis em ambiente de geoprocessamento é possível através da análise

multivariada, especificamente a análise de agrupamentos, que aplicada em estudos pedológicos, visa a separação de grupos homogêneos de indivíduos.

Diante do exposto, o presente trabalho, utilizou matrizes de dados com 8 variáveis, relacionadas com a rede de drenagem, modelo digital do terreno (altitude), níveis de cinza das bandas 3, 4 e 5 do TM Landsat-5, buscando agrupar classes de solos.

O objetivo da presente pesquisa consiste na aplicação da análise multivariada em ambiente de geoprocessamento, para a discriminação de unidades fisiográficas, através da integração de dados de relevo, rede de drenagem e níveis de cinza do Sensor Thematic Mapper/ Landsat-5, para mapeamento de solos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Aplicações de fotografias aéreas em estudos de solos**

#### **2.1.1. Introdução**

Em 1839, Louis Jacques M. N. P. Daguerre inventou o “sistema fotográfico” com o seu método revolucionário dos daguerreótipos, resolvendo a grande dificuldade de fixar a imagem exposta. No entanto, o primeiro trabalho de sensoriamento remoto de uma plataforma aérea ocorreu em 1858, quando TOURNACHON conseguiu realizar a primeira fotografia aérea denominada “Petit Bicetre” com o auxílio de balões. Dois anos depois, em 1860, Samuel A. King e J. W. Balck, fotografaram Boston (E.U.A) de uma altura de 40 metros, (GANTZEL, 1979).

A utilização de fotografias aéreas em estudos de solos, iniciou-se em 1929 no Estado de Indiana (E.U.A), por Bushnell e colaboradores (ESPÍNDOLA e GARCIA 1978). BURINGH (1960) observou que em 1923 Cobb já chamava a atenção dos cientistas da área de solos, para a aplicação de fotografias aéreas em levantamentos pedológicos.

GOOSEN (1968) comentou que inicialmente as fotografias aéreas eram utilizadas como ferramentas que serviam como ilustração e explicação dos fenômenos da paisagem; também enfatiza que a vista panorâmica que essas fotografias proporcionam, não tem competidor a um custo compatível.

CRESWICK e ROCKWELL (1959), observaram que muitas das feições que devem constar em um mapa de solos estão registradas em fotografias aéreas, em especial as características da paisagem, muito importantes para estudos do uso da terra.

Conforme FROST (1960), as inferências na imagem fotográfica de diferentes naturezas, mascaram as propriedades reais do solo, tornando a fotointerpretação completamente diferente daquela de outras áreas de estudo, onde os objetos são parcial ou totalmente vistos na fotografia.

De acordo MYERS (1975), o levantamento e o mapeamento de solos somente serão completos se além de se utilizar fotografias aéreas, houver a verificação de campo; pois mesmo para o especialista com grande prática em fotointerpretação, não há possibilidade de acerto completo sem o suporte de campo, envolvendo além da coleta de solos para análises, abertura de trincheiras que possibilitem a visualização dos perfis.

Para AMARAL & AUDI (1972) a fotografia aérea apresenta-se como material de trabalho muito útil nos levantamentos de solos, proporcionando ganho de tempo, precisão de limites e visão global da paisagem, com riqueza de detalhes auxiliando os trabalhos de campo no traçado de roteiros e possibilitando a separação dos corpos de solos, diretamente sobre as fotografias.

### **2.1.2. Fundamentos da fotointerpretação**

Segundo QUACKENBUSH (1960), a fotointerpretação pode ser definida como o ato de examinar imagens fotográficas com a finalidade de identificar os objetos e avaliar os seus significados.

Quanto a metodologia para a fotointerpretação, RABBEN *et al.* (1960) e RICCI & PETRI (1965), observaram que a interpretação de fotografias aéreas é um processo que envolve duas etapas: a primeira, inclui a observação, coleta de dados, medição e identificação de aspectos visíveis nas fotografias, o que corresponderia a fotoidentificação e

fotoanálise; a segunda, envolve processos mentais, dedutivos e/ou indutivos usando a informação obtida na solução de problemas, ou seja, na fotointerpretação propriamente dita.

COLWELL (1952) afirmou que a fotointerpretação deve apoiar-se no princípio da convergência de evidências, segundo o qual se vários elementos de reconhecimento levam a uma determinada conclusão, esta provavelmente é correta.

WESTIN & FRAZEE (1976) descrevem que imagens obtidas através de satélites LANDSAT começaram a serem adquiridas a partir de julho de 1975. Tais imagens, comentam os autores, são aplicáveis aos levantamentos de solos pelas razões a seguir: em primeiro lugar cada cena pode cobrir uma grande área com uma possível visão sinóptica das associações de solos; em segundo lugar, as cenas são quase ortogonais ou seja, com projeção que permita a sobreposição de outras cenas ou mapas; em terceiro lugar, os dados são coletados a intervalos regulares (resolução temporal), que possibilita o acompanhamento de um certo elemento por um certo período definido; em quarto e último lugar, os dados são registrados em diferentes faixas do espectro eletromagnético, permitindo portanto, a obtenção de dados multiespectrais.

SMITH (1943) lembra que a interpretação dos dados de observação de significância, para solos, depende de um sólido conhecimento do fotointerprete sobre os princípios das ciências que explicam esses fatos.

### **2.1.3. Características e fotointerpretação da rede de drenagem superficial para estudos de solos**

Segundo SILVA (1988), desde o século passado os sistemas fluviais têm sido estudados por pesquisadores da ciência da terra, especialmente geólogos e geomorfólogos e, mais recentemente, despertou também interesse de pedólogos, por verificarem que as redes

de drenagem refletiam algumas características das formações superficiais sob as quais os solos se desenvolveram.

A drenagem superficial, depois do relevo, é o mais consistente e confiável indicador das condições reais do terreno, na concepção de LUEDER (1959), AMARAL & AUDI (1972).

FROST (1960) estudando os padrões de drenagem via estereoscopia, observou que a maneira pela qual a água atinge a superfície do solo, mostra indícios do material de origem na composição destes. Nesta mesma linha de raciocínio, RAY (1963) comenta que a densidade de drenagem num dado ambiente climático está correlacionada com a resistência dos materiais de origem a erosão; isto é, a densidade de drenagem aumenta a medida que aumenta a resistência destes materiais à erosão; e o contrário para os materiais menos resistentes.

MOTTA *et al.* (1997) estudando área teste na Paraíba por imagens TM/Landsat-5, delimitaram unidades fisiográficas, usando como “overlay” mapa de drenagem, obtiveram bons resultados, embora enfrentando problemas com excesso de nuvens na imagem utilizada.

GARCIA (1982) observou que a mensuração de índices quantitativos da rede de drenagem, possibilita o estabelecimento de inferências de natureza diversa e evita a subjetividade das características puramente descritivas. Segundo o autor, a rede de drenagem assume grande destaque, tendo em vista que a sua gênese está ligada à certas condições que também determinam unidades de solos.

Estudos litológicos feitos por RAY & FISCHER (1960), efetuaram comparações da densidade de drenagem em bacias hidrográficas e amostras circulares com área de 10 Km<sup>2</sup> e obtiveram resultados mais significativos nas amostras circulares.

FRANÇA (1968) utilizando-se de amostras circulares para estudos de solos, observou algumas vantagens nesta metodologia: a) não há influência de área, uma vez que as medições nos comprimentos dos rios são referidas sempre à mesma área; b) a área circular de amostragem pode ser deslocada dentro da área de ocorrência de uma unidade de solo, sem levar em consideração os limites da bacia hidrográfica, procurando abranger unicamente a maior proporção e a maior homogeneidade possíveis da unidade que está sendo amostrada.

DEMÉTRIO (1977) realizou estudos em solos do Município de Piracicaba, valendo-se de fotografias aéreas em três diferentes escalas, utilizou amostras circulares de três tamanhos, concluiu que este método mostrou-se eficiente para a quantificação do padrão de drenagem.

GARCIA & ESPÍNDOLA (1980) concluíram que a área da amostra circular pode ser tanto menor quanto mais densa for a malha de drenagem.

ROCHA (1993) desenvolveu metodologia de grade de 300x300m, (denominada de célula) correspondente a área mínima mapeável, que para levantamentos de solos a nível de semidetalhe (escala 1:50.000), corresponde a área mínima mapeável. Extraíu dados de drenagem de forma quantitativa como: densidade de drenagem, frequência de drenagem e razão de textura; obteve resultados equivalentes aos preconizados pela metodologia da amostra circular largamente utilizada por diversos autores.

NANNI (1995) utilizando-se da metodologia desenvolvida por ROCHA (1993), concluiu que a sobreposição da drenagem em imagens de satélites, auxilia a capacidade fotointerpretativa para delimitação das unidades fisiográficas no monitor do computador.

#### 2.1.4. Análises do relevo e fisiografia aplicadas à estudos de solos

Juntamente com a drenagem, o relevo é outro elemento muito importante na fotointerpretação para estudos de solos, já que é possível sua visualização em terceira dimensão através da estereoscopia. RESENDE *et al.* (1995), afirmou que o relevo está intimamente ligado ao fator tempo na gênese dos solos; é, portanto, de se esperar que, na paisagem brasileira, onde os processos de pedogênese são bastante ativos, ele tenha um papel crítico como controlador do tempo de exposição aos agentes bioclimáticos.

Para RAY (1963), cada padrão do relevo está associado a um processo geomórfico específico de erosão ou deposição e refletindo a origem e o caráter geral da paisagem. A evolução das feições topográficas do relevo associadas a 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.

VALÉRIO FILHO (1984) analisando parâmetros de relevo e drenagem aplicados a estudos de solos, concluiu que os índices de relevo (declividade média, relevo local médio e comprimento médio da vertente) foram mais eficazes que os índices de drenagem na discriminação de solos.

BRIDGES & DOORNKAMP (1963) fazendo um paralelo entre mapas de solos e de superfícies morfológicas, concluíram que na maioria da área estudada, a mudança de relevo coincide com os limites de grupos de solos.

POLITANO (1980) estudando duas classes de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos, obteve resultados semelhantes entre o relevo e a drenagem.

GOOSEN (1968) analisando os princípios da fotointerpretação em estudos de solos, comentou que os solos são paisagens assim como perfis. Partindo deste princípio, pode-se ver que os aspectos de caráter do solo podem ser estudados vantajosamente em fotografias

aéreas. Estes são os aspectos da paisagem e espaciais dos solos, tais como: relevo, pendente, posição de um solo em relação ao outro e condições de drenagem relativa aos solos adjacentes. Este estudo pode chamar-se de fisiografia dos solos e está baseado em geomorfologia, suplementado por aspectos fisiográficos, tais como vegetação, regime de água, atividades humanas e outros fatores que influenciam o desenvolvimento do solo.

Segundo ROSA (1990), diferentes solos podem ser encontrados em desiguais condições de relevo. Solos desenvolvendo-se em porções mais elevadas do terreno podem apresentar características pedogenéticas diferenciadas em relação aqueles desenvolvidos nas porções de meia encosta ou de baixada. Portanto ao se mapear, nas fotografias aéreas, os limites do relevo, os limites dos diferentes tipos de solos serão inferidos, embora isto não seja uma regra geral pois outros fatores de formação de solos estão atuando na pedogênese, definindo mudanças destes sem modificar o relevo.

ROCHA (1993) analisou parâmetros quantitativos do relevo como: a declividade ponderada, obtida através da ponderação das áreas referentes às médias dos intervalos de classe utilizadas para caracterização das classes de declive, empregadas como metodologia pela EMBRAPA (1984). Outro parâmetro refere-se ao índice de relevo obtido pelo produto entre a declividade ponderada e o comprimento total dos canais presentes em cada célula. Sugere o autor, mais estudos sobre esses parâmetros, como variável na delimitação das unidades de solos.

SOUSA et al. (1997) utilizando técnicas de realce linear, de contraste e transformação IHS em imagens TM/Landsat-5 para levantamentos de solos especificamente os lateríticos, obtiveram bons resultados na delimitação das unidades fisiográficas. Argumentaram ainda, que o estudo possibilitou a classificação automática para área de estudo, baseada em atributos de cor e tamanho.

NANNI (1995) trabalhando com análise multivariada em levantamentos de solos no município de Ivatuba-PR, concluiu que apenas a variável relevo não foi suficiente para discriminação de unidades fisiográficas; porém em conjunto com outras variáveis como a drenagem e a declividade ponderada mostrou-se satisfatória.

## **2.2. Uso de Imagens orbitais em estudos de solos**

### **2.2.1. Comportamento espectral dos solos em imagens orbitais**

GALVÃO (1994) e DEMATTÊ (1995), observaram que os contrastes de reflectância espectral para os alvos naturais, aparecem em diferenças tonais em imagens fotográficas e não fotográficas e são importantes em todo o intervalo espectral da energia solar refletida (cerca de 250 a 3000 nanômetros) pela superfície do terreno. No caso dos solos, o seu comportamento espectral varia de acordo com diversos fatores intrínsecos aos mesmos, dentre os quais têm sido citados como os mais importantes: umidade, teor de matéria orgânica, textura, cor, capacidade de troca catiônica, teor de óxidos de ferro e suas condições de superfície.

Para ROSA (1990) vários são os alvos passíveis de observação; no entanto o solo tem merecido destaque por parte dos pesquisadores sobre o seu comportamento espectral.

SANTOS *et al.* (1990) estudando o comportamento espectral de solos do Estado da Paraíba, mostraram a necessidade da análise de pelo menos duas bandas (uma no visível e outra no infravermelho), dentre as bandas espectrais utilizadas no estudo para a identificação das unidades de mapeamento selecionadas, com exceção de uma das unidades.

AGBU, FEHRENBACHER & JANSEN (1990) relataram que a incorporação de satélites dentro de um programa de mapeamento de solos para delineamento de seus

limites torna-se extremamente significativo. Os autores comentam que, embora o perfil do solo não possa ser avaliado através de dados remotamente sensoriados, o mesmo não ocorre com as características fisionômicas da terra, indicativas das condições de superfície e subsuperfície.

GIMBARZEVSKI (1974) observou que as imagens geradas pelo sistema Landsat apresenta algumas vantagens e limitações; dentre as quais, a pequena escala proporciona uma visão global de grandes áreas, no entanto, limita o reconhecimento de detalhes importantes. A ausência de estereoscopia é uma séria limitação ao reconhecimento de feições topográficas do terreno.

Segundo CREPANI (1983), os satélites denominados LANDSAT contam com uma segunda geração de sensores que foi definida como a geração dos satélites constituídos pelos mapeadores temáticos (TM-Thematic Mapper), dadas as características superiores no que concerne às resoluções espaciais, espectrais, temporais e radiométricas.

O uso de sensores remotos multiespectrais em conjunto com técnicas de análise computacional para estudo de solos, tem efetivamente auxiliado em trabalhos de levantamento, podendo esta tecnologia, ser utilizada no mapeamento das condições de superfície da terra sobre pequenas áreas, com razoável grau de precisão KRISTOF & ZACHARY (1974).

Através de mapas de solos preliminarmente produzidos por sensores multiespectrais é possível acelerar os processos de levantamentos de solos de uma região em considerável extensão, podendo adicionar características a serem obtidas por meio de cuidadosa análise das propriedades das imagens MYERS (1983). O mesmo autor comentou ainda que, as propriedades específicas dos solos podem ser estimadas utilizando-se respostas espectrais de diferentes bandas via equipamentos de medição. Tais dados condicionam uma base para preparação de mapas de solos semi detalhados com escalas variando de 1:50.000 a

1:250.000. Baseado na capacidade demonstrada pelos satélites atuais, mapas de solos estão sendo obtidos com elevada rapidez.

Empregando imagens TM/Landsat em formato digital codificada em composição colorida ou banda simples, ROCHA *et al.* (1993) concluíram que o emprego da análise de elementos realizada diretamente no monitor do computador apresentou elevada integração de dados quando comparado com o levantamento convencional de solos na escala 1:100.000, sendo que a análise do tipo do terreno, do relevo, sistema de drenagem, vegetação natural/uso, tonalidade, textura e padrão, empregados na análise de elementos foram adequados na diferenciação das unidades fisiográficas para esses estudos. A delimitação de determinadas unidades de mapeamento, que nem sempre são visíveis nas fotografias aéreas pancromáticas, devido a cobertura vegetal e o uso da terra, podem ser realizadas com maior facilidade através do uso de imagens multiespectrais.

DEMATTE (1995) comentou que os solos que apresentam pequenas variações nos teores de matéria orgânica, ferro, argila, silte e dados mineralógicos, tendo apenas a saturação por bases diferenciadas, chegam a possuir respostas espectrais diferentes.

SOUZA (1997) utilizando grade (células) com resolução de 90x90 m, extraiu os níveis de cinza do TM-Landsat/5 das bandas 1,2,3,4,5, e 7, eleitos como variáveis para compor uma matriz numérica, objetivando efetuar análise de agrupamentos para o refinamento de um levantamento de solos a nível de semidetalhe em solos de várzea. Concluiu o autor que a utilização dos níveis de cinza de imagens orbitais digitais como variáveis mostraram-se eficientes na discriminação de solos.

MULDERS & EPEMA (1986) e NOVO (1979), fizeram uma análise comparativa entre fotografias aéreas convencionais e imagens do satélite Landsat. A metodologia utilizada obedeceu os seguintes itens: identificação de níveis homogêneos de cinza, nos canais 5 e 7 do MSS/Landsat; hierarquização dos níveis de cinza, variando de zero

(para os níveis de tonalidade mais clara) e justaposição das interpretações obtidas através dos canais 5 e 7. A intersecção das repostas dos canais 5 e 7 foram comparadas com as classes de uso da terra, obtidas através da análise de fotografias aéreas. Os resultados mostraram os seguintes benefícios:

- a) a superposição de “overlays” de níveis de cinza, nos canais 5 e 7, permite a identificação de “classes espectrais” que podem ser associadas às classes de uso da terra;
- b) o canal 7 é o melhor para a identificação de campos de cultivo, localizados na várzea;
- c) a discriminação entre campos colhidos e campos com cultura pode ser feita através de análise da resposta do canal 5;
- d) o canal 5 é o melhor para a identificação de áreas edificadas como cidades, vilas e pátios industriais.

Através de análise visual preliminar fundamentada nos elementos fotointerpretativos (padrão de drenagem, relevo, textura e tonalidade fotográfica), SANTOS *et al.* (1990), obtiveram a individualização de unidades fisiográficas em imagens TM/Landsat espectralmente homogêneas, que possibilitaram a confecção de mapas preliminares de solos, a nível de reconhecimento de alta intensidade (1:100.000).

CARNEIRO & AZOLIN (1976) utilizando imagens MSS/Landsat em comparação com fotografias aéreas pancromáticas verticais, concluíram que as delimitações realizadas com as imagens orbitais, considerando-se o nível de cinza de reconhecimento para o levantamento realizado, foram semelhantes àquelas realizadas com as fotografias aéreas, sendo possível o seu uso para levantamento de solos com este nível de detalhamento. Os autores comentam ainda, que as imagens orbitais podem ser empregadas em levantamentos mais detalhados, desde que sejam feitas observações à campo.

ROCHA (1993) utilizando a composição colorida 4R, 5G e 3B da imagem TM/Landsat, empregou análise fisiográfica para a estratificação da paisagem em áreas homogêneas. O mapa, concluiu o autor, obtido pela interpretação visual das imagens, à nível de monitor, apresentou maior poder de discriminação das unidades de mapeamento que o mapa de referência. A delimitação das unidades foi efetuada através de guias obtidos por agrupamentos de células que compunham uma grade regular registrada sobre a área em estudo. Tal agrupamento foi realizado através da análise de agrupamento das variáveis que compunham cada célula. As variáveis utilizadas para a análise de agrupamento foram: densidade de drenagem, comprimento total de canais, número de canais ponderados, comprimento de canais ponderados, razão de textura ponderada e níveis de cinza das imagens orbitais das bandas 3, 4, 5 e 7 do TM.

AGBU *et al.* (1990) em estudos conduzidos para determinar o relacionamento existente entre dados obtidos por meio de satélite de alta resolução espectral e propriedades dos solos utilizados para delineamento de unidades de mapeamento e classificação concluiu que, através de análises de multiregressão, correlação significativa entre os dados do SPOT e as propriedades químicas, físicas e morfológicas de superfície e subsuperfície de alguns solos, podendo ser portanto preditas pela análise dos dados do satélite e vice-versa. Esta significativa correlação, descrevem os autores, confirma a associação existente, talvez devido à influência genética, das propriedades de superfície dos solos com as propriedades de sub superfície. Dentre as características dos solos analisadas, os conteúdos de carbono orgânico da superfície, cor e croma do horizonte A, conteúdo do silte do solo foram significativamente correlacionadas apenas com às bandas vermelha e verde do SPOT, enquanto o regime de umidade dos solos foi mais significativamente correlacionado com a banda infravermelha.

### **2.2.2. Vantagens e desvantagens do uso de imagens orbitais em estudos de solos**

Quando da aquisição de qualquer material para estudos de solos ou qualquer outra atividade, uma análise profunda deve ser feita quanto a relação custo/benefício, bem como sua disponibilidade. Neste sentido, as imagens orbitais apresentam vantagens e desvantagens; segundo PFEIFER (1995), conforme pode-se observar a seguir:

**Vantagens:** cobertura de grandes áreas de 185x185 km no caso do Landsat e de 60x60 Km pelo Spot; imageamento de uma mesma área em curto espaço de tempo (16 dias pelo Landsat); menor custo comparado às fotografias aéreas.

**Desvantagens:** menor reconhecimento de detalhes se comparada às fotografias aéreas; ausência de estereoscopia, prejudicando uma visão em terceira dimensão. Há que se observar, que já existe disponível no mercado, imagens com resoluções menores de 10 metros. Isto possibilitará em breve, uma qualidade de análise muito precisa sobre esses produtos.

Segundo STONEY(1996), está previsto para o ano 2005 a existência de pelo menos 40 satélites em órbita para a observação da terra. Estes permitirão a obtenção de informações detalhadas a respeito de estudos de solos bem como aplicabilidade na agricultura de precisão, uma tecnologia emergente.

## **2.3. Análise multivariada aplicada à pesquisa de solos**

### **2.3.1. Introdução**

A análise multivariada é o ramo da estatística que objetiva o resumo, a representação e a interpretação de dados amostrados a partir de populações nas quais em cada unidade experimental são avaliadas diversas variáveis. A justificativa para medi-las em cada unidade é que nenhuma das mesmas individualmente consegue caracterizar de maneira adequada a unidade ou consegue discriminar os indivíduos com relação a qualquer critério que seja empregado.

A base da estatística multivariada é a álgebra de matrizes. Sendo assim, é possível que o usuário familiarizado com os princípios matemáticos, consiga compreender os objetivos e as necessidades de determinadas transformações PEREIRA (1995).

Os processos estatísticos multivariados, podem ser classificados em dois conjuntos: 1º) os que permitem extrair a informação sobre a interdependência entre variáveis que caracterizam cada um dos indivíduos; 2º) os que permitem extrair a informação de dependência entre uma ou diversas variáveis com outra ou outras destas, JOHNSON & WICHERN (1990).

Nos procedimentos que possibilitam estabelecer as relações de interdependência entre variáveis e também entre indivíduos, se inclui as análises de: fatores, de agrupamentos, canônica, por componentes principais e por ordenamento multidimensional.

Dentre os processos que objetivam verificar a informação de dependência, podem ser citados a análise discriminante, regressão múltipla e análise de contingência.

### **2.3.2. Transformação por componentes principais aplicadas à estudo de solos**

Análise de componentes principais, é uma técnica empregada para analisar dados multivariantes. É uma transformação matemática, dita transformação linear (ortogonal).

Em se tratando de imagens de satélites, é comum encontrar elevado grau de correlação entre bandas multiespectrais. Existindo a correlação, se as reflectâncias forem altas em algum lugar particular de uma banda, ela também tenderia a ser elevada em outra. Num caso extremo, se duas bandas estiverem perfeitamente correlacionadas, ambas estarão carregando exatamente as mesmas informações CRÓSTA (1992). Ainda segundo o autor, as causas da correlação podem ser várias, sendo as mais importantes: o sombreamento topográfico e a relação entre o espectro de reflectância dos materiais superficiais e as bandas espectrais do sensor. Uma vez que praticamente todos os sensores multiespectrais dependem de iluminação solar, essa correlação tende a diminuir quase sempre com o sombreamento, pois embora útil para a percepção dos detalhes texturais de uma imagem, pode obscurecer feições espectrais de interesse.

A análise de componentes principais é um método auxiliar para análise de agrupamentos e fatorial. Pode ser utilizada para transformar um conjunto de bandas de uma imagem em novas bandas ditas componentes, onde não haverá nenhuma correlação matemática entre as mesmas. Isto é proporcionado quando ocorre a rotação dos eixos, que são combinações lineares das imagens originais. Este procedimento matemático permite gerar novos grupos de eixos rotacionais. Os componentes são assim, uma abstração estatística da variabilidade inerente ao conjunto original de dados PEREIRA (1995).

A operação matemática utilizando-se as componentes principais também chamada de transformação por principais componentes ou transformada de Karhunen-Loeve, é uma das funções de processamento de imagens mais poderosa de dados multiespectrais, CRÓSTA (1992).

No estudo de dados multivariados, as análises executadas podem ter diferentes enfoques, tanto pelas distintas formas de se obter os dados, bem como, pelo objetivo específico da análise.

Segundo RICHARDS (1986), os vetores multiespectrais da maioria dos dados de sensoriamento remoto tornam-se tratáveis na transformação espectral que geram novos conjuntos de componentes de imagens ou bandas. Estes componentes representam uma descrição alternativa dos dados, nos quais os componentes de um vetor de pixel, são conexos aos seus antigos valores de brilho no conjunto original das bandas espectrais, através de uma operação linear.

Este método parte da suposição de que as várias populações devem ser normais multivariadas. Entretanto, assume-se que as matrizes de covariâncias populacionais são iguais (JOHNSON & WICHERN, 1990).

PEREIRA (1995) observa que pode-se citar três objetivos principais para a aplicação desta técnica:

- A técnica de componentes principais possibilita gerar novas variáveis que possam expressar a informação contida no conjunto de dados originais;
- Permite também, reduzir a dimensionalidade dos dados do problema que está se trabalhando, promovendo a geração de informações para futuras análises;
- É permitido ao usuário da técnica, eliminar quando possível, algumas variáveis que pouco contribuam com informações para se conhecer a estrutura dos dados originais.

### **2.3.3. Análise de agrupamentos na delimitação de unidades fisiográficas**

Tendo-se um conjunto de unidades conhecidas somente por uma listagem de suas variáveis, o objetivo da análise de agrupamentos é encontrar a melhor maneira de descrever o padrão de similaridades mútuas das unidades. A análise de agrupamentos leva em consideração um número de técnicas e algoritmos variados no qual o objetivo final é a busca na separação de grupos de indivíduos semelhantes, segundo suas características.

Agrupar é uma técnica mais primitiva, no sentido de que nenhuma suposição é feita quanto ao número de grupos ou estrutura de agrupamento. O agrupamento é feito com base na similaridade ou distância JOHNSON & WICHNER (1990).

Conforme ROMESBURG (1984), a análise de agrupamentos é um termo genérico para uma série de métodos matemáticos que podem ser usados para definir quais elementos, dentro de um dado conjunto, são similares, ou seja, para fazer classificações. Neste sentido, segue-se uma descrição resumida desse tipo de análise:

- a) organizar uma matriz de dados, onde as colunas descrevem as características das variáveis e as linhas as características dos indivíduos;
- b) pode-se ou não padronizar a matriz de dados;
- c) calcular os valores de um coeficiente de semelhança para medir as similaridades entre todos os pares de elementos;
- d) optar por um método de agrupamento para processar os valores do coeficiente de similaridade, que resulta num fenograma ou diagrama.

VETORAZZI (1988) utilizou análise de agrupamentos na delimitação de grupos homogêneos de unidades fisiográficas referentes a diferentes tipos de solos por meio dos elementos de interpretação. Esta ferramenta mostrou-se de grande utilidade, uma vez que possibilitou a orientação e operação de agrupamento de maneira a eliminar parcialmente a subjetividade.

PFEIFER (1995) utilizando dados de drenagem e relevo na análise de agrupamentos, observou que as melhores contribuições na separabilidade dos grupos de unidades fisiográficas são fornecidas dentre os elementos de relevo, pela posição topográfica, tipo e classe de relevo. As variáveis grau de controle e angularidade, são os elementos mais

eficientes, dentre as características qualitativas do padrão de drenagem, para a distinção entre os grupos de unidades fisiográficas.

SILVA (1988) relata que a análise multivariada foi eficiente para a diferenciação da Terra Roxa Estruturada em relação ao Regossolo “intergrade” para Podzólico Vermelho-Amarelo e “intergrade” para Latossolo Vermelho-Amarelo, mas não foi eficiente para discriminar o Regossolo “intergrade” para Podzólico Vermelho-Amarelo e “intergrade” para Latossolo Vermelho-Amarelo, quando foram utilizadas as variáveis da rede de drenagem. Concluiu o autor, que a análise multivariada foi eficiente para a diferenciação dos solos mencionados, quando foram utilizadas conjuntamente as variáveis da rede de drenagem e do relevo.

CARVALHO *et al.* (1990) aplicando análise multivariada para a separação de unidades de solos e utilizando parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, drenagem e relevo, concluíram que a interação dessas variáveis mostraram-se eficientes para o trabalho proposto.

ROCHA (1993) utilizando análise de agrupamentos, em uma matriz composta de onze variáveis: densidade de drenagem ponderada, frequência ponderada de drenagem, comprimento total de canais, número de canais ponderado, comprimento de canais ponderado, razão de textura ponderada e níveis de cinza de quatro bandas de imagens do satélite Landsat, logrou êxito acima de 85% nos Latossolos, 90% nos Cambissolos e Litossolos.

NANNI (1995) concluiu que a análise de agrupamentos possibilitou a separação de unidades fisiográficas em níveis seguros, atrelados a valores numéricos, representados pelos coeficientes de semelhança e os agrupamentos formados pelos indivíduos identificados dentro do dendrograma. Complementou ainda o autor, que dentro das variáveis de natureza qualitativa, a rede de drenagem apresentou-se com maior potencial.

SOUZA (1997) estudando solos de planície de inundação, utilizando como variáveis as bandas 1,2,3,4,5 e 7 do TM/Landsat, gerou dendrogramas para a elaboração de pictogramas. Relatou que estes foram de fundamental importância na delimitação de novas unidades de mapeamentos, complementando os trabalhos com verificações de campo.

## **2.4. O ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**

### **2.4.1. Introdução**

Partindo-se da premissa que a globalização já envolveu o planeta quase que na sua totalidade, tecnologia e tempo formam o famoso dueto que têm como âncora a informática. Isto só é possível graças as ferramentas e instrumentos automatizados que evoluíram de forma extraordinária, principalmente nos anos 90. John Von Newmann considerado o “pai do computador”, iniciou seus trabalhos com a informática nos anos 40, e possivelmente não imaginou que sua invenção chegasse onde chegou.

Toda a história de desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica (SIG) teve como princípio a técnica de “overlay” ou superposição de temas, que usa operações lógicas e aritméticas. O sistema teve suas raízes na história da cartografia temática, século XVIII, com a produção da primeira base de mapas.

A visão globalizada das questões ambientais tem contribuído para uma crescente demanda por informações cartográficas, obtidas em ritmo cada vez mais intenso graças ao desenvolvimento de técnicas apoiadas no uso de computadores e às imagens obtidas por sensores instalados a bordo de satélites espaciais. Tais imagens, com suas características de repetitividade e periodicidade, tornaram-se também ferramentas indispensáveis na análise e monitoramento multitemáticos e multitemporais de fenômenos naturais ou decorrentes de

ações antrópicas em nosso planeta. Além disso, o extraordinário avanço da informática nos últimos anos, tem permitido a integração das informações coletadas com o seu suporte geográfico por intermédio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). (CALIJURI *et al*, 1998).

Apesar dos SIG's terem se originado no início dos anos 70, somente após a segunda metade dos anos 80 é que tiveram grande expansão.

BURROUGH (1986) define SIG como sendo “um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos”. Os dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de suas posições em relação a um sistema de coordenadas conhecido; seus atributos que não são relacionados a posição e suas interrelações espaciais, que descrevem como os objetos estão ligados entre si ou como podem relacionar-se com outros.

Na concepção de STAR & ESTES (1990), o SIG é um sistema de informação que é designado para trabalhar com dados georreferenciados por coordenadas geográficas. Em outras palavras, um SIG é ao mesmo tempo um sistema de base de dados com capacidade específica para lidar com os mesmos referenciados espacialmente.

Todo SIG deve conter um conjunto de funções específicas para transformação da informação georreferenciada, baseadas em funções aritméticas e booleanas (TEIXEIRA & FIGUEIREDO, 1991).

A utilização dos Sistemas Geográficos de Informações, tem como objetivo principal, o suporte à tomada de decisões para o gerenciamento do estudo do solo, inventários florestais, recursos hídricos ou todo e qualquer tipo de entidade distribuída espacialmente.

#### **2.4.2. Estrutura e representação de dados em ambiente de Geoprocessamento**

A busca de soluções e o gerenciamento de recursos de problemas localizados ou regionais tais como: planejamento urbano, agrícola, monitoramento ambiental e serviços de água, esgoto, telefonia e muitos outros, necessitam de bancos de dados que suportem na maioria das vezes, uma grande massa de dados interligados com informações espaciais (cartografia automatizada, imagens de satélites). A capacidade na gerência de dados de forma convencional, excede os limites oferecidos por este tipo de modelo. Por outro lado, a evolução na criação de sistemas diferenciados em relação ao supra citado, deu origem a um sistema de gerenciamento de dados não convencionais, onde pode-se destacar o de dados pictóricos. Esses tipos de softwares, com aplicações voltadas a tratar dados com diferentes formatos, têm possibilitado a integração de um grande volume de informações provenientes de mapas, imagens, textos, gerenciamento de serviços, sistema de informação cadastral e outros complementares.

Segundo DANGERMOND (1987) e ARONOF (1993), duas classes de modelos de dados geográficos têm sido usadas para armazenar e representar a informação espacializada em formato digital: a estrutura vetorial e a matricial ou raster. A primeira usa entidades (como pontos, linhas) para identificar as localizações, considerando o espaço geográfico contínuo; ao passo que a estrutura raster, divide o espaço em elementos discretos criando uma grade padrão imaginária sobre a área de estudo, onde cada feição é associada a uma célula ou um conjunto das mesmas desta grade. Assim sendo, a matriz de dados pode ser entendida como uma matriz de células, onde cada célula é referenciada pelo número de linha e coluna, contendo um número que representa o tipo de ou valor do atributo que está sendo mapeado. Na estrutura matricial um ponto é representado por uma única célula, uma linha

por um número de células vizinhas alinhadas segundo uma dada direção e uma área por um agrupamento de células vizinhas. É esta a dimensão que define a resolução da malha.

Para BURROUGH (1986), a representação vetorial de um objeto é a tentativa de representá-lo o mais exatamente possível. Supõe-se que o espaço de coordenadas é contínuo, e não quantizado como no espaço matricial, permitindo que sejam definidas com boa precisão todas as posições, comprimentos e dimensões. Os elementos físicos do terreno podem ser reduzidos a três entidades básicas: pontos (nós), linhas e áreas ou polígonos. Os pontos ou nós, são elementos que podem ser representados por um único par de coordenadas (x e y), como por exemplo um poste, devendo o atributo ser armazenado junto com o par de coordenadas que define esta feição. As linhas são um conjunto de pontos, que mantêm a relação de conectividade entre si.

Na concepção de OLIVEIRA (1986) e BURROUGH (1987), a estrutura de um sistema geográfico de informações, pode assim ser composta:

1º ) Subsistema (módulo) de coleta ou entrada de dados, que permite a inserção de dados de forma automática para dados digitais disponíveis, como imagens multiespectrais e através da digitalização de mapas topográficos, dados de solos, geologia e outros, definindo níveis de informação. Estão associados à entrada de dados as operações de edição, correção e eliminação;

2º ) subsistema de armazenamento e recuperação de dados, que permite a descrição da base de dados, com listagens, mapas, bem como operações de modificação, inserção e eliminação;

3º ) subsistema de manipulação, que permite análise, síntese e modelagem a partir de operações em um plano de informação e entre planos de informação de acordo com critérios e procedimentos definidos pelo usuário;

4º ) subsistema de saída, que permite a apresentação de dados na forma de tabelas, gráficos mapas e imagens.

### 2.4.3. O uso do geoprocessamento em estudo de solos

ASSAD (1995) utilizando ambiente SIG, concluiu que a quantificação automática de áreas, a obtenção de mapas de aptidão agrícola intermediários e a possibilidade de constante atualização das informações geoambientais espacializadas em base cartográfica devidamente arquivada em suporte informatizado, constituíram grandes vantagens da utilização deste instrumental.

LIMA *et al.* (1992) elaboraram mapa de risco de erosão usando o cruzamento de dados de informação gerados em SIG (erodibilidade, erosividade, litologia e declividade), concluíram que os resultados foram satisfatórios.

ROCHA & GHANNI (1995) utilizaram o sistema geográfico de informações (SGI) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para consolidar unidade de mapeamento de solos do Parque Estadual Pico do Marumbi na Serra do Mar – PR, através de mapas de vegetação, geologia, hipsometria e zoneamento. Efetuaram a sobreposição de vários planos de informações e cruzaram os dados. Concluíram os autores, que as relações entre os solos e seus fatores de formação, propiciaram informações significativas para o levantamento de solos.

MOTTER (1996) também utilizando o SGI do INPE, gerou por tabulação cruzada dos dados, os seguintes mapas: de solos, de classes de declividade, de aptidão agrícola, de uso atual dos solos.

GIAROLA (1994) integrando dados em ambiente SIG, cruzou as informações de uso atual do solo e aptidão, na região de influência do reservatório de Município de Itutinga-MG.

SCHIMIDLIN (1998) concluiu que os processos de compilação de mapas de solos, exige que as informações contidas no mapa final, estejam dispostas em ambiente

único, de tal forma a serem analisadas em conjunto. Tendo em vista esta necessidade, foi estruturada uma base de dados digitais em ambiente SIG, permitindo a integração de todas as informações disponíveis, tais como: dados temáticos (solos), curvas de nível e imagens multiespectrais.

RIBEIRO (1997) utilizou técnicas de geoprocessamento para estudos de solos no Município de Palotina-PR, concluiu que a utilização de cartas digitais, imagens multiespectrais, fotografias aéreas, como subsídios para a confecção de um banco de dados, foram instrumentos indispensáveis, agilizando e direcionando os trabalhos de campo.

VALÉRIO FILHO *et al.* (1992), estabeleceu o mapa de classes de capacidade de uso da terra para o planejamento conservacionista da microbacia do córrego São Joaquim no município de Pirassununga (SP), a partir da integração das informações através do SGI Desenvolvido pelo (INPE). O autor constatou a eficiência dessa ferramenta para a classificação de áreas com base em dados multivariados.

FORMAGGIO *et al.* (1992), constataram ser possível a obtenção de um mapa de aptidão agrícola de terras, de modo semi detalhado, utilizando um SIG. Neste trabalho desenvolvido na região de Leme (SP), os autores estabeleceram um mapa de adequação de uso do solo a partir do cruzamento de interpretações do uso atual (obtido de imagens de satélite) com o mapa de aptidão agrícola (a nível de manejo C).

NASCIMENTO (1998) utilizando a equação universal de perdas de solos em ambiente de geoprocessamento, comenta que foi possível determinar o potencial natural, a perda de solos e a expectativa de erosão em 30 microbacias. Concluiu a autora, que o ambiente de SIG, permitiu agilidade e interatividade, proporcionando todos os cruzamentos e operações matemáticas exigidos pela equação.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO

##### 3.1.1. Localização da área

A área localiza-se na porção Sul do Primeiro Planalto Paranaense, ao longo da Br-116, cuja maior parte da mesma está inserida nos limites geográfico do Município da Fazenda Rio Grande-PR; entre as coordenadas UTM 663.000 a 675.000 m. E 7152800 a 7169000 m. N do meridiano central  $-51^{\circ}$  W, com área de 194,40 km<sup>2</sup>, conforme FIGURA 1 página 28.

##### 3.1.2. Vegetação

Segundo a EMBRAPA (1984), a vegetação original é classificada como floresta subtropical perenifólia, sendo a espécie predominante a *Araucária angustifólia*. Este tipo de vegetação possui maior resistência às temperaturas baixas como geadas.

Conforme MAACK (1981), a mata original encontrava-se extratificada em três níveis. No primeiro nível a constituição é de predomínio da araucárias, imbuias, cedro, canela e outras. O segundo nível é composto por podocarpus, pimenteira, guaramirim, erva-mate, caroba, bracatinga e outras. O nível infeior é dominado por ervas, arbustos e gramíneas em geral.

O estado atual da vegetação, encontra-se com pequenas manchas intactas de *Araucaria angustifólia*, porém com predomínio de mata secundária composta principalmente por bracatinga, vassourão branco e outras.

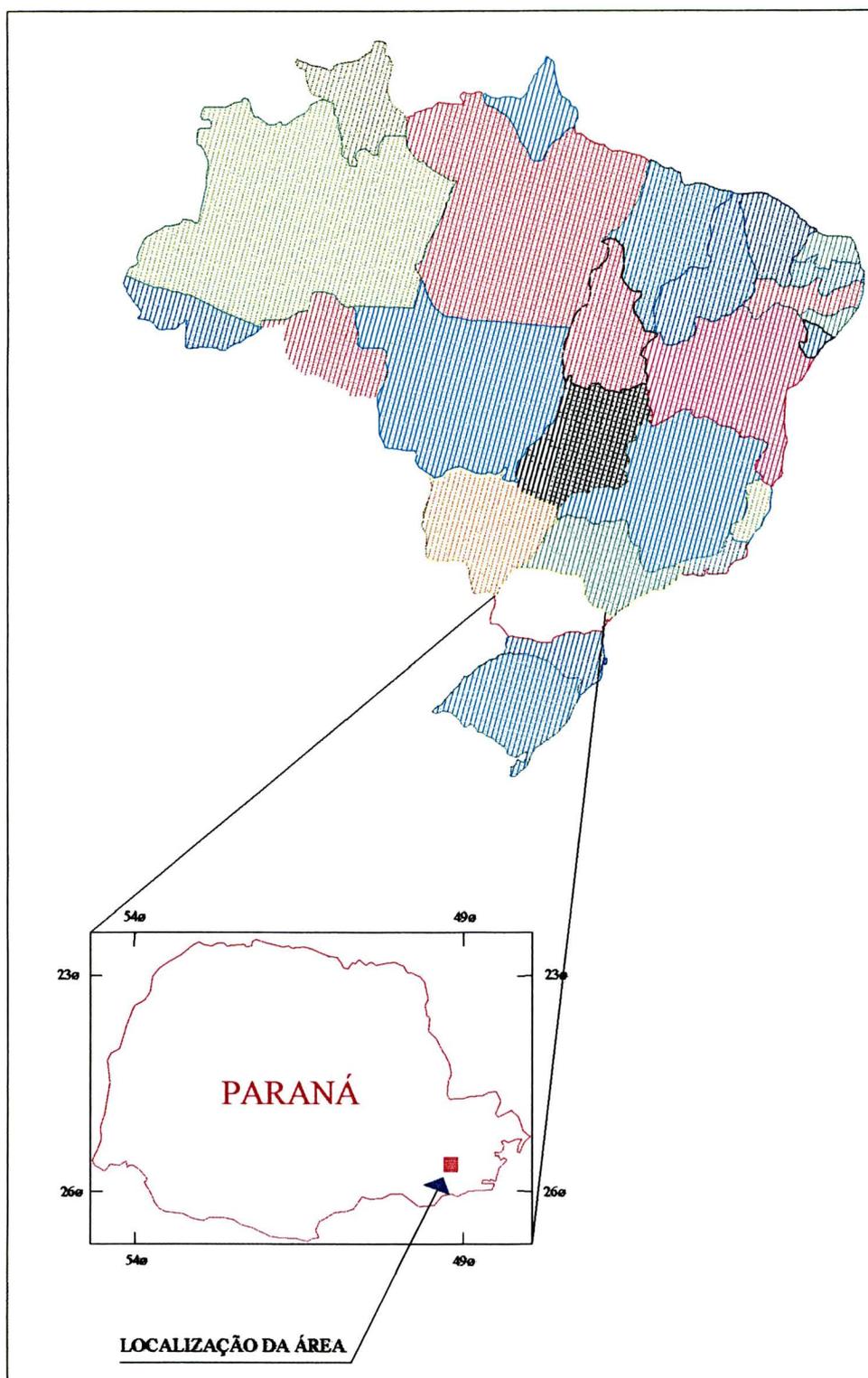


FIGURA 1 – Localização da área de estudos

### 3.1.3. Clima

De acordo com a classificação de KOEPPEN (MAACK, 1981) a região objeto de estudo enquadra-se no tipo climático Cfb – subtropical úmido, sem estação seca, com verões brandos (temperatura do mês mais quente inferior a 22 °C, com geadas demasiadamente frequentes.

A temperatura média anual varia de 16 a 17 °C e junho, julho e agosto constituem o trimestre menos chuvoso (300 a 350 mm) enquanto dezembro, janeiro e fevereiro são os meses mais chuvosos, com 450 a 550 mm ( precipitação média anual oscila de 1.300 a 1.600 mm). Trata-se de chuvas frontais cujo mecanismo é oriundo das incursões da massa polar no domínio da massa tropical atlântica (CHODUR, 1990).

A porção Sul do primeiro planalto Paranaense encontra-se sob ação do anticiclone do Atlântico Sul que dá origem à massa tropical atlântica e do anticiclone migratório polar que origina a massa Polar Atlântica e a respectiva frente polar. Ocasionalmente outros centros podem ter atuação na região como é o caso do Centro de baixa pressão do Chaco.

Os microclimas locais estão diretamente relacionados às altitudes topográficas e à orientação das linhas de relevo.

### 3.1.4. Geologia

Segundo OLIVEIRA (1925, 1927) e MAACK (1953), a porção Sudoeste do Primeiro Planalto está constituída litologicamente por gnaisses e migmatitos granitizados do complexo cristalino, rochas associadas aos migmatitos como xistos magnesianos, anfibolitos e quartzitos, diques de rocha básica, sedimentos plio-pleistocênicos da Formação Guabirota

(MARINI, 1967 ) e sedimentos da Formação Tinguis (BECKER, 1982), além de sedimentos holocênicos correspondendo aos aluviões.

Quanto aos migmatitos que ocorrem na região, são constituídos mineralogicamente por quartzo, plagioclásio, ortoclásio, microclínio, biotita, hornblenda e granada, além de minerais acessórios como o zircão, apatita, alanita calcita, sericita e muscovita, com porções variadas de cada uma destas espécies minerais (CHODUR, 1990).

As rochas básicas, de idade juro-cretácea, apresentam-se na forma de diques e são constituídas principalmente por plagioclásio, piroxênio e anfibólio além de acessórios como opacos, quartzo e apatita.

BIGARELLA & SALAMUNI (1962) utilizaram o termo Formação Guabirotuba para designar os sedimentos pleistocênicos da bacia de Curitiba. Esta formação está constituída de sedimentos clásticos, formados preferencialmente em clima sêco, que ocorre em discordância sobre as rochas do complexo cristalino. Estes depósitos compreendem sequências litológicas onde predominam argilitos de coloração cinza esverdeada e areias arcósianas com 20 a 40% de feldspatos.

Conforme a MINEROPAR (1989), os depósitos holocênicos ocorrem nas planícies aluviais principalmente ao longo do Rio Iguaçu.

O mapa geológico pode ser observado na FIGURA 2.

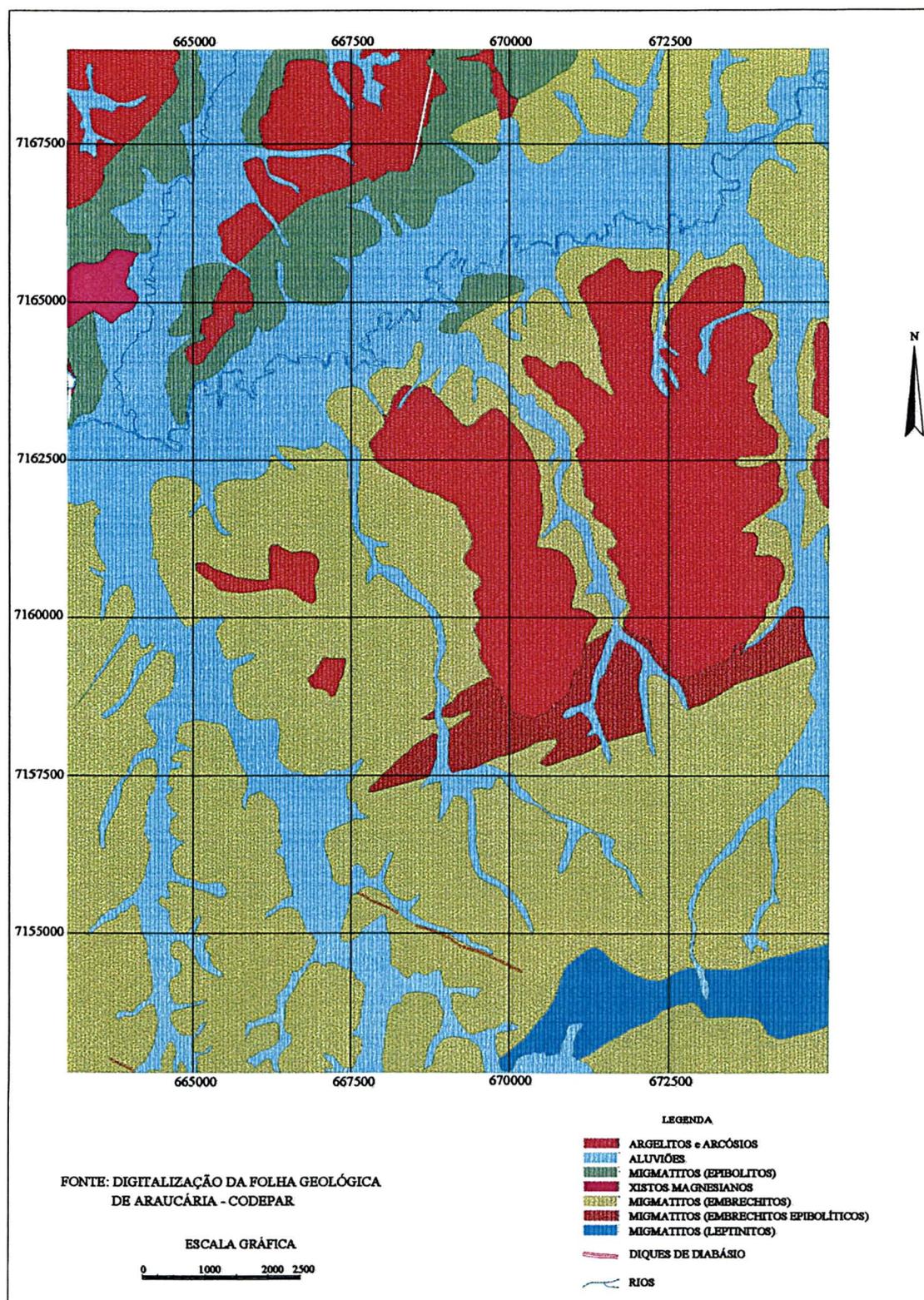


FIGURA 2 – Mapa geológico

### 3.1.5. Relevo

Segundo MAACK (1981) o relevo é aplainado no conjunto, porém no detalhe mostra feições de moderadamente acidentado, ou seja, relevo ondulado. A região é representada por uma superfície de eversão esculpida por processos morfoclimáticos abaixo da superfície de aplainamento pré-Devoniana e que está em pleno processo de reentalhamento.

A paisagem é constituída por colinas baixas e arredondadas, formadas sobre os migmatitos, regiões mais aplainadas quase tabuliformes sobre a Formação Guabirotuba, além das planícies aluviais do Rio Iguaçu e seus afluentes (MARINI, 1967).

Para BIGARELLA *et al.* (1965), o modelado do relevo deve-se à alternância de dois processos morfogenéticos diferentes. Um operando durante o clima semi-árido (período glacial), causando predominância do intemperismo físico e outro em condições de clima úmido (período interglacial), originando intemperismo preferencialmente químico com erosão linear e profunda dissecação do terreno.

### 3.1.6. Hidrografia

O Estado do Paraná possui um sistema hidrográfico bem distribuído, encontrando-se compreendido em duas bacias principais: a bacia hidrográfica do rio Paraná e a Atlântica. À primeira pertencem todos os grandes rios que têm sua drenagem voltada para o oeste, noroeste e norte. Estes rios formam bacias distintas, tais como a do Iguaçu, onde está inserida a área de estudo (BIGARELLA, 1978), conforme FIGURA 3.

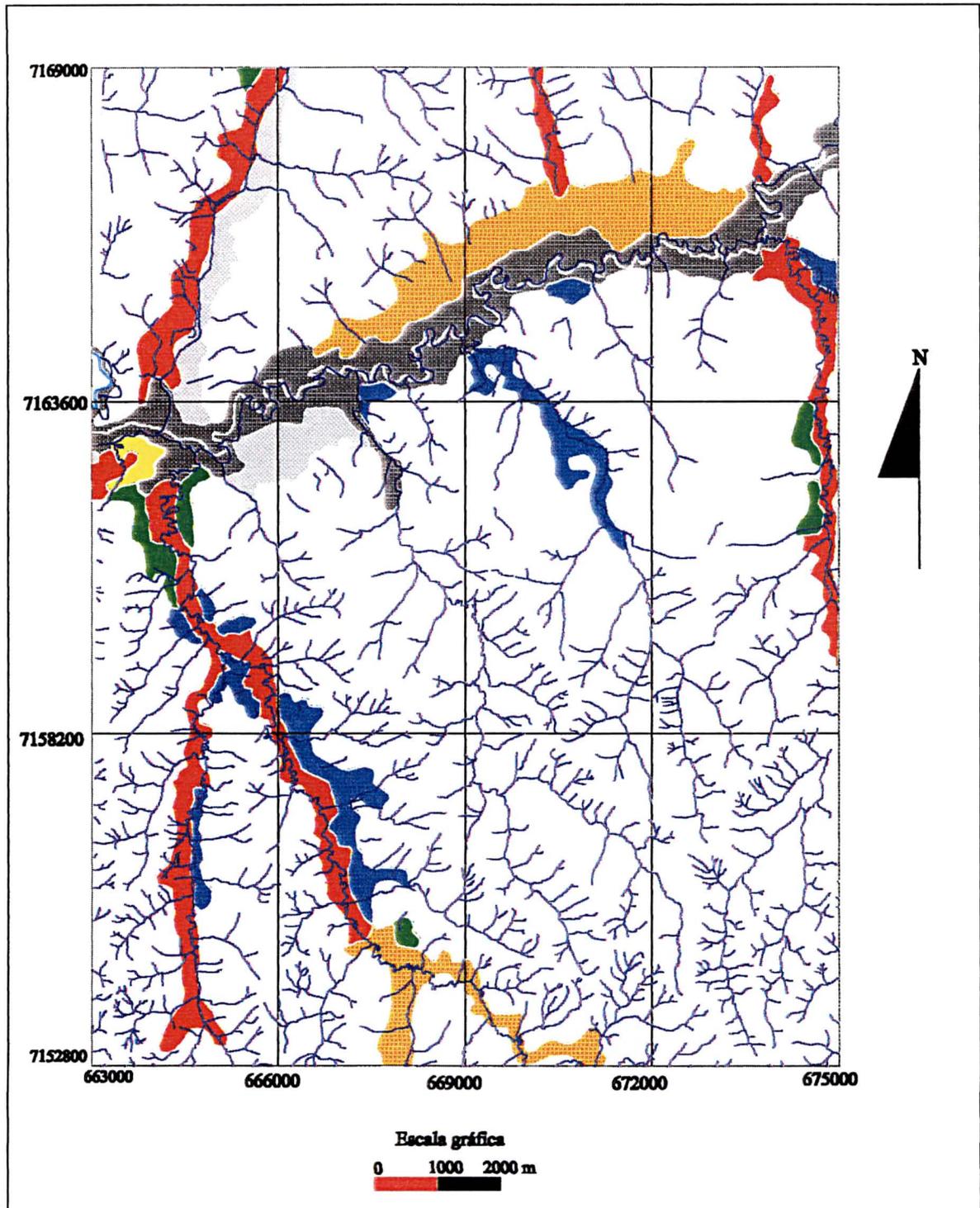


FIGURA. 3 - Mapa da rede de drenagem com sobreposição do mapa de solos das áreas de várzea.

Com extensão aproximada de 910 km desde a nascente até a foz, a bacia hidrográfica do rio Iguaçu é a maior do Estado do Paraná, com 57.329 km<sup>2</sup> (MAACK, 1968).

Densa rede de drenagem cobre a área de estudo, representada por um rio coletor mestre, o Iguaçu. Durante as cheias, comumente de novembro a maio, os materiais disponíveis no solo são carregados para as planícies de inundação provocando uma agradação constante das várzeas. Na zona em que se distribui a Formação Guabirota o padrão de drenagem é semelhante ao cristalino, diferindo no entanto quanto a densidade da drenagem, que é menor. Os interflúvios na região dos migmatitos são estreitos e dissecados, enquanto que nos sedimentos da bacia de Curitiba são muito largos e planos (MARINI, 1967).

Segundo BIGARELLA & MUSINHO (1965), a drenagem tem sido constantemente rejuvenescida, isto se deve, em primeiro lugar as mudanças climáticas cíclicas que ocorreram no Quaternário.

### 3.1.7. Solos

Na área objeto de estudo, há dois levantamentos de solos:

1º) Levantamento a nível de reconhecimento na escala 1:600.000 realizado pela EMBRAPA (1984) FIGURA 4 página 36 onde constam os seguintes solos e associações:

**LVa5** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO podzólico, A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado;

**LVa6** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO pouco profundo A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo suave ondulado e ondulado;

**LVa12** Associação LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO + CAMBISSOLO Tb substrato sedimentos pleistocênicos ambos A proeminente textura argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado;

**Ca8** CAMBISSOLO ÁLICO Tb A proeminente textura argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado substrato sedimentos pleistocênicos;

**Ca11** CAMBISSOLO ÁLICO Tb A moderado textura argilosa fase campo subtropical relevo ondulado substrato migmatitos;

**PVa20** Associação PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb CÂMBICO textura argilosa relevo *ondulado*+PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura média argilosa relevo *ondulado* ambos A proeminente fase floresta subtropical perenifólia.

**HG2** SOLOS HIDROMÓRFICOS GLEYZADOS INDISCRIMINADOS textura argilosa fase campo e floresta subtropical de várzea relevo plano.

2º) Levantamento a nível de semidetalhe dos solos da várzea do Rio Iguaçu na escala 1:50.000, FIGURA 5 página 37, realizado pelo Instituto Agronômico do Paraná (boletim técnico no. 24 fevereiro/1994), onde constam os seguintes solos:

**HO1** SOLOS ORGÂNICOS ÁLICOS fase relevo plano (muito mal drenado);

**HGH1** GLEI HÚMICO ÁLICO Ta textura argilosa fase relevo plano (muito mal drenado);

**A1** SOLOS ALUVIAIS ÁLICOS Ta A moderado textura indiscriminada fase relevo suave *ondulado* e praticamente plano (moderadamente a bem drenado);

**HO2** Associação de SOLOS ORGÂNICOS ÁLICOS (HO1) + GLEI HÚMICO ÁLICO Ta (HGH1);

**HGH3** Associação de GLEI HÚMICO ÁLICO Ta (HGH1) + GLEI POUCO HÚMICO ÁLICO Ta (HGPI);

**HGH4** Associação de GLEI HÚMICO ÁLICO Ta (HGH1) + SOLOS ALUVIAIS Ta (A1);

**HGPI** GLEI POUCO HÚMICO ÁLICO Ta textura argilosa fase relevo plano (mal e imperfeitamente drenado);

**HGP2** Associação de GLEI POUCO HÚMICO ÁLICO Ta (HGP1) + SOLOS ALUVIAIS ÁLICOS Ta (A1);

**HGH1** GELI HÚMICO ÁLICO Ta textura argilosa fase relevo plano (mal e muito mal drenado).

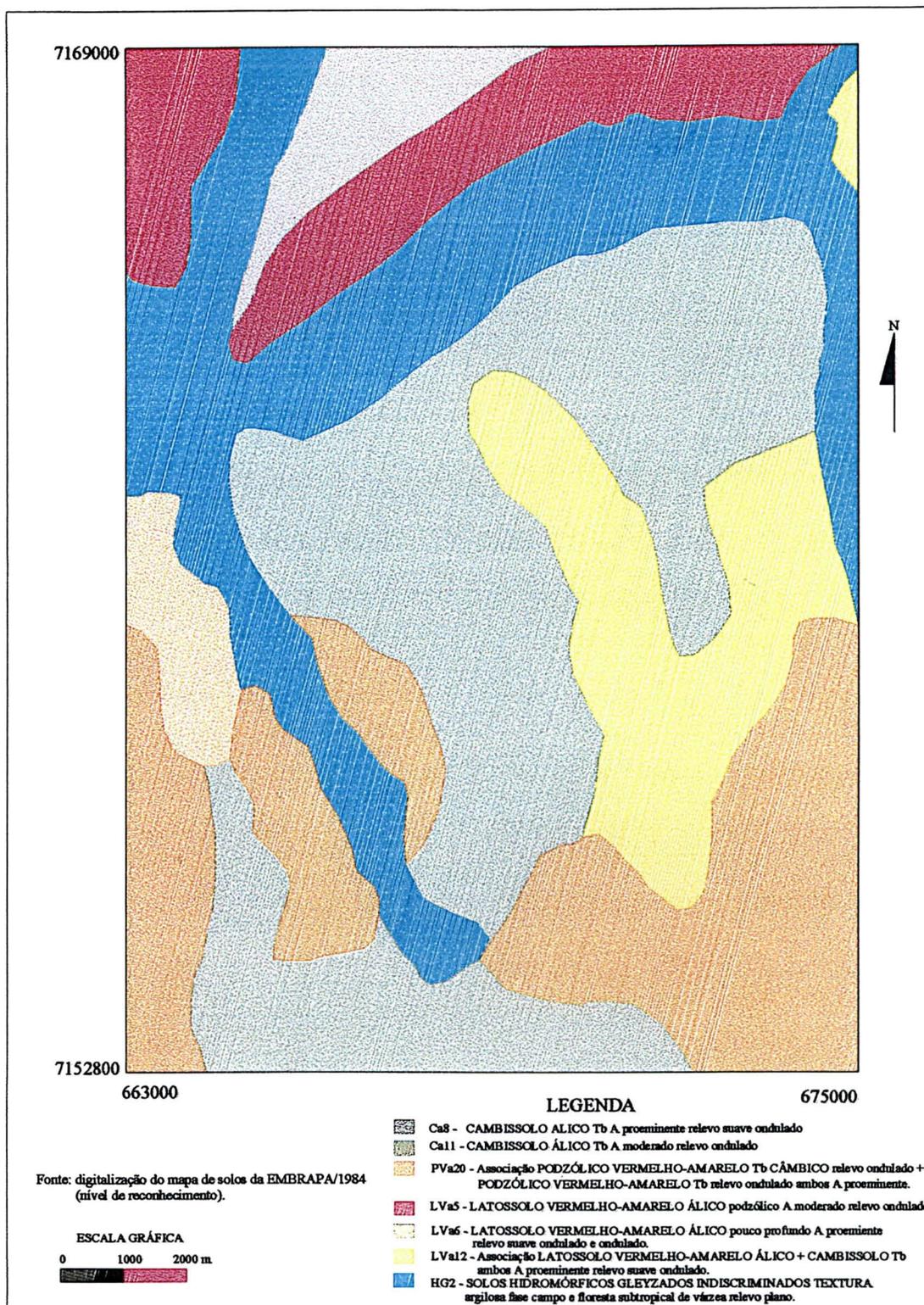


FIGURA 4 – Mapa de solos a nível de reconhecimento

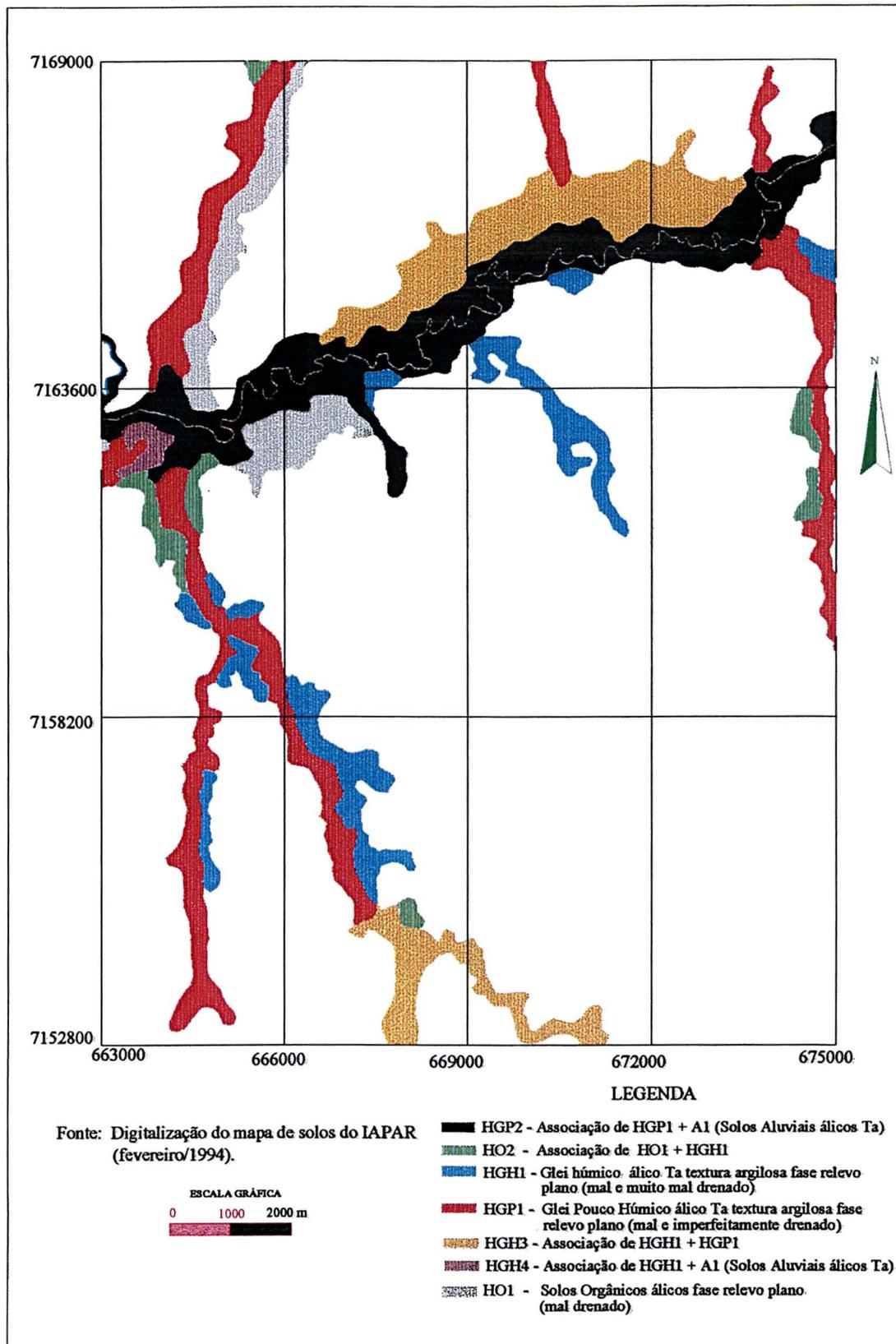


FIGURA 5 – Mapa de semidetelhe dos solos das várzeas do Rio Iguaçu

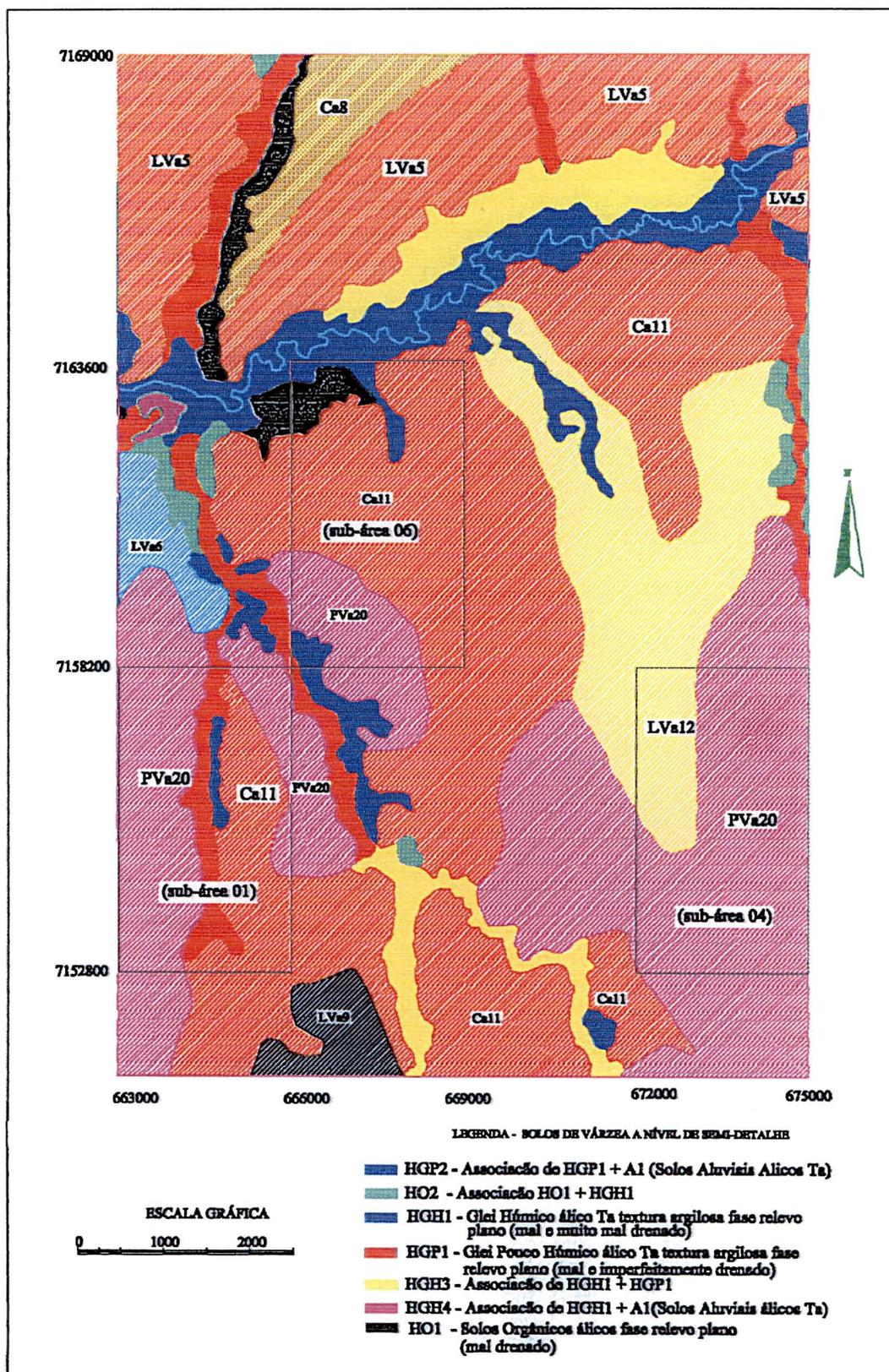


FIGURA 5a - Unificação dos mapas EMBRAPA (1984) e IAPAR (1994).

## **3.2. MATERIAL**

Todo o material utilizado na presente dissertação, está assim constituído:

### **3.2.1. Base Cartográfica**

#### **3.2.1.1. Material Analógico**

→ Mapa de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná, produzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e Instituto Agrônômico do Paraná, escala 1:600.000 do ano de 1984;

→ Mapa de semidetalhe dos solos das várzeas da bacia do Rio Iguaçu, produzido pelo Instituto Agrônômico do Paraná, escala 1:50.000, ano de 1994;

→ Folha Geológica de Araucária-PR, produzido pela Comissão da Carta Geológica do Paraná escala 1:50.000, do ano de 1966;

→ Ortofocarta produzida pela Empresa de Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A, escala 1:50.000, ano de 1976 cedida pela Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba;

→ Plantas topográficas articulações (A137 e A138 escala 1:20.000) ano 1976, produzidas pela Empresa de Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro S.A – cedidas pela Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba.

### 3.2.1.2. Base digital parcial

→ Arquivos digitais contendo: curvas de níveis com equidistância de 5 em 5 metros e rede de drenagem superficial. A base digital parcial foi fornecida pela Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), elaborada em parceria com a MINEROPAR, cujas plantas e mapas foram vetorizados no Software MAXICAD gerando arquivos no formato (CAD).

### 3.2.2. Produtos de sensores remotos

#### 3.2.2.1 Fotografias aéreas

TABELA 1 - Características das fotografias aéreas

ANO	ESCALA APROXIMADA	EMPRESA EXECUTORA	CEDÊNCIA
1980	1:25.000	Esteio S.A	COMEC
1996	1:60.000	Universal S.A	COPEL

#### 3.2.2.2 Imagens de satélites

Utilizou-se imagens orbitais do satélite Landsat-5 sensor Thematic mapper do mês de junho de 1994, órbita 224, pontos 77-78, bandas 3, 4 e 5 com resolução espacial de 30 metros.

### **3.2.3. Equipamentos de Informática e softwares**

#### **3.2.3.1. Equipamentos de informática**

→ Computadores pentium 133 e 200 MHZ, com 64 megabytes de memória RAM; mesas digitalizadoras tamanho A0; unidade armazenadora externa de dados com capacidade para 100 megabytes; ploter no tamanho A0, impressora jato de tinta.

#### **3.2.3.2 Softwares**

→ para edição, digitalização e ajustes de dados em formato vetorial (MAXICAD e AUTOCAD r.14);

→ para processamento e tratamento de imagens ENVI 3.0 e IDRISI 2.0;

→ para editoração e produção dos mapas AUTOCAD r 14;

→ para edição e tratamento dos dados estatísticos (STATIGRAPHICS 2.0);

→ para manipulação de dados em formato vetorial (ARCVIEW 3.0).

#### **3.2.4. Outros**

→ Estereoscópio de espelhos marca Wild;

→ Estereoscópio de bolso, marca Vasconcelos

→ Mesa de luz.

### **3.3. MÉTODOS:**

#### **3.3.1. Seleção e interpretação da área de estudos**

Para a eleição da área de estudos, levou-se em consideração a ponderação de diversos fatores, dentre os quais: abundância de cobertura aerofotogramétrica, imagens de satélites, carta geológica, mapas de solos, cartas topográficas com curvas de níveis equidistantes de 5 metros. Além destes, outros como a localização da mesma pertencente a região metropolitana de Curitiba, bem como, haver levantamento de solos a nível de reconhecimento não incluídos áreas de várzea e diversos tipos de solos.

#### **3.3.2. Delimitação das unidades de mapeamento por sub-área amostral**

Separou-se as unidades e associações constantes da carta de solos do levantamento a nível de reconhecimento elaborada pela EMBRAPA (1984), escala 1.600.000, FIGURA 5a página 38. Para cada uma delas, elaborou-se uma matriz de dados, tendo-se como variáveis: níveis de cinza do TM/Landsat-5 (bandas 3, 4 e 5), comprimentos dos canais da drenagem de 1ª à 4ª ordens e o valor de altimetria (metros) oriundo do modelo numérico do terreno. Sobre o arquivo de dados de cada matriz, aplicou-se algoritmo computacional de análises de agrupamentos, obtendo-se como produtos dendrogramas ou fenogramas de cada unidade de mapeamento ou associações, para cada uma das três sub áreas amostrais (01, 04 e 06), conforme FIGURA 6.

### 3.3.3. Particionamento da área

Com objetivo de se construir as matrizes de dados que pudessem ser comportadas e analisadas por algum software estatístico, face a resolução espacial adotada ser de 150 x 150 metros, gerando um total de 8640 células (observações), particionou-se a área de estudos em doze sub-áreas , tratadas e analisadas de forma individual.

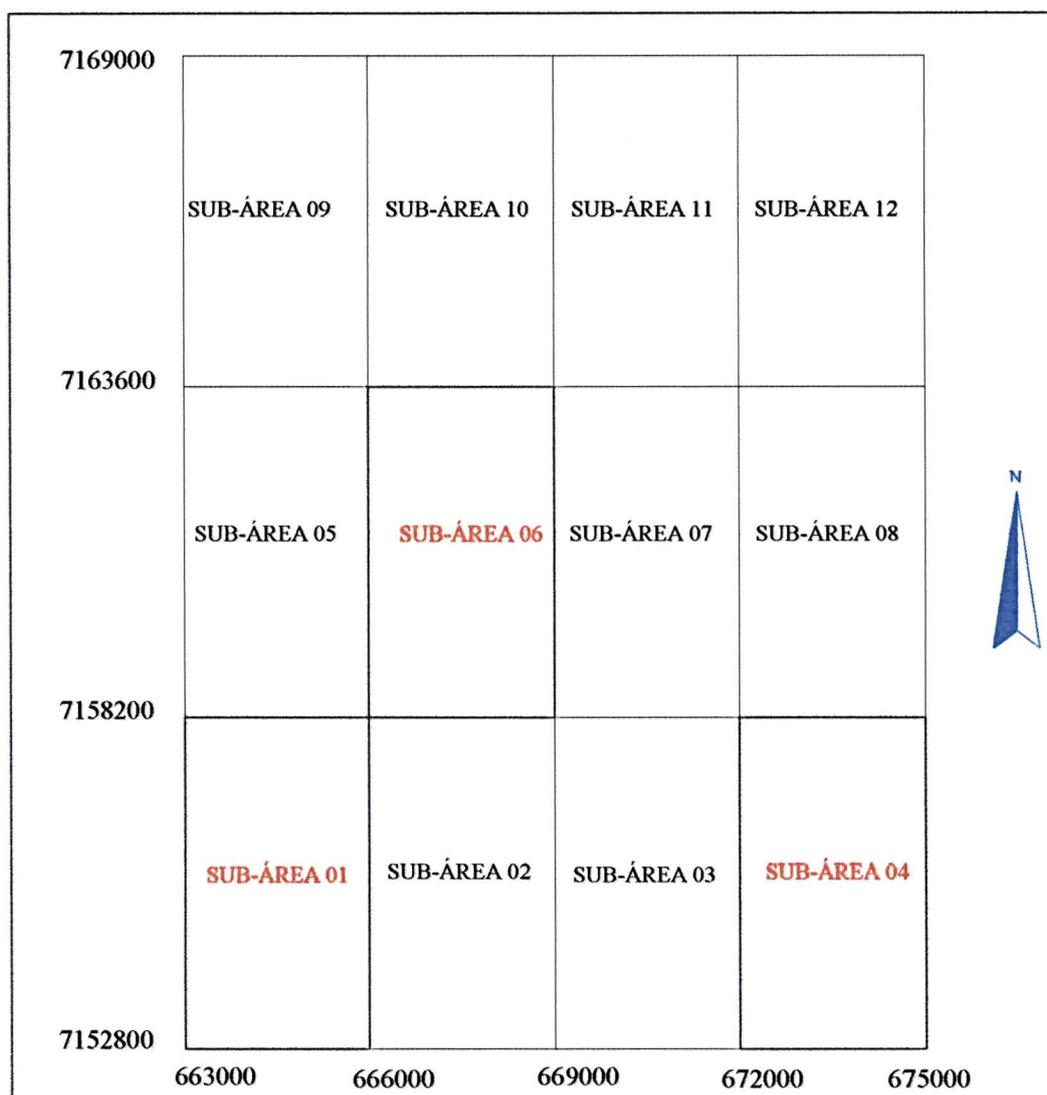


FIGURA 6 – Visualização das sub-áreas

### 3.3.4. Tratamento dos dados das imagens do satélite TM/Landsat-5

#### 3.3.4.1 Pré-Processamento das imagens

As técnicas de pré-processamento servem para corrigir erros sistemáticos e de calibração radiométrica da imagem, já que no sistema de imageamento orbital multiespectral é comum os dados originais das imagens mostrarem algumas formas de degradação, face aos desajustes de calibração dos detetores, problemas de transmissão, recepção e interferências por efeitos atmosféricos. As principais técnicas são: correção radiométrica e geométrica. Essas técnicas buscam restaurar a imagem original, sendo concernentes com a correção destas distorções e dos ruídos induzidos no processo de imageamento, constituindo um dos mais importantes estágios no processamento (SIMPLÍCIO, 1995).

Neste trabalho, utilizou-se a correção geométrica também denominada de retificação, que baseia-se no princípio de que para uma imagem digital ter propriedades cartográficas, torna-se necessário que a mesma seja corrigida segundo um sistema de coordenadas cujo princípio baseia-se em pontos de controle no terreno, onde define-se um sistema de coordenadas cartesianas, com a localização dos pontos  $(x, j)$  no mapa topográfico, e um outro sistema para a localização dos pixels na imagem a ser corrigida. Nesse processo, utilizam-se polinômios e tomam-se como coeficientes destas funções pares de pontos de controle que são feições bem definidas, geralmente de grande contraste espectral em relação aos seus arredores na imagem e facilmente reconhecíveis, podendo ser precisamente localizadas tanto no mapa topográfico quanto na imagem, como por exemplo: intersecção de estradas, extremidades de construções e pontes, confluência de rios.

Após a aquisição dos pontos de controle, são fornecidos o grau do polinômio, a localização geográfica, o tamanho e a resolução da grade. Definido os parâmetros do registro,

segue-se a fase de reamostragem das grades, na qual o algoritmo calcula o valor do nível de cinza que deverá ter o pixel sobre a nova grade da imagem produto. A reamostragem pode ser feita por interpoladores: vizinho mais próximo, bilinear ou bicúbica.

A precisão desta operação é determinada por processo estatístico denominado de erro da raiz quadrada média (RMS), que é a distância entre as coordenadas reais e as coordenadas transformadas para um mesmo ponto, calculado pela fórmula:

$$RMS = \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2}$$

Onde:

$X_i$  e  $Y_i$  = coordenadas verdadeiras

$X_r$  e  $Y_r$  = coordenadas a ser transformadas

JENSEN (1986) utilizando imagens TM/Landsat na Carolina do Sul (EUA), iniciou o trabalho de georreferenciamento das imagens com 20 pontos e ao final desta operação considerou 13 pontos, para que o RMS ficasse dentro de um valor aceitável de 0,5 pixel.

O tipo de registro empregado foi mapa-imagem, onde foram eleitos 20 pontos. O algoritmo para o registro da imagem foi o do vizinho mais próximo cujo objetivo é manter o mais semelhante possível o valor do pixel original, conforme (CRÓSTA, 1992).

### **3.3.5 Rede de drenagem**

#### **3.3.5.1 Extração da rede de drenagem superficial por meio de fotointerpretação**

Por meio de exame estereoscópico em fotografias aéreas pancromáticas na escala aproximada de 1:25.420, foram traçados sobre papel poliéster todos os canais bem definidos, de cursos d'água perenes ou temporários, conforme orientação de LUEDER (1959) e RAY (1963). Os conjuntos de templetos contendo o traçado da rede de drenagem superficial, foram montados utilizando-se a área útil das fotografias, cujo objetivo é diminuir as distorções de escala que normalmente ocorrem nas bordas (VALÉRIO FILHO, 1984).

Todos os templetos foram sobrepostos a um mapa de drenagem provisório plotado na mesma escala média das fotografias, oriundo da base digital fornecido pela Coordenadoria Metropolitana de Curitiba. Neste caso o objetivo foi a comparação da rede de drenagem extraída das fotografias e a rede da base digital. Observou-se a necessidade de pequenas alterações como a inclusão de canais de 1ª ordem, que foram efetuadas no arquivo digital, tendo-se como apoio a malha de drenagem decalcada sobre as fotografias aéreas.

#### **3.3.5.2 Classificação da rede de drenagem por ordem dos canais**

Os sistemas fluviais estudados por diversos pesquisadores, principalmente pedólogos, geólogos e geomorfólogos, revelam que as redes de drenagem refletem certas características dos materiais superficiais sobre os quais se desenvolvem (SILVA, 1988).

### 3.3.5.3 Separação dos canais por planos de informação (“layers”)

A separação dos canais por ordem conforme FIGURA 7, foi efetuada de forma digital, utilizando-se o software Autocad r.14. Com o arquivo de drenagem na tela do computador, efetuou-se a individualização dos canais por ordem, face o arquivo original estar constituído em um único plano de informação (“layer”). A medida que os canais eram separados em 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, ... n-ésima ordens, eram criados “layers” para cada uma destas ordens. A maior ordem observada foi a de número quatro para a sub-área 06.

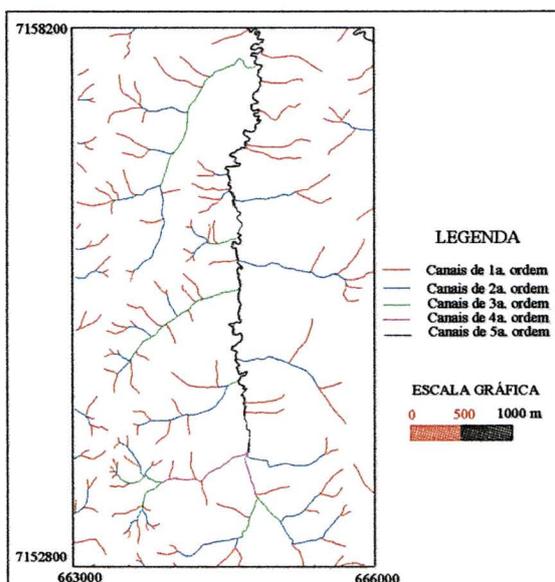


FIGURA 7 – Malha de drenagem da (sub-área 01) separada por “layer”.

### 3.3.6 Construção e utilização da grade regular como unidade de observação

Seguindo a metodologia desenvolvida por ROCHA (1993) que elaborou grade com dimensões de 300 x 300 metros correspondente a 0,09 km<sup>2</sup>, equivalente a área mínima mapeável do terreno (AMM), utilizada em levantamentos de solos a nível de semi detalhe pela EMBRAPA, cujo objetivo foi o de separar grupos de indivíduos (células)

semelhantes, utilizando análise de agrupamentos. Esta metodologia foi utilizada por NANNI (1995), RIBEIRO (1997), SOUZA (1997), sendo que o último trabalhou com resolução de 90 x 90 metros para solos de várzea. Neste trabalho segue-se a mesma metodologia, com modificações na resolução com dimensões para 150 x 150 metros, FIGURA 8. Dentro de cada célula (observação), foram obtidas informações sobre a drenagem, modelo numérico do terreno (altitude média em metros) e níveis de cinza das imagens do satélite TM/Landsat-5 (bandas 3, 4 e 5), cujo objetivo é alimentar uma matriz de dados, para análise de agrupamentos.

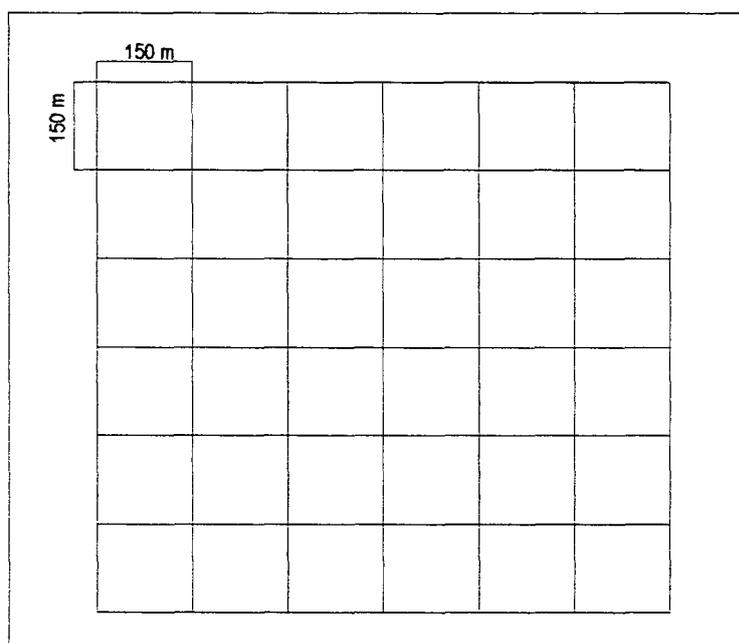


FIGURA 8 – Grade preconizada por ROCHA (1993) modificada

### 3.3.6.1 Sobreposição da grade para obtenção dos comprimentos dos canais de drenagem

Para a obtenção dos comprimentos dos canais de drenagem nas diferentes ordens, utilizou-se o software Arcview 3.0, cujo arquivo da rede de drenagem constava os

diferentes planos de informação “layers”, representando cada uma das ordens. Fazendo-se a sobreposição do “layer” grade sobre o arquivo de drenagem FIGURA 9, efetuou-se a segmentação da malha de drenagem para cada célula, resultando num banco de dados, como o exemplo da TABELA 2 página 52. Os valores foram transferidos para uma matriz de dados.

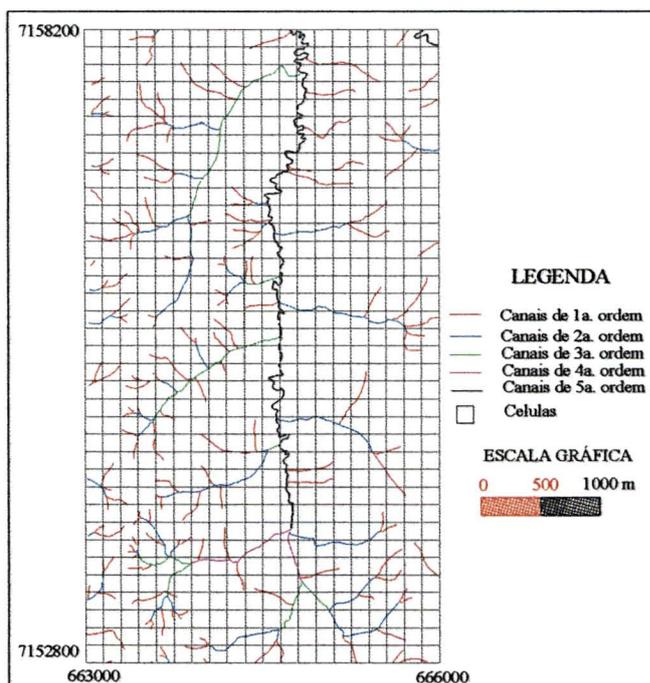
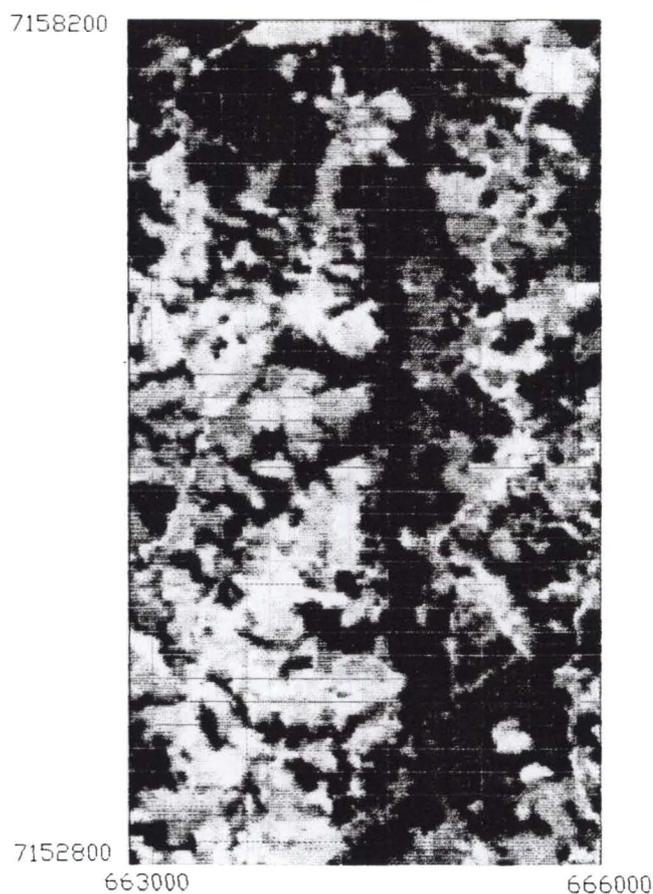


FIGURA 9 – Rede de drenagem com grade sobreposta

### 3.3.6.2. Sobreposição da grade para obtenção dos níveis de cinza do TM/Landsat-5 (bandas 3, 4 e 5)

As imagens do TM/Landsat-5 possuem resolução espacial de 30 x 30 metros em seu formato original. Para que estas ficassem dentro do padrão de 150 x 150 metros, aplicou-se esta resolução sobre as mesmas, utilizando-se para isto o software IDRISI 2.0. Sequencialmente, converteu-se os arquivos para o formato ASCII, onde extraiu-se os valores

dos níveis de cinza FIGURA 10, que foram importados para a matriz de dados, de acordo com o exemplo da TABELA 2 página 52.



**FIGURA 10 – Visualização da grade sobre a imagem**

### **3.3.6.3 Sobreposição da grade para obtenção dos valores de altimetria do modelo numérico do terreno**

Gerado o modelo numérico do terreno no software Arcview 3.0, exportou-se o arquivo em formato raster para o software IDRISI 2.0, onde o mesmo foi editado para que ficasse com a resolução de 150 x 150 metros, compatível com o tamanho da célula. Na seqüência, converteu-se a imagem do MNT em arquivo ASCII, para a obtenção dos valores

de altimetria (metros) de cada célula FIGURA 11. Estes valores foram exportados para uma matriz de dados, conforme exemplificado na TABELA 2 página 52.

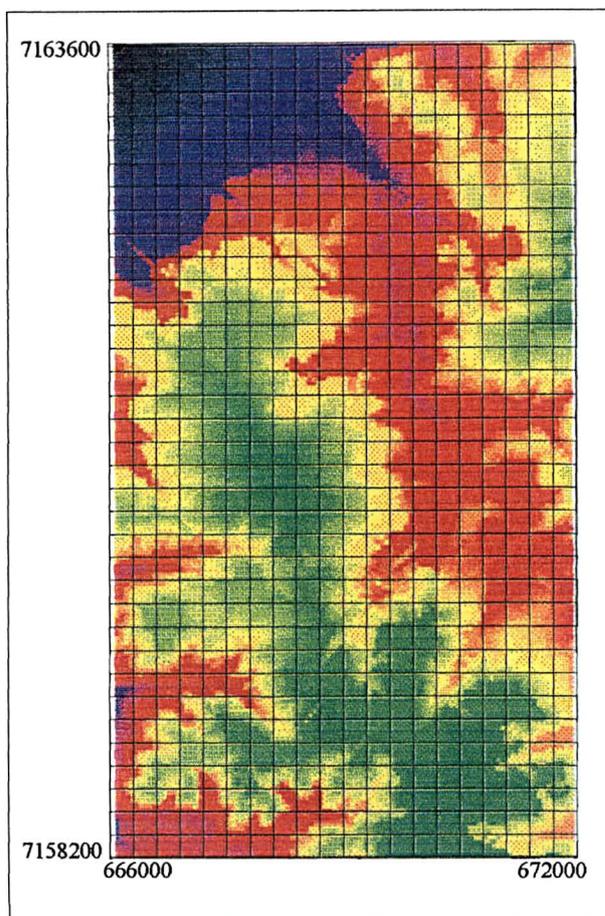


FIGURA 11 – Visualização da grade sobre o MDT (sub-área 06)

### 3.3.7. Construção da matriz de dados

O software utilizado para análise de agrupamentos foi o STATGRAPHICS 2.0, onde as variáveis eleitas foram: níveis de cinza das imagens TM/Landsat-5 (bandas 3, 4 e 5), comprimento dos canais de drenagem de 1ª a 4ª ordens, valor da altimetria(metros) oriundo do modelo numérico do terreno. As matrizes de dados foram confeccionadas por unidade de mapeamento ou associações de solos constantes do levantamento efetuado pela EMBRAPA (1984), a nível de reconhecimento escala 1:600.000.

TABELA 2 – Matriz parcial dos dados da unidade Ca11 (sub-área 01) utilizados na análise de agrupamentos

<i>Células</i>	<i>Banda 3</i>	<i>Banda4</i>	<i>Banda5</i>	<i>MNT (metros)</i>	<i>Canal 1'</i>	<i>Canal 2'</i>	<i>Canal 3'</i>	<i>Canal 4'</i>
1	12	41	30	916	0	0	0	0
2	14	38	36	924	0	0	0	0
3	13	36	38	920	60.48	0	0	0
4	13	51	36	911	256	70	0	0
5	15	51	43	908	0	0	0	0
6	24	42	58	917	0	0	0	0

### 3.3.8 – Análise estatística multivariada

#### 3.3.8.1 Análise de agrupamentos

Agrupar é uma técnica mais primitiva, no sentido de que nenhuma suposição é feita quanto ao número de grupos ou estrutura de agrupamento. O agrupamento é feito por similaridade ou distância. Pode-se agrupar variáveis, usando-se a matriz de correlação, ou agrupar indivíduos, tendo-se como medida as distâncias. Quando itens (células, casos, objetos, indivíduos, etc.) são agrupados, a proximidade é usualmente indicada por uma espécie de distância, sendo a mais comum a Euclidiana.

Os métodos de análise de agrupamentos obedecem uma determinada seqüência, sendo as principais:

→ construção da matriz de dados, cujas colunas são reservadas para os elementos a serem analisados, ficando as linhas com os atributos que descrevem os elementos;

- opcionalmente, padronizar a matriz de dados;
- calcular os valores de um coeficiente de semelhança, para medir as similaridades entre todos os pares de elementos;
- usar um método de agrupamento para processar os valores do coeficiente de semelhança, o que resulta num diagrama chamado de árvores ou dendrograma ou fenograma, que mostra a hierarquia de similaridade entre todos os pares de elementos. Os grupos (“clusters”) podem então ser definidos através desse diagrama.

Tendo-se elaborado a matriz de dados, onde os elementos (colunas) são representados pelas unidades fisiográficas e os atributos (linhas) são característicos dos níveis de cinza das imagens TM/Landsat-5 (bandas 3, 4 e 5), rede de drenagem e relevo (MNT). Pode-se ou não padronizar a matriz de dados. Quando se padroniza, ocorrem duas transformações sobre os mesmos. Primeira: remove-se os efeitos arbitrários que podem afetar a análise, provocados pelas unidades escolhidas para medir os atributos. Segunda, a padronização faz com que os atributos contribuam de forma mais equitativa com as similaridades entre os elementos. A desvantagem quando se efetua a padronização dos dados, é a redução das variáveis ao mesmo grau de agrupabilidade.

A padronização é feita na matriz de dados original. Há maneiras de se padronizar os dados, porém a mais usada na área estatística e que pouco afeta os indivíduos, está expresso na fórmula:  $Z_{ij} = X_{ij} - X_i / S_i$ , isto é, para a obtenção do valor de  $Z_{ij}$  padronizado para o i-ésimo atributo e j-ésimo elemento, toma-se o valor correspondente  $X_{ij}$  na matriz de dados original e subtrai-se dele o valor médio ( $X_i$ ) de valores do i-ésimo atributo e divide-se o resultado pelo desvio padrão ( $S_i$ ) dos valores do i-ésimo atributo.

A próxima etapa é a determinação do coeficiente de semelhança, o qual mede a similaridade entre cada par de indivíduos. O coeficiente utilizado neste trabalho foi a distância Euclidiana média, face ter-se mostrado mais adequado aos objetivos deste trabalho,

tendo em vista que também foi utilizado por vários autores (VETORAZZI, 1988; ROCHA, 1993; NANNI, 1995; RIBEIRO, 1997; SOUZA, 1997).

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

Onde:

$d_{jk}$  = Distância Euclidiana Média entre as células (observações)

$n$  = número de elementos (variáveis)

$X_{ij}$  = valor do elemento  $i$  para a célula  $j$  (observação)

$X_{ik}$  = Valor do elemento  $i$  para cada célula  $k$

Após a obtenção do coeficiente de semelhança, o próximo passo é a escolha do método de agrupamento. Um dos métodos é o agrupamento hierárquico, que tem como princípio: no início existe tantos grupos quanto objetos (itens). Diversos objetos semelhantes são agrupados primeiro; estes grupos iniciais são fundidos de acordo com suas similaridades, eventualmente, relaxando-se no critério de similaridade, os subgrupos vão se unindo a outros sub grupos até formar um grupo único. Segundo JONHSON & WICHNER (1990), o agrupamento hierárquico utiliza métodos de ligação, que são: ligação simples (vizinho mais próximo); ligação completa (vizinho mais distante) e ligação média.

O método de ligação utilizado foi o da ligação média, onde a distância entre dois grupos é a distância média entre pares de observações, sendo um em cada grupo. Este método tende a formar grupos com a mesma variância.

O produto da execução do agrupamento é a geração de uma árvore denominada de dendrograma ou fenograma, que possibilita a visualização e interpretação dos grupos formados de acordo com a similaridade entre os pares de observações.

A interpretação dos dendrogramas (corte), está na dependência de uma série 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 dendrograma deve ser cortado em um ponto que atenda aos objetivos do trabalho. Normalmente isto coincide com a formação de poucos grupos bem definidos. Na sequência FIGURA 12 mostrando o exemplo de um dendrograma.

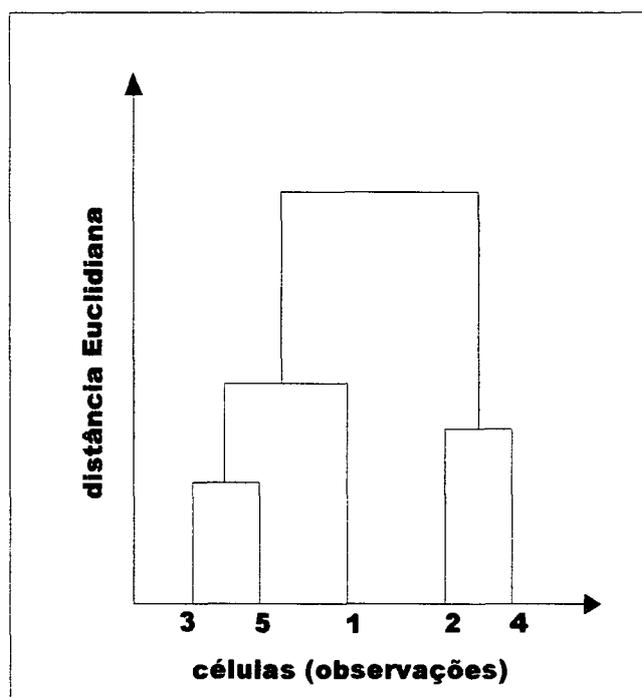


FIGURA 12 – Exemplo ilustrativo de um dendrograma

DU TOIT *et al.* (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 hierárquicos. Segundo esses autores, deve-se ter em mente, 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.

### 3.3.8.2 Análise de componentes principais

Com o objetivo de verificar o comportamento das variáveis na análise de agrupamentos, efetuou-se a análise por componentes principais, classificando-as segundo a importância no processo de agrupamento.

A análise de componentes principais é associada à idéia de redução da massa de dados: Procura-se redistribuir a variação observada na variáveis (eixos ortogonais) de forma a obter um conjunto ortogonal de eixos, não correlacionados. A variação considerada em cada variável é a variação total obtida a partir da amostra: Variância, no caso da matriz de variância/covariância e coeficiente unitário no caso da matriz de correlação. A análise de componentes principais é, portanto, uma técnica para tornar inteligível certa massa de dados, sem maior preocupação com a estrutura de relações entre as variáveis (CLEMENTE, 1990).

O desenvolvimento das componentes principais não necessita da suposição da normalidade inicial de que as variáveis originais tenham determinada distribuição. As mesmas são baseadas nos autovetores derivados da matriz de covariância das variáveis (dados não padronizados) ou correlação (padronizados).

Considerando-se as variáveis  $X_1, X_2, \dots, X_n$  normalmente distribuídas, com vetor de médias  $\mu$  e matriz de covariância  $\Sigma$ . Desta população, pode-se extrair  $n$  vetores de observações independentes (amostras), que compõem a matriz de dados  $n \times p$ . Estas observações podem ser escritas sob forma de matriz .

Geometricamente as combinações lineares representa a seleção de um novo sistema de coordenadas obtido por rotação do sistema ortogonal, com  $X_1, X_2, \dots, X_p$  como eixos. Os novos eixos  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$  representa as direções com variabilidade máxima e permite interpretação mais simples da estrutura da matriz de covariância (JOHNSON & WICHNER, 1990).

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= C'_1 X = C_{11} X_1 + C_{21} X_2 + \dots C_{p1} X_p \\
 Y_2 &= C'_2 X = C_{12} X_1 + C_{22} X_2 + \dots C_{p2} X_p \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad \vdots \\
 Y_p &= C'_p X = C_{1p} X_1 + C_{2p} X_2 + \dots C_{pp} X_p
 \end{aligned}$$

Onde:

$Y$  = vetor de componentes principais;

$C'$  = vetor transposto dos autovetores;

$X$  = vetor de variáveis aleatórias.

### 3.3.9 Elaboração do pictograma

Feitas as interpretações dos dendrogramas, partiu-se para a montagem dos pictogramas, produzindo uma imagem raster, elaborada a partir dos conjuntos de células que pertencem à um mesmo grupo, gerando conjuntos de células de mesma cor originárias dos cortes das árvores dos dendrogramas, mostrando a distribuição espacial das unidades fisiográficas das três sub-áreas amostrais (01, 04 e 06).

### 3.3.10. Integração de dados para interpretação das Imagens digitais

Com o objetivo de separar-se as unidade fisiográficas, segundo os critérios preconizados por BURING (1960) e desenvolvido por GOOSEN (1968), denominado análise fisiográfica, adaptado para análise de imagens e também segundo as especificações, adaptadas de VALÉRIO *et al.* (1981) e utilizada por (ROCHA, 1993; NANNI, 1995; SHMIDLIN,

1998), relacionou-se os processos dinâmicos da paisagem com os solos ali existentes. Para obter-se maior realce da dissecação do relevo, acrescentou-se a rede de drenagem nas imagens de cada sub área, com o objetivo de facilitar o processo interpretativo.

Utilizou-se as bandas 3, 4 e 5 do TM/Landsat-5 na composição colorida 5, 4 e 3, efetuou-se as transformações RGB/IHS e IHS/RGB com integração do modelo digital do terreno para cada uma das três sub áreas (01, 04 e 06):

**→ Transformação no sistema RGB/IHS:**

R: 5 → I

G: 4 → H

B: 3 → S

**→ Transformação no sistema IHS/RGB:**

I: 5 → R

H: 4 → MT

S: 3 → B

Tendo-se as imagens IHS/RGB com drenagem sobreposta, acrescentou-se os guias (pictogramas), que serviram na orientação para a delimitação dos polígonos, efetuado na tela do monitor do computador, originando as unidades fisiográficas. A seguir plotou-se os mapas de cada sub-área com drenagem sobreposta, utilizados para os trabalhos de campo.

### **3.3.11. Trabalhos de campo**

Com o mapa base contendo os polígonos traçados por interpretação da análise fisiográfica, partiu-se para a checagem de campo, tendo como objetivo um contato direto

com o terreno, no sentido de identificar as unidades de solo que se encontram na área da pesquisa e concomitantemente apoiar na interpretação das imagens. Foram feitas observações através de tradagens e descrição de perfis em cortes de estradas, nas diferentes unidades de solos, dentro das três sub áreas.

As descrições e observações foram realizadas segundo o Manual de Métodos de Descrição e Coleta de Solo no Campo (LEMOS, 1984).

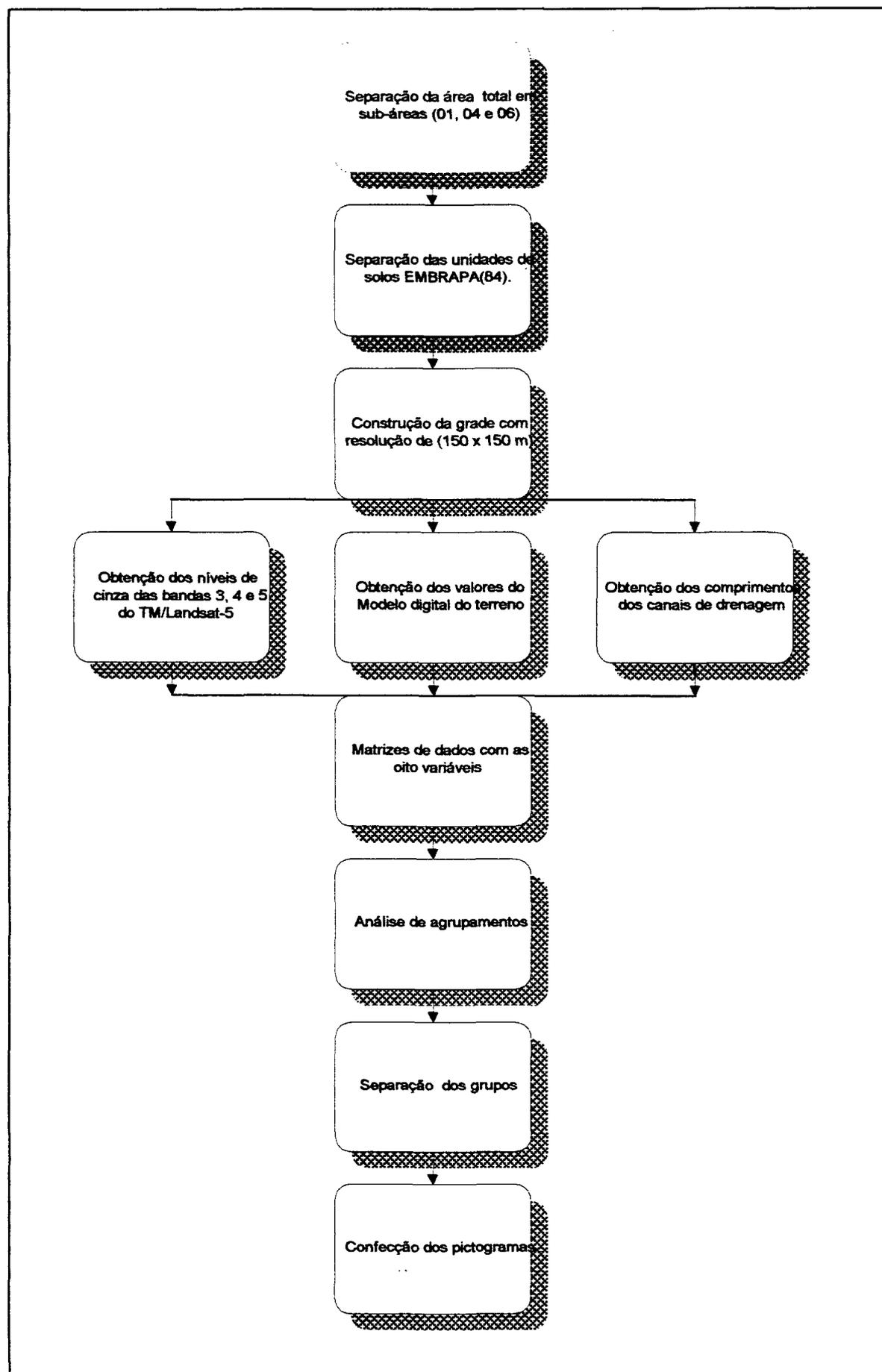


FIGURA 13 – Fluxograma dos procedimentos para a confecção dos pictogramas

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo, serão abordados os resultados obtidos numa seqüência correlata com os procedimentos descritos no item MATERIAL E MÉTODOS.

### **4.1. Geoprocessamento na integração de dados**

#### **4.1.1. Matrizes de dados parciais**

Utilizou-se na presente pesquisa, três sub-áreas (01,04 e 06) de um total de doze. Pelo levantamento de solos a nível de reconhecimento da EMBRAPA (1984), as três sub-áreas de acordo com a Figura 5a estão assim constituídas, não considerando-se os solos de várzea: sub-área 01 (Ca11 e PVa20), sub-área 04 (LVa12 e PVa20) e sub-área 06 (Ca11 e PVa20).

Cada sub-área possui dimensões de 3000 x 5400m, 720 células de 150 x 150 metros, totalizando 16,2 km<sup>2</sup>. Referente a sub-área 01, a unidade de mapeamento Ca11 ocupa 237 células 5,3 km<sup>2</sup>, a unidade PVa20 384 células 8,64 km<sup>2</sup> e os solos de várzea aqui não considerados, ocupam 2,26 km<sup>2</sup>; portanto, verifica-se que a unidade a PVa20 ocupa maior extensão. A sub-área 04 tem como unidade dominante a PVa20 com 580 células (13,05 km<sup>2</sup>), a unidade LVa12 com 140 células (3,15 km<sup>2</sup>). Na sub-área 06, a unidade Ca11 é a maior com 485 células (10,91 km<sup>2</sup>), a unidade PVa20 com 139 células (3,13 km<sup>2</sup>) e 96 células (2,16 km<sup>2</sup>) com solos de várzea. Na seqüência, as TABELAS 3 a 8 mostram as matrizes de dados parciais.

TABELA 3 – Matriz de dados parcial - unidade de mapeamento Ca11 (sub-área 01).

VARIÁVEIS								
Células	Banda3	Banda4	Banda 5	MDT (metros)	Canal 1ª	Canal 2ª	Canal 3ª	Canal 4ª
34	14	43	37	878	124.72	0	0	0
53	14	50	42	875	0	0	273.8	0
54	14	46	44	881	0	0	29.66	0
73	15	48	43	875	0	0	247.04	0
74	14	41	40	881	0	0	150.8	0
75	13	39	31	890	0	156.99	0	0
94	17	47	49	886	0	0	0	0
95	17	54	54	896	0	0	0	0
96	18	57	56	905	0	0	0	0
114	15	46	40	886	108.91	0	0	0
115	20	61	59	892	176.57	0	0	0
116	19	58	58	905	28.74	0	0	0
134	19	47	50	887	99.18	0	0	0

TABELA 4 – Matriz de dados parcial - associação PVa20 (sub-área 01).

VARIÁVEIS								
Células	Banda3	Banda4	Banda 5	MDT (metros)	Canal 1ª	Canal 2ª	Canal 3ª	Canal 4ª
386	19	51	53	896	200.08	4.46	0	0
387	21	45	55	892	225.23	48.51	0	0
388	16	48	51	890	0	162.8	0	0
389	20	46	56	900	17.55	0	0	0
399	23	50	63	918	0	0	0	0
400	20	56	59	916	0	0	0	0
401	14	41	34	904	55.95	0	49.85	0
402	13	45	33	916	0	0	0	0
403	22	45	57	916	0	0	99.9	0
404	17	59	46	909	150.96	0	0	0
405	16	59	44	899	162.9	0	0	0
406	19	51	53	895	253.57	0	0	0
407	15	50	43	897	165.2	0	0	0

TABELA 5 – Matriz de dados parcial - associação LVa12 (sub-área 04).

VARIÁVEIS								
Células	Banda3	Banda4	Banda5	MDT (metros)	Canal 1ª	Canal 2ª	Canal 3ª	Canal 4ª
1	20	45	62	917	0	0	0	0
2	26	69	86	918	0	0	0	0
3	31	53	96	910	0	0	0	0
4	16	50	49	898	0	85.98	152.75	0
5	21	50	60	905	145.98	49.82	0	0
6	22	52	65	915	0	0	0	0
7	22	81	75	921	0	0	0	0
21	21	46	60	916	0	0	0	0
22	26	66	82	918	48.32	0	0	0
23	30	52	89	908	257.16	75.04	75.4	0
24	14	48	44	902	0	122.46	111.17	0
25	14	43	38	907	23.23	0	0	0

TABELA 6 – Matriz de dados parcial - associação PVa20 (sub-área 04).

VARIÁVEIS								
Células	Banda3	Banda4	Banda 5	MDT (metros)	Canal 1ª	Canal 2ª	Canal 3ª	Canal 4ª
48	24	65	72	924	18.87	0	0	0
49	21	48	56	919	148.44	0	0	0
50	18	49	47	923	149.85	0	0	0
51	20	53	53	926	122.7	0	0	0
52	18	78	71	928	0	0	0	0
53	23	57	69	921	0	0	0	0
54	21	59	72	916	67.85	0	0	0
55	25	47	65	903	31.25	168.33	0	0
56	24	46	62	900	0	0	0	0
57	22	51	58	893	0	0	0	0
58	18	41	38	887	0	85.77	45.69	0
59	15	47	43	884	0	41.08	153.23	148.48
60	21	46	57	882	0	0	0	11.02

TABELA 7 – Matriz de dados parcial – unidade de mapeamento Ca11 (sub-área 06).

VARIÁVEIS								
Células	Banda3	Banda4	Banda 5	MDT (metros)	Canal 1ª	Canal 2ª	Canal 3ª	Canal 4ª
154	26	46	60	875	131.24	112.23	0	167.3
155	31	44	67	879	0	158.22	0	0
156	35	42	70	889	0	20.21	0	0
157	43	43	85	895	0	0	0	0
158	49	46	98	896	0	0	0	0
159	43	40	70	901	0	0	0	0
160	54	50	88	904	0	0	0	0
163	27	18	15	870	0	0	0	0
164	18	45	47	874	0	0	0	0
165	20	45	50	883	175.41	0	0	0
166	32	43	70	889	0	0	0	0
167	28	47	57	888	185.57	0	0	0

TABELA 8 - Matriz de dados parcial – Associação PVa20 (sub-área 06).

VARIÁVEIS								
Células	Banda3	Banda4	Banda 5	MDT (metros)	Canal 1ª	Canal 2ª	Canal 3ª	Canal 4ª
667	13	57	37	901	0	0	0	0
668	14	58	41	888	19.55	167.61	50.78	0
669	17	46	43	885	0	132.5	152.69	0
670	13	47	34	892	86.66	0	154.41	0
671	21	43	52	892	43.98	235.3	59.29	0
672	20	44	53	898	242.01	41.47	0	0
673	19	49	46	908	153.52	0	0	0
674	14	48	41	918	0	0	0	0
675	20	69	52	920	0	0	0	0
686	14	51	41	888	0	0	0	0
687	12	47	35	885	0	0	48.52	0
688	14	57	43	882	0	0	159.53	0

## 4.1.2. Análise da rede de drenagem superficial

### 4.1.2.1. Parâmetros da composição da rede de drenagem

A utilização da rede de drenagem como parâmetro para caracterizar diferentes unidade de solos, vem sendo utilizada desde o fim da década de 60 e é reconhecida como uma medida útil para diferenciação de solos, por FRANÇA (1968), FADEL (1972), SOUZA (1975), VALÉRIO FILHO (1984), SILVA (1988), VETORAZZI (1988), ROCHA (1993) e PFEIFER (1995), dentre outros.

Para a análise da drenagem, considerou-se os aspectos de natureza quantitativa, associadas às características da paisagem e dos solos ali presentes. Tal consideração oferece um ponto de partida para o estabelecimento da individualidade das unidades fisiográficas, corroborado por ROCHA (1993).

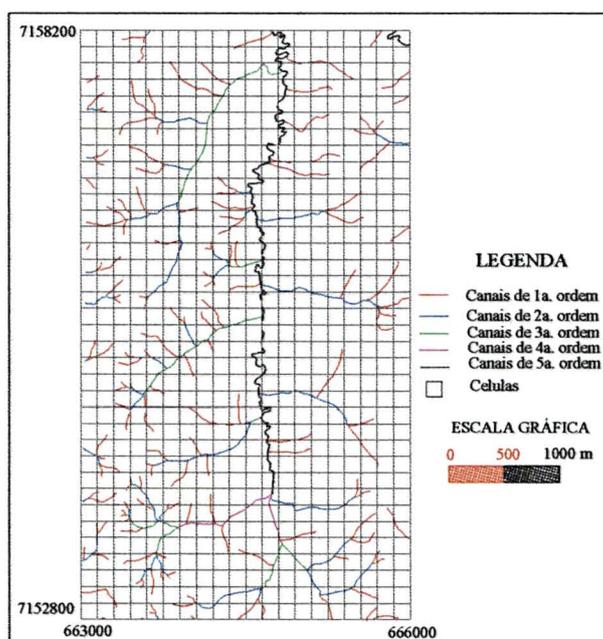


FIGURA 14 – Rede de drenagem (sub-área 01).

O padrão de drenagem para as três sub-áreas é do tipo dendrítico, conforme as FIGURAS 14, 15 e 16. Este modelo se forma na presença de rochas que oferecem resistência uniforme na horizontal, concordando com GARCIA (1982). O material geológico que constitui a área de estudo, são de rochas metamórficas - migmatitos (embrechitos e leptinitos) para as sub-áreas 01 e 04, além de aluviões na sub-área 04 e para a sub-área 06, migmatitos (embrechitos, epibolíticos), argilitos e arcósios da Formação Guabiro tuba, de acordo com a FIGURA 2 página 31.

O padrão de drenagem desenvolvido em um terreno é em parte, função da relação infiltração/deflúvio, que por sua vez, está ligado às propriedades do solo, de tal modo que uma drenagem superficial escassa é indicativa de alta infiltração e boa permeabilidade; o que ocorre em parte da sub-área 06 (metade superior); onde há parte da Formação Guabiro tuba, constatou-se a presença de associações de latossolo + cambissolo. Para as sub-áreas 01 e 04, ocorre os cambissolos e podzólicos, caracterizando uma densa rede de drenagem, principalmente onde predominam os podzólicos, influenciado na relação infiltração/deflúvio.

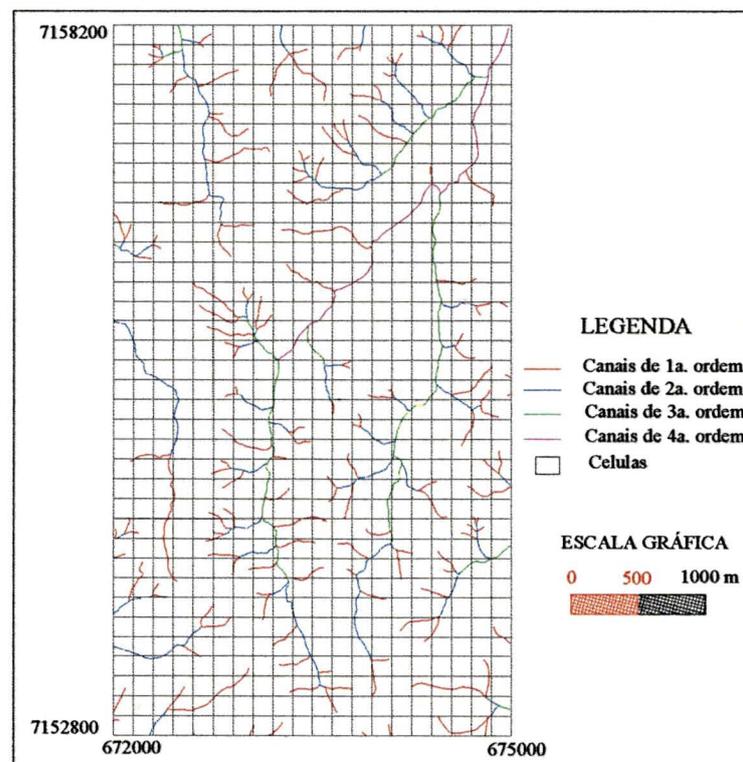


FIGURA 15 – Rede de drenagem ( sub-área 04).

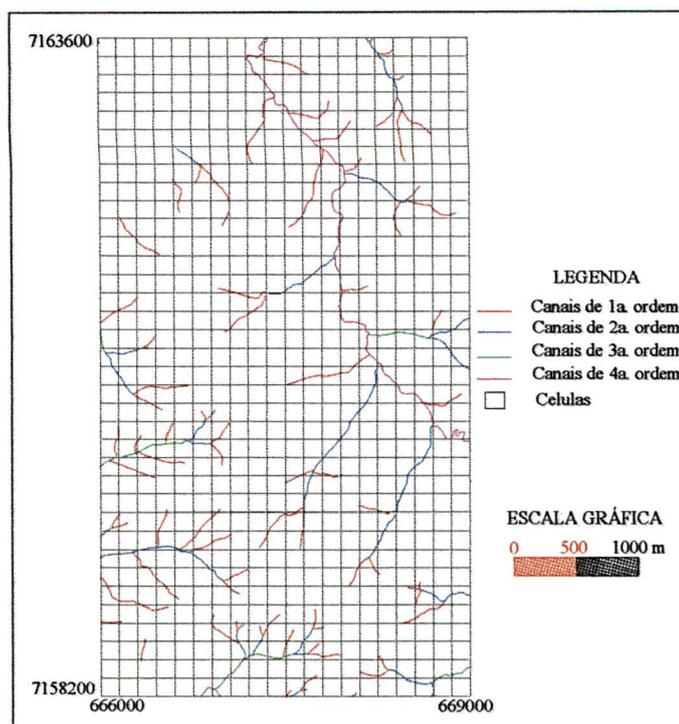


FIGURA 16 – Rede de drenagem ( sub-área 06).

Os resultados obtidos referentes a composição da rede de drenagem envolvendo número, comprimento total e comprimento médio dos segmentos dos canais nas diversas ordens de ramificação, podem ser vistos nas TABELAS 9 a 11 respectivamente; cujas unidades de mapeamento que se encontram na sub-área 04, foram eleitas, face terem sido padronizadas para o tamanho de  $5 \text{ km}^2$ , onde serão discutidas no próximo item.

Observando-se os valores médios de comprimento e total de segmentos dos canais nas diversas ordens de ramificação, percebe-se que eles refletem uma diferenciação no comportamento hidrológico dos solos. O maior valor de número e comprimento total de segmentos dos canais, podem ser contemplados para as duas unidades PVa1 e PVa2 (podzólicos), os menores para a associação LVa1 (Latossolo+cambissolo). A grande predominância tanto no número quanto no comprimento são para os canais de 1ª ordem para todas as unidade de mapeamento. Constatou-se que a menor ordem é a de 1ª e a maior a 4ª.

TABELA 9 – Número, comprimento total e comprimento médio dos canais - unidade PVal.

<i>Ordem dos canais</i>	<i>Número total de Rios</i>	<i>Comprimento total em (km)</i>	<i>Comprimento Médio em (km)</i>
1 <sup>a</sup>	67	10,25	0,15
2 <sup>a</sup>	31	7,06	0,23
3 <sup>a</sup>	05	6,7	1,34
4 <sup>a</sup>	01	3,2	3,2

TABELA 10 – Número, comprimento total e comprimento médio dos canais unidade PVa2.

<i>Ordem dos canais</i>	<i>Número total de Rios</i>	<i>Comprimento total em (km)</i>	<i>Comprimento Médio Em (km)</i>
1 <sup>a</sup>	95	10,94	0,12
2 <sup>a</sup>	13	2,3	0,18
3 <sup>a</sup>	01	0,12	0,12
4 <sup>a</sup>	0	0	0

TABELA 11 – Número, comprimento total e comprimento médio dos canais–associação LVal.

<i>Ordem dos canais</i>	<i>Número total de Rios</i>	<i>Comprimento total em (km)</i>	<i>Comprimento Médio em (Km)</i>
1 <sup>a</sup>	31	6,1	0,20
2 <sup>a</sup>	10	2,2	0,22
3 <sup>a</sup>	02	0,4	0,2
4 <sup>a</sup>	0	0	0

#### 4.1.2.2. Características quantitativas do padrão de drenagem

Para expressar quantitativamente o grau de desenvolvimento das redes de drenagem, foram calculados os índices: densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura, conforme TABELA 12.

TABELA 12. Características quantitativas do padrão de drenagem.

<b>Unidades de mapeamento e assoc.</b>	<b>Densidade de drenagem</b>	<b>Frequência de rios</b>	<b>Razão de textura</b>	<b>Classe de textura topográfica</b>
<b>PVa1</b>	<b>5,4</b>	<b>20,8</b>	<b>5,2</b>	<b>Média</b>
<b>PVa2</b>	<b>2,7</b>	<b>21,8</b>	<b>3,0</b>	<b>Média</b>
<b>LVa1</b>	<b>1,7</b>	<b>8,6</b>	<b>2,6</b>	<b>Média/grossa</b>

Optou-se por discutir os dados da drenagem, principalmente sobre alguns índices como: densidade de drenagem e frequência de rios e razão de textura, utilizados por autores como SOUZA (1975), ANGULO FILHO (1984), SILVA (1988) dentre outros, em amostras circulares. Os resultados das características da rede de drenagem são apresentados na TABELA 12. Os maiores valores obtidos de densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura foram respectivamente para os podzólicos PVa1, PVa2 e LVa1, mostrando-se sensíveis para diferenciar os solos, concordando com HORTON (1945), CARVALHO (1977), SILVA (1988), os quais afirmam que esses índices caracterizam a rede de drenagem, pois relacionam número e comprimento total de rios com a área e perímetro da amostra; no presente caso, foram as próprias unidades de solos com áreas padronizadas para 5 km<sup>2</sup>, concordando ainda com ESPÍNDOLA (1977), que afirma estar diretamente correlacionado o

grau de evolução do solo numa seqüência inversa aos valores encontrados para os referidos índices.

Os índices supra citados, refletem as características dos solos, mostrando que a relação infiltração/deflúvio é maior para a LVa1 e menor para a PVa1. Este fato é decorrente da gênese, estágio de desenvolvimento, estrutura e textura de seus perfis, que conferem aos solos diferentes graus de drenagem interna, ou seja, bem drenado para o LVa e mau drenado para as unidade PVa1 e PVa2, concordando com SILVA (1988).

Os resultados das características da rede de drenagem para os podzólicos de relevo mais heterogêneo representado pela unidade PVa2, expressam valores semelhantes aos valores obtidos por ROCHA (1993) e VETORAZZI (1988), principalmente com relação a densidade de drenagem; assim como para a LVa1 cujos valores estão compatíveis com um índice médio conseguido por ROCHA (1993).

As unidades de mapeamento Ca1, Ca2 e LVa não foram citadas, face ao tamanho de suas áreas estarem abaixo dos 5 km<sup>2</sup>, necessários para as comparações acima citadas.

#### 4.1.3. Análise do relevo

O relevo contribuiu com a variável MDT na forma de altitude em metros dentro de cada célula, conforme pode ser observado nas TABELAS 3 a 8, páginas 62 a 64.

A análise do relevo foi realizada em duas etapas, sendo a primeira a altitude em metros, cujos dados estatísticos estão apresentados nas TABELAS 13 a 15. Observando-se as mesmas, a altitude máxima encontra-se na sub-área 04 na unidade de mapeamento PVa3 fase relevo suave ondulado, estando inserida na parte mais alta do terreno a 970 metros. A unidade PVa2 ocupa a parte intermediária de relevo mais acidentado, com maior

variabilidade, ao passo que a PVa1 está inserida no terço inferior das elevações e nas partes baixas da paisagem, com drenagem mais encaixada. Com relação aos cambissolos, a unidade Ca1 fase relevo suave ondulado, está logo acima da unidade Ca2 fase relevo ondulado. Para as associações LVa e LVa2, a primeira é de latossolos + cambissolos fase relevo suave ondulado, ocorrendo em proporções aproximadamente iguais, concordando com EMBRAPA (1984) e a segunda fase relevo ondulado. As tabelas citadas, expressam os coeficientes de variação do modelo digital do terreno numa seqüência onde para as associações de latossolos+cambissolos observa-se a menor variabilidade; estando com valores intermediários os cambissolos e de maior variabilidade os podzólicos.

TABELA 13 – Estatística descritiva do modelo digital do terreno sub-área 01

Unidades de Mapeamento	Dados expressando a altitude em metros				
	Máximo	Mínimo	Médio	Des. Padrão	Coefficiente variação (%)
<i>Ca1</i>	890	875	885	5,6	0,63
<i>Ca2</i>	915	893	901	10,7	1,19
<i>PVa1</i>	910	879	889	10,9	1,23
<i>PVa2</i>	952	912	923	11,81	1,28

TABELA 14 – Estatística descritiva do modelo digital do terreno sub-área 04

Unidades de Mapeamento	Dados expressando a altitude em metros				
	Máximo	Mínimo	Médio	Des. Padrão	Coefficiente variação (%)
<i>LVa</i>	926	918	922	4,7	0,51
<i>Ca2</i>	917	896	915	10,5	1,15
<i>PVa1</i>	915	880	893	10,8	1,21
<i>PVa2</i>	960	917	942	12,6	1,34
<i>PVa3</i>	970	963	966	6,5	0,67

TABELA 15 – Estatística descritiva do modelo digital do terreno sub-área 06

Unidades de Mapeamento	Dados expressando a altitude em metros				
	Máximo	Mínimo	Médio	Des. Padrão	Coefficiente variação (%)
<i>LVa</i>	894	886	890	5,4	0,61
<i>LVa1</i>	917	896	911	10,2	1,12
<i>Ca2</i>	919	894	913	10,7	1,17
<i>PVa1</i>	887	866	881	11,3	1,18
<i>PVa2</i>	919	889	898	11,8	1,31
<i>PVa3</i>	925	921	923	3,2	0,35

A segunda etapa na forma de imagem do modelo digital do terreno, obtido de curvas equidistantes de 5 em 5 metros, foi realizada pela interpretação visual de imagens TM, canais 3, 4 e 5, com a presença da rede de drenagem e transformação IHS/RGB diretamente no monitor do computador pelo software IDRISI 2.0. Utilizando-se o relevo, a análise tornou-se mais fácil e objetiva já que há interferência da cobertura vegetal principalmente nos canais 3 e 5, que apresentam baixa reflectância, concordando com ROCHA (1993). Esta análise foi considerada na fase de interpretação de imagens como uma pré-análise no sentido de se poder identificar os compartimentos da paisagem e posteriormente empregá-los na interpretação final, estando de acordo com o preconizado por SIEGAL e ABRAMS (1976), WONG *et ali* (1977) e utilizado por ROCHA (1995), SCHIMIDLIN (1998).

O modelado do terreno das três sub-áreas pode ser observado nas FIGURAS 17, 18 e 19.

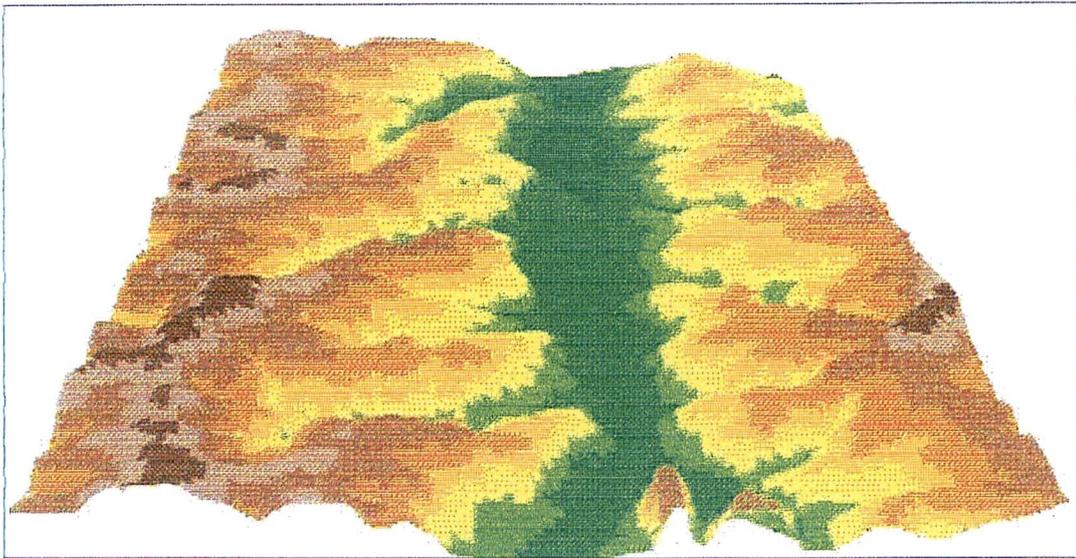


FIGURA17 – Modelo digital do terreno (sub-área 01).

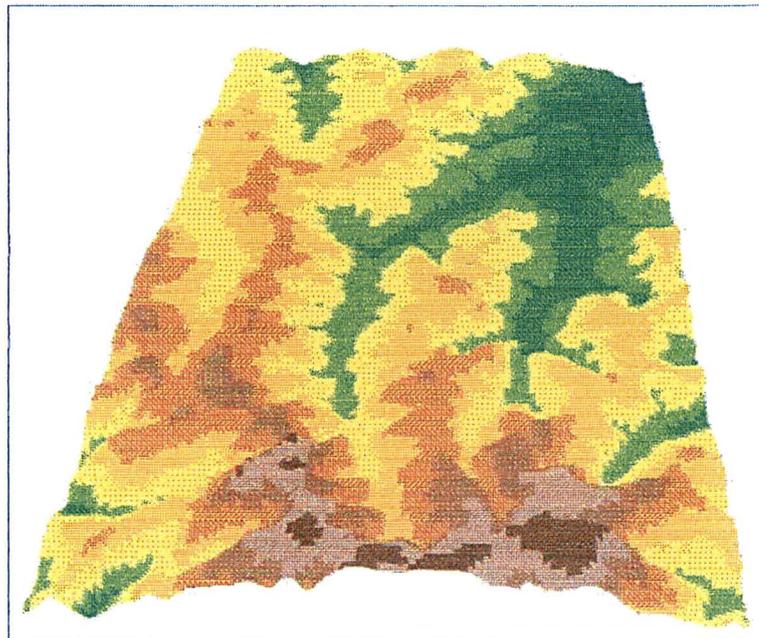


FIGURA 18 – Modelo digital do terreno (sub-área 04).

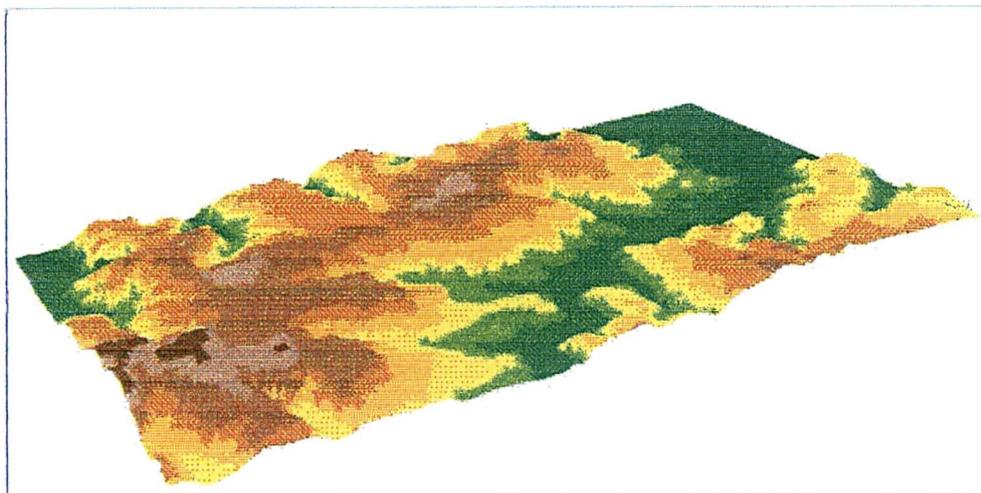


FIGURA 19 - Modelo digital do terreno (sub-área 06).

Estas variações nas formas do relevo, conduz em espera de mudanças nos tipos de solos, pois esse elemento constitui um dos seus fatores de formação, estando o relevo diretamente correlacionado com o processo infiltração/deflúvio, que está intimamente ligado a rede de drenagem, muito importantes nos processos de formação dos solos.

O relevo por comandar a circulação de água nos solos, possui sua evolução ligada à das formações superficiais. A condição do relevo mais suave propicia normalmente, a existência de solos mais evoluídos (maduros) como da associação LVa e LVa1, ao passo que relevo mais acidentados suportam solos mais jovens como as unidades de mapeamento Ca1 e Ca2 e no extremo o podzólico PVa2 de relevo forte ondulado.

As configurações de fase relevo ondulado e fortemente ondulado, principalmente nas sub-áreas 01 e 04 (FIGURAS 17 e 18), favorecem o deflúvio, aumentando a ação erosiva das águas pluviais e resultando na formação de muitos canais de escoamento (alta densidade de drenagem - FIGURAS 14 e 15 páginas 65 e 66), assim também constatado por VETORAZZI (1988).

O relevo associado aos fatores climáticos e pedológicos comanda a capacidade de infiltração, além de determinar o tipo de escoamento superficial. A conformação do terreno representa um componente de grande importância do sistema natural que os solos representam.

#### **4.1.4 Análise das medidas espectrais das imagens do TM/ Landsat-5**

De acordo com as matrizes de dados TABELAS 3 a 8 páginas 62 a 64, das oito variáveis utilizadas, três referem-se a valores dos níveis de cinza das imagens TM/Landsat-5. Estes valores são considerados originais, face não ter sofrido qualquer tipo de tratamento, além da correção geométrica. Os valores foram obtidos das bandas: 3 com comprimento de onda (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ) referente ao vermelho, 4 (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ ) e 5 (1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$ ), sendo que as duas últimas enquadram-se na faixa do infra vermelho refletido. Diversos são os trabalhos que utilizaram estas bandas para o estudo do comportamento espectral dos solos; BAUMGARDNER *et al.* (1982), ROCHA (1993), DEMATTÊ (1995), GALVÃO (1994).

Analisando-se as TABELAS 16, 17 e 18, verifica-se que a média dos níveis de cinza para a banda 5 é maior, implicando numa imagem mais clara ao contrário da banda 3, cuja média é menor, conseqüentemente sendo mais escura. Com relação ao desvio padrão, a banda 3 possui o menor desvio, tendo menor quantidade de informação exceto para as unidades Ca2 e LVa da sub-área 06, face parte da mesma estar inserida em área urbana, o que resulta numa resposta espectral diferenciada e a banda 5 possuindo o maior desvio padrão, carregará maior número de informação.

TABELA 16 – Estatística descritiva dos níveis de cinza do TM/Landsat-5 dos solos da (sub-área 01).

	UNIDADES DE MAPEAMENTO											
	Ca1			Ca2			PVa1			PVa2		
	<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>		
<b>Estatística Descritiva</b>	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
<b>Máximo</b>	33	66	68	32	63	65	33	74	84	32	71	83
<b>Mínimo</b>	12	27	27	13	24	63	11	33	25	10	31	24
<b>Média</b>	17,6	49,1	49,6	16,3	47,2	48,1	20,2	59,6	54,5	18,9	51,4	54,7
<b>Moda</b>	15	47	43	14	46	45	19	48	58	18	49	56
<b>Desv. Padrão</b>	3,5	6,17	9,8	3,2	5,9	9,2	4,7	6,4	10,9	4,4	6,1	10,3
<b>Cof. Variação (%)</b>	19,8	12,6	19,8	19,6	12,5	19,1	23,4	12,6	20,0	23,3	11,9	18,8

TABELA 17 – Estatística descritiva dos níveis de cinza do TM/Landsat-5 dos solos da (sub-área 04).

	UNIDADES DE MAPEAMENTO														
	LVa			PVa1			PVa2			PVa3			Ca		
	<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>		
<b>Estatística Descritiva</b>	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
<b>Máximo</b>	32	86	96	41	84	91	39	81	89	38	81	92	32	64	67
<b>Mínimo</b>	12	29	28	11	29	26	10	27	24	12	28	28	13	25	26
<b>Média</b>	18,4	50,5	53,6	19,1	52,6	54,3	18,5	50,4	52,6	17,8	51,3	53,4	18,4	48,6	47,9
<b>Moda</b>	13	48	64	15	52	52	14	51	52	16	52	53	16	45	44
<b>Desv. Padrão</b>	4,8	9,3	14,9	4,7	7,3	11,7	4,5	7,1	10,9	4,7	7,8	11,5	3,6	5,9	9,6
<b>Cof. Variação (%)</b>	26,1	18,4	27,8	24,6	13,9	21,5	24,3	14,1	20,7	26,4	15,2	21,5	19,6	12,1	20,0

A análise dos níveis de cinza relativa aos solos é extremamente subjetiva no presente caso, face a área de estudo ser muito heterogênea tanto em relevo, quanto em cobertura de superfície, estando a mesma assim constituída: campo nativo, resquícios de florestas, capões de mata secundária, área urbana, parte agricultável, dentre outros; não tendo os solos expostos, onde fosse possível obter cenas mais pura quanto a representatividade em termos das condições de superfície dos solos estudados.

TABELA 18 – Estatística descritiva dos níveis de cinza do TM/Landsat-5 dos solos da (sub-área 06).

	UNIDADES DE MAPEAMENTO														
	Ca2			PVa1			PVa2			LVa			LVa1		
	<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>			<i>Bandas</i>		
<b>Estatística Descritiva</b>	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
<b>Máximo</b>	54	73	104	28	75	76	29	73	75	31	87	98	30	87	97
<b>Mínimo</b>	12	18	15	12	32	34	13	31	36	13	31	27	14	30	27
<b>Média</b>	24,4	48,3	61,2	19,1	49,6	52,0	18,3	47,5	51,7	17,6	51,2	54,8	16,9	52,3	53,0
<b>Moda</b>	21	46	57	17	46	51	18	45	52	14	47	63	13	48	62
<b>Desv. Padrão</b>	8,4	6,2	15,8	3,7	6,5	9,2	3,4	5,9	8,8	4,5	9,3	13,8	4,2	9,1	12,4
<b>Coef. Variação (%)</b>	34,4	12,8	25,8	19,4	13,1	17,7	18,8	12,4	17,0	25,6	18,2	25,2	24,8	17,4	23,4

A eleição das variáveis níveis de cinza das bandas 3, 4 e 5 para a composição da matriz de dados juntamente com outras já comentadas, cujo objetivo é de se efetuar análise de agrupamento, possuem um caráter acessório, face não se ter efetuado qualquer mensuração tanto a nível de campo e ou laboratório; ao contrário do trabalho realizado por

SOUZA (1997) com solos de várzea, onde este utilizou os níveis de cinza das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, como variáveis na matriz de dados, para análise de agrupamento com o objetivo de refinar um levantamento a nível de semidetalhe. RIBEIRO (1997), também valendo-se dos níveis de cinza entre outras variáveis, compôs uma matriz de dados, com o objetivo de análise de agrupamento para discriminação de unidades fisiográficas.

#### **4.1.5. Análise de Agrupamentos (“cluster”)**

A utilização da análise multivariada (agrupamentos) no presente trabalho, se deve ao fato de que a mesma permitiu a composição de uma matriz de dados, com oito variáveis a saber: níveis de cinza das bandas 3, 4, 5, comprimentos dos canais da rede de drenagem de 1ª à 4ª ordens e modelo digital do terreno (metros) dentro de cada célula; o que não pode ser realizado com a estatística univariada. O objetivo foi o de agrupar solos com características similares e conseqüentemente da paisagem onde estão situados. Vários são os autores que valeram-se desta ferramenta matemática; ROCHA (1993), NANNI (1995) e RIBEIRO (1997), todos utilizando grade com resolução de 150 x 150 m, ou ainda autores que tomaram as bacias hidrográficas como: base amostral, BARROS (1988); amostras circulares, SILVA (1988), unidades fisiográficas VETORAZZI (1988), SOUZA (1997), sendo que o último utilizando grade com resolução de 90 x 90 m, sobre unidades de mapeamento oriundas de levantamento a nível de semidetalhe.

A interpretação dos dendrogramas, possibilitou a geração de pictogramas, que serviram como guias para o delineamento das unidades fisiográficas, integrando-os às imagens digitais composição IHS/RGB com MDT e a rede de drenagem sobrepostos, facilitando a interpretação.

As três sub-áreas (01, 04 e 06), divididas em células com resolução de 150 x 150m georreferenciadas em coordenadas UTM, totalizaram 2160 células (observações) ou seja, 720 em cada sub-área, cuja metodologia preconizada por ROCHA (1993), e utilizada por NANNI (1995) e RIBEIRO (1997). Os resultados obtidos através das interpretações dos dendrogramas, serão discutidos por unidade de mapeamento e associação de solos, que se encontram dentro de cada sub-área (FIGURA 5a página 38), semelhante ao efetuado por SOUZA (1997) com solos de várzea.

#### **4.1.5.1 Interpretação dos Dendrogramas por sub-área**

##### **4.1.5.1.1 Sub-área – 01**

###### **4.1.5.1.1.1 Unidades de mapeamento (Ca11)**

Analisando-se o dendrograma (FIGURA 20 página 87), efetuou-se o corte na distância Euclidiana 3,2, formando assim três grupos distintos. O grupo 1 e 1<sup>a</sup>, que estão abaixo desta distância, representam um único agrupamento, denominado grupoCa1 – CAMISSOLO ÁLICO fase de relevo suave ondulado, com árvores mais homogêneas, praticamente sem rede de drenagem (cor azul na FIGURA 26 página 93); ao passo que o agrupamento 2, localizado acima da distância 3,2 representa o grupoCa2- CAMISSOLO ÁLICO, fase de relevo ondulado, com drenagem bem encaixada, árvores mais heterogêneas (cor amarela FIGURA 26 página 93).

#### **4.1.5.1.1.2 Associação (PVa20)**

Observando-se o dendrograma (FIGURA 21 página 88), o corte na altura da distância euclidiana 2,72, dividi-o em dois grupos distintos: o agrupamento 1 inserido até esta distância, refere-se ao grupo PVa2 – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO fase relevo forte ondulado, cor vermelha (FIGURA 26 página 93), já o agrupamento menor grupo 2 acima daquela distância, representa o grupo PVa1 – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO fase relevo ondulado, com densa rede de drenagem, localizado no terço inferior das elevações e as partes mais baixas da paisagem, cor verde (FIGURA 26 página 93).

#### **4.1.5.1.2. Sub-área 04**

##### **4.1.5.1.2.1 Associação (PVa20)**

O dendrograma (FIGURA 23 página 90), mostra a formação de 6 grupos distintos. Os grupos 2 e 4, que encontram até a distância Euclidiana de 2,79 formam único grupo, embora estejam inseridos em posições distintas; eles representam o (grupo PVa3 – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO fase relevo suave ondulado), situada na parte mais elevada da paisagem, com relevo menos acidentado, cor verde (FIGURA 27 página 94). Os grupos 1 e 1<sup>a</sup>, que estão entre as distâncias Euclidiana 2,79 a 3,03, representam o grupo PVa2 – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO fase relevo forte ondulado, inserida na parte mais acidentada da paisagem, cor vinho (FIGURA 27 página 94). Os grupos 3 e 3<sup>a</sup>, que estão acima da distância 3,03, com árvores mais irregulares, denominados de grupo PVA1 – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO fase relevo ondulado, com drenagem bem

encaixada, situada no terço inferior e nas partes baixas da paisagem, cor vermelha (FIGURA 27 página 94).

#### **4.1.5.1.2.2 Associação (LVa12)**

O dendrograma (FIGURA 22 página 89) mostra 2 grupos. Até a distância Euclidiana de 3,18, está o grupo 1, que representa o grupoLVa – Associação LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO+CAMBISSOLO ÁLICO fase relevo suave ondulado) cor azul (FIGURA 27 página 94). Acima da referida distância, enquadra-se o (grupoCa2 – CAMBISSOLO ÁLICO relevo ondulado), encaixada na rede de drenagem, cor amarela (FIGURA 27 página 94).

#### **4.1.5.1.3. Sub-área 06**

##### **4.1.5.1.3.1. Associação (PVa20)**

Cortando-se o dendrograma na distância Euclidiana 2,62 (FIGURA 24 página 91), nota-se a formação de 3 grupos distintos. Até a distância 2,62 está o grupo 2, denominado de grupoPVa2 – PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO fase relevo forte ondulado, cor amarela (FIGURA 28 página 95). Acima daquela distância, representada pelos grupos 1 e 1a, acha-se o (grupoPVa1 – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO fase relevo ondulado), cor azul (FIGURA 28 página 95).

#### **4.1.5.1.3.2. Unidade de mapeamento (Ca11)**

Na (FIGURA 25 página 92), observa-se duas de linhas de cortes no dendrograma. Até a distância 2,16, encontra-se o grupo 2, representando o grupoLVa – Associação de LATOSSOLO VERMELHO AMARELO+CAMBISSOLO ÁLICO fase relevo suave ondulado, cor verde (FIGURA 28 página 95) enquanto que, entre as distâncias 2,16 e 2,66, enquadra-se o grupo1, denominado grupoLVa1 – Associação de LATOSSOLO VERMELHO AMARELO + CAMBISSOLO ÁLICO fase relevo ondulado, de cor vinho (FIGURA 28 página 95). Acima da distância Euclidiana 2,66 está o grupo 3, com drenagem bem encaixada, representando o grupoCa2 – CAMBISSOLO ÁLICO fase relevo ondulado, com árvores mais heterogêneas.

#### **4.1.6. Análise de componentes principais.**

Objetivando respaldar a interpretação dos gráficos na análise de agrupamentos, efetuou-se a análise por componentes principais de cada um dos solos que serviram para a confecção da matriz de dados.

De acordo com as TABELAS 19 a 24, ocorre uma distribuição da variabilidade dos dados ao longo das componentes. A primeira componente principal menor (1ª CP) de todas as sub-áreas é a dos solos PVa20 (sub-área 01), que carrega 27,34% da variância total e a maior (1ª CP) é para a unidade de solos PVa20 (sub-área 06), tendo como variáveis principais as Bandas 5 e 3. Os níveis de cinza dentro de cada célula para as bandas citadas, possuem uma variabilidade inexpressiva, conforme pode ser verificado no coeficiente de variação para todos os solos obtidos como produto da presente pesquisa (TABELAS 16 a 18 páginas 76 e 77); ao contrário das variáveis da drenagem e do relevo em conjunto. Como

mostra as TABELAS 19 a 24, não ocorre uma concentração de informação em uma ou duas componentes, como constatado por SILVA (1988) e CARVALHO et ali (1990), com valores acima de 90% de variância para as duas primeiras componentes, destacando que os autores citados, trabalharam com variáveis de drenagem e de relevo. O que se percebe é que há uma distribuição de informação ao longo das componentes, cujas variáveis mais importantes são justamente as da rede de drenagem e o relevo, confirmado pelos autores mencionados; exceto para a primeira componente. Estas variáveis imprimem suas potencialidades, expressando-se na forma de distâncias Euclidianas mais altas nos dendrogramas (FIGURAS 20 a 25 páginas 87 a 92). Isto possibilitou, quando da interpretação dos dendrogramas, a separabilidade principalmente de solos com diferentes fases de relevo, como os podzólicos e os cambissolos.

A tradução das interpretações dos dendrogramas, confirmadas pela análise de componentes principais, estão expressas nos pictogramas, (FIGURAS 26 a 28 páginas 93 a 95).

TABELA 19 – Análise de componentes principais - unidade Ca11 (sub-área 01).

Variáveis	Componentes principais				
	1ª CP	2ª CP	3ª CP	4ª CP	5ª CP
Banda3	0,586(*)	-0,123	-0,002	0,366	0,121
Banda4	0,328	0,172	0,299	-0,419	-0,143
Banda5	0,607(*)	-0,064	0,088	0,308	0,097
Canal 1ª	-0,089	-0,776(*)	-0,086	0,100	0,017
Canal 2ª	-0,100	0,54(*)	-0,385(*)	0,494(*)	0,061
Canal 3ª	-0,119	0,147	0,809(*)	0,271	-0,181
Canal 4ª	-0,039	0,083	0,177	-0,203	0,94(*)
MNT	0,381	0,159	-0,243	-0,474(*)	-0,158
(%) Variância total	<b>27,41</b>	<b>14,59</b>	<b>13,50</b>	<b>12,91</b>	<b>12,54</b>
(%) Variância acumulada	<b>27,41</b>	<b>42,00</b>	<b>55,5</b>	<b>68,41</b>	<b>80,95</b>

TABELA 20 – Análise de componentes principais - associação PVa20  
(sub-área 01).

Variáveis	Componentes principais				
	<i>1ª CP</i>	<i>2ª CP</i>	<i>3ª CP</i>	<i>4ª CP</i>	<i>5ª CP</i>
Banda3	0,623(*)	-0,094	-0,038	0,103	-0,051
Banda4	0,214	-0,496	-0,201	-0,069	0,042
Banda5	0,627(*)	-0,214	-0,092	0,072	-0,009
Canal 1ª	-0,064	0,239	-0,877(*)	0,163	0,192
Canal 2ª	-0,203	-0,483	-0,021	-0,467(*)	-0,429
Canal 3ª	-0,119	-0,366	0,360	0,283	0,682(*)
Canal 4ª	-0,077	-0,042	0,154	0,763(*)	-0,554(*)
MNT	0,326	0,520(*)	0,379	-0,266	-0,024
<b>(%) Variância total</b>	<b>27,34</b>	<b>14,82</b>	<b>14,18</b>	<b>12,99</b>	<b>12,73</b>
<b>(%) Variância acumulada</b>	<b>27,34</b>	<b>42,16</b>	<b>56,34</b>	<b>69,33</b>	<b>82,06</b>

TABELA 21 – Análise de componentes principais – associação LVa12  
(sub-área 04).

Variáveis	Componentes principais		
	<i>1ª CP</i>	<i>2ª CP</i>	<i>3ª CP</i>
Banda3	0,542(*)	0,169	0,239
Banda4	0,356	0,288	-0,229
Banda5	0,579(*)	0,252	0,142
Canal 1ª	-0,114	0,2405	0,361
Canal 2ª	-0,388	0,209	0,218
Canal 3ª	-0,173	0,508(*)	0,241
Canal 4ª	-0,010	0,229	-0,784(*)
MNT	0,220	-0,641(*)	0,133
<b>(%) Variância total</b>	<b>30,61</b>	<b>19,42</b>	<b>13,85</b>
<b>(%) Variância acumulada</b>	<b>30,61</b>	<b>50,03</b>	<b>63,88</b>

TABELA 22 – Análise de componentes principais - associação PVa20 (sub-área 04).

Variáveis	Componentes principais		
	1ª CP	2ª CP	3ª CP
Banda3	0,517(*)	0,228	-0,239
Banda4	0,359	0,017	0,067
Banda5	0,587(*)	0,194	-0,152
Canal 1ª	-0,163	-0,438	0,126
Canal 2ª	-0,270	-0,010	-0,627(*)
Canal 3ª	-0,255	0,432	-0,300
Canal 4ª	-0,097	0,486(*)	0,637(*)
MNT	0,287	-0,540(*)	0,089
(%) Variância total	<b>30,17</b>	<b>17,61</b>	<b>12,68</b>
(%) Variância acumulada	<b>30,17</b>	<b>47,78</b>	<b>60,46</b>

TABELA 23 – Análise de componentes principais - unidade Ca11 (sub-área 06).

Variáveis	Componentes principais		
	1ª CP	2ª CP	3ª CP
Banda3	0,649(*)	0,148	0,07
Banda4	0,272	-0,385	-0,284
Banda5	0,675(*)	0,042	0,002
Canal 1ª	-0,114	0,281	0,616(*)
Canal 2ª	-0,093	0,481	-0,266
Canal 3ª	-0,124	0,145	-0,672(*)
MNT	-0,106	-0,703(*)	0,097
(%) Variância total	<b>29,27</b>	<b>19,29</b>	<b>15,34</b>
(%) Variância acumulada	<b>29,27</b>	<b>48,56</b>	<b>63,90</b>

TABELA 24 – Análise de componentes principais - associação PVa20 (sub-área 06).

Variáveis	Componentes principais		
	<i>1ª CP</i>	<i>2ª CP</i>	<i>3ª CP</i>
Banda3	0,522(*)	0,238	0,248
Banda4	0,098	-0,485	0,580(*)
Banda5	0,527(*)	0,200	0,253
Canal 1ª	-0,165	0,523(*)	-0,269
Canal 2ª	-0,265	0,387	-0,062
Canal 3ª	-0,266	-0,024	0,425
Canal 4ª	-0,144	-0,474	0,502(*)
MNT	0,499(*)	-0,135	-0,164
(%) Variância total	<b>34,54</b>	<b>14,77</b>	<b>13,18</b>
(%) Variância acumulada	<b>34,54</b>	<b>49,31</b>	<b>62,49</b>



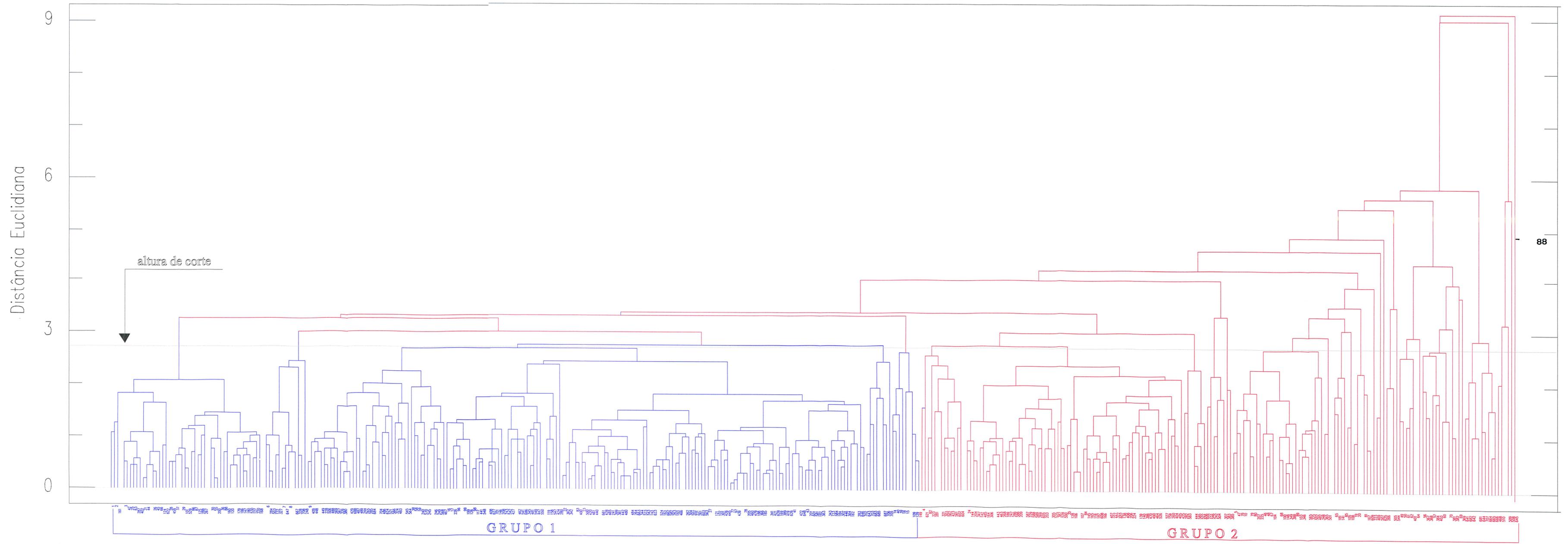


FIGURA 21 – Dendrograma associação PVa20 (sub-área 01).

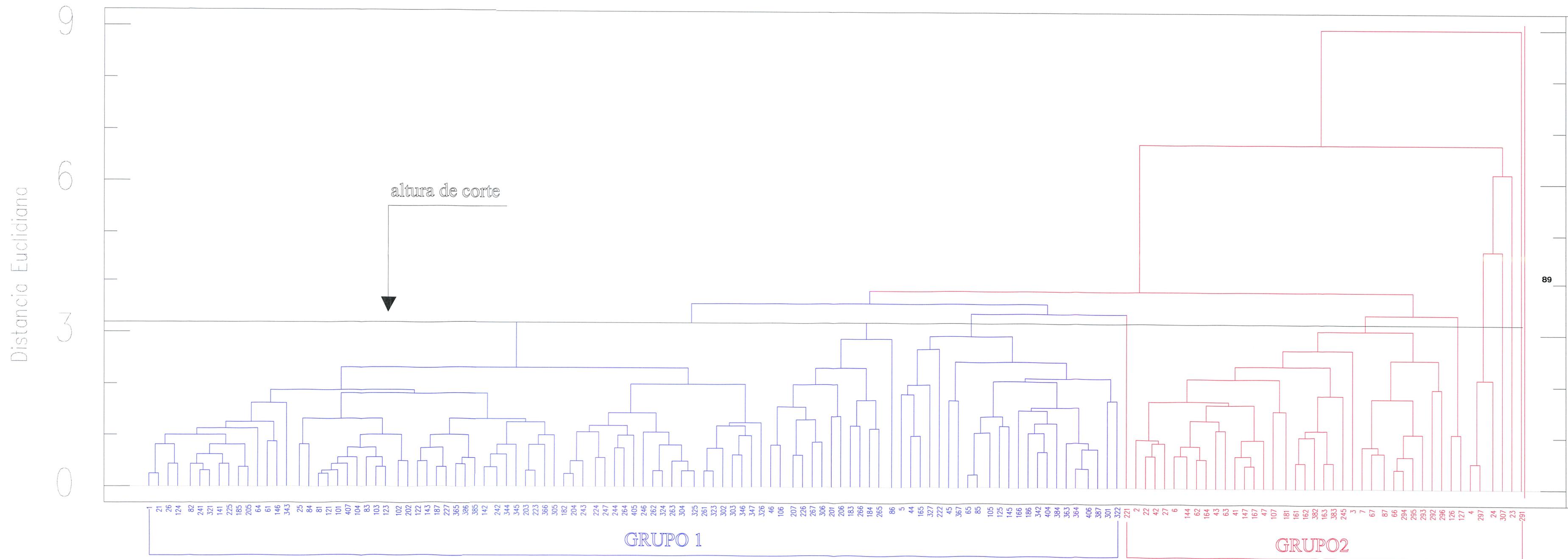


FIGURA 22 – Dendrograma associação Lva12 (sub-área 04).

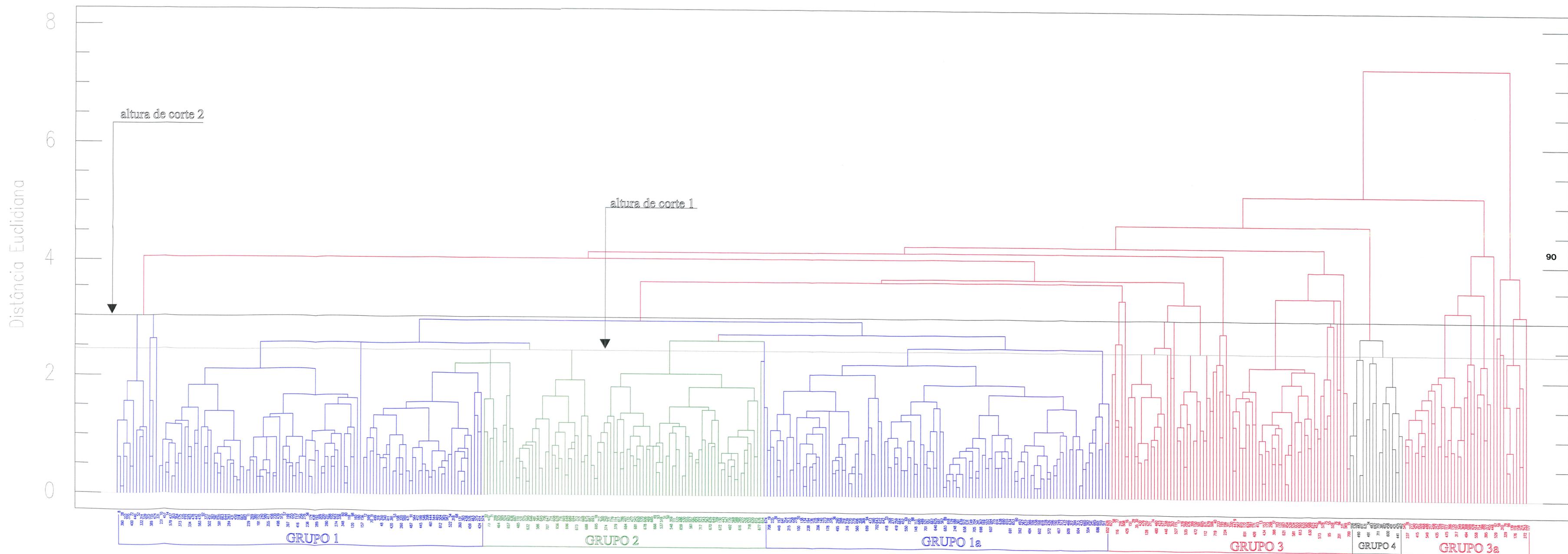


FIGURA 23 – Dendrograma associação PVa20 (sub-área 04).

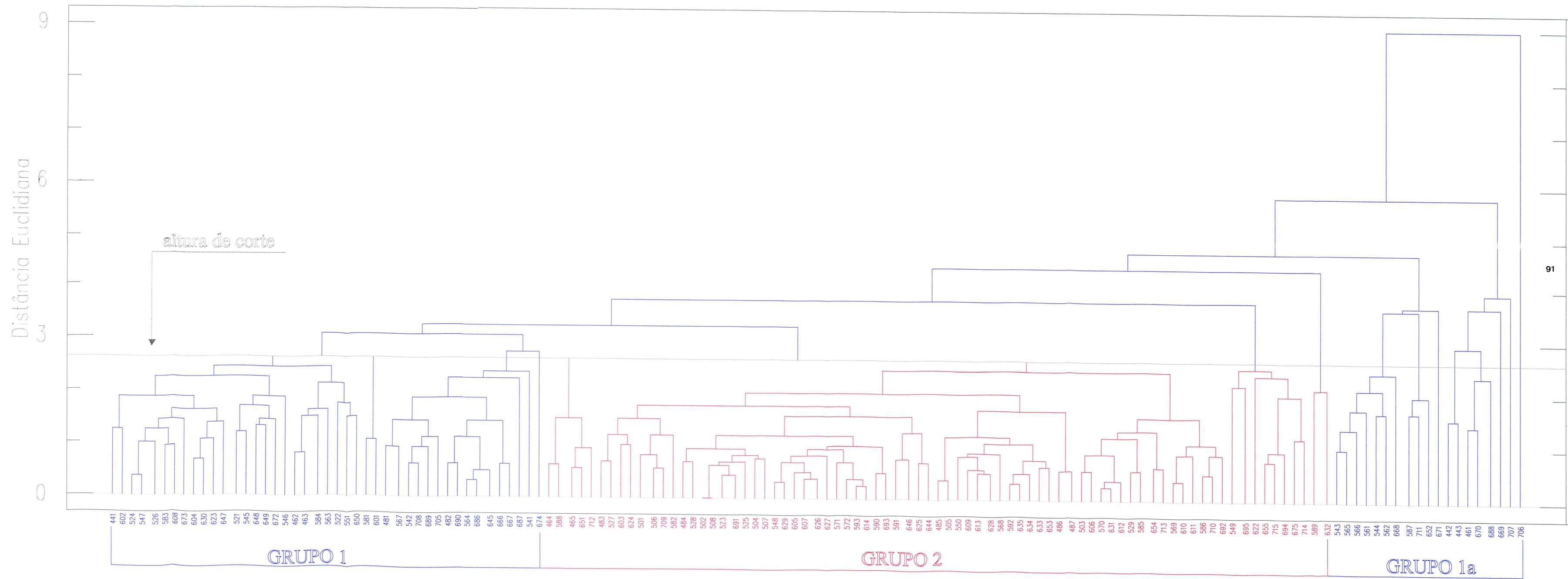


FIGURA 24 – Dendrograma associação PVa20 (sub-área 06).

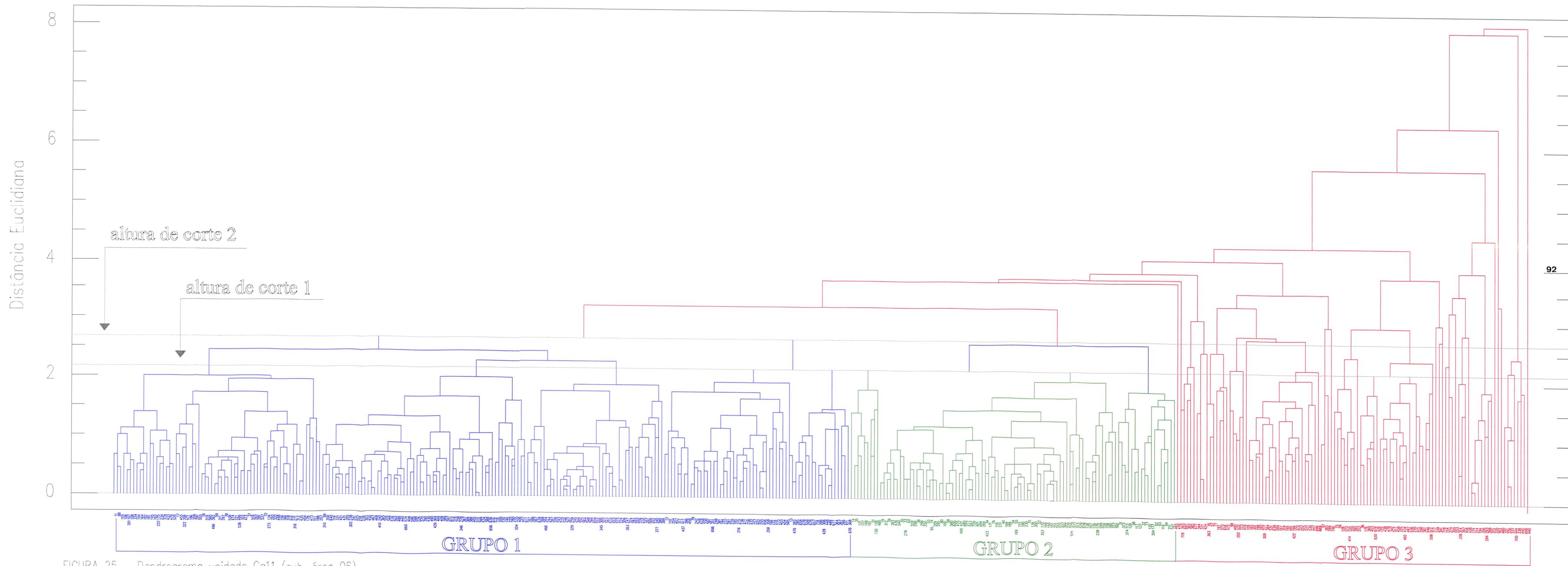
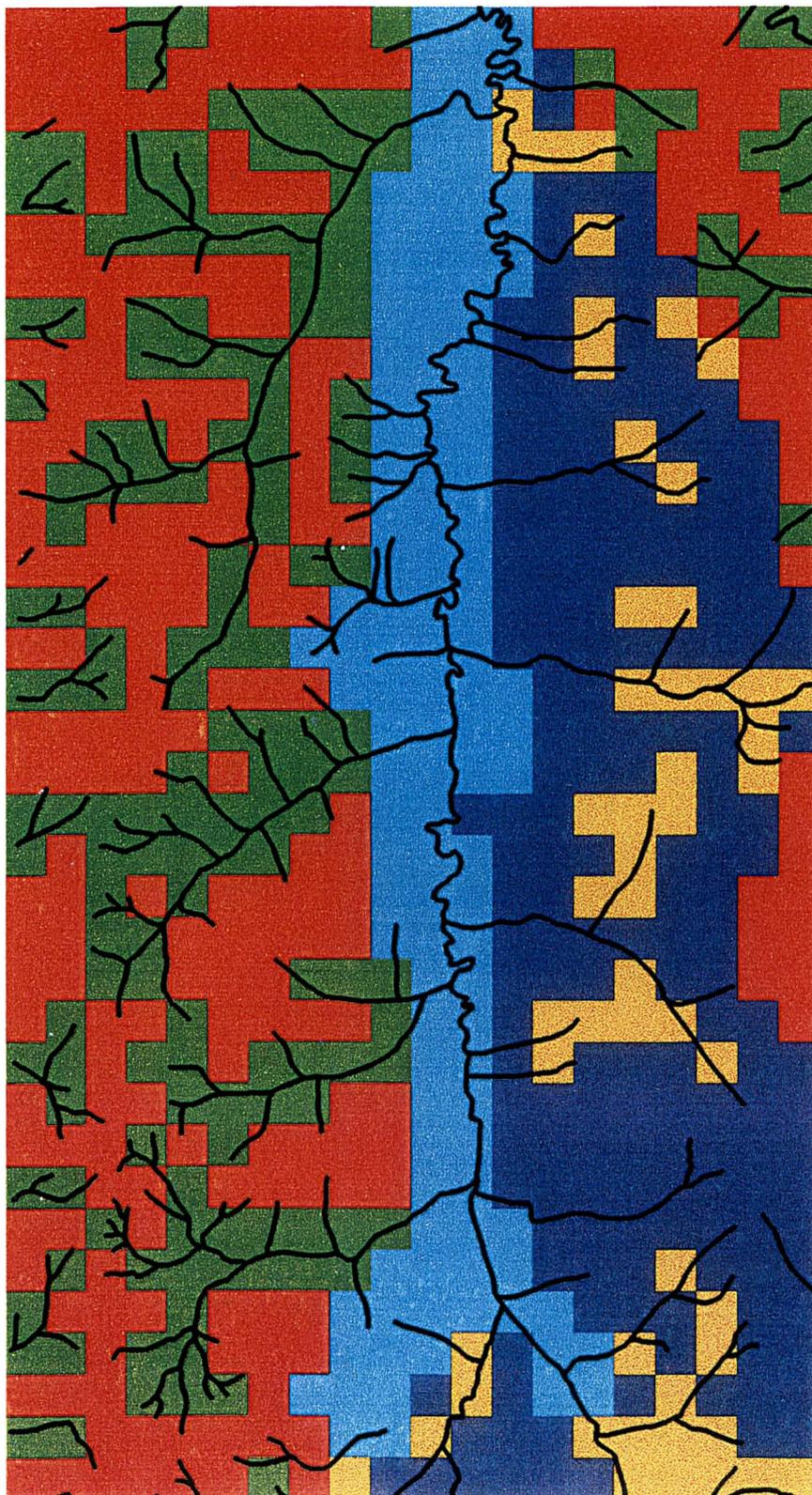
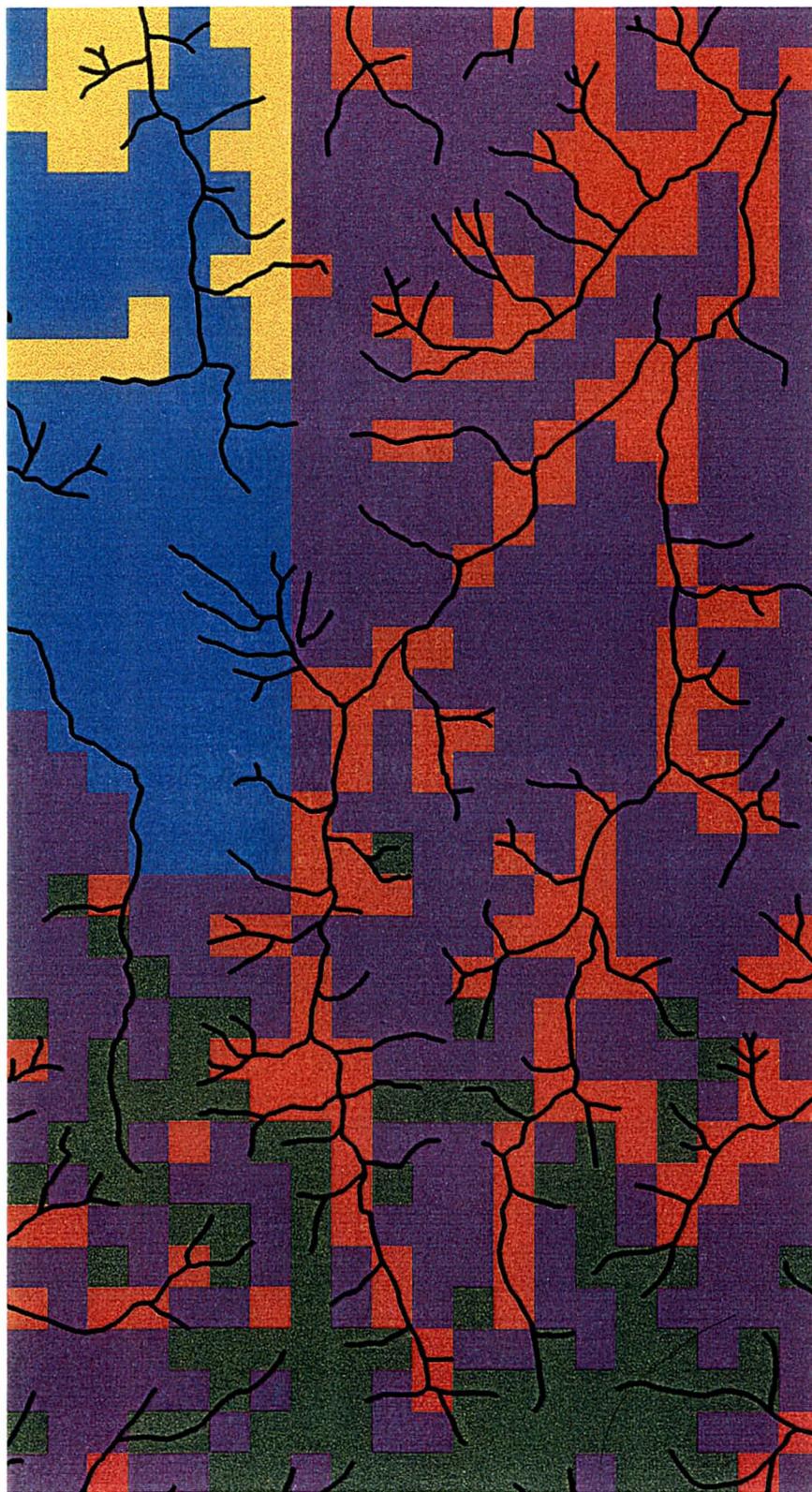


FIGURA 25 – Dendrograma unidade Ca11 (sub-área 06).

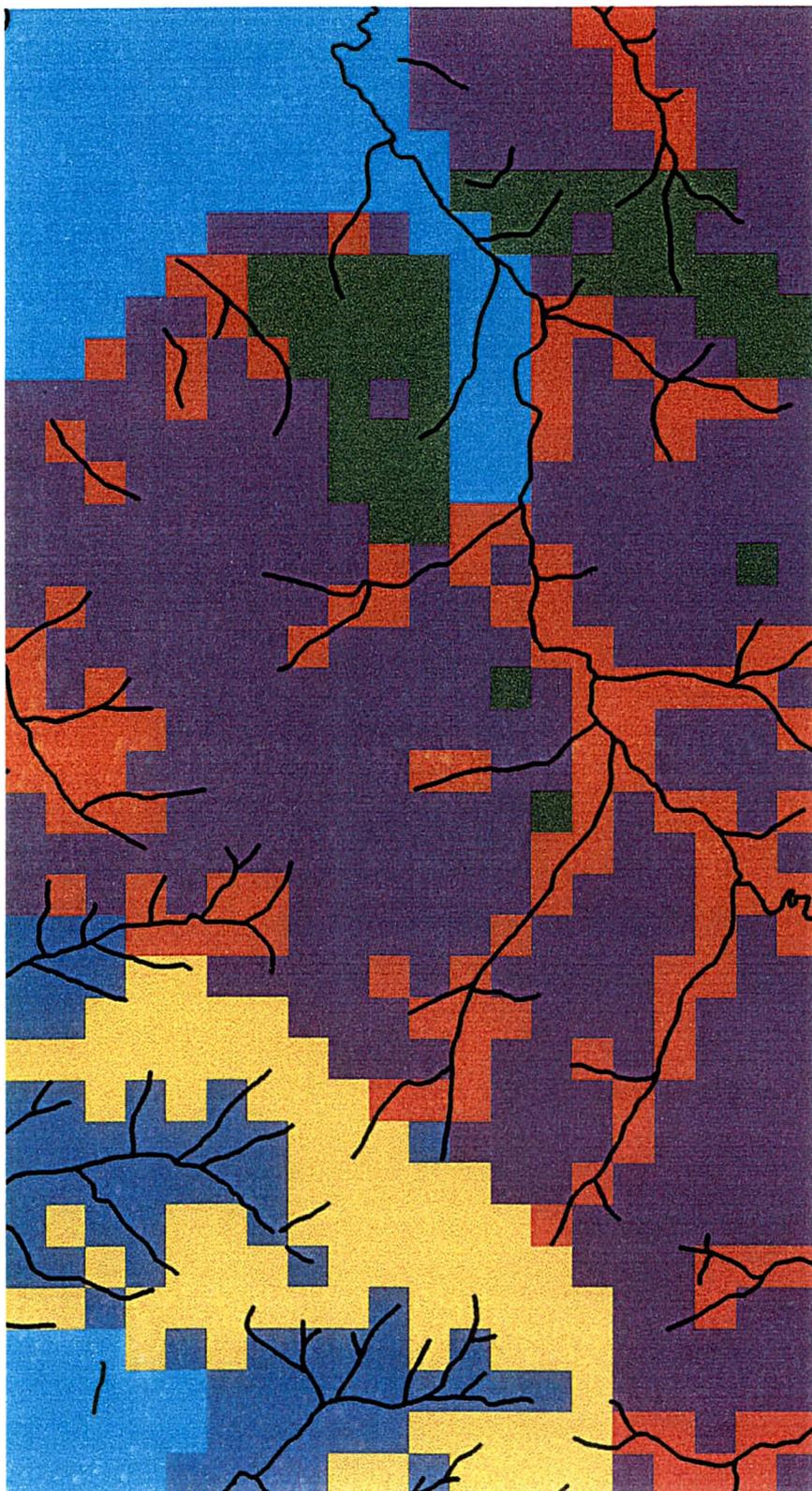
Figura 26 - Pictograma com drenagem sobreposta (sub-área 01)



*Figura 27 - Pictograma com drenagem sobreposta (sub-área 04)*



*Figura 28 - Pictograma com drenagem sobreposta (sub-área 06)*



#### **4.1.7. Análise das imagens Landsat – integração de dados do Modelo digital do terreno na transformação RGB/IHS.**

Com o objetivo de delimitar as unidades fisiográficas sobre as imagens digitais do TM-Landsat/5, tendo-se como guia os pictogramas, fez-se a composição colorida RGB das bandas 5, 4 e 3, face ter sido a melhor composição que se apresentou. Com a integração do MDT às três bandas da imagem Landsat, fez-se a composição que integra dados do satélite com o relevo.

Aplicando-se a técnica I (intensidade), H (matiz) e S (saturação), gerou-se três novas bandas. Na banda H, integrou-se o modelo digital do terreno, resultando na composição colorida (5IR4HG3SB), FIGURAS 29, 30 e 31 páginas 98 a 100. Verificou-se um enriquecimento no conteúdo de informação da composição colorida resultante; fato constatado por ROCHA (1993 e 1995), PINTO (1991) e SCHMIDLIN (1998).

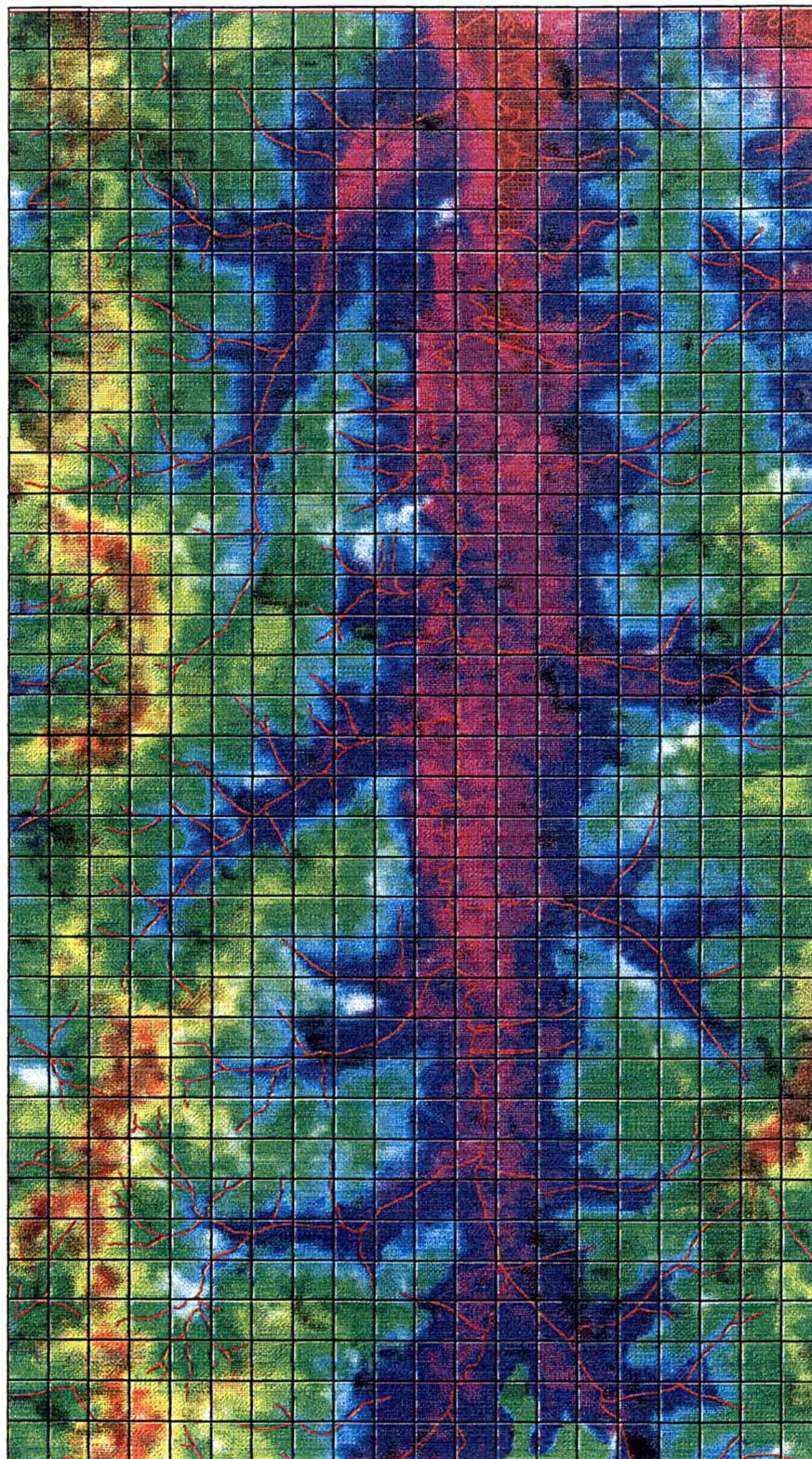
Os guias formados pelos pictogramas, foram fundamentais no auxílio do traçado das unidades de mapeamento, semelhante ao obtido por NANNI(1995), RIBEIRO (1997) e SOUZA (1997).

Os contornos das linhas de solos através da análise fisiográfica, foram refinados com a presença do relevo na composição colorida citada, e de importância significativa a presença da drenagem sobreposta às imagens. A sobreposição dos guias na interpretação das imagens tornou o trabalho mais preciso e menos subjetivo.

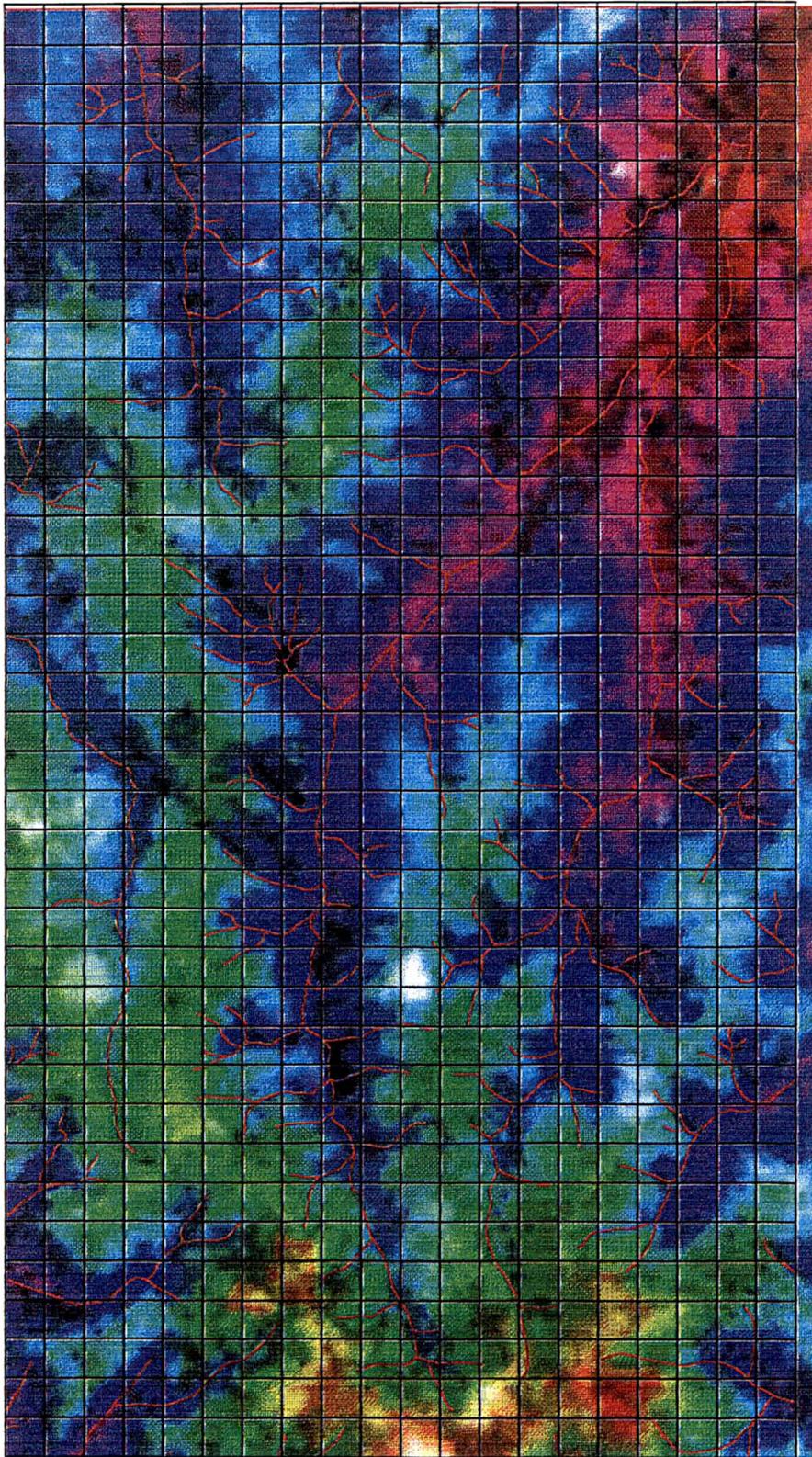
As três sub-áreas apresentam relevo muito heterogêneo, expressando esta característica no modelo digital do terreno na composição IHS/RGB. Portanto para a separação das unidades fisiográficas, baseados na metodologia adaptada de DONZELI *et al.* (1983), que auxiliou através da integração da drenagem ( padrão, grau de integração), do relevo (padrão, grau de dissecação e crista), associada aos guias (pictogramas), obtidos por

meio da metodologia proposta, mostrou-se um instrumental valioso para a delimitação das unidades fisiográficas, corroborado por, ROCHA (1993) e NANNI (1995).

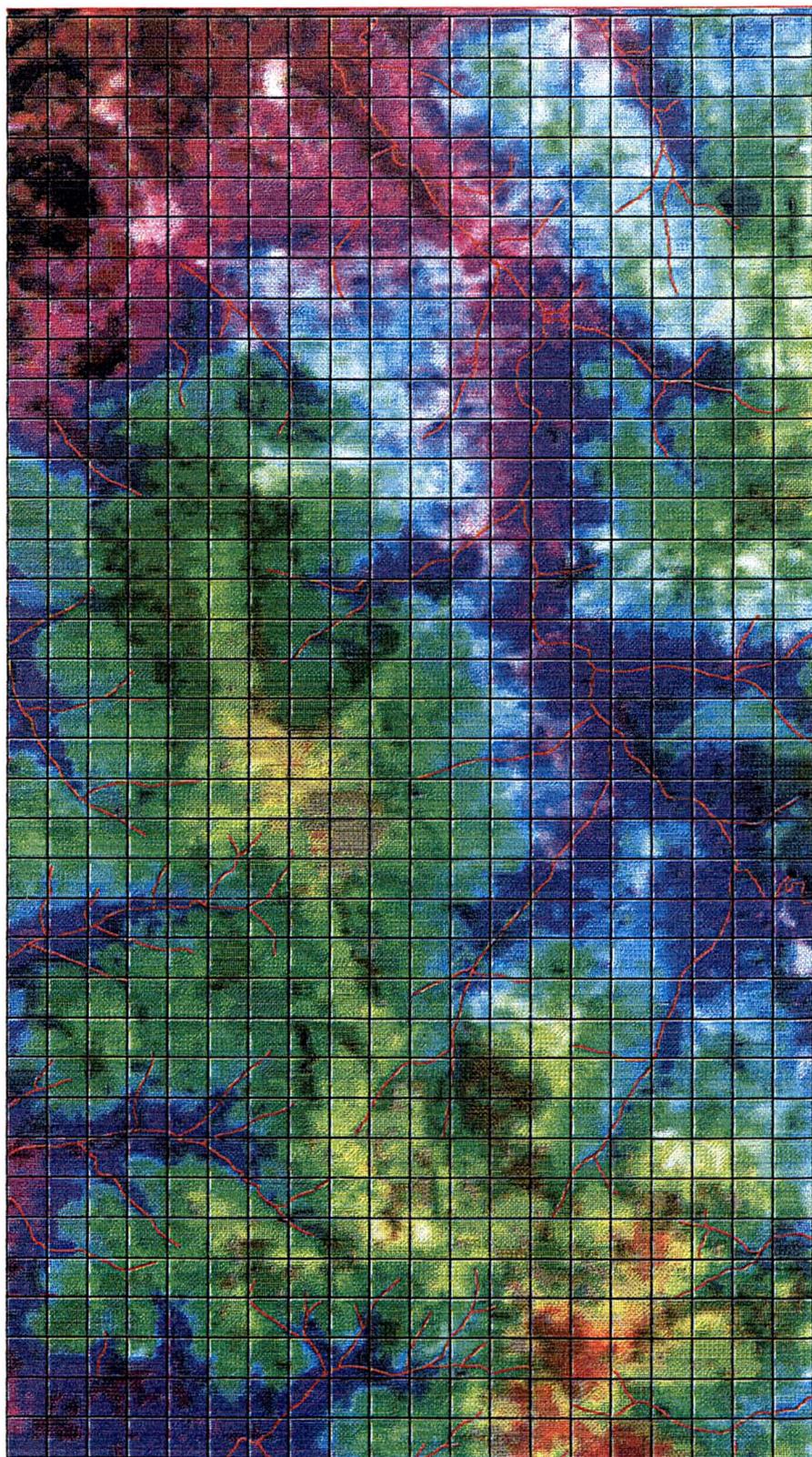
A gama de trabalhos utilizando imagens do satélite TM/Landsat-5 é considerável para estudos fisiográficos, como WESTIN E FRAZE(1976), VALÉRIO FILHO *et al.* (1981), SILVA e MENDONÇA (1988), AGBU e NIZEYIMANA (1991), RIBEIRO (1997) e SOUZA (1997), confirmando mais uma vez sua potencialidade como ferramenta para este tipo de trabalho.



**FIGURA 29 - Composição colorida bandas 5, 4 e 3 IHS/RGB integrando relevo com drenagem sobreposta e grade guia (sub-área 01).**

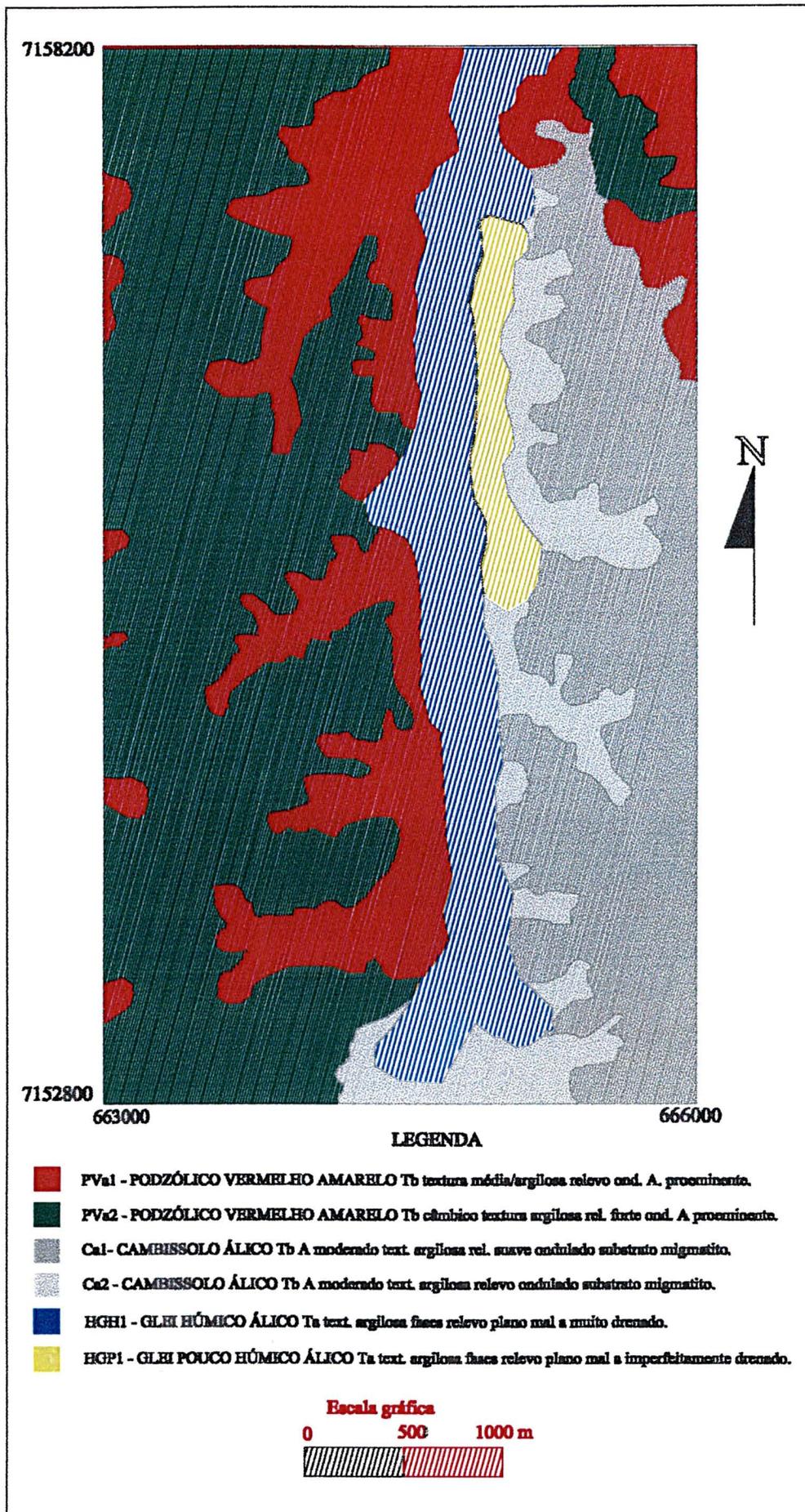


**FIGURA 30 - Composição colorida bandas 5, 4 e 3 IHS/RGB integrando relevo com drenagem sobreposta e grade guia. (sub-área 04).**



**FIGURA 31 - Composição colorida bandas 5, 4 e 3 IHS/RGB integrando relevo com drenagem sobreposta e grade guia (sub-área 06).**

Os mapas de solos FIGURAS 32, 33 e 34, produtos das presente pesquisa, foram realizados em duas etapas, ou seja, análise de agrupamento e interpretação das imagens codificadas, apresentando um total de 11 unidades de solos. Realizou-se ainda, trabalhos de campo para verificar o fechamento final das interpretações efetuadas na análise de agrupamentos e interpretação das imagens digitais. A método adotado mostrou-se como ferramenta importante, tornando-se satisfatório o procedimento adotado neste trabalho. Como suporte aos trabalhos de campo, utilizou-se as análises químicas e físicas, além das características morfológicas dos perfis do levantamento de solos a nível de reconhecimento efetuado pela EMBRAPA (1984) e trabalhos realizados por ROCHA (1981).



**FIGURA 32** - Mapa de solos - resultado da integração entre análise de agrupamentos e interpretação da imagem codificada, com apoio de campo e literatura (Sub-área 01).

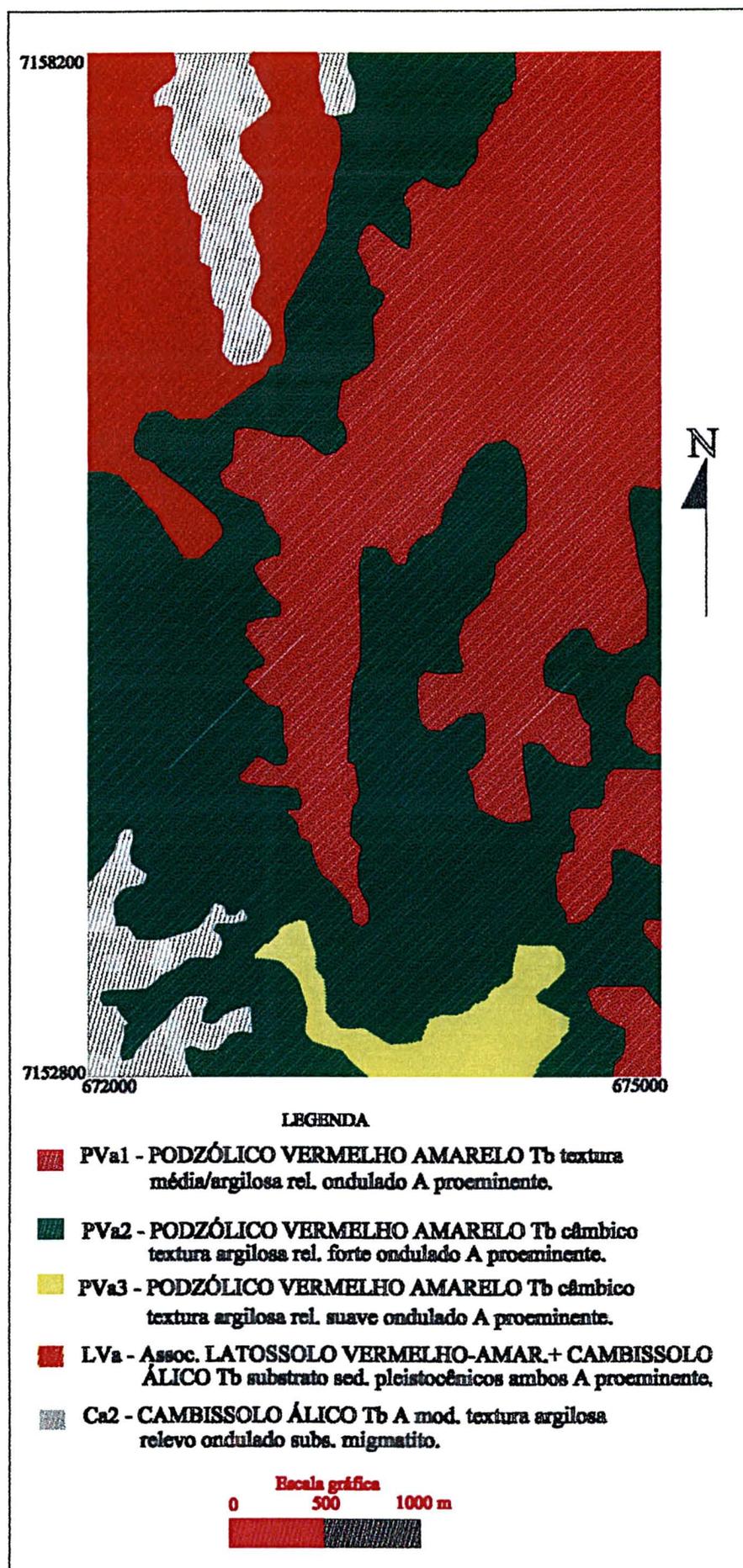


FIGURA 33 - Mapa de solos - resultado da integração entre análise de agrupamentos e interpretação da imagem codificada, com apoio de campo e literatura (sub-área 04).

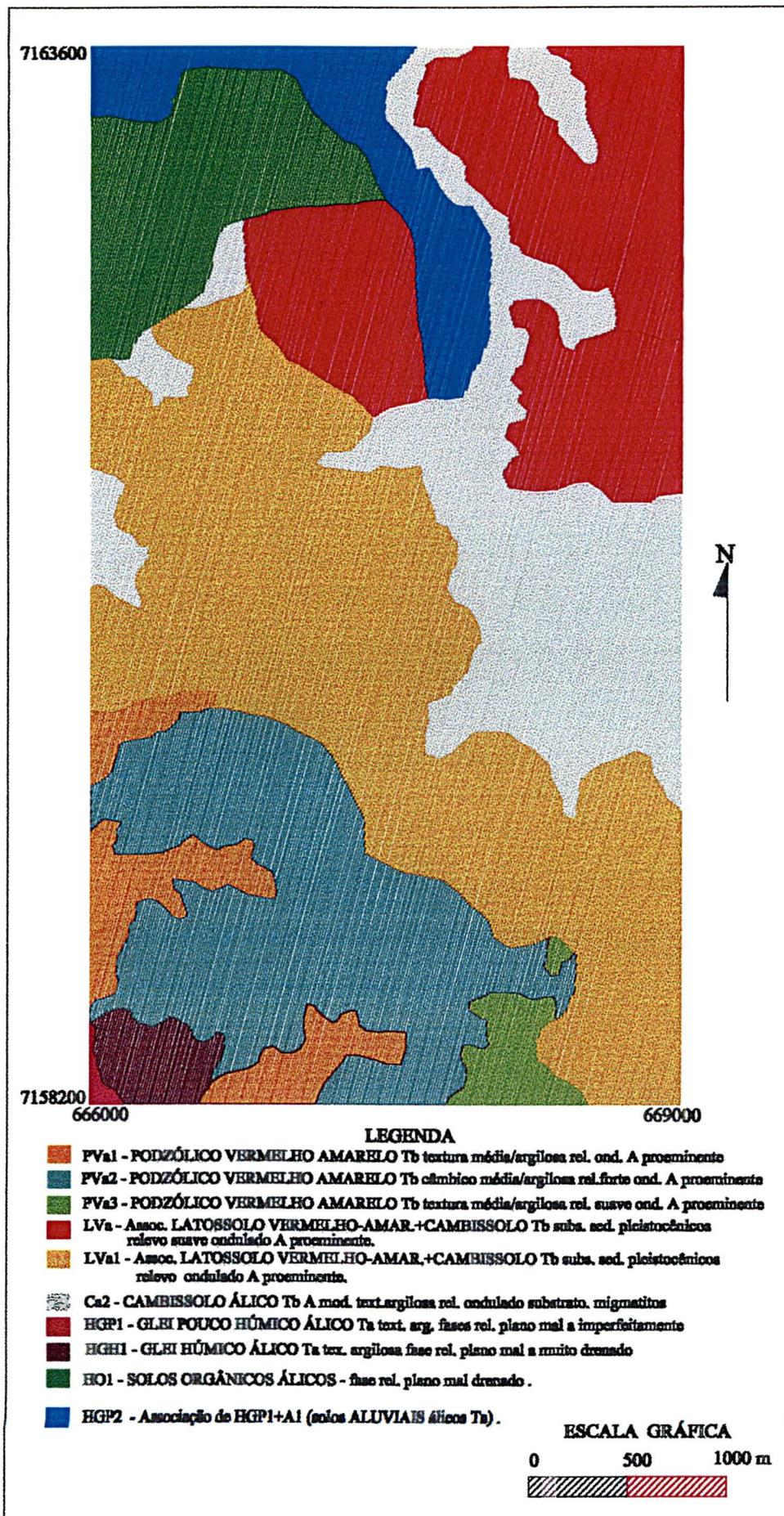


FIGURA 34 - Mapa de solos - resultado da integração entre análise de agrupamentos e interpretação da imagem codificada, com apoio de campo e literatura (sub-área 06).

## 5. CONCLUSÕES

Conforme os resultados obtidos, através da metodologia proposta, foi possível tirar-se as seguintes conclusões:

→ As variáveis mais importantes na análise de agrupamentos foram as da drenagem e do relevo, principalmente para discriminar as diferentes fases de relevo dos podzólicos e dos cambissolos;

→ A análise por componentes principais, foram importantes para respaldar a interpretação dos dendogramas, fornecendo subsídios para entender o comportamento das variáveis dentro dos agrupamentos;

→ A tradução da análise de agrupamentos nos guias denominados pictogramas, mostrou-se importante para serem adicionados às imagens IHS/RGB, para a fase da interpretação das imagens do TM-Landsat/5;

→ A interpretação das imagens IHS/RGB, com sobreposição da drenagem, modelo digital do terreno e os pictogramas, possibilitou a discriminação das unidades fisiográficas, diminuindo a subjetividade;

→ O uso de células com resolução de 150x150m, possibilitou um delineamento mais adequado das unidades fisiográficas, para as áreas de estudos, atrelado as técnicas de interpretação de imagens;

→ Os mapas de solos obtidos, resultaram em sete novas unidades de solos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGBU, P. A.; FEHRENBACHER, D.; JANSEN, L. J. Soil property relationships whit SPOT satelite digital data in east central Illinois. **Soil Science Society of American Journal**, madison, v. 54 p. 807-12, 1990.
- AMARAL, A .C. & AUDI, R. Fotopedologia, In: MONIZ, A., Coord., **Elementos de pedologia**. São Paulo, Polígono, 1972 p. 430-41.
- ÂNGULO FILHO, R. **Características da rede de drenagem e do relevo de três solos do Estado de São Paulo, determinados em fotografias aéreas e cartas planialtimétricas**. Piracicaba, 1986. 100. p. Tese (Doutorado – Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: A management perspective**. Ottawa, Canada: WDL Publications, 1993.
- ASSAD, M.L.L. Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. Manejo e conservação do solo e da água. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, Campinas, 19 (1) 133-40. 1995.
- BARROS, Z. X. 1988, **Caracterização de bacias hidrográficas no mapeamento de solos mediante o uso de análise multivariada**. Botucatu. (Doutorado em Agronomia – Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu/UNESP).
- BAUMGARDNER, M.F.; STONER, E.R. 1982 Soil mineralogical studies by remote sensing. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE 12.: New Delhi. INDIA

- BECKER, R.D. **Distribuição dos sedimentos cenozóicos na região metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfológica regional.** Porto Alegre, 1982, 237 p. (Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- BIGARELLA, J. J.; **A serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná: Um problema de segurança ambiental e nacional: contribuição à geografia, geologia e ecologia regional.** Curitiba: SEPL / ADEA, 1978. 248 p.
- BIGARELLA; MOUSINHO, M.R. & SILVA, J. X. da. **Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil.** *Boletim Paranaense de Geografia*. Curitiba, 1965. 27:17-78.
- BIGARELLA; SALAMUNI, R. **Características texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba.** *Bol. da Universidade do Paraná*. (7). (1ª parte): 1962, p 1-164. .
- BRIDGES, E.M. e DOORNKAMP, J.C., 1963. **Morphological Mapping and the Study of Soil Patterns.** *Geography*, 48(1):177-80.
- BURINGH, P. 1960. **The application of aerial photographs in Soil Surveys in: Manual of photograhic interpretation.** Washington, p. 663-6.
- BURROUGH, P. A. **Principles og Geographical Information Systems for Land Resources Assessment.** Oxford: Calrendon Press, 1986. 94 p.
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** 2.ed. Oxford, England, Clarendon Press, 1987, 293 p.
- CALIJURI, M. L.; MEIRA, A. D.; PRUSKI, F. F. **Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos.** In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. *Anais...* Lavras – MG: 1998. v. 1 p 167-225.

- CARNEIRO, C. M. R.; AZOLIN, M.A.D. 1976. Utilização de imagens ERTS-1 em levantamento de solos em comparação com fotografias aéreas verticais. Rev. Centro Ciências Rurais, v. 6, n. 1, p. 55-66.
- CARVALHO, W.A.; FRANCA, G.V.; CURI, P.R. Aplicação de análise multivariada na discriminação de unidades de solo, mediante parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, em Botucatu, SP. **Rer. Bras. Ciên. Solo**, Campinas, 14(2):195-203, 1990.
- CARVALHO, W. A. **Fotointerpretação de bacias hidrográficas e de amostras circulares de redes de drenagem de solos com horizonte B textural**. Piracicaba, 1977 – 126 p. (Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- CHODUR, N.L. **Caracterização de solos na região de Araucária – Contenda – Pr.** Curitiba-PR, 1990. 104 p. (Mestrado – Universidade Federal do Paraná).
- CLEMENTE, Ademir, 1990 – Pesquisas de variáveis múltiplas / Ademir Clemente. Curitiba : Scientia et Labor, 1989. xi, 204 p. : il – (Coleção Didática).
- COLWELL, R.N. Photographic interpretation for civil purposes. In: American Society of Photogrammetry. **Manual of photogrammetry**. 2.ed. Washington, 1952. P. 537-99.
- CREPANI, E. Princípios básicos de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 45p. 1983.
- CRESWICK, W. J; ROCKWELL, W. H. applications of Aerial photographic techniques to agricultural surveys. In: Aerial Photographic Interpretation: Principles and applications. McGraw-Hill Book Co. Inc. New York p. 373-85, 1959.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP. 1992, p. 170.

- DANGERMOND, J. A. classification of softwares components commonly used in Geographic information Systems. **International Journal of Geographic Information Systems**, 1987.
- DEMATTÊ, J. A M. **Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas**. Piracicaba, 1995. 265 p. (Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- DEMÉTRIO, V. **Variação de características de redes de drenagem em função da escala das fotografias aéreas verticias**. Piracicaba, 1977. 107 p. (mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- 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, 73-101.
- EMBRAPA - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Londrina, IAPAR/SUDESUL, 1984 v.2 (EMBRAPA/SNLCS – **Boletim técnico no 57**).
- ESPÍNDOLA, C. R. **Relações entre os solos e elementos da paisagem da zona do baixo rio do Peixe (região Conchas – Anhembi, SP)** Piracicaba, 1977. 113 p. (Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- FADEL, H. **Fotointerpretação de bacias e de redes de drenagem de três séries de solos da Fazenda Ipanema, Município de Araçoiaba da Serra (SP)**. Piracicaba, 1972. 92 p. (Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz”/USP).
- FORMAGGIO, A.R. ALVES D.S., EPIPHÂNIO J.C.N Sistemas de Informações Geográficas na Obtenção de Mapas de Aptidão Agrícola e de Taxa de adequação de Uso das Terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 1, p.249-56. 1992.

- FRANÇA , G.V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. Piracicaba, 1968. 151 p. (doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- FROST, R.E. Photointerpretation of soils. In: American Society of Photogrammetry. **Manual de Phtogrametry. manual of photographic interpretation**. Washington, 1960. Chapter 5. p. 340-80.
- GALVÃO L.S. **Litoestratigrafia da reflectância espectral e uma abordagem quantitativa para análise de espectros**. São Paulo: USP/Instituto Astronômico e Geofísico, 1994. 179 p. (Doutorado em Geofísica).
- GANTZEL, O . L. **Avaliação das florestas de Araucária angustifolia (Bert.) O Ktze do sul do Brasil, através de imagens de satélite LANDSAT II**. Curitiba, 1979. 105 p. (Mestrado- Universidade Federal do Paraná).
- GARCIA, G.J. & ESPÍNDOLA, C. R. Estudo sobre o tamanho da amostra circular na quantificação da rede de drenagem. **Engenharia Agrícola**. Botucatu-SP. 4: 5:12. 1980.
- GARCIA, G.J. Estudos do Solo e Relevô. In: **Sensoriamento Remoto – Princípios e Interpretação de Imagens**. São Paulo, Nobel, Cap. 7, p.196-202, 1982.
- GIAROLA, F. B. N. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório Itutinga/Camargos (MG)**. Lavras, 1994. 226 p. (Mestrado – Escola Superior de Agricultura de Lavras).
- GIMBARZEVSKY, P. ERTS-1 images in biophysical studies. In: **CANADIAN SYMPOSIAN ON REMOTE SENSING, 2.**, Guelph, 1974. **Proceedings**. Ottawa, Departament of Energy, Mines and Resources, 1974. v.2, p. 393-402.
- GOOSEN, D. Interpretation de fotos aereas y su importância en levantamiento de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y da Alimentación, 1968. 58 p. (Boletín sobre Suelos, 6).

- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hidropysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, Colorado, v. 56: 276-369, 1945.
- JANSEN, J.R. **Introductory digital image processing**. New Jersey: Prentice Hall, 1986.
- JOHNSON, R.A; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. Englewood Clifs: Prentice-Hala, 1990. 607 p.
- KRISTROF S. J.; ZACHARY A. L. 1974 Mapping soil features from Multispectral Scanner Data. **Photogrametric Engineering**. v. 40, n.12, p. 1426-33.
- LEMOS, R. C.; SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo 2. Ed. Campinas: SNLCS/SBCS, 1984 37 p.
- LIMA, E.R.V., KUX H.J.H., SAUSEN T.M. Sistemas de Informações Geográficas e Técnicas de Sensoriamento Remoto na Elaboração de Mapas de Riscos de Erosão no Sertão da Paraíba. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, Campinas. v. 16: 257-63, 1992.
- LUEDER, D.R. **Aerial photographic interpretation: principles and applications**. New York, McGraw-Hill, 1959. 462p.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2.ed. Rio de Janeiro, José Olympio, 1981, 442 p.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Publicado sob os auspícios do Banco de Desenvolvimento do Paraná, da U.F. Pr. E do IBPT, Curitiba, 1968.
- MAACK, R. Mapa geológico do Estado do Paraná. Escala 1.750.000 **Serviço de Geologia do Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológicas**. 1953.
- MARINI, O J. Geologia da folha de Araucária. **Boletim da Universidade Federal do Paraná.**, Geologia 24, Curitiba, 1967.

- MINEROPAR – **Mapa geológico do Estado do Paraná**. Escala 1:650.000. Curitiba, 1989.
- MOTTA, J. D; CANDEIAS, A. L. B; GONZAGA, E.N; extração de solo exposto e inferência do tipo de solo a partir do estudo da drenagem usando-se técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental*, Campina Grande, v. 1, p. 29-34, 1997.
- MOTTER, I. **Uso do geoprocessamento como auxílio no monitoramento da ocupação do solo em microbacias**. Curitiba, 1996. 83 p. (Mestrado – Universidade Federal do Paraná).
- MULDERS, M.A.; EPEMA, G. F. 1986. The thematic mapper: a new tool for soil mapping in arid areas. *ITC journal*, p.25-8.
- MYERS, V.I. Crops and soils. IN: *Manual of remote sensing*. Fall Church: American Society of Photogrammetry, 1975, chapter 22, p. 1715-89.
- MYERS, V.I. Remote sensing applications in agriculture. In: *Manual of remote sensing*. 2 ed. Fall Churh: American Society of Photogrammetry, 1983. Chapter 33, p. 2119-36.
- NANNI, M.R. **Delimitação de unidades fisiográficas para estudos de solos utilizando análise multivariada e técnicas de sensoriamento remoto**. Curitiba, 1995. 184 p. (Mestrado – Universidade Federal do Paraná).
- NASCIMENTO, A, L, S, M. **Bacia do Rio João leite: Influência das condições ambientais naturais e antrópicas na perda de terra por erosão laminar**. Rio Claro, 1998. 176 p. (Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Geografia/UNESP).
- NOVO, E.M.L.M. Projeto UTVAP – análise comparativa entre fotografias aéreas convencionais e imagens do LANDSAT para fins de levantamentos do uso da terra. São José dos Campos, INPE, 1979 61 p. (Relatório. 1542-NTE/152).

OLIVEIRA, E. P. Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná, **Serviços Geod. 21**. Curitiba, 1927.

OLIVEIRA, E. P. Mapa geológico do Estado do Paraná . escala 1.1000.000, Curitiba, 1925.

OLIVEIRA, M. O D. Aquisição e tratamento de dados para um sistema geográfico de informações. São José dos Campos, 1986. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PEREIRA, R.S. **Sistema de tratamento de imagens multiespectrais digitais**. Curitiba, 1995. 262 p. (Doutorado – Universidade Federal do Paraná).

PFEIFER, R. MARCONI. **Aplicabilidade de produtos de sensores remotos na caracterização fisiográfica para mapeamento de solos**. Piracicaba, 1995. 293 p. (Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).

PINTO, S. dos A F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos**: contribuição metodológica. São José dos Campos, 1991. Tese (Doutorado em Ciências/Geografia Física) Secretaria da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais.

POLITANO, W. **Estudo fotointerpretativo sobre morfometria das áreas de dois solos Podzólicos Vermelho-Amarelos**. Piracicaba, 1980. 169 p. (Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).

QUACKENBUSH, R.S. Development of photointerpretation. In: American Society of Photogrammetry. **Manual of Photography Interpretation**, Washington, 1960. Cap.1, p.1-16.

RABBEN, E. L.; CHALMERS JÚNIOR, E. L.; MANLEY, E. ; PICKNP, J. Fundamentals of photointerpretation. In: American Society of Photogrammetry. **Manual of photographic interpretation**. Washington, 1960. Cap.3, p. 100-66.

- RAY, R.G. & FISCHER, W. A . Quantitative photogrammetry: a geologic research tool. **Photogrammetry Engineering**, Falls Church, 26 (1): 144-8, 1960.
- RAY, R.G. Fotografias aéreas na Interpretação e mapeamento Geológico. Tradução de Jesuino Felicíssimo Junior. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 162 p. 1963.
- RESENDE, M... *et al.* PEDOLOGIA: base para distinção de ambientes – Viçosa : NEPUT, 1995. 304. p.
- RIBEIRO, S.R.A. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento no estudo de solos e confecção de banco de dados relacional digital do município de Palotina-PR.** Curitiba, 1997. 155 p. (Mestrado – Universidade Federal do Paraná).
- RICCI, M. & PETRI, S. **Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica.** São Paulo, Nacional, 1965. 226 p.
- RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis and Introduction.** Berlin, Springer Verlag Berlin Heidelberg. Germany, 1986, 281 p.
- ROCHA, H.O Die Böden und geomorphologischen Einheiten der Region Von Curitiba (Paraná-Brasilien). Curitiba, 1981.190 p.
- ROCHA, H. O . **Integração de dados através da análise de agrupamentos e interpretação de imagens orbitais para levantamento de solos.** Curitiba, 1993. 106 p. Tese Professor (Titular – área de conhecimento Fotointerpretação e levantamentos de solos) – Universidade Federal do Paraná).
- ROCHA *et al.* Emprego de imagens Landsat-TM e de fotointerpretação aplicada a levantamento de solos na porção Sul de Tombamento da Serra do Mar – PR. **In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais...** Curitiba – PR: 1993. v. 3, p.295-303.

ROCHA *et al.* Application of digital elevation model integrated with TM/Landsat-5 images  
Barcelona – ICA/ACI, 1995, proceedings 2, p. 2313-2317.

ROCHA, O. H.; GHANI, N. L. B. Sobreposição dos solos com vegetação, geologia, hipsometria, zoneamento, através do sistema de informações geográficas. **In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Anais...** Viçosa – MG: 1995. v. 3, p. 1640-42.

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

ROSA , R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Uberlândia: Editora da Universidade federal de Uberlândia, 1990. 136 p.

SANTOS, M.J. dos.; MENINO, I.B.; FERNANDES, M.F. Caracterização das unidades de mapeamento de solos da folha de Itaporanga SB. 24-z-c-II, com base em imagem de satélite e trabalho de campo. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 6.,** 1990, Manaus. Anais. São José dos Campos: INPE, 1990, v.1, p.892-902.

SCHIMIDLIN, D. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações para atualização e geração do mapa compilado de solos da área de proteção ambiental – Apa de Guaratuba (PR).** Curitiba, 1998. 111 p. (Mestrado – Universidade Federal do Paraná).

SIEGAL, B. S. e ABRAMS, M. J. 1976 Geologic mapping using LANDSAT data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** v. 42, n. 3, p. 325-337.

SILVA, M. S. **Fotointerpretação da rede de drenagem e do relevo de três solos do município de São Manuel , SP.** Botucatu, 1988. 150 p. (Doutorado – Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP).

- SIMPLÍCIO, A. R. M. **O emprego de sistema de informação georeferenciada (SIG) na identificação dos corpos máficos-ultramáficos da região de uauá-Bahia.** Campinas, 1995. 120 p. (Mestrado – Universidade Estadual de Campinas).
- SMITH, H.T.V. **Aerial Photographs and their Applications.** New York, D. Appleton-Century Co. 1943, 372p.
- SOUSA, E.B.; CANDEIAS, A. L. B.; VERMATTI, EUGÊNIO. **Caracterização e extração das feições associadas aos solos lateríticos, através do sensoriamento remoto e das técnicas de processamento de imagens aplicadas às imagens de satélite.** Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental, Campina Grande, v. 1 p.51-6, 1997.
- SOUZA, L.C.P. **Utilização de dados digitais TM/Landsat e análise de agrupamentos na delimitação das unidades de solos da planície de inundação do rio Ivai-PR.** Piracicaba, 1997. 143 p. (Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- 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. 135 p. (Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- STAR, J. ESTES, J. **Geographic Information System An Introduction.** Santa Bárbara, California. Prentice-Hill. 1990, 303 p.
- STONEY, W. Data Summary. In: *Executive summary of land satellite information in the next century.* American Society of Photogrametry and Remote Sensing. Bethesda, Md, p. 19-28. 1996.
- TEIXEIRA, W. & FIGUEIREDO, M.C.H. Na Outline of Early Proterozoic Crustal Evolution in the São Francisco Cráton, Brazil. A review. **Precambrian Research**, 1991, 53: 1-22.
- TOURINHO, *et. al.* Relatório preliminar do reconhecimento e mapeamento dos solos do sul do Paraná. Curitiba, 1981. 50:31-4.

- VALÉRIO FILHO, M. **Parâmetros da drenagem e do relevo na caracterização de solos e suas relações fotointerpretativas em imagens de pequena escala.** Piracicaba, 1984. 141 p. (Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- VALÉRIO FILHO, M.; DONZELL, P.L.; PINTO, S.A.F. **Técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica aplicadas ao plano de manejo e microbacias hidrográficas.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 9., 1992. Jaboticabal. Roteiro de apresentação. Jaboticabal: SBCS, 1981. (Separata).
- VETORAZZI, C.A **Interpretação de imagens TM/Landsat-5, em duas escalas, na caracterização fisiográfica para mapeamento de solos.** Piracicaba, 1988. 184 p. (Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP).
- WESTIN, F.C. & FRAZEE, C.J. Landsat data: its use in a soil survey program. **Soil Sci. Soc. Am. J., Baltimore, 40(1) : 83-9, 1976.**
- WONG, K. W.; THORNBURN T. M. e KHOURY M. A. 1977 Automatic soil identification from remote sensing data. **Photogrammetric Engineering**, v. 43, n. 1, p. 73-80.