

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-7030-TDI/662

**CARTA DE VULNERABILIDADE À EROSÃO COMO SUBSÍDIO
AO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO EM ÁREA
INTENSAMENTE ANTROPIZADA**

Cláudio José da Silva de Sousa

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto orientada pela Dra. Teresa Gallotti
Florenzano, aprovada em dezembro de 1998.

INPE
São José dos Campos
1999

528.711.7 : 574

SOUSA,C.J.S.

Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada / C.J.S.Sousa. – São José dos Campos: INPE, 1998.

172p. – (INPE-7030-TDI/662).

1.Sensoriamento remoto. 2.Sistemas de informação geográfica(SIG). 3.Ecologia da paisagem. 4.Zoneamento ecológico-econômico. 5.Erosão. 6.Vale do Paraíba . I.Título.

Aprovado pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de **Mestre**
em **Sensoriamento Remoto**.

Dr^a Teresa Gallotti Florenzano


Presidente/Orientadora

Dr. Antonio Roberto Formaggio


Membro da Banca

Dr. Edison Crepani


Membro da Banca

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro


Membro da Banca

Dr. Jorge Xavier da Silva


Membro da Banca
Convidado

Candidato(a): Cláudio José da Silva de Sousa

*Dedico esta
dissertação a **Deus** e a
tudo o que ele
representa*

AGRADECIMENTOS

À Dra. Teresa Gallotti Florenzano pela orientação prestada.

Aos Drs. João Roberto dos Santos e Corina Costa Freitas pela amizade e incentivo.

Aos Drs. Edison Crepani, Herman Kux, Mário Valério Filho e Yosio Shimabukuro e aos MSc. Cláudio Barbosa, José Simeão de Medeiros, Madalena Niero, Marisa da Motta, Pedro Hernandes Filho, Valdete Duarte pela ajuda em suas respectivas áreas de atuação.

À secretária Maria Etelvina Arbex pelo seu “sim” em todos os momentos de dificuldades, as operadoras Valéria e Íris pelo apoio técnico durante a fase de processamento dos dados e aos desenhistas Joaquim e Coimbra pelo companheirismo.

Às bibliotecárias Suelena, Sílvia e Yolanda pelas buscas e revisões das bibliografias utilizadas.

Aos amigos Ernanni Jr. que me incentivou a ingressar neste curso de mestrado, ao Luciano pelo seu companheirismo e Maria Eugenia pelo seu bom humor.

Aos Monges do *Mosteiro da Divina Providência* em São Luís do Maranhão pelo apoio técnico fornecido durante a fase de correção da dissertação.

À família Xaud pela valiosa amizade e à família Oliveira Silva pelo amor, carinho e dedicação demonstrados a minha pessoa.

Ao INPE pela oportunidade de desenvolver esta dissertação de mestrado.

À CAPES pelo fornecimento da bolsa de estudos que garantiu o sustento financeiro necessário à realização desta dissertação de mestrado.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é elaborar uma carta de vulnerabilidade à erosão em uma área intensamente antropizada do Médio Vale do Paraíba, em São José dos Campos - SP. A metodologia usada foi adaptada daquela proposta por Crepani et al. (1996), como subsídio ao Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia. Esta metodologia é baseada nos conceitos da Ecodinâmica de Tricart (1977) e na análise dos padrões de imagens. As imagens orbitais TM/LANDSAT-5, referentes às datas 06/01/87 e 03/07/88, foram interpretadas para a geração de um mapa de unidades de paisagem natural. A partir de uma imagem referente à data de 02/09/96, transformada pelo uso do modelo linear de mistura de espectral, foi obtido um mapa de uso/cobertura vegetal da área de estudo. Da sobreposição dos planos de informação de unidades de paisagem natural com o de classes de uso/cobertura vegetal foi gerado o plano de informação de unidades territoriais básicas, cujos polígonos foram avaliados quanto à sua vulnerabilidade à erosão com base nos temas geologia, geomorfologia, pedologia e uso/cobertura vegetal, através dos operadores algébricos pontuais e zonais. Essas operações permitiram a obtenção de uma carta temática de vulnerabilidade à erosão da área de estudo.

CHART OF SOIL EROSION VULNERABILITY AS A SUBSIDY TO THE ECOLOGIC-ECONOMIC ZONING OF A DENSELY OCCUPIED AREA

ABSTRACT

The objective of this study is to prepare a map of vulnerability of soil erosion of an occupied section of the medium Rio Paraíba do Sul watershed surrounding the city of São José dos Campos, São Paulo State. The methodology used was adapted from that proposed by Crepani et al. (1996) to subsidize the Ecologic Economic Zoning from Amazonia. The theoretical background was provided by concepts on ecodynamics from Tricart (1977) and image pattern analysis. The TM/LANDSAT data were used (01/06/87 and 07/03/88) to prepare a landscape units map. Furthermore, a TM-scene on 09/02/96 was used to apply the Linear Mixing Model, and the result was a land use/land cover map. These two Information Plans (IP) were used to generate a map of terrain mapping units. The erodibility of each of these units was evaluated based on geology, geomorphology, soils and land use/land cover information. The algorithm used for this task consisted of algebraic operators. Using this method the thematic maps of the soil erosion vulnerability was obtained.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 19 |
| CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 23 |
| 2.1 - Análise integrada da Paisagem | 29 |
| 2.2 - Metodologia para Geração da Carta de Vulnerabilidade Natural à Erosão | 29 |
| 2.2.1 - Levantamento e Aquisição de Material Bibliográfico, Cartográfico e de Imagens de Satélite | 29 |
| 2.2.2 - Preparação do “Overlay” de Interpretação | 30 |
| 2.2.3 - Elaboração de Mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTBs) | 30 |
| 2.2.4 - Associação do Mapa com os Dados Auxiliares | 31 |
| 2.2.5 - Avaliação da Vulnerabilidade de Cada Tema Dentro das UTBs | 31 |
| 2.2.5.1 - Geologia | 32 |
| 2.2.5.2 - Geomorfologia | 32 |
| 2.2.5.3 - Pedologia | 34 |
| 2.2.5.4 - Vegetação | 35 |
| 2.2.5.5 - Climatologia | 35 |
| 2.2.5.6 - Uso da Terra | 36 |
| 2.2.6 - Avaliação da Vulnerabilidade Final à Erosão de Cada UTB | 36 |
| 2.3 - Processamento Digital de Imagens Orbitais | 38 |
| 2.3.1 - Pré-Processamento de Imagens Orbitais | 38 |
| 2.3.1.1 - Correção Geométrica | 39 |
| 2.3.1.2 - Correção dos Efeitos Atmosféricos | 39 |
| 2.3.2 - Técnicas de Realce de Imagens Orbitais | 40 |
| 2.3.2.1 - Modelo linear de Mistura de Espectral | 40 |
| 2.4 - Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) | 43 |
| 2.4.1 - Caracterização de Dados Geográficos | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4.2 - Classes de Dados Geográficos..... | 44 |
| 2.4.3 - Representações para Campos e Objetos | 45 |
| 2.4.4 - Principais Classes de Dados Geográficos | 45 |
| 2.4.5 - Álgebra de Campos..... | 46 |
| 2.4.5.1 - Operações Pontuais | 48 |
| 2.4.5.2 - Operações Zonais..... | 49 |
| 2.5 - Sistema SPRING | 50 |
| CAPÍTULO 3 - ÁREA DE ESTUDO..... | 53 |
| 3.1 - Localização | 53 |
| 3.2 - Síntese da História Valeparaibana..... | 53 |
| 3.3 - Caracterização Quanto aos Componentes da Paisagem..... | 56 |
| 3.3.1 - Geologia | 56 |
| 3.3.1.1 - Litologias..... | 56 |
| 3.3.1.2 - Evolução Geológica..... | 58 |
| 3.3.2 - Geomorfologia..... | 59 |
| 3.3.3 - Pedologia..... | 60 |
| 3.3.4 - Climatologia | 61 |
| 3.3.5 - Uso/Cobertura Vegetal..... | 63 |
| CAPÍTULO 4 - MATERIAIS..... | 65 |
| 4.1 - Dados de Sensorimento Remoto Aéreo | 65 |
| 4.2 - Dados de Sensoriamento Remoto Orbital..... | 65 |
| 4.3 - Cartas Topográficas | 65 |
| 4.4 - Mapas Temáticos..... | 66 |
| 4.5 - Softwares..... | 66 |
| 4.6 - Equipamentos | 67 |
| CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA | 69 |
| 5.1 - Aquisição de Dados Preliminares..... | 71 |
| 5.2 - Processamento Digital de Imagens Orbitais..... | 69 |
| 5.2.1 - Correção Geométrica | 71 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2.2 - Correção dos Efeitos Atmosféricos | 72 |
| 5.2.3 - Modelo Linear de Mistura de Espectral | 73 |
| 5.2.4 - Realce por Aumento Linear de Contraste | 73 |
| 5.3 - Análise e Interpretação de Imagens Orbitais | 74 |
| 5.3.1 - Delimitação das Unidades de Paisagem Natural | 74 |
| 5.3.2 - Delimitação dos Padrões de Uso/Cobertura Vegetal | 75 |
| 5.3.3 - Geração do PI de UTBs | 76 |
| 5.4 - Análise Morfodinâmica | 76 |
| 5.4.1 - Tratamento dos Limites | 76 |
| 5.4.2 - Álgebra de Campos | 77 |
| 5.4.2.1 - Geologia | 77 |
| 5.4.2.2 - Geomorfologia | 78 |
| 5.4.2.3 - Pedologia | 84 |
| 5.4.2.4 - Uso/Cobertura Vegetal | 85 |
| 5.5 - Integração de Dados | 88 |
| 5.5.1 - Geração do Mapa Cadastral de UTBs | 88 |
| 5.5.2 - Geração da Carta Temática de Estabilidade/Vulnerabilidade à Erosão | 89 |
| CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO | 91 |
| 6.1 - Aquisição de Dados Preliminares | 91 |
| 6.2 - Processamento Digital de Imagens Orbitais | 91 |
| 6.2.1 - Correção Geométrica | 91 |
| 6.2.2 - Correção dos Efeitos Atmosféricos | 92 |
| 6.2.3 - Modelo Linear de Mistura de Espectral | 92 |
| 6.3 - Análise e Interpretação de Imagens Orbitais | 99 |
| 6.3.1 - Delimitação das Unidades de Paisagem Natural | 99 |
| 6.3.2 - Delimitação dos Padrões de Uso/Cobertura Vegetal | 101 |
| 6.3.3 - Geração do PI de UTBs | 107 |
| 6.4 - Análise Morfodinâmica | 109 |
| 6.4.1 - Tratamento dos Limites | 109 |
| 6.4.2 - Álgebra de Campos | 111 |

| | |
|---|------------|
| 6.4.2.1 - Geologia | 111 |
| 6.4.2.2 - Geomorfologia..... | 112 |
| 6.4.2.3 - Pedologia..... | 117 |
| 6.4.2.4 - Uso/Cobertura Vegetal..... | 119 |
| 6.5 - Integração de Dados | 120 |
| 6.5.1 - Mapa Cadastral de UTBs | 120 |
| 6.5.2 - Carta Temática de Estabilidade/Vulnerabilidade à Erosão..... | 121 |
| CAPITULO 7 - CONCLUSÕES | 125 |
| 7.1 - Aquisição de Dados Preliminares..... | 125 |
| 7.2 - Processamento Digital de Imagens Orbitais..... | 125 |
| 7.3 - Metodologia para a Geração da Carta Temática de Estabilidade/Vulnerabilidade à Erosão..... | 126 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 129 |
| APÊNDICE A - VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA OS TEMAS GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA E USO/COBERTURA VEGETAL..... | 141 |
| APÊNDICE B - PROGRAMAS LEGAL..... | 157 |

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 2.1 - Fluxograma metodológico para a geração da carta de vulnerabilidade à erosão | 29 |
| 2.2 - Modelo para avaliar a vulnerabilidade final à erosão das UTBs..... | 37 |
| 2.3 - Classes de operações geográficas | 47 |
| 2.4 - Modelo de dados geo-relacional..... | 51 |
| 2.5 - Modelo conceitual do Sistema SPRING..... | 52 |
| 3.1 - Área de estudo | 55 |
| 3.2 - Diagrama ombrotérmico do clima referente a São José dos Campos | 63 |
| 5.1 - Fluxograma metodológico | 70 |
| 5.2 - Fluxograma metodológico referente à etapa A | 72 |
| 5.3 - Fluxograma metodológico referente à etapa C | 74 |
| 5.4 - Geração do PI de UTBs | 76 |
| 5.5 - Operações algébricas para o tema geologia | 78 |
| 5.6 - Operações algébricas para o tema amplitude altimétrica..... | 80 |
| 5.7 - Operações algébricas para o tema dimensão interfluvial média | 82 |
| 5.8 - Operações algébricas para o tema morfografia | 83 |
| 5.9 - Integração dos valores referentes à morfometria e a morfografia..... | 84 |
| 5.10 - Operações algébricas para o tema pedologia | 85 |
| 5.11 - Operações algébricas para o tema uso/cobertura vegetal..... | 87 |
| 5.12 - Geração da carta temática de estabilidade/vulnerabilidade à erosão..... | 89 |
| 6.1 - Assinaturas espectrais dos componentes puros | 93 |
| 6.2 - Imagens-erro..... | 95 |
| 6.3 - Histogramas das imagens-proporção vegetação (R), solo (G) e sombra (B)..... | 96 |
| 6.4 - Composição colorida das imagens-proporção vegetação (R), solo (G) e sombra (B)..... | 97 |
| 6.5 - Composição colorida das imagens-proporção vegetação (R) e solo (G)..... | 99 |
| 6.6 - Unidades de paisagem natural | 101 |
| 6.7 - Unidades de paisagem natural e padrões de uso/cobertura vegetal..... | 106 |
| 6.8 - Mapa de uso/cobertura vegetal..... | 107 |

| | |
|--|-----|
| 6.9 - UTBs..... | 108 |
| 6.10 - Imagem TM-4 com os limites das classes temáticas | 110 |
| 6.11 - Mapa de geologia..... | 111 |
| 6.12 - Mapa de amplitude altimétrica | 113 |
| 6.13 - Mapa de dimensão interfluvial média..... | 115 |
| 6.14 - Mapa de morfografia..... | 116 |
| 6.15 - Mapa de associações de solos | 118 |
| 6.16 - Esquema de uma consulta por atributos..... | 121 |
| 6.17 - Carta temática de estabilidade/vulnerabilidade à erosão | 122 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 2.1 - Modelo para avaliar a vulnerabilidade à erosão das UTBs..... | 32 |
| 2.2 - Forma dos topos | 33 |
| 2.3 - Representação da estabilidade/vulnerabilidade das UTBs..... | 38 |
| 4.1 - Especificações das imagens TM/LANDSAT-5 | 65 |
| 5.1 - Valores máximos e mínimos dos histogramas | 73 |
| 5.2 - Classes de amplitude altimétrica | 79 |
| 5.3 - Classes de dimensão interfluvial média..... | 81 |
| 5.4 - Porcentagem de cobertura e valores de estabilidade/vulnerabilidade | 86 |
| 5.5 - Atributos das UTBs | 88 |
| 6.1 - Parâmetros quantitativos da correção geométrica | 91 |
| 6.2 - Valores dos níveis de cinza estimados para a correção dos efeitos atmosféricos | 92 |
| 6.3 - Erros de estimação por banda..... | 93 |
| 6.4 - Parâmetros de interpretação de imagens orbitais | 102 |
| 6.5 - Padrões das classes de uso/coertura vegetal no campo e na composição colorida das imagens-proporção vegetação (R) e solo (G) | 102 |
| 6.6 - Classes litológicas e valores de estabilidade/vulnerabilidade | 112 |
| 6.7 - Classes de amplitude altimétrica, dimensão interfluvial média, morfografia e valores de estabilidade/vulnerabilidade | 114 |
| 6.8 - Valores de estabilidade/vulnerabilidade médios para as formas agradacionais.. | 117 |
| 6.9 - Associações de solos e valores de estabilidade/vulnerabilidade | 118 |
| 6.10 - Classes de uso/coertura vegetal e valores de estabilidade/vulnerabilidade | 119 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os ambientes naturais encontrados na superfície da Terra mantêm-se segundo trocas de energia e matéria entre os seus diferentes componentes (rochas, relevo, solos, vegetação, clima, etc.), que se articulam e interagem através de mecanismos de funcionamento e interdependência.

Aliado a esses mecanismos, é cada vez mais significativa a ação humana que, ao se apropriar do território e de seus recursos naturais, causa grandes alterações na paisagem com um ritmo muito mais intenso que o determinado pela natureza.

Visando atenuar os impactos gerados pelo uso irracional dos recursos naturais, torna-se necessário o conhecimento integrado da paisagem, como forma de adequar as transformações impostas pelo homem às potencialidades do meio.

Tal conhecimento efetiva-se por meio dos estudos integrados da paisagem, que pressupõem o entendimento da dinâmica do ambiente. Disso resulta a sintetização do perfil da paisagem em mapeamentos que subsidiam projetos de planejamento e gerenciamento em diversas áreas do conhecimento tais como Geologia, Agricultura, Engenharia, etc.

Esses mapeamentos são elaborados segundo métodos de classificação do terreno tais como: o *Sistema Genético* que subdivide o terreno com base nos fatores que governam a morfogênese e suas características genéticas; o *Sistema Paramétrico* baseado no estudo quantitativo e na classificação individual dos atributos do terreno; e o *Sistema de Paisagem*, que ao contrário do anterior, admite a inter-relação entre os vários atributos do terreno.

A partir dos conceitos da Ecodinâmica introduzidos por Tricart (1977) é possível observar a paisagem sob o instrumento lógico dos sistemas. Estes conceitos associados às potencialidades das imagens orbitais em apresentarem a paisagem de maneira

sinóptica e holística, permitiram a proposição de uma metodologia por um grupo de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) destinada à obtenção de cartas de vulnerabilidade natural à erosão (Crepani et al., 1996).

Essa metodologia apoia-se no uso sistemático de imagens orbitais de Sensoriamento Remoto, sobre as quais são delimitadas as células elementares de um zoneamento, as *unidades territoriais básicas (UTBs)*. Esse processo envolve a análise e a interpretação dos padrões texturais de relevo, drenagem e de uso/cobertura vegetal. As unidades delimitadas, são em seguida associadas com as informações temáticas preexistentes e analisadas quanto à relação morfogênese/pedogênese.

Através de um convênio entre o INPE e a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), essa metodologia foi inicialmente aplicada nos Estados que compõem a Amazônia Legal com o intuito de capacitar equipes multidisciplinares, como parte dos trabalhos para a realização do Zoneamento Ecológico-Econômico daquela região (Crepani et al., 1996).

Os procedimentos metodológicos presentes em Crepani et al. (1996) envolveram a criação de um mapa preliminar de unidades homogêneas a partir de imagens TM/LANDSAT-5 em escala 1: 250.000 e da associação das unidades com as informações temáticas referentes à geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e climatologia em escala 1: 1.000.000. Nesse trabalho, no cálculo da vulnerabilidade à erosão de cada unidade, não foram incluídas as informações provenientes dos polígonos de ação antrópica.

Os aspectos fisionômicos demonstrados pelos polígonos de ação antrópica nas imagens de Sensoriamento Remoto orbital revelam os diferentes cenários produzidos pelo homem na ordenação espacial do território. Esta ordenação, associada à quebra da dinâmica mantida pelos componentes da paisagem e conseqüente aceleração dos processos morfogenéticos, levou, posteriormente, à inclusão desses polígonos no cálculo da vulnerabilidade à erosão das UTBs. Este aspecto pode ser constatado na segunda versão da metodologia para a realização do Zoneamento Ecológico-Econômico em uma dada região (Crepani et al., 1998).

Os procedimentos metodológicos tratados em Crepani et al. (1996) para a geração da carta de vulnerabilidade à erosão em associação com a variável uso devem ser estendidos às demais regiões do país. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo **gerar uma carta de vulnerabilidade à erosão em uma área antropizada do Médio Vale do Paraíba - SP**. Pretende-se alcançar também os seguintes objetivos específicos:

- gerar um mapa de uso/cobertura vegetal da área de estudo através das imagens-proporção derivadas das imagens TM/LANDSAT - 5 pelo uso do modelo linear de mistura espectral; e
- gerar um mapa cadastral de UTBs caracterizadas quanto aos componentes físico-bióticos da paisagem através de uma tabela de atributos.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Análise Integrada da Paisagem

Na atualidade é grande o número de artigos que dizem respeito ao equilíbrio dinâmico mantido pelos diferentes componentes da paisagem e as ações humanas as quais visam a exploração dos recursos naturais.

Nesse sentido, Ross (1994) relata que, salvo algumas regiões do planeta, a maioria dos ambientes naturais mostravam-se ou mostram-se em equilíbrio dinâmico até serem submetidos à exploração dos seus recursos naturais. Tal exploração é resultante do avanço técnico, científico e econômico a que foram submetidas as sociedades humanas nos últimos dois séculos. Isso culminou em impactos sociais, econômicos, culturais e ambientais principalmente nos países que importaram tais inovações.

A apropriação dos recursos naturais de maneira a não atender as suas potencialidades e a fragilidade dos ambientes dos quais são extraídos, conduzem à instalação de processos degenerativos que são resultantes de quebras nos mecanismos de funcionamento e interdependência mantidos entre os seus componentes físico-bióticos. Esses mecanismos requerem um prévio entendimento para que a marcha ditada pelo desenvolvimento seja compatível com aquela impressa pela natureza (Ross, 1994, 1995).

Segundo Pires Neto (1995) o meio ambiente pode ser observado sob duas diferentes abordagens são elas: a abordagem geológico-geotécnica e a abordagem de paisagem

A abordagem geológico-geotécnica está relacionada à geologia de engenharia e tem como principais atribuições a resolução de problemas específicos solucionados pelo emprego de grandes escalas, tais como: à implantação de obras de Engenharia Civil, ao estudo dos riscos geológicos e ao planejamento de áreas urbanas. Neste sentido, destacam-se na literatura os trabalhos de Nakazawa et al. (1994), Zuquette et al. (1995),

Lollo e Zuquette (1996), Gandolfi e Aguiar (1994), Peloggia (1996), Oliveira (1996), Macari (1996) e Aguiar e Gandolfi (1997).

Essa abordagem, embora assuma um papel importante no planejamento territorial apresenta uma unilateralidade por contemplar em seu contexto apenas os aspectos geológicos do meio físico, postergando estudos pedológicos, fitogeográficos, de uso da terra, climatológicos e hidrológicos. Portanto, nesse caso, a abordagem geológico-geotécnica encontra-se muito aquém das necessidades impostas pelo planejamento territorial cuja solução encontra-se no emprego de uma abordagem que busque entender o meio ambiente através das relações mantidas entre seus diferentes componentes.

Esse entendimento é proporcionado pelo emprego do conceito de terreno ou abordagem de paisagem que, conforme Zonneveld (1979), é vista por intermédio de três pontos de vista. O primeiro está relacionado ao aspecto visual da paisagem, que é uma importante fonte de informação para o diagnóstico do terreno. O segundo relaciona-se aos diferentes atributos que a caracterizam e são comumente referenciados pelas rochas, relevo, solos e vegetação. O terceiro refere-se à paisagem como um ecossistema, mantido por mecanismos de interdependência tanto no plano horizontal, entre unidades de terreno, como no plano vertical, pelos diferentes atributos.

O planejamento territorial, utilizando a abordagem de paisagem, excede os domínios de um único profissional e requer o emprego de equipes multidisciplinares para a geração de mapeamentos em escalas regionais. Estes visam o uso e a ocupação racional de grandes áreas e são resultantes dos diferentes sistemas de classificação de terreno.

Estes sistemas de classificação do terreno são divididos conforme Mabbutt (1968) em Sistema Genético, Sistema Paramétrico e Sistema de Paisagem. O primeiro divide o terreno em função dos fatores que governam a morfogênese e pelas características genéticas. Os outros dois estudam o terreno sob a ótica dos seus diferentes atributos, diferenciando-se basicamente pela existência ou não da inter-relação entre eles.

O sistema de Paisagem, ao contrário dos demais, parte do instrumental lógico da teoria dos sistemas para o ordenamento do terreno. Esses sistemas, segundo Novaes (1982), são compostos por um conjunto de elementos $E=\{E_0, E_1, E_2, \dots, E_n\}$ e um conjunto de relações $R=\{R_{01}, R_{02}, \dots, R_{nm}\}$ entre aqueles elementos. Cada elemento é representado por seus atributos relevantes, isto é, por aquelas características que representam relações de causa e efeito com os outros elementos.

Ainda conforme Novaes (1982), a idéia de sistema se contrapõe à de justaposição. Neste caso, os elementos não apresentam relações, R_{ij} , coerentes entre si, tendo em vista as funções gerais do conjunto. Já no caso dos sistemas essas relações são altamente coerentes e estruturadas.

Florenzano (1986) relata os principais sistemas de classificação do terreno existentes e seus principais enfoques adotados na ordenação do terreno. Dentre esses sistemas de mapeamento do terreno, o desenvolvido pela “*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)*” na Austrália, e também conhecido como “*land system approach*” é o mais conhecido e utilizado. Ele baseia-se no uso sistemático de fotografias aéreas e/ou, mais recentemente, de imagens orbitais de Sensoriamento Remoto e comporta, em sua versão mais elaborada, três níveis hierárquicos em escala crescente de dimensão espacial: sítio (“*site*”), unidade de terra (“*land unit*”) e o sistema de terra (“*land system*”).

De acordo com Ross (1995), o “*land system approach*” (ou sistema CSIRO) é um dos procedimentos metodológico-operacionais na geração de produtos cartográficos necessários à abordagem geográfica na pesquisa ambiental. Segundo este autor, as pesquisas geradas pelo sistema CSIRO contemplam em seu nível hierárquico superior os padrões fisionômicos do terreno ou padrões de paisagens, que, individualizados e cartografados, são o referencial básico para o início das pesquisas.

As imagens de Sensoriamento Remoto orbital por proporcionarem uma visão sinóptica e instantânea da paisagem constituem dados de grande potencial aos estudos que envolvem mapeamento integrado sob a óptica do sistema de paisagem. O caráter holístico e

multitemporal por elas oferecidos permitem a integração de profissionais dos ramos das Geociências, das Biociências e das Ciências Humanas (econômica e social) para a geração de produtos que sintetizam seus conhecimentos e que dão suporte às políticas de planejamento estratégico.

A seguir são apresentados alguns trabalhos que utilizaram as imagens orbitais de Sensoriamento Remoto no estudo de unidades de paisagem:

- *Florenzano (1986)*: Avaliou a utilização dos dados MSS/LANDSAT-5 para o mapeamento geomorfológico em uma região semi-árida do Estado da Bahia, a partir do método de mapeamento baseado no sistema CSIRO em conjunto com uma análise de parâmetros quantitativos;
- *Kurkdjian et al. (1992)*: Elaboraram uma metodologia de planejamento regional, baseada no uso de imagens TM/LANDSAT-5 e HRV/SPOT, para realização do Macrozoneamento da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo (MAVALE). Este trabalho teve como principal objetivo dar suporte ao Consórcio de Desenvolvimento Integrado do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo (CODIVAP), na elaboração de diretrizes de ordenamento do uso do solo regional, que conduzam ao desenvolvimento harmônico da região e à proteção do meio ambiente. Além das imagens orbitais foram utilizados fotografias aéreas, dados do Projeto RADAMBRASIL e de outras fontes para o diagnóstico do meio físico. Este diagnóstico em associação com o sócio-econômico, oriundo de dados censitários, permitiu a elaboração do mapa final de macrozoneamento da região na escala de 1: 250.000;
- *Arima et al. (1993)*: Elaboraram um mapa de vegetação natural e uso do solo, a partir das imagens TM/LANDSAT-5, que subsidiou a elaboração do mapa de unidades sócio-econômicas;
- *Dias et al. (1996)*: Propuseram o ordenamento da paisagem na área de atuação das rodovias TO-050 e TO-040 a partir de dados dos meios físico e biótico e de

dados sócio-econômicos. Nessa abordagem as imagens orbitais permitiram a avaliação da estrutura e dinâmica do ambiente de estudo;

- Refosco (1996): Investigou a relação entre a suscetibilidade à perda de solos das bacias do Araquá e do Turvo com a concentração de sólidos totais no reservatório de Barra Bonita;
- Rosa (1996): Desenvolveu uma metodologia para o zoneamento de bacias hidrográficas, cujos princípios baseados numa abordagem holístico-sistêmica, procuraram compreender as inter-relações estruturais da paisagem. Na aplicação desta metodologia na sub-bacia do Ribeirão Douradinho-MG, utilizaram-se as imagens orbitais para a seleção das classes de uso da terra e cobertura vegetal;
- Baars e Jeanes (1997): Realizaram uma classificação de terras no oeste de Zâmbia através da abordagem baseada no “land systems approach”. Nesse trabalho foram definidos quatro níveis hierárquicos baseados nos padrões dos tipos de vegetação, de relevo e de drenagem presentes nas imagens MSS/LANDSAT-5. Esse produto serviu de base para a geração do mapa de paisagem e pastagem em escala 1: 500.000 da área de estudo;
- Jeanes e Baars (1997): Para estes autores a vegetação foi a característica mais importante para a classificação de terras no oeste de Zâmbia. Isto em virtude de sua facilidade de interpretação nos dados de Sensoriamento Remoto aéreo e orbital e de sua grande relação com os componentes da paisagem solo, relevo, hidrografia e clima;
- Xaud (1998): Através de dados de Sensoriamento Remoto orbital e Sistemas de Informação Geográfica analisou a interação da cobertura vegetal, presente no extremo norte de Roraima, com o seu ambiente. Para tanto, as imagens orbitais realçadas permitiram a confecção de um mapa de vegetação cujas classes temáticas foram associadas com as de geologia, geomorfologia e pedologia mediante tratamentos estatísticos. Estes tratamentos demonstraram que a

ocorrência de algumas classes de vegetação são melhor explicadas pela geomorfologia e pelos solos da região. Esta constatação quanto à vegetação permitiu a geração de um mapa de unidades de paisagem natural a partir do cruzamento da geomorfologia, solos e vegetação.

2.2 - Metodologia para Geração da Carta de Vulnerabilidade Natural à Erosão

A análise morfodinâmica baseada nos conceitos da Ecodinâmica de Tricart (1977) permitiu a proposição de uma metodologia por um grupo de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esta metodologia, que apoia-se no uso sistemático de imagens de satélite, visa a elaboração da carta de vulnerabilidade natural à erosão. Através de um convênio entre o INPE e a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), essa metodologia foi inicialmente aplicada aos estados que compõem a Amazônia Legal com o intuito de capacitar técnicos para a realização da primeira fase do Zoneamento Ecológico-Econômico daquela região.

A carta de vulnerabilidade à erosão constitui um dos produtos síntese intermediários e representa a contribuição oferecida pelo meio físico-biótico à ocupação racional do território e o uso sustentável dos recursos naturais. Esta carta em associação com a de potencialidade social são responsáveis pela criação da carta síntese de subsídio à gestão do território (Becker e Egler, 1997).

Conforme Crepani et al. (1996) e Becker e Egler (1997) os procedimentos metodológicos para a geração da carta de vulnerabilidade natural à erosão (Figura 2.1), são relatados destacando a utilização dos produtos cartográficos e de Sensoriamento Remoto orbital em escala de 1: 1.000.00 e de 1: 250.000. Estas escalas foram selecionadas em virtude da carência de dados em escalas detalhadas.

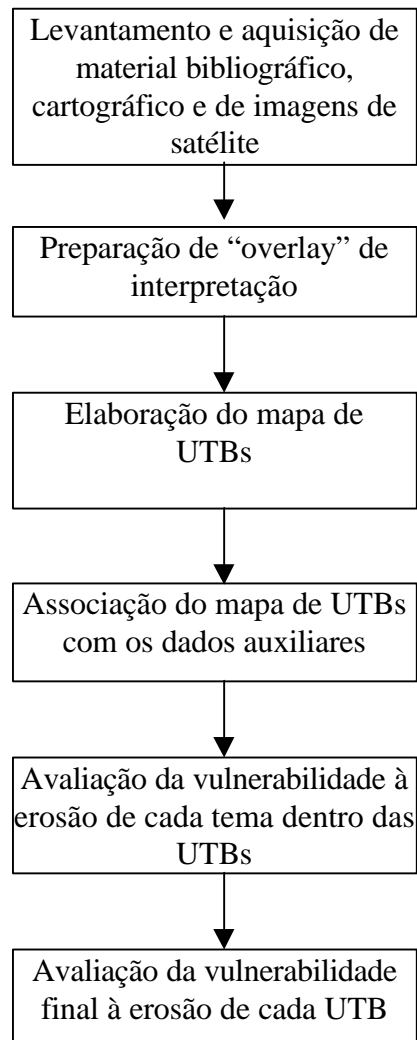


Fig. 2.1 - Fluxograma metodológico para a geração da carta de vulnerabilidade à erosão.

FONTE: Adaptada de Becker e Egler (1997, p. 32-36).

2.2.1 - Levantamento e Aquisição de Material Bibliográfico, Cartográfico e de Imagens de Satélite

- Aquisição de imagens orbitais TM/LANDSAT-5 na composição colorida das bandas 3, 4 e 5 nos canais B, G e R¹, respectivamente;
- Levantamento de dados bibliográficos;

¹ "Blue" (azul), "Green" (verde) e "Red" (vermelho).

- Aquisição de mapas temáticos do RADAM (geológico, geomorfológico, solos e fitogeográficos) na escala de 1: 1.000.000 e
- Aquisição da carta topográfica da área de estudo na escala de 1: 250.000.

2.2.2 - Preparação do “Overlay” de Interpretação

Consiste na compilação cartográfica de pontos de referência tais como, drenagem, estradas, cidades, etc., obtidos diretamente sobre a carta topográfica na escala de 1: 250.000.

2.2.3 - Elaboração de Mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTBs)

As *UTBs* são células elementares de um zoneamento ecológico-econômico, as quais constituem uma *entidade geográfica* com *atributos ambientais* que permitem diferenciá-la de suas vizinhas ao mesmo tempo em que possui vínculo dinâmico que a articula a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais (Becker e Egler, 1997). Elas são divididas em duas categorias: *as unidades de paisagem natural e os polígonos de ação antrópica*.

As unidades de paisagem natural são obtidas a partir da delimitação sobre as imagens TM/LANDSAT-5 dos padrões identificados pelas variações de forma, tonalidade, cor, textura, sombra (Garcia, 1975; Anderson et al., 1979; Paine, 1981; Valério Filho et al., 1981) e pelos elementos texturais de relevo e drenagem (Veneziani e Anjos, 1982).

A delimitação das unidades de paisagem natural ou unidades homogêneas de relevo, também, constitui a etapa inicial dos métodos de mapeamento geomorfológico ITC e IGU, bem como dos métodos de mapeamento integrado CSIRO, Canadense, Soviético (Way, 1973; Verstappen, 1977; Short e Blair Jr., 1986 e Cooke e Doornkamp, 1990).

A escala de 1: 250.000, adotada para a delimitação dessas unidades, encontra-se de acordo com o terceiro nível toxonômico descrito em Ross (1992), que pode ser definido como unidades morfológicas, unidades de tipos de relevo ou padrões de formas

semelhantes. São formas de relevo, que observadas em imagens de satélite, mostram o aspecto fisionômico, quanto à rugosidade topográfica ou à dissecação do relevo.

Os polígonos de ação antrópica correspondem às feições decorrentes da intervenção humana na paisagem, manifestadas na forma de alterações na tonalidade de cinza ou matizes de cores, dentro de padrões característicos

2.2.4 - Associação do Mapa com os Dados Auxiliares

Nesta etapa, os mapas preexistentes, tais como mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e climatológicos são utilizados para caracterizar tematicamente cada uma das UTBs resultantes da fase interpretativa.

2.2.5 - Avaliação da Vulnerabilidade de Cada Tema Dentro das UTBs

Nesta etapa é estabelecida a vulnerabilidade das UTBs, segundo os conceitos da ecodinâmica de Tricart (1977), os quais dizem respeito à dinâmica dos ecótopos², utilizando-se o instrumental lógico dos sistemas. Esses conceitos permitiram a organização do espaço em três meios, definidos segundo a intensidade dos processos morfodinâmicos reinantes. Esses meios e suas características são relatados a seguir:

- *Meios estáveis*: Apresentam uma cobertura vegetal suficientemente fechada, dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem solapamentos vigorosos dos rios, e vertentes de lenta evolução;
- *Meios intergrades*: Mostram um balanço entre os processos modificadores das formas e os que favorecem a formação dos solos; e
- *Meios fortemente instáveis*: Apresentam condições bioclimáticas com ocorrências de variações agressivas de ventos e chuvas; relevo com vigorosa dissecação; presença de solos rasos; inexistência de cobertura vegetal densa; planícies e fundos de vale sujeitos a inundações e geodinâmica interna densa.

² Meio ambiente dos ecossistemas.

Os conceitos acima descritos permitiram a proposição do modelo por Crepani et al. (1996), que visa avaliar as UTBs quanto à sua vulnerabilidade à erosão. Esse modelo estabelece 21 classes de vulnerabilidade distribuídas entre as situações de predomínio dos processos formadores dos solos (*pedogênese*) e os erosivos modificadores das formas de relevo (*morfogênese*) (Tabela 2.1). Esse modelo é aplicado individualmente a cada informação temática presente nas UTBs segundo os critérios abaixo relacionados.

TABELA 2.1 - MODELO PARA AVALIAR A VULNERABILIDADE À EROSÃO DAS UTBs

| UNIDADE | RELAÇÃO PEDOGÊNESE / MÓRFOGÊNESE | VALOR |
|---------------|---|-------|
| Estável | Prevalece a pedogênese | 1,0 |
| Intermediária | Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese | 2,0 |
| Instável | Prevalece a morfogênese | 3,0 |

Adaptada de Crepani et al. (1996, p. 7).

2.2.5.1 - Geologia

As informações geológicas para a análise e definição da morfodinâmica das UTBs compreende as informações relativas ao *grau de coesão dos minerais* que compõem as rochas, fornecidas pela Mineralogia e Petrologia, e as informações relativas à *evolução do seu ambiente geológico*, fornecidas pela Tectônica e pela Geologia Estrutural (Crepani et al.,1996).

2.2.5.2 - Geomorfologia

Os fatores representativos dessa categoria incluem inicialmente os relacionados à morfografia, ou seja, a análise das formas de relevo, com maior enfoque para a forma dos topos (Tabela 2.2), e a morfometria relacionada à análise dos índices quantitativos das formas de relevo: dimensão interfluvial média, amplitude altimétrica e a declividade.

TABELA 2.2 - FORMA DOS TOPOS

| FORMA DOS TOPOS | ESQUEMA |
|-----------------|--|
| Plano |  |
| Convexo |  |
| Angular |  |

Adaptada de Crepani et al. (1996, p. 9).

O primeiro índice, *dimensão interfluvial média*, representa a dissecação do relevo pela drenagem no plano horizontal e é inversamente proporcional à densidade de vales ou densidade de drenagem (Meijerink, 1988). O segundo índice, *amplitude altimétrica*, é definido como a diferença de cotas entre o topo da forma e o vale e representa o aprofundamento da dissecação no plano vertical. Esses dois parâmetros quantitativos, em conjunto, compõem a matriz de dissecação do relevo, onde ao primeiro associam-se as colunas e ao segundo as linhas. A ordem dessa matriz varia em função dos intervalos de classes adotados. Esses intervalos são função das características da área de estudo (Meijerink, 1988) e da escala de trabalho adotada (Crepani et al., 1998).

Cada índice da matriz corresponde a uma categoria morfométrica que varia de fraco para os índices mais baixos e forte para os mais altos. Os intervalos de classes para a dimensão interfluvial e amplitude altimétrica são dados em Meijerink (1988), Ross (1992, 1994) e Crepani et al. (1996).

A *declividade*, seja ela determinada a partir do método do ábaco (De Biase, 1992) ou através do processamento de Modelos Numéricos de Terreno (MNTs) (Felgueiras e Erthal, 1988) é outro parâmetro a ser utilizado para avaliar as formas de relevo. Os limiares de classes para esse índice são função dos objetivos do trabalho e de acordo com a legislação vigente. Alguns intervalos de classes e suas aplicações são apresentados em De Biase (1992).

Embora De Biase (1992) não faça distinção quanto à escala de trabalho adotada para utilização da declividade, Ross (1992) destaca o uso deste parâmetro em estudos de grandes escalas como 1: 25.000, 1: 10.000 e 1: 5.000. Essa afirmação é confirmada por Ross (1994), que sugere a utilização dos parâmetros morfométricos *forma das vertentes* e *classes de declividade* para a realização da análise genética das formas de relevo, que acompanha a Carta Geomorfológica em escalas detalhadas.

A *declividade* e a *orientação de vertentes* constituem os parâmetros morfométricos adotados por Colângelo (1996) para a caracterização das nove formas mínimas de relevo presentes em um par antagônico *frente de interflúvio-anfiteatro*. A metodologia abordada por esse autor visa obter a carta de feições mínimas de relevo destinada para a análise em grandes escalas, onde se pretende correlacionar as formas de relevo com a dinâmica dos fluxos hídricos, as formações superficiais, etc.

Ainda, como exemplo de aplicação do parâmetro morfométrico declividade para estudos de grande escala cita-se a *Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)*, que em sua equação clássica traz o parâmetro *S*, representando a declividade média da rampa. Essa equação foi utilizada por Pinto (1991); Saiz (1996); Kuntschik (1996), entre outros, para estimar a perda de solos em micro-bacias hidrográficas.

2.2.5.3 - Pedologia

A característica considerada para estabelecer as classes de vulnerabilidade do tema solos é o seu *grau de desenvolvimento*. A análise do solo é subsidiada pelos dados bibliográficos que são associados à interpretação das imagens. O relatório do Projeto RADAMBRASIL traz as características morfológicas, físicas e químicas dos solos, acompanhadas dos resultados analíticos dos perfis representativos. O relevo, a cobertura vegetal e o material de origem também são enfocados (Crepani et al., 1996 e Becker e Egler, 1997).

No Projeto RADAMBRASIL os mapas exploratórios de solos, em escala 1: 1.000.000, foram elaborados com base na interpretação de mosaicos semi-controlados de imagens

de radar e trabalho de campo. Assim, devido ao seu nível generalizado, as classes de solos ocorrem associadas em unidades de mapeamento, cujos símbolos são referenciados aos solos dominantes nas mesmas. Dessa forma, quando em uma UTB existir mais de um tipo de solo, o resultado da vulnerabilidade final será composto, segundo as porcentagens de ocorrência 60%, 30% e 10% para primeiro segundo e terceiro componentes, respectivamente (Crepani et al., 1996).

2.2.5.4 - Vegetação

Quanto a esse tema, é observada a proteção que a cobertura vegetal oferece ao solo, a qual é resultante de sua exuberância e massa foliar (Becker e Egler, 1997). A cobertura vegetal representa a defesa da UTB contra os efeitos modificadores das formas de relevo. Essa defesa se configura das seguintes maneiras: evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno, promovendo a desagregação das partículas; evita a compactação do solo, cuja capacidade de absorção é reduzida; aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo da chuva e por fim, suporta a vida silvestre que é responsável pelo aumento da porosidade e permeabilidade do solo (Tricart, 1977).

2.2.5.5 - Climatologia

Quanto as informações climáticas, as de maior interesse são as de temperatura e as de pluviosidade, valorizando-se a intensidade e a duração das precipitações. Segundo Crepani et al. (1996), a vulnerabilidade desse tema é estimada através da relação entre os valores extremos de pluviosidade e de duração do período chuvoso da região onde se localiza a UTB.

As informações climatológicas podem permanecer constantes, na área de estudo, o que depende de sua extensão e das características do relevo. Isso no entanto, não se adequa a uma área com grandes variações altimétricas, cujos efeitos recaem sobre a distribuição de temperaturas e precipitação (Ross, 1996).

2.2.5.6 – Uso da Terra

O tema uso da terra, segundo Becker e Egler (1997) deve ser considerado quando interferir de modo significativo na definição das unidades homogêneas. Esse tema, segundo Crepani et al. (1996), é representado pelos polígonos de ação antrópica, cuja vulnerabilidade é função do grau de cobertura oferecida pela classe de uso ao solo. Dessa forma, a classe *solo exposto* assume o valor superior do intervalo, seguida das demais classes por ordem crescente de cobertura do solo (cultura, pastagem e vegetação secundária nos seus diferentes estágios de crescimento) Crepani et al. (1998).

Em se tratando de áreas bastante antropizadas, é grande a probabilidade de que uma unidade de paisagem natural contenha mais de um polígono de ação antrópica, cuja individualização é limitada pela baixa resolução das imagens orbitais. A solução pode ser contornada pela delimitação de associações de classes de uso da terra, onde o valor da vulnerabilidade final é ponderado mediante à porcentagem de ocorrência dessas classes dentro da unidade de paisagem natural. Neste casos as porcentagens podem ser estimadas através da interpretação das imagens orbitais e de verificações em campo.

2.2.6 - Avaliação da Vulnerabilidade Final à Erosão de Cada UTB

A vulnerabilidade final é obtida pela da média aritmética dos valores de vulnerabilidade para cada tema (geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, etc.) conforme a Figura 2.2.

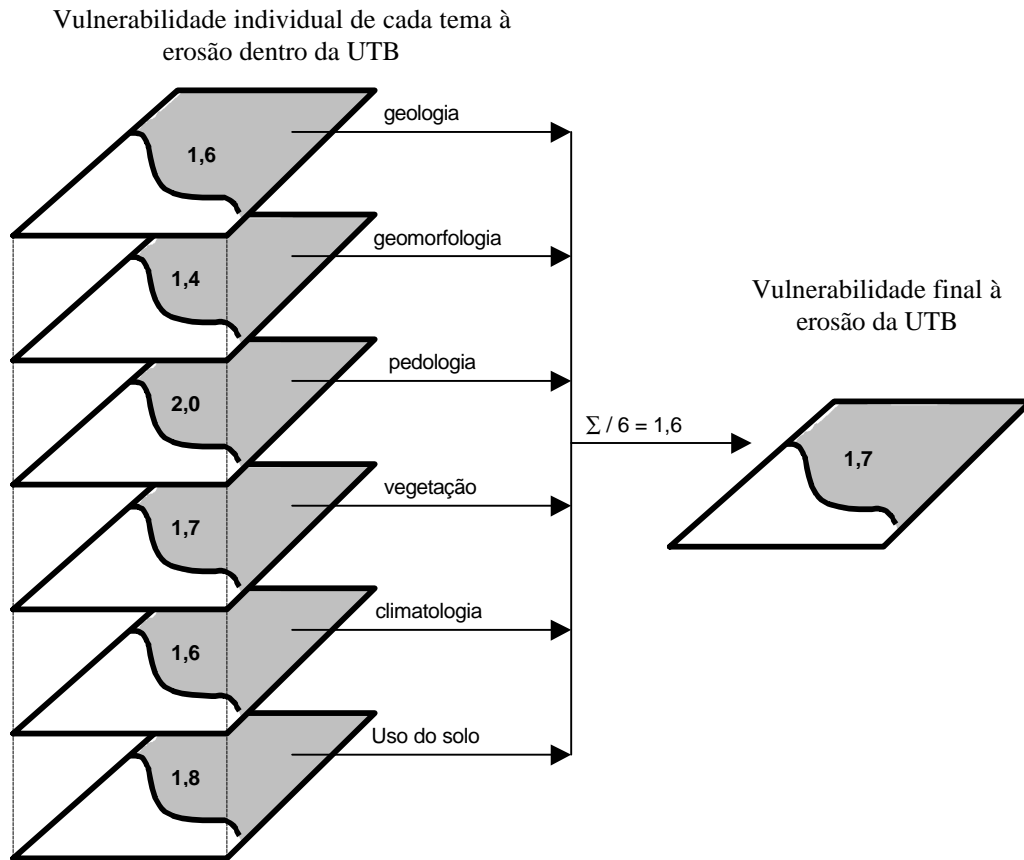


Fig. 2.2 - Modelo para avaliar a vulnerabilidade à erosão das UTBs.

A média calculada permite apresentar a UTB em uma escala de estabilidade/vulnerabilidade com vinte e uma classes (Tabela 2.3). As unidades mais estáveis apresentarão valores próximos a 1,0, as unidades intermediárias valores ao redor de 2,0 e as unidades mais vulneráveis apresentarão valores próximos de 3,0 (Crepani et al., 1996).

A representação da estabilidade/vulnerabilidade das UTBs, para as vinte e uma classes, é feita através da combinação aditiva de três cores (azul, vermelho e verde) e foi idealizada de forma que, ao valor médio de maior estabilidade (1,0) associa-se a cor azul, ao intermediário (2,0) a cor verde e ao de maior vulnerabilidade (3,0) a cor vermelha. As unidades intermediárias apresentam cores que variam de acordo com as proporções das cores primárias.

**TABELA 2.3 - REPRESENTAÇÃO DA ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE
DAS UTBs**

| UNIDADE DE PAISAGEM | MÉDIA | | | GRAU DE VULNERAB. | GRAU DE SATURAÇÃO | | | |
|------------------------|-------|-----|---|-------------------------------------|-------------------|-------|------|-------|
| | | | | | VERM. | VERDE | AZUL | CORES |
| U1 | ↑ | 3,0 | | VULNERÁVEL | 255 | 0 | 0 | |
| U2 | | 2,9 | | | 255 | 51 | 0 | |
| U3 | | 2,8 | | | 255 | 102 | 0 | |
| U4 | V | 2,7 | | | 255 | 153 | 0 | |
| U5 | U | 2,6 | | MODERADAM. VULNERÁVEL | 255 | 204 | 0 | |
| U6 | L | 2,5 | E | | 255 | 255 | 0 | |
| U7 | N | 2,4 | S | | 204 | 255 | 0 | |
| U8 | E | 2,3 | T | | 153 | 255 | 0 | |
| U9 | R | 2,2 | A | MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL | 102 | 255 | 0 | |
| U10 | A | 2,1 | B | | 51 | 255 | 0 | |
| U11 | B | 2,0 | I | | 0 | 255 | 0 | |
| U12 | I | 1,9 | L | | 0 | 255 | 51 | |
| U13 | L | 1,8 | I | MODERADAM. ESTÁVEL | 0 | 255 | 102 | |
| U14 | I | 1,7 | D | | 0 | 255 | 153 | |
| U15 | D | 1,6 | A | | 0 | 255 | 204 | |
| U16 | A | 1,5 | D | | 0 | 255 | 255 | |
| U17 | D | 1,4 | E | ESTÁVEL | 0 | 204 | 255 | |
| U18 | E | 1,3 | | | 0 | 153 | 255 | |
| U19 | | 1,2 | | | 0 | 102 | 255 | |
| U20 | | 1,1 | | | 0 | 51 | 255 | |
| U21 | | 1,0 | ↓ | | 0 | 0 | 255 | |

Adaptada de Crepani et al. (1996, p. 17).

2.3 - Processamento Digital de Imagens Orbitais

As imagens de Sensoriamento Remoto orbital em formato digital, antes de serem interpretadas, devem ser tratadas através das técnicas de processamento digital de imagens. Essas técnicas visam corrigir, restaurar, realçar e individualizar feições de interesse presentes nas imagens orbitais (Schowengerdt, 1983; Lillesand e Kiefer, 1994 e Crósta, 1992).

2.3.1 - Pré-Processamento de Imagens Orbitais

Estas técnicas objetivam a retificação e restauração das distorções ou degradações acumuladas nas imagens orbitais durante o processo de aquisição das mesmas. Os procedimentos incluem dentre outros, a correção geométrica, a correção radiométrica e a remoção de ruído (Lillesand e Kiefer, 1994).

2.3.1.1 - Correção Geométrica

As distorções geométricas presentes nas imagens orbitais apresentam como fontes principais a rotação da Terra durante a aquisição da imagem, a largura do campo de visada dos sensores, a curvatura da Terra, as variações de altitude e velocidade da plataforma. Essas distorções são corrigidas através de técnicas que visam modelar a sua natureza e magnitude ou pelo estabelecimento de uma relação entre os sistemas de coordenadas do mapa e da imagem (Richards, 1986; Mather, 1987; Crósta, 1992).

O segundo método é mais correntemente usado por dispensar o conhecimento das características orbitais do satélite, e baseia-se na presença de pontos de controle, os quais representam feições perceptíveis tanto na imagem quanto no mapa. A partir das coordenadas desses pontos na imagem (u,v), e no mapa (x,y) estimam-se os coeficientes do polinômio que ajustará a imagem.

Os “pixels” da imagem corrigida têm seus níveis de cinza reamostrados em função da não coincidência com os da imagem original. Essa transformação ocorre mediante a escolha do método de interpolação: *vizinho mais próximo*, *bilinear* ou *convolução cúbica*. Usa-se com mais frequência o primeiro por melhor preservar as características radiométricas da imagem original.

2.3.1.2 - Correção dos Efeitos Atmosféricos

A radiância espectral aparente captada por um sistema sensor corresponde à oriunda do alvo na superfície terrestre, mais uma parcela devida à interferência atmosférica representada pela *absorção* e *espalhamento* atmosféricos. Esses fenômenos que são ocasionados pelas partículas em suspensão na atmosfera e pelos seus gases constituintes reduzem o sinal proveniente do alvo e o contraste das imagens orbitais (Slater, 1980).

Desses dois mecanismos o espalhamento é o que causa as maiores distorções nas imagens orbitais (Richards, 1986). Nele distingue-se o espalhamento “*Rayleigh*” cuja intensidade é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda e o espalhamento “*Mie*” cuja intensidade independe do comprimento de onda (Slater, 1980;

Richards, 1986; Mather, 1987).

As distorções radiométricas presentes nas imagens orbitais são corrigidas mediante o uso de modelos de transferência radiativa, através de medidas “in situ” ou conversão da radiância para reflectância, normalização de histogramas de imagens/retificação de imagens ou método de regressão, e o método de subtração (Chen, 1996).

O método de subtração, aperfeiçoado por Chavez Jr. (1988), relata a falta de conformidade existente entre os “DN” selecionados por meio de alvos escuros nas imagens ou em histogramas (Chavez Jr., 1975) com os modelos realísticos de espalhamento atmosférico. Assim, poderá o usuário determinar a partir de um “DN” inicial, selecionado pelo método do histograma para as bandas do visível, o modelo de espalhamento atmosférico reinante durante o imageamento da cena pelo sensor.

2.3.2 - Técnicas de Realce de Imagens Orbitais

As técnicas de realce transformam os níveis de cinza das imagens por meio de operações pontuais e locais que visam melhorar a qualidade visual das imagens e enfatizar características de interesse para uma aplicação específica (Lillesand e Kiefer, 1994). Conforme Mather (1987) três técnicas podem ser utilizadas para realçar as imagens orbitais: manipulação do contraste, manipulação de características espaciais e transformação de imagens. Dentre as técnicas de transformação de imagens, a representada pelo modelo linear de mistura espectral será tratada neste trabalho.

2.3.2.1 - Modelo Linear de Mistura Espectral

Os problemas de mistura nas imagens de Sensoriamento Remoto ocorrem em função da baixa resolução espacial dos sistemas sensores que em geral permite que um elemento de cena contenha a informação de mais de um tipo de cobertura do terreno (Cross et al., 1991; Quarmby et al., 1992; Shimabukuro et al., 1994). Isto se deve ao fato de que a radiância aparente detectada corresponde à integração (*mistura*) das radiâncias dos diferentes alvos (*componentes de mistura*) contidos na amostra do terreno mais aquela devida ao espalhamento atmosférico (Steffen et al., 1996).

Cada “*pixel*” na imagem pode assumir qualquer valor na escala de nível de cinza que contem informação sobre a proporção e a resposta espectral de cada componente dentro da célula de resolução no terreno. Portanto, em uma imagem, se as proporções dos componentes são conhecidas, então as respostas espectrais destes componentes podem ser conhecidas. Similarmente, se a resposta espectral de cada componente é conhecida, então a proporção de cada componente na mistura pode ser estimada. Este problema expresso pela equação (2.1), é chamado de mediação indireta (Shimabukuro, 1987).

$$R = A X \quad (2.1)$$

onde:

R = representa o vetor que é composto pela reflectância espectral dos “*pixels*”;

A = representa a matriz que contem as reflectâncias espectrais de cada componente e

X = representa o vetor dos valores de proporção de cada componente na mistura.

Dessa forma, num modelo de mistura a reflectância de um “*pixel*” em qualquer banda é tida como uma combinação linear das reflectâncias de seus componentes constituintes. A equação básica em um modelo de mistura é mostrada abaixo (Shimabukuro, 1987; Aguiar, 1991).

$$d_i = \sum_{j=1}^n s_{ij} a_j + e_i \quad (2.2)$$

onde:

d_i = reflectância do “*pixel*” na i -ésima banda espectral;

s_{ij} = reflectância do j -ésimo componente na i -ésima banda espectral;

a_j = proporção ocupada pelo j -ésimo componente dentro do “*pixel*”;

e_i = erro de estimação para a i -ésima banda espectral;

$i = 1, 2, 3, \dots, m$ (número de bandas) e

$j = 1, 2, 3, \dots, n$ (número de componentes).

As estimativas das proporções podem estar submetidas às restrições (2.3), indicando que o somatório das proporções deve ser igual à unidade e (2.4), indicando que as proporções devem ser não negativas e estarem no intervalo entre 0 e 1.

$$\sum_{j=1}^n a_j = 1 \quad (2.3)$$

$$0 \leq a_j \leq 1 \quad (2.4)$$

As assinaturas espectrais dos componentes de mistura, que constituem os dados de entrada do modelo, podem ser derivadas de medidas de laboratório, campo, ou de dados multiespectrais de satélite. Todas elas, antes de serem aplicadas ao modelo, deverão ser calibradas quanto a alguns fatores que afetam os seus valores, tais como: efeitos atmosféricos e ângulo de elevação solar (Shimabukuro e Smith, 1991). Ainda, os níveis de cinza das imagens, antes de serem aplicados ao modelo, devem ser convertidos para valores de reflectância. No caso do modelo de mistura implementado no software SPRING, as assinaturas espectrais dos componentes puros podem ser obtidas diretamente da tela mediante seleção com o cursor (NETGIS, 1997).

Na literatura são encontrados vários métodos de estimar as proporções dos diferentes componentes (solo, vegetação, sombra, material não fotossintético). Os principais são o dos *Mínimos Quadrados Restritos (MQR)* e o dos *Mínimos Quadrados Ponderados (MQP)* que estimam as proporções minimizando a soma dos quadrados dos erros e atendendo as restrições (2.3) e (2.4). A diferença entre esses dois métodos é que, enquanto no primeiro a ocorrência de valores de proporção negativos e maiores que 1 tornam o modelo fisicamente inaceitável, no segundo essas violações são contornadas pela associação de uma matriz diagonal de pesos ao modelo (Shimabukuro, 1987; Shimabukuro e Smith, 1991).

Segundo Aguiar (1991), ambos os métodos apresentam resultados similares quando as restrições não são violadas. No entanto, quando ocorre o contrário, o MQR gera proporções que não são linearmente relacionadas às bandas originais, e o MQP recalcula as proporções, através de um processo iterativo, até que as restrições sejam satisfeitas, levando maior tempo computacional.

Após estimadas as proporções, isto é, obtidos os a_j por um dos métodos adotados, é possível calcular o erro de estimação por banda e total (Equação 2.5), que visam auxiliar a análise da adequação do modelo de mistura a uma determinada cena (Shimabukuro, 1987; Aguiar, 1991). A partir desses valores são geradas as imagens-erro que mostram uma distribuição espacial dos erros e em que pontos eles foram maiores.

$$e_i = d_i - \sum_{j=1}^n s_{ij} a_j \quad (2.5)$$

com:

$i = 1, 2, 3, \dots, m$ (número de bandas) e

$j = 1, 2, 3, \dots, n$ (número de componentes).

Dentre as muitas aplicações do modelo de mistura citam-se o estudo do desflorestamento em áreas da Amazônia brasileira a partir da identificação dos componentes vegetação, solo e sombra (Shimabukuro et al., 1994, Shimabukuro e Smith, 1995 e Adams et al., 1995), mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal em regiões áridas e semi-áridas (Smith et al., 1990); estimação de áreas agrícolas (Quarmby et al., 1992) e o mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal (Shimabukuro et al., 1997).

2.4 - Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)

A classificação final das UTBs por ser função dos valores de vulnerabilidade à erosão de cada tema individualmente, varia com o tempo em virtude do caráter dinâmico dos componentes da paisagem. A carta de vulnerabilidade para que possa, continuamente,

servir de subsídio às políticas de gestão do território deve ser facilmente gerada e permanentemente atualizada. Esses requisitos são satisfeitos quando são usadas as técnicas atuais de coleta, tratamento e análise de informação, destacando-se, dentre outras, os *Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)*.

De acordo com Aronoff (1989), os SIGs foram projetados para coleta, armazenamento e análise de objetos e fenômenos onde a localização geográfica é uma característica importante ou crítica para as análises. Segundo Câmara et al. (1996), esses sistemas comportam diferentes tipos de dados e aplicações, em várias áreas do conhecimento, como por exemplo: otimização de tráfego, controle cadastral, gerenciamento de serviços de utilidade pública, demografia, cartografia, administração de recursos naturais, monitoramento costeiro, planejamento regional e urbano, ecologia da paisagem. Essas duas últimas, bem como a aplicação de SIGs em Geomorfologia são melhor relatadas em Scholten e Stillwell (1990), Haines-Young et al. (1993) e Xavier da Silva (1994), respectivamente.

Uma breve fundamentação sobre dados geográficos em SIGs e álgebra de mapas é apresentada visando o bom entendimento do trabalho.

2.4.1 - Caracterização de Dados Geográficos

O termo *dado espacial* denota quaisquer tipos de dados que descrevem fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial. Os dados utilizados em Sistemas de Informação Geográfica pertencem a uma classe particular de dados espaciais: os dados georeferenciados ou dados geográficos. O termo denota dados que descrevem fatos, objetos e fenômenos associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo.

2.4.2 - Classes de Dados Geográficos

No contexto de aplicações de Sistemas de Informação Geográfica, o mundo real é freqüentemente modelado conforme duas visões complementares: o *modelo de campo* e o *modelo de objetos*. O modelo de campo enxerga o mundo como uma superfície

contínua, sobre a qual os fenômenos geográficos variam segundo diferentes distribuições. Dessa forma, um campo geográfico ou *geo-campo* é formado por variáveis cujos valores são definidos em todas as posições da região geográfica de estudo. O modelo de objetos representa o mundo como uma superfície ocupada por objetos geográficos ou *geo-objetos* identificáveis, com geometria e características próprias.

2.4.3 - Representações para Campos e Objetos

Um *campo geográfico* é freqüentemente representado no formato matricial, ou seja, em uma matriz cujos elementos são unidades poligonais regulares do espaço (células). Os relacionamentos topológicos são implicitamente determinados a partir da vizinhança das células e as coordenadas geográficas são obtidas indiretamente da posição da célula na matriz.

Já um *objeto geográfico* é tipicamente representado no formato vetorial, ou seja, sua geometria é descrita utilizando pontos, linhas e polígonos.

2.4.4 - Principais Classes de Dados Geográficos

As principais classes para tratamento de dados geográficos em Geoprocessamento são:

- *Mapas temáticos*: São aqueles que mostram uma região geográfica particionada em polígonos, segundo os valores relativos a um tema (por exemplo, uso do solo, aptidão agrícola, cobertura vegetal). São representados no formato matricial onde a área do mapa é dividida em células de tamanho fixo que correspondem ao tema naquela posição geográfica. Nesses mapas os polígonos não correspondem a elementos identificáveis do mundo real;
- *Mapas cadastrais*: São aqueles que apresentam elementos identificáveis do mundo real, que possuem atributos e seus dados são armazenados usando uma representação topológica; e

- *Modelos Numéricos de Terreno (MNTs)*: São utilizados para denotar a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. São comumente associados à altimetria, também utilizados para modelar unidades geológicas como teor de minerais ou propriedades do solo. São obtidos a partir da seleção de pontos onde é feita a amostragem da grandeza ou através da digitalização de isolinhas. Existem duas maneiras de representação de MNTs: *grade regular e grade triangular*. A primeira é constituída por uma matriz de elementos com espaçamento fixo, onde cada elemento é associado ao valor estimado da grandeza na posição geográfica coberta pelo elemento. Estas grades são geradas por interpolação das isolinhas, onde os procedimentos variam de acordo com a grandeza medida.

No caso da altimetria, é comum o uso de funções de ponderação por inverso do quadrado da distância. A segunda maneira de representação, *grade triangular*, é uma estrutura topológica vetorial, do tipo arco-nó, onde os nós são conectados formando triângulos que se sobrepõem e cobrem totalmente a área de interesse. Esta representação é melhor para representar a variação do terreno por capturar a complexidade do relevo sem a necessidade de grande quantidade de dados redundantes, pois regiões mais elevadas podem ser representadas por uma maior quantidade de nós (Câmara, 1995 e Câmara et al., 1996).

2.4.5 - Álgebra de Campos

O conceito de *álgebra de mapas* ou *álgebra de campos* pode ser visto como uma extensão da álgebra tradicional, como um conjunto de operadores onde as variáveis manipuladas são campos geográficos (Berry, 1993). Estes operadores manipulam um, dois ou mais geo-campos (Câmara, 1995), sendo que cada geo-campo descreve um atributo diferente ou um mesmo atributo com datas de aquisição diferentes (Barbosa, 1997).

As operações sobre geo-campos podem ser classificadas como: *pontuais*, *zonais*, de *vizinhança* (Tomlin, 1990). A Figura 2.3 ilustra esta classificação, que é baseada na forma como os valores dos atributos nos *geo-campos origem*³ são obtidos para processamento, identificando-se se o valor atribuído a uma determinada posição geográfica do *geo-campo destino*⁴ é função dos valores na mesma posição geográfica nos geo-campos origem, dos valores de uma região geográfica nos geo-campos origem que contém a posição geográfica ou dos valores de uma vizinhança da posição nos geo-campos origem.

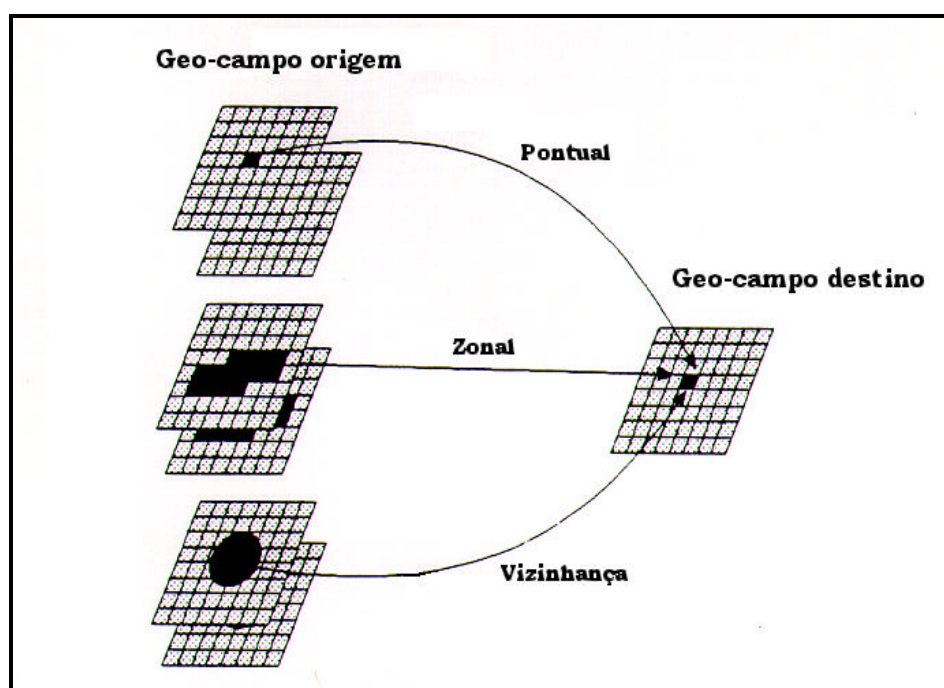


Fig. 2.3 - Classes de operações geográficas.

FONTE: Barbosa (1997, p. 51).

³ Variáveis do tipo campo usadas nas operações.

⁴ Geo-campo resultante da operação.

2.4.5.1 - Operações Pontuais

Nas *transformações pontuais*, o valor resultante em cada posição geográfica do geo-campo destino depende somente dos valores na mesma posição geográfica dos geo-campos origem. Cada posição da região geográfica de estudo pode estar associada a um ou mais valores de atributos, sendo que cada atributo vem de geo-campos diferentes.

As principais operações pontuais segundo Burrough (1987), Tomlin (1990), Berry (1993) e Câmara (1995) são:

- *Soma, subtração, divisão e multiplicação*: Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição é a soma, a subtração, a divisão ou a multiplicação dos geo-campos origem;
- *Média*: Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é a média aritmética dos valores dos atributos na mesma posição geográfica dos geo-campos origem;
- *Máximo/Mínimo*: Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é o maior valor ou menor valor do atributo na mesma posição geográfica dos geo-campos origem;
- *Funções trigonométricas*: Gera um geo-campo destino onde cada posição geográfica é o resultado da aplicação de uma função trigonométrica sobre o valor do atributo na mesma posição geográfica do geo-campo origem;
- *Combinação Booleana*: Gera um geo-campo destino onde o valor em cada posição geográfica é o resultado da aplicação de um operador da lógica booleana (AND, OR, NOT, XOR) sobre os valores dos atributos na mesma posição geográfica dos geo-campos origem;
- *Fatiamento*: Divide a faixa de valores de um geo-campo origem em certo número de intervalos de valores e gera um geo-campo destino;

- *Reclassificação*: Agrega temas distintos de um geo-campo temático, segundo regras definidas pelo usuário; e
- *Ponderação*: Transforma um geo-campo temático em um geo-campo numérico.

2.4.5.2 – Operações Zonais

Nas operações por *transformações zonais* ou *por regiões* o valor em cada posição geográfica do geo-campo destino depende do valor do atributo em todas as posições geográficas que compõem a região no geo-campo origem. Uma região neste caso é definida como um conjunto de posições geográficas com características similares ou delimitadas pelo homem. Dessa forma, as operações por transformações zonais operam sobre um geo-campo origem e um conjunto de regiões delimitadas por polígonos na forma matricial ou vetorial.

As operações zonais mais comuns segundo Burrough (1987), Tomlin (1990) e Berry (1993) são:

- *Máximo e mínimo zonal*: Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em todas as posições geográficas que compõem uma região é igual ao maior valor ou ao menor valor do atributo encontrado na mesma região sobre o geo-campo origem;
- *Maioria e minoria zonal*: Gera um geo-campo destino onde o valor em todas as posições dentro de uma região é igual ao valor de maior e menor frequência, respectivamente, encontrado na mesma região sobre o geo-campo origem;
- *Média zonal*: Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em todas as posições geográficas que compõem uma região é igual à média aritmética dos valores do atributo nas mesmas posições geográficas no geo-campo origem;

- *Soma zonal*: Gera um geo-campo destino onde o valor em todas as posições geográficas que compõem a região é igual à soma de todos os valores do atributo nas mesmas posições geográficas no geo-campo origem;
- *Diversidade zonal*: Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em todas as posições geográficas que compõem uma região é igual à diversidade de valores da região do geo-campo origem;
- *Estatística zonal*: Produz uma estatística dos valores para cada região, indicando, por exemplo os valores máximo, mínimo, médio, variância, desvio padrão e diversidade e;
- *Faixa zonal*: Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em todas as posições geográficas é igual à diferença entre o maior e o menor valor do atributo no geo-campo origem.

Esses operadores foram implementados na *Linguagem Especial para Geoprocessamento Algebrico (LEGAL)* (Barbosa, 1997), disponível no software SPRING. Essa linguagem LEGAL, proposta por Câmara (1995), tem como objetivo prover um ambiente geral para análise geográfica, incluindo operações de manipulação (álgebra de mapas), operações de consulta espacial e operações de apresentação de resultados de consulta e manipulação.

2.5 – Sistema SPRING

O SPRING foi concebido como um banco de dados geográfico e projetado desde o início para operar eficientemente em conjunto com um sistema gerenciador de bancos de dados (SGBD). Assim, utiliza o modelo de dados *geo-relacional* em que os componentes espacial e descritivo do objeto geográfico são armazenados separadamente. Os atributos convencionais são guardados no banco de dados, na forma de tabelas, e os dados espaciais são tratados por um sistema dedicado. A conexão é feita pelos identificadores *id* tal como mostrado na Figura 2.4.

O princípio básico do modelo de dados do sistema SPRING é que os dados geográficos podem ser descritos pelo conceito de *geo-campos* e de *geo-objetos*.

A entidade *banco de dados* é o repositório de todos os dados geográficos manipulados pelo SPRING. Este repositório por sua vez, é formado por uma ou mais entidades denominadas de *projeto*; onde o projeto é composto por todos os dados disponíveis no banco de dados

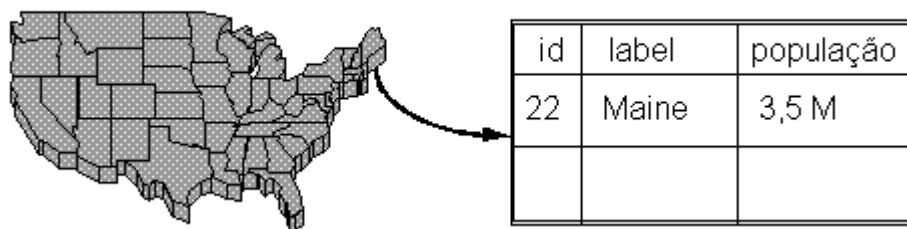


Fig.2.4 - Modelo de dados geo-relacional.

Dentro de um projeto os dados são organizados por categorias. As categorias podem ser de seis tipos diferentes: *Imagem*, *Temático*, *Numérico*, *Objeto*, *Cadastral* e *Não-Espacial*. As entidades que podem ser modeladas como geo-campo são organizadas em categorias dos tipos *Imagem*, *Temático* e *Numérico*. As entidades geográficas que podem ser modeladas como geo-objetos são organizadas em categorias dos tipos *Objeto*, *Cadastral* e *Não-Espacial*. Em uma categoria de dados de um projeto, dados distintos são guardados em *planos de informação* diferentes.

Para diferenciar classes distintas de um dado temático, uma categoria do tipo temático, no sistema SPRING, é formada por um conjunto de classes temáticas onde, cada uma destas classes temáticas pode ser associada a uma classe presente no dado. A Figura 2.5 ilustra o modelo conceitual do sistema SPRING.

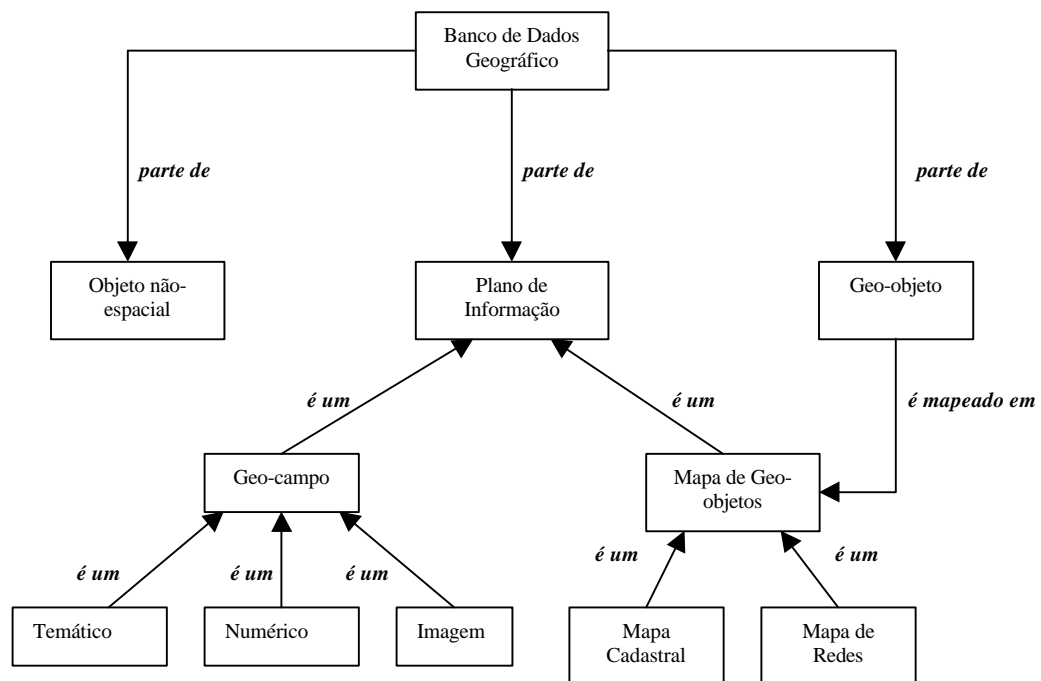


Fig. 2.5 – Modelo conceitual do Sistema SPRING.

FONTE: Câmara (1995, p. 63).

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

3.1 - Localização

A área de estudo com uma extensão aproximada de 280 Km², localiza-se a leste do estado de São Paulo, na zona Médio Vale do Paraíba (Almeida, 1964), nos Municípios de São José dos Campos e Caçapava (Figura 3.1).

3.2 - Síntese da História Valeparaibana

A descrição histórica da região do Vale do Paraíba, onde acha-se inserida a área de estudo, foi baseada em Müller (1969).

A conquista do Vale do Paraíba teve início em fins da primeira metade do século XVII, como parte do processo de expansão dos habitantes da área “*core*” da Província, desenvolvida entorno de São Paulo de Piratininga. O passo inicial foi a concessão de sesmária em 1628, pela então donatária da capitania de São Vicente, a Jaques Felix entre as atuais cidades de Pindamonhangaba e Taubaté. Dando continuidade ao processo de ocupação, verifica-se na região, a criação de vilas, povoados e aldeamentos indígenas, conferindo um saldo positivo no processo de povoamento ao término do século XVII.

Durante o ciclo do ouro, século XVIII, a região se transforma na principal área de abastecimento das Minas Gerais, dada a sua contiguidade em relação as áreas mineradoras, cuja separação é a Serra da Mantiqueira, que não constitui barreira intransponível. Com isso a região figura-se como rota de passagem de produtos variados tais como muare, cereais, tecidos, carnes defumadas, etc. Por outro lado, o curso médio ganha importância como corredor entre as áreas mineradoras e o litoral. Assim, surgem vias transversais, trazendo novas possibilidades de ocupação e povoamento a região.

Com a introdução do café em meados do século XIX, o Vale do Paraíba atraiu um grande contingente populacional vindo principalmente das Gerais, área de repulsão

demográfica em virtude do declínio das atividades mineradoras, e do litoral desde São Sebastião até Angra dos Reis. Ainda verificou-se uma pequena contribuição da área fluminense do Paraíba, onde a cultura do café já dava sinais de menor produtividade.

O período de produção máxima compreendeu o intervalo de tempo entre 1839 e 1886, quando deu-se na região um intenso processo de urbanização, com o surgimento de novos aglomerados urbanos e a progressão daqueles já existentes, ocorrendo a eclosão da verdadeira vida urbana. Já na paisagem rural, áreas florestadas em regiões de relevo movimentado foram exterminadas cedendo lugar à cultura reinante e ocasionando um processo de empobrecimento do solo. Esse fato associado à abolição da escravatura, marca o início da decadência do café.

Com a decadência e posterior abandono da cafeicultura na região, tem início uma forma substitutiva de ocupação do solo, as pastagens, passando a economia a girar em torno da criação de gado, especialmente o leiteiro. Durante esse período verifica-se uma profunda evasão na área rural e uma redução na marcha de desenvolvimento dos novos povoamentos.

Em 1875 a construção da via férrea Dom Pedro II entre São Paulo e Rio de Janeiro e a construção da primeira rodovia ligando estes dois centros em 1922, a qual, em 1952 foi substituída pela atual Presidente Dutra, alavancam o processo de industrialização no Vale do Paraíba. Paralelo a esse processo ocorre uma evolução no setor terciário (comércio e serviços), em detrimento da queda no setor primário (produção agrícola).

Atualmente a região é caracterizada pela presença de um parque industrial bastante diversificado, importantes centros de tecnologia, presença de extensas áreas de pastagens, áreas agrícolas e áreas de exploração de recursos minerais.

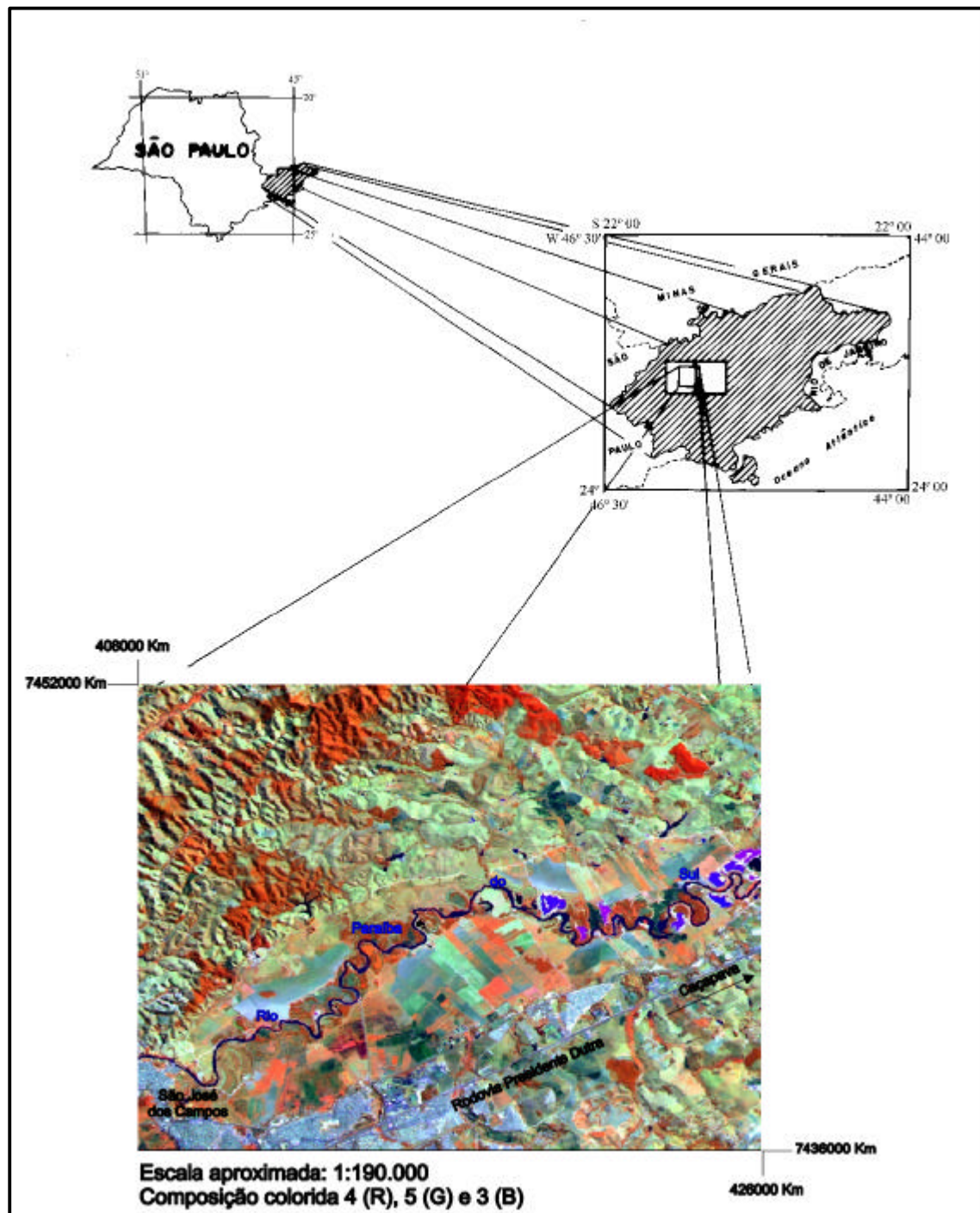


Fig. 3.1 – Área de estudo.

3.3 - Caracterização Quanto aos Componentes da Paisagem

A descrição dos aspectos fisiográficos da área de estudo foi baseada em Almeida (1964), IPT (1978), Projeto RADAMBRASIL (1983), Kurkdjian et al. (1992).

3.3.1 – Geologia

3.3.1.1 - Litologia

Na área de estudo são encontradas rochas atribuídas ao Grupo Açungui (Pré-Cambriano superior), rochas cataclásticas (Cambro-Ordoviciano - Pré-cambriano Superior), diques e “sills” de diabásio, rochas sedimentares do Grupo Taubaté (Plioceno-Oligoceno) e sedimentos quaternários.

O *Grupo Açungui* é composto de seqüências ectiníticas e migmatíticas, respectivamente, designadas de *Complexos Pilar e Embu*. Dessas, somente o último encontra representação na área de estudo.

O Complexo Embu é composto das seguintes litologias:

- *Migmatitos estromatíticos heterogêneos*: Apresentam paleossoma xistoso; quartzo, moscovita e biotita como minerais primários; apatita, minerais opacos, plagioclásio, hornblenda, zircão, sillimanita e granada como minerais secundários; epídoto, clorita, turmalina como minerais secundários e xistosidade bem desenvolvida as vezes mostrando-se crenulada;
- *Migmatitos homogêneos estromatíticos*: Apresentam bandas escuras geralmente gnáissicas neossoma granítico e às vezes aplítico constituídos essencialmente de quartzo, microclíneo, algum plagioclásio e biotita orientada que confere certa foliação à rocha;
- *Migmatitos homogêneos embrechíticos, nebulíticos e anatexíticos*: São gnaisses de composição granítica adamelítica e granodiorítica; apresentam quartzo, microclíneo e plagioclásio como minerais primários; sericita, epídoto, clorita, carbonatos e turmalina como minerais secundários e biotita, moscovita, granada,

apatita, zircão, mineral opaco, titanita e alanita como minerais secundários; e

- *Rochas granitóides em corpos discordantes:* Apresentam composição variável de granito e granodiorito, inclusive dentro de um mesmo corpo; microclíneo, quartzo, plagioclásio como minerais primários; biotita, moscovita, apatita, zircão, mineral opaco e epídoto como minerais acessórios; clorita, sericita e carbonatos como minerais primários; a biotita mica presente confere certa foliação a essas rochas; têm limites parcialmente discordantes com as encaixantes e originam solos areno-argilosos com matações em profusão.

Ao *Cambro-Ordoviciano - Pré-Cambriano Superior* estão associadas rochas cataclásticas como os protomilonitos que caracterizam-se por fragmentação incipiente ao longo da linha de fratura; milonitos cuja fragmentação encontra-se em estágio mais avançado; ultramilonitos e por fim blastomilonitos que constituem-se de filetes microscópicos de grãos límpidos e sem extinção ondulantes em virtude da recristalização do quartzo nas zonas de falhas.

Os diques e sills de rochas básicas aparecem em pontos restritos da área de estudo, concentrando-se junto às *zonas de rochas cataclásticas*. São rochas de coloração escura, granulação fina e comendo-se de augita, andesita, olivina, hornblenda, biotita, clorita e mineral opaco.

O *Grupo Taubaté* é designado para representar o pacote sedimentar que se instalou no “*graben*” formado a partir do contato das falhas conjugadas nas bordas NO e SE e que provocou o basculamento de blocos com ampla subsidência da bacia e soerguimento das serras do Mar e da Mantiqueira. Esse Grupo acha-se constituído das Formações Tremembé e Caçapava.

A *Formação Tremembé* constitui a unidade basal da Bacia de Taubaté não ultrapassando a espessura de vinte metros, salvo em algumas localidades onde atinge espessuras de 290 e 400m. Compõe-se predominantemente de folhelhos, em parte pirobetuminosos, argilitos com intercalações de arenitos conglomeráticos e arcóseos formados em condições essencialmente lacustrinas.

A *Formação Caçapava* encontra-se sobreposta à Formação Tremembé exibindo uma descontinuidade erosiva e compondo-se de conglomerados, arcóseos, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos formados em condições essencialmente fluviais de canais, planícies de inundação e lagos esparsos.

Os *depósitos aluvionares* ocorrem associados ao rio Paraíba do Sul e seus tributários, chegando a alcançar 20m de espessura nas proximidades de São José dos Campos, e menores valores nos trechos alargados dos vales. Esses depósitos são arenosos e silto-argilosos, verificando-se ainda a presença de turfeiras na planície e colúviões.

3.3.1.2 – Evolução Geológica

A evolução geológica da região onde inseri-se a área de estudo pode ser referida a dois grandes processos tectônicos: o Ciclo Brasileiro e a Reativação Wealdeniana.

Durante o ciclo Brasileiro constituiu-se o Grupo Açungui o qual corresponde ao enchimento da depressão geossinclinal que evoluiu para o Sistema de Dobramento Apiaí integrante da Região de Dobramentos Sudeste.

A Reativação Wealdeniana teve início em tempos juro-cretácicos, quando se injetaram diques de diabásio. Este magmatismo teve incidência regional, com notável influência das grandes falhas antigas.

A atividade tectônica teve nova pulsação no Terciário Médio a Superior, quando se deu o soerguimento regional em cuja zona axial se abateu o “*Graben*” do Paraíba que deu origem a Bacia de Taubaté. Esta teve de início subsidência mais acentuada e rápida na sua parte central (Tremembé) e menor nas sub-bacias de Eugênio de Melo, São José dos Campos e Jacareí.

A tectônica terciária foi responsável pela elevação da Serra da Mantiqueira e da Serra do Mar. No Quaternário essa arquitetura vem sendo aperfeiçoada.

3.3.2 - Geomorfologia

A geomorfologia da área de estudo insere-se no contexto descrito por Almeida (1964) que relata a correlação entre os compartimentos tectônicos com o zoneamento geomorfológico. Dessas zonas, a da Serra da Mantiqueira e a do Médio Vale do Paraíba encontram representação na área de estudo.

A zona geomorfológica da *Serra da Mantiqueira* restringe-se à porção noroeste da área de estudo, acima da zona de falha do Buquira. Esse setor caracteriza-se por elevações de pequeno porte entre 600 e 750m, serranias alongadas segundo NE, declives acentuados e amplitudes altimétricas entre 50 e 150m.

Situada entre as zonas de falhas do Buquira e Alto da Fartura situa-se a zona geomorfológica do *Médio Vale do Paraíba* que se apresenta dividida em duas sub-zonas quais sejam: a dos Morros Cristalinos e a da Bacia de Taubaté, cujos domínios estendem-se por todo o restante da área de estudo.

A sub-zona dos *Morros Cristalinos* representa um relevo de transição para o Planalto da Bocaina a sul e a Serra da Mantiqueira a norte. As elevações variam entre 700 e 1000m, sendo o limite superior do intervalo verificado nas partes cimeiras da área de estudo. As formas de relevo aí presentes emolduram a Bacia de Taubaté e são representadas por morros e morrotes com topos angulares a arredondados e vertentes tendendo à convexidade.

A *Bacia de Taubaté* abriga o leito do rio Paraíba do Sul, a faixa de meandros e os terraços fluviais que se elevam entre 3 e 8 metros acima do nível de inundação, todos sustentados pelos sedimentos aluvionares do Quaternário. Entre 560 e 600m verificam-se os vales abertos e entre 600 e 650m, estão as colinas terciárias sustentadas pelo Grupo Taubaté onde predominam formas com topos planos a convexos, declividades baixas e vertentes retilíneas.

3.3.3 - Pedologia

Devido à carência de mapas detalhados de solos da área de estudo, foram considerados para a caracterização desse item dados provenientes do levantamento a nível exploratório realizado pelo Projeto RADAMBRASIL. Neste levantamento foram delimitadas unidades de mapeamento, a partir dos padrões texturais das imagens de radar aerotransportado, constituídas por associações de solos, onde figura em primeiro lugar o componente de maior dominância, seguindo em ordem decrescente os demais componentes. Vale ressaltar que o símbolo da unidade de mapeamento retrata a classe de solo dominante dentro da associação. Nesse sentido, são verificadas na área de estudo as seguintes associações de solos:

- *Latossolo Vermelho-Amarelo álico*: Compreendem solos minerais não hidromórficos com baixa relação K_i ($< 1,9$), horizonte B latossólico com textura argilosa e teores de $Fe_2O_3 < 9\%$. São normalmente *muito profundos a profundos* com seqüência de horizontes *A, B e C* e seqüência entre os sub-horizontes difusas ou graduais. São *acentuadamente a bem drenados* e com o horizonte *A moderado*. Ocorrem em relevo *forte ondulado e montanhoso*, na maioria das vezes, e ocasionalmente em relevo *ondulado a suave ondulado*. Na área de estudo são encontradas as variações LVa_2 , LVa_9 e LVa_{22} , as quais constituem as unidades de mapeamento onde o tipo de solo descrito é dominante;
- *Podzólico Vermelho-Amarelo álico*: São solos minerais com horizonte *B* textural, argila geralmente de atividade baixa (Tb), normalmente *profundos e bem a moderadamente drenados*. Apresentam seqüência de horizontes *A, B, e C*. O horizonte *A é moderado* e horizonte *B* apresenta baixos teores de Fe_2O_3 . Estão situados em relevo predominantemente *forte ondulado e montanhoso* e, em menor escala, em *relevo ondulado*. Na área de estudo verifica-se a unidade de mapeamento PVa_{18} ; e

- *Glei Húmico álico*: São solos hidromórficos *pouco profundos* com horizonte A com alto teor de matéria orgânica, seguido de horizontes gleizados resultantes do nível elevado do lençol freático, pois se localizam em áreas *mal a muito mal drenadas*. O horizonte A é espesso, de coloração escura em decorrência da acumulação acentuada de matéria orgânica. Esses solos são provenientes de deposições orgânicas e de sedimentos aluviais argilo-siltosos. Situam-se junto às várzeas associados a solos orgânicos e aluviais. A unidade de mapeamento HGHa₂ apresenta esse solo como dominante na associação.

3.3.4 - Climatologia

A caracterização climatológica foi descrita segundo Setzer (1946), Setzer (1966), Nimer (1979), Setzer e Pereira (1988).

A climatologia da área de estudo é compreendida pela interação de fatores de ordem estática (posição latitudinal e topografia acidentada) e de natureza dinâmica (sistemas de circulação atmosférica de escala sinóptica e local).

Em virtude de sua localização, latitudes subtropicais, a quantidade de radiação direta absorvida pelos baixos níveis da atmosfera é tanto maior quanto menor o ângulo de incidência, pois nessas zonas o sol atinge o zênite duas vezes por ano. Somando-se a esse fator a proximidade do litoral tem-se as condições necessárias para ocorrência dos processos de evaporação e condensação que não necessariamente relacionam-se à precipitação, a não ser pela existência de *núcleos de condensação*.

A proximidade do litoral Norte e a intensa urbanização são responsáveis pela grande concentração de núcleos de condensação (cloreto de sódio e poeira de cidades) que contribuem para o acréscimo de precipitação, que em muito é modulada pela ascendência orográfica causada pela Serras do Mar (SE) e da Mantiqueira (NW). Isso leva a existência de um gradiente ascendente de precipitação entre esses dois limites topográficos.

Além dos fatores acima assinalados, a área de estudo sofre a influência dos fenômenos dinâmicos associados à circulação atmosférica de escala sinóptica e local que completam a modulação do seu clima.

A circulação em escala sinóptica é representada pelo *Anticiclone do Atlântico* o qual corresponde a uma massa de ar de temperaturas mais ou menos elevadas dada a elevada radiação solar e forte umidade fornecida pela intensa evaporação marítima. Esse sistema atmosférico é responsável pela estabilidade do tempo que somente é interrompida pela entrada de correntes perturbadas que compreendem os seguintes sistemas:

- *Correntes Perturbadas do Sul*: São provenientes das regiões polares e que no verão são responsáveis pelas precipitações de pequena intensidade e grande duração as quais se verificam com muita frequência nas áreas serranas e proximidades;
- *Correntes Perturbadas de Oeste*: Decorrem da invasão dos ventos de oeste e noroeste trazidos por *linhas de instabilidade tropicais*. Estas originam-se de movimentos ondulatórios resultantes do contato da *frente polar* com o ar quente da zona tropical. Essas linhas deslocam-se a velocidades de até 60 Km/h e são responsáveis pelas precipitações de grande intensidade e curta duração muito conhecidas por *chuvas de verão*; e
- *Correntes Perturbadas de Leste*: Ocorrem no meio de anticiclones tropicais sob a forma de ondas que caminham para oeste, como *pseudo-frentes*. Essas correntes não merecem destaque por atuarem entre o litoral do Rio Grande do Norte e o norte do Rio de Janeiro.

Quanto aos fenômenos de escala local destacam-se a *brisa marítima* que chega à área de estudo através da depressão do Vale do Paraíba; a *convecção local* responsável pelas chuvas de grande intensidade e curta duração verificadas ao cair da noite e *circulação vale-montanha*.

As interações dos fatores acima discriminados podem ser sintetizadas através do *Diagrama Ombrotérmico do Clima* para a cidade de São José dos Campos (Figura 3.2), composto a partir dos dados de temperatura média mensal e precipitação média mensal referentes ao período de 1961 a 1978. Este diagrama encontra-se de acordo com as características climáticas delimitadas, segundo a *Classificação Internacional de Koeppen*, para o tipo climático *Cwa*.

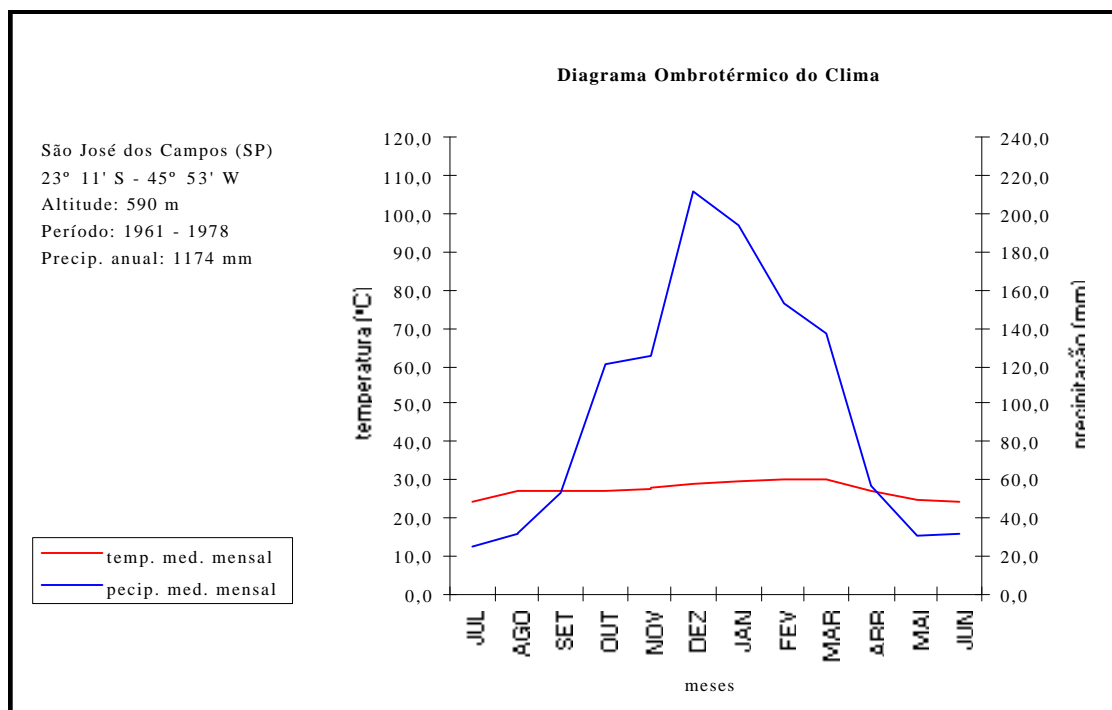


Fig. 3.2 - Diagrama ombrotérmico do clima referente a São José dos Campos.

3.3.5 - Uso/Cobertura Vegetal

Segundo Pereira et al. (1988) as classes de uso/cobertura vegetal mais freqüentes na área de estudo são:

- *Mata/capoeira*: Refere-se à vegetação original dominante, que hoje apresenta-se perturbada em virtude do corte seletivo de espécies nobres ou refere-se à vegetação secundária em diversos estágios de crescimento;

- *Reflorestamento*: Está relacionado às formações arbóreas homogêneas com predomínio da espécie do gênero *Eucalyptus spp*, implantados na área para fins industriais;
- *Pastagem*: Inclui áreas com cobertura predominantemente de gramíneas de crescimento natural com ou sem adensamento ocasional de indivíduos arbustivos (*pastagem e/ou campo antrópico*), e áreas cultivadas para atividade de pecuária (*pastagem melhorada*);
- *Cultura*: Inclui, principalmente, áreas de cultura anual tais como: arroz, feijão e batata, sendo a primeira a de maior expressão e verificada ao longo da planície do rio Paraíba do Sul;
- *Área urbanizada*: Compreende toda área edificada da cidade de São José dos Campos e imediações de Caçapava e inclui áreas construídas de uso misto e industrial, novos loteamentos, chácaras e núcleos residenciais rurais; e
- *Portos de areia e queimadas*.

As classes acima relacionadas são também observadas por Kurkdjian et al. (1992) que por sua vez apresentam correspondência com aquelas apresentadas em Projeto RADAMBRASIL (1983). Neste foram discriminadas áreas de vegetação secundária, pastagem e culturas cíclicas no domínio da *Floresta Ombrófila Densa*, *Floresta Estacional Semidecidual*, e *Savana* para as formações *gramíneo-lenhosa* (Campo limpo) e *parque* (Campo sujo).

CAPÍTULO 4

MATERIAIS

4.1 - Dados de Sensoriamento Remoto Aéreo

Os dados de Sensoriamento Remoto aéreo compreenderam fotografias em escala 1:25.000 (sobrevôo de agosto de 1985 realizado pelo INPE, cobrindo o município de São José dos Campos).

4.2 - Dados de Sensoriamento Remoto Orbital

Os dados de Sensoriamento Remoto orbital encontram-se listados na Tabela 4.1

TABELA 4.1 - ESPECIFICAÇÕES DAS IMAGENS TM/LANDSAT-5

| SENSOR SATÉLITE | ÓRB. | PTO. | QUADRANTE SUBQUADRANTE | FORMATO | BANDA ESPECTRAL | ESCALA | DATA | ÂNGULO | |
|--------------------|------|------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|----------|----------|---------------|---------|
| | | | | | | | | ELE. SOLAR | AZIMUTE |
| TM | 218 | 76 | W | Digital CD-Rom | 1, 2, 3, 4, 5, 7 | — | 06/01/87 | 51° | 98° |
| | 218 | 76 | W | Digital CD-Rom | 1, 2, 3, 4, 5, 7 | — | 03/07/88 | 30° | 42° |
| LANDSAT-5 | 219 | 76 | E | Digital CD-Rom | 2, 3, 4, 5, 7 | — | 02/09/96 | 37° | 59° |
| | 219 | 76 | EE | Papel fotográfico | 3(B) 4(R) 5(G) ¹ | 1:50.000 | 02/09/96 | 37° | 59° |

4.3 - Cartas Topográficas

Para a realização do trabalho foram utilizadas as seguintes cartas topográficas:

- *Carta topográfica São José dos Campos, folha SF-23-Y-D-II-1, escala 1:50.000 (IBGE, 1973a) e*

¹ (B) - AZUL (G) - VERDE (R) – VERMELHO.

- *Carta topográfica Taubaté, folha SF-23-Y-D-II-2, escala 1:50.000 (IBGE 1973b).*

4.4 - Mapas Temáticos

- *Mapa geológico da folha SF-23-Y-D-II, São José dos Campos, escala 1:100.000 (IPT, 1978) e*
- *Mapa pedológico e de cobertura vegetal, folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória, escala 1:1.000.000 (Projeto RADAMBRASIL, 1983).*

4.5 - Softwares

Os softwares utilizados na realização do trabalho foram:

- *Software SITIM/SGI:* O Sistema de Informações Geográficas (SGI) é um banco de dados geográficos, que permite adquirir, armazenar, combinar, analisar, e recuperar informações codificadas espacialmente e que constitui um sistema complementar ao Sistema de Tratamento de Imagens - Sensoriamento Remoto (SITIM-SR) (Engespaço, 1988);
- *Software SPRING:* O Sistema para PRocessamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) é um banco de dados geográfico de segunda geração, para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:
 - a) opera como um banco de dados geográfico suportando grande volume de dados (sem limitação de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos ao longo de todo o banco;
 - b) administra dados vetoriais e matriciais, e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto em um Sistema de Informação Geográfica (SIG);
 - c) apresenta um ambiente de menus e janelas com linguagem espacial facilmente programável pelo usuário;

d) escalonabilidade completa, operando em ambientes que variam de microcomputadores a estações de trabalho (NETGIS, 1997);

4.6 - Equipamentos

- GARMIM GPS II cujas especificações e modo de operação são encontrados em GARMIM (1996) e
- Mesa digitalizadora.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA

A metodologia para a realização do trabalho foi dividida em cinco etapas, que se articulam no fluxograma geral mostrado na Figura 5.1. Estas etapas e seus respectivos procedimentos são:

- (A) *Aquisição de Dados*: Compreende a seleção da área de estudo, das imagens orbitais, das cartas topográficas, dos mapas temáticos e dos dados bibliográficos, além da criação do Projeto ZEE no Banco de Dados *med-vale*;
- (B) *Processamento Digital de Imagens Orbitais*: Compreende o pré-processamento e o realce de imagens.
- (C) *Análise e Interpretação de Imagens Orbitais*: Compreende a delimitação das unidades de paisagem natural e dos polígonos de ação antrópica, e a geração do mapa de UTBs;
- (D) *Análise Morfodinâmica*: Compreende o tratamento dos limites e a álgebra de mapas e
- (E) *Integração de Dados*: Compreende a geração do mapa cadastral de UTBs e da carta temática de estabilidade/vulnerabilidade à erosão.

Vale ressaltar que, visando o melhor entendimento da metodologia, a explicação de algumas etapas é auxiliada por fluxogramas específicos.

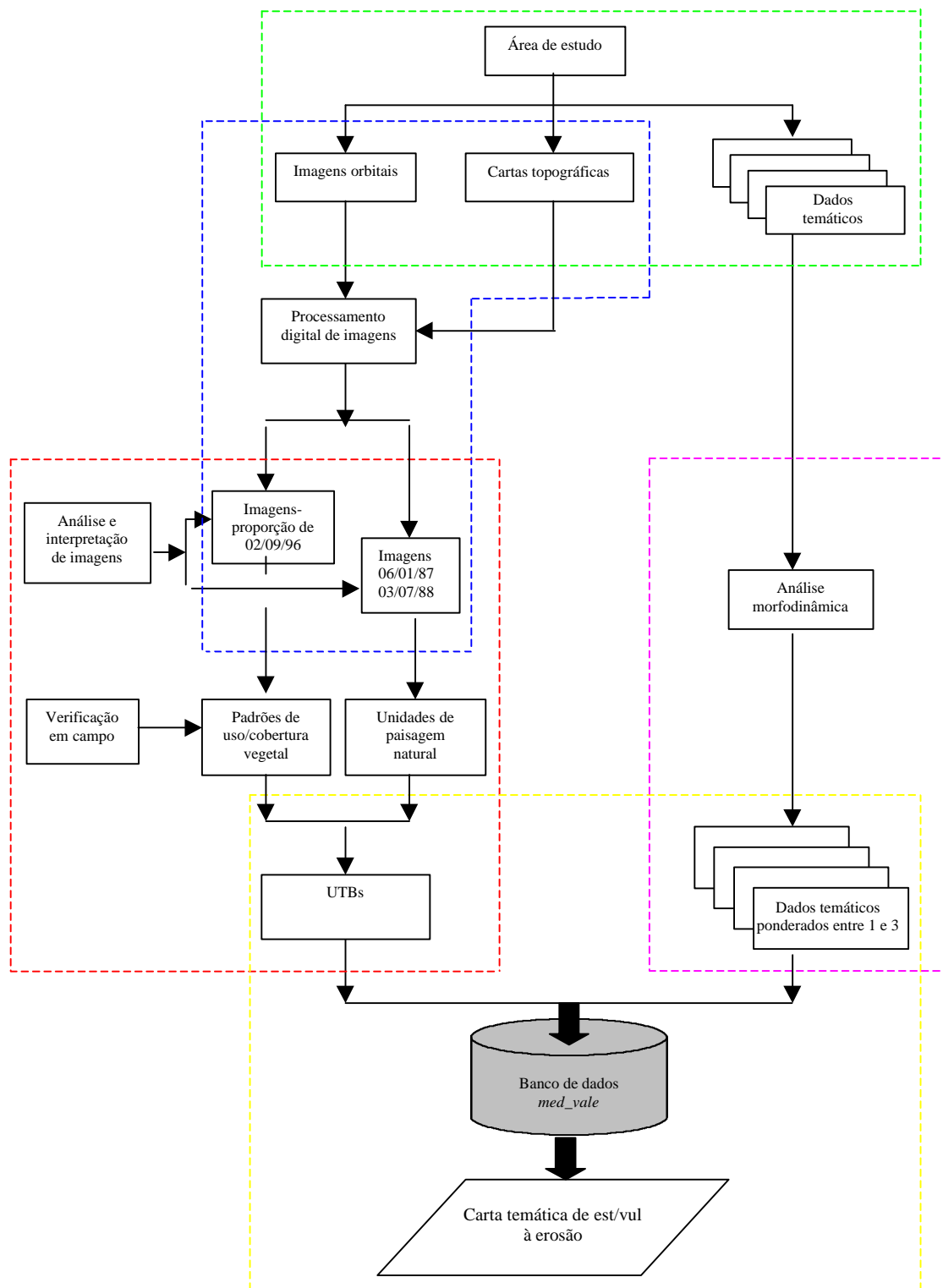


Fig. 5.1 - Fluxograma metodológico.

Legenda: (A) ---; (B) ---; (C) ---; (D) --- e (E) ---

5.1 - Aquisição de Dados Preliminares

Nessa etapa definiu-se como área de estudo um módulo de 280Km² nos municípios de São José dos Campos e Caçapava, em virtude da disponibilidade de imagens orbitais de Sensoriamento Remoto, cartas topográficas e mapas temáticos. Estes dados foram organizados no projeto *ZEE*, contido no banco de dados *med_vale*. As características do projeto foram:

- *Projeção*: UTM/Hayford/Córrego Alegre;
- *Meridiano inicial*: W 45° 00' 00" e
- *Coordenadas planas do retângulo envolvente*:

X1 = 408000 Km, Y1 = 7436000 Km

X2 = 426000 Km, Y2 = 7452000 Km.

5.2 - Processamento Digital de Imagens Orbitais

Essa etapa, que se encontra esquematizada na Figura 5.2, compreende o pré-processamento (correção geométrica e da atenuação atmosférica) o realce de por aumento linear de contraste e a aplicação do modelo linear de mistura espectral.

5.2.1 - Correção Geométrica

A correção geométrica das imagens de datas 06/01/87 e 03/07/88 foi realizada mediante o registro imagem-carta no software SPRING. Já a imagem de 02/09/96 foi corrigida geometricamente mediante o registro imagem-carta no software SITIM/SGI, uma vez que o mesmo permitiu a seleção do método do *vizinho mais próximo* para reamostragem dos níveis de cinza da imagem corrigida. Este método foi utilizado em virtude dos níveis de cinza da imagem de data mais recente, 02/09/96, constituírem os dados de entrada para execução do modelo linear de mistura espectral.

Após a realização dessa operação as imagens corrigidas no SPRING e no SITIM/SGI foram importadas para o projeto ZEE, onde foram armazenadas nos Planos de Informação (PIs) *tm87_1, 2, 3, 4, 5 e 7*; *tm88_1, 2, 3, 4, 5 e 7* e *tm96_2, 3, 4, 5 e 7*.

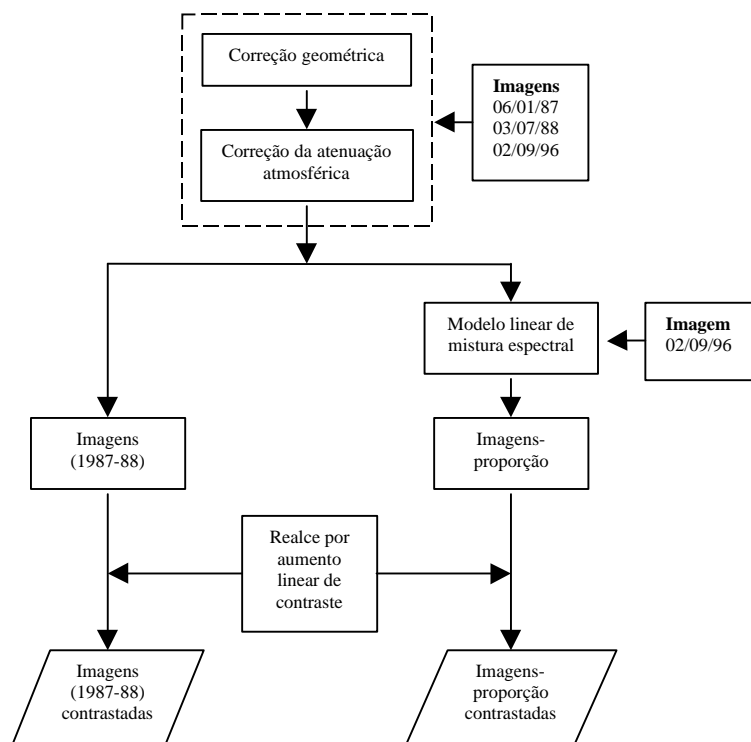


Fig. 5.2 – Fluxograma metodológico referente à etapa A.

5.2.2 - Correção dos Efeitos Atmosféricos

A partir dos histogramas das bandas TM-1 e TM-2 para as imagens correspondentes às datas mais antigas (06/01/87 e 03/07/88), e mais recente (02/09/96), respectivamente, foram selecionados os níveis de cinza sobre os quais ocorriam mudanças abruptas em suas frequências. A partir desses valores, foram estimados os modelos de espalhamento atmosférico reinantes durante a aquisição das cenas pelo sensor e os valores de níveis de cinza a serem subtraídos das demais bandas. Os PIs onde foram armazenadas as imagens resultantes desse processamento diferiram dos anteriores pelo acréscimo do termo *atm*.

5.2.3 - Modelo Linear de Mistura Espectral

O modelo de mistura implementado no software SPRING foi utilizado para a geração das imagens-proporção. Para a sua execução foram selecionados através do cursor e sobre a composição colorida 4(R), 5(G) e 3(B), de 02/09/96, os componentes puros de vegetação, solo e sombra. Estes foram extraídos de uma área de Floresta Estacional Semidecidual, de uma área de campo limpo e um lago de água limpa.

Sobre as bandas TM-2 a TM-5 e TM-7 e através do método dos Mínimos Quadrados Ponderados sem a aplicação da terceira restrição, foram geradas as imagens-proporção de vegetação, solo e sombra. Além desses produtos, foram, também, obtidas as imagens-erro e os erros de estimação por banda e total. Estes subprodutos permitiram avaliar a adequação do modelo de mistura à cena em questão

As imagens-proporção de vegetação, solo e sombra geradas foram armazenadas nos PIs designados pelos mesmos nomes. Já as imagens-erro foram armazenadas em PIs designados pelos nomes *Erro-tm96_2, 3, 4, 5 e 7*.

5.2.4 Realce por Aumento Linear de Contraste

As imagens das datas mais antigas e as imagens-proporção foram submetidas a um realce por aumento linear de contraste cujos valores máximo e mínimo do histograma são discriminados na Tabela 5.1. Essa operação foi realizada tendo em vista a realização da interpretação das imagens na tela da estação de trabalho. As imagens realçadas foram armazenadas nos planos que tiveram a inclusão da letra *R*.

TABELA 5.1 – VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS HISTOGRAMAS

| BANDA DATA | 1 87 | 2 87 | 3 87 | 4 87 | 5 87 | 7 87 | 1 88 | 2 88 | 3 88 | 4 88 | 5 88 | 7 88 | VEG. | SOLO | SOMBRA |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|------|--------|
| MÁXIMO | 81 | 59 | 89 | 137 | 190 | 82 | 53 | 35 | 66 | 89 | 133 | 54 | 169 | 201 | 200 |
| MÍNIMO | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77 | 81 | 67 |

5.3 - Análise e Interpretação de Imagens Orbitais

Os procedimentos metodológicos inclusos nessa etapa objetivaram a criação do mapa de UTBs. Esses procedimentos são ilustrados na Figura 5.3.

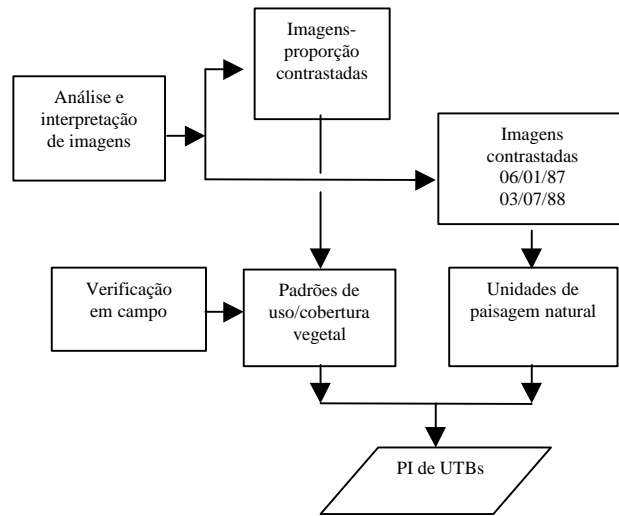


Fig. 5.3 – Fluxograma metodológico referente à etapa C.

5.3.1 - Delimitação das Unidades de Paisagem Natural

As unidades de paisagem natural foram delimitadas a partir dos padrões texturais de relevo e drenagem observados nas composições coloridas 4 (R), 5 (G) e 3 (B) de, 03/07/88 e 06/01/87. Estas datas foram usadas, respectivamente, para visualizar os contatos entre as formas de relevo e os vales.

Sobre as imagens ampliadas para a escala de 1:50.000 e através da opção *editar vetores* presente no *menu temático* do software SPRING foram delimitados, com o cursor, os padrões dos tipos de formas de relevo. O cursor foi utilizado no *modo passo* e com um *fator de digitalização* de 0,25.

Em seguida realizou-se a edição das linhas, ajuste dos nós por meio de um *fator de tolerância* de 0,25 e por fim, a *poligonalização* que objetivou a definição da topologia dos polígonos. Estes foram armazenados no PI *upn*, designando unidades de paisagem natural.

O produto da interpretação foi impresso em papel “terkron ®” e sobreposto à imagem em papel fotográfico na composição colorida 4 (R), 5 (G) e 3(B), de 02/09/96. Este procedimento, auxiliado pelo uso de fotografias aéreas na escala 1:25.000, visou analisar de maneira detalhada os limites das unidades de paisagem natural.

5.3.2 - Delimitação dos Padrões de Uso/Cobertura Vegetal

Este procedimento visou a delimitação das classes de uso/cobertura vegetal, utilizando-se para tanto, as imagens-proporção de vegetação, solo, e sombra reunidas na composição colorida R, G e B, respectivamente. Vale ressaltar que nos setores de maior amplitude altimétrica, a banda sintética de sombra foi retirada da composição por dificultar a identificação das feições de interesse nos vales. Devido a isso foi gerada a composição vegetação (R) e solo (G).

Sobre essa última composição colorida foram delimitados os padrões das classes de uso/cobertura vegetal presentes em cada uma das unidades de paisagem natural. Em alguns casos, as limitações impostas pela resolução espacial do sensor TM em associação com a variabilidade espacial dos diferentes padrões conduziram à delimitação de associações de classes.

Após a interpretação, as classes de uso/cobertura vegetal foram verificadas em campo. Neste procedimento foram visitados 38 pontos, cujo roteiro iniciou-se nos setores cimeiros da área de estudo e estendeu-se até a planície aluvial do Rio Paraíba do Sul.

Nesse percurso foram observadas as características geomorfológicas, as porcentagens de cobertura do solo oferecidas pelos diferentes estratos e, para o caso de associações de classes, estimadas as porcentagens de ocorrência das mesmas dentro da associação. Cada ponto teve suas características fisionômicas e de localização registradas através de fotografias e por meio do “*Global Positioning System*” (GPS).

As coordenadas planas dos pontos de campo quando posicionadas sobre a composição colorida das imagens-proporção vegetação (R) e solo (G), permitiram que os padrões de uso/cobertura vegetal verificados nessa composição colorida fossem confrontados com as suas respectivas fotografias de campo.

Os padrões de uso/cobertura vegetal com suas respectivas classes temáticas foram armazenados no PI *uso/cob*.

5.3.3 – Geração do PI de UTBs

O PI de UTBs foi gerado mediante a sobreposição dos PIs de unidades de paisagem natural e de padrões de uso/cobertura vegetal. Esse procedimento (Figura 5.4) foi realizado através da opção *mosaico* do software SPRING. O produto dessa sobreposição foi armazenado no PI *utbs*.

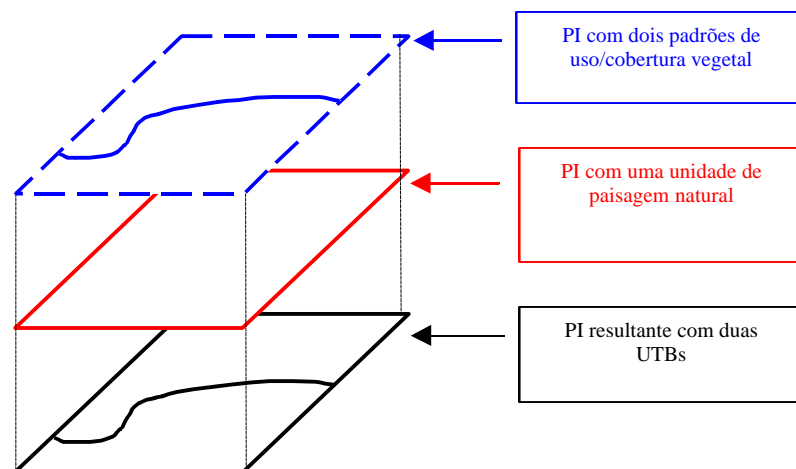


Fig. 5.4 – Geração do PI de UTBs.

5.4 - Análise Morfodinâmica

5.4.1 – Tratamento dos Limites

Os dados temáticos de geologia, geomorfologia, pedologia e uso/cobertura vegetal tiveram seus limites de classes ajustados através dos padrões texturais de relevo e drenagem observados na banda TM-4, de 03/07/88.

Ajustados esses limites, cada tema foi analisado individualmente segundo a relação pedogênese/morfogênese detalhada no capítulo 2. Essa relação permitiu a ponderação das classes temáticas a valores de estabilidade/vulnerabilidade, num total de 21, escalonados de 1 a 3.

5.4.2 – Álgebra de Campos

Nesta etapa sobre os dados de geologia, geomorfologia, pedologia e uso/cobertura vegetal foram realizadas operações algébricas pontuais e zonais. No caso das operações zonais, os resultados foram alocados nas colunas de um banco de dados relacional por meio do comando *atualize*. Através do comando *espacialize*, os valores de estabilidade/vulnerabilidade contidos nas colunas do banco de dados relacional foram convertidos em grades, o que permitiu o cálculo do valor final de estabilidade/vulnerabilidade à erosão.

Os procedimentos a seguir descrevem de maneira sucinta as operações pontuais e zonais realizadas sobre os geo-campos temáticos e numéricos.

5.4.2.1 - Geologia

O geo-campo temático de geologia foi convertido a valores de estabilidade/vulnerabilidade¹ através da operação pontual de ponderação, gerando em seguida um geo-campo numérico. Sobre este geo-campo foi realizada a operação zonal de média zonal, tendo como zonas as UTBs. Esta operação objetivou a obtenção de um único valor dentro de cada UTB. Esses procedimentos são esquematizados na Figura 5.5.

¹ Os valores de estabilidade/vulnerabilidade referentes ao tema geologia são encontrados na Tabela 1 do Apêndice A.

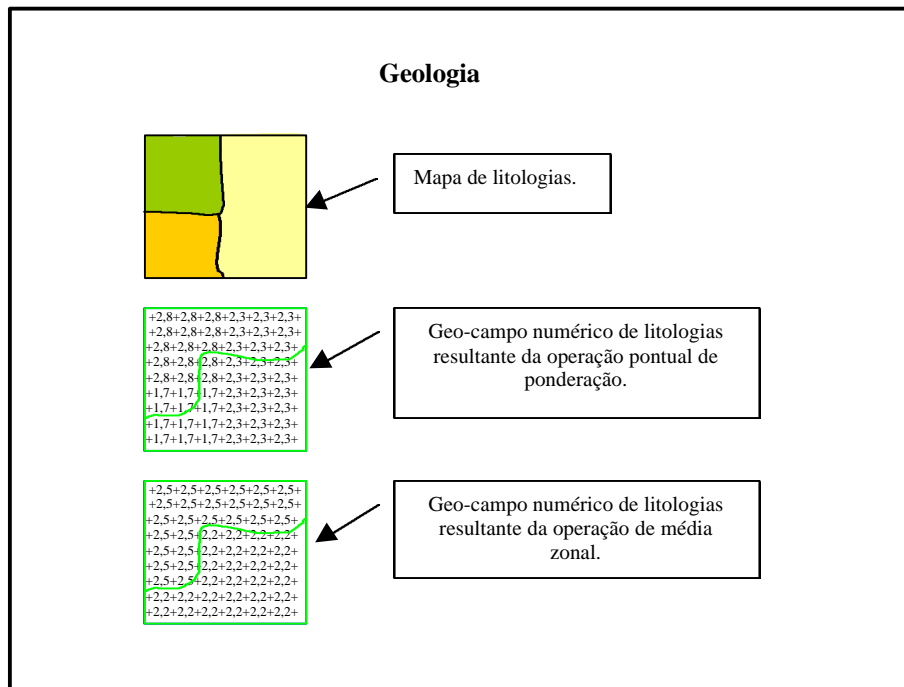


Fig. 5.5 – Operações algébricas para o tema geologia.

5.4.2.2 - Geomorfologia

O tema geomorfologia teve seu valor final de estabilidade/vulnerabilidade composto a partir dos parâmetros morfométricos amplitude altimétrica e dimensão interfluvial média, aplicados às formas denudacionais, e da morfografia representada pela forma dos topos. O índice declividade não foi considerado nesta análise devido ao fato desse parâmetro estar relacionado à análise de grandes escalas como tratado no capítulo 2. Os parâmetros morfométricos e morfografico são descritos a seguir.

- *Amplitude Altimétrica:* A partir das curvas de nível foi gerada uma grade triangular, que por sua vez, permitiu a criação de uma grade regular com resolução de 30m x 30m. Sobre esta grade foi realizada a operação faixa zonal, dentro de cada unidade homogênea de relevo, que no caso do trabalho, coincide com as unidades de paisagem natural. Sobre o resultado dessa operação foi realizado um fatiamento, cujos intervalos de classe, apresentados na Tabela 5.2, foram testados. O mapa de amplitude altimétrica criado teve suas classes

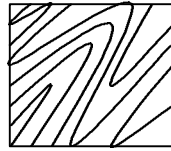
ponderadas para os valores de estabilidade/vulnerabilidade². Dessa forma, o geo-campo temático de amplitude altimétrica foi convertido a um geo-campo numérico, sobre o qual foi realizada a operação algébrica de média zonal que teve como zonas as UTBs. Os procedimentos ora relatados são esquematizados na Figura 5.6

TABELA 5.2 – CLASSES DE AMPLITUDE ALTIMÉTRICA

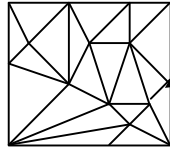
| AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) | | |
|---------------------------|-------------|-----------------------|
| Ross (1992) | Ross (1994) | Crepani et al. (1996) |
| < 10 | < 20 | < 20 |
| 10 – 20 | 20 – 40 | 20 – 40 |
| 20 – 40 | 40 – 80 | 40 – 80 |
| 40 – 80 | 80 – 160 | 80 – 120 |
| > 80 | > 160 | 120 – 160 |
| - | - | 160 – 200 |
| - | - | > 200 |

² Os valores de estabilidade/vulnerabilidade presentes na literatura para esse parâmetro morfométrico são mostrados nas Tabelas 2 e 4 do Apêndice A.

Geomorfologia – amplitude altimétrica



Isolinhas digitalizadas a partir da carta topográfica.



Grade Triangular (TIN) gerada a partir do processamento das isolinhas através do módulo MNT do software SPRING.

500+550+570+600+610+620
600+580+640+580+606+400
~~550+700+690+650+550+505~~
510+490+540+530+560+500
530+500+10+490+540+510
490+490+500+510+560+500
490+510+550+50+540+510
490+550+500+540+530+550
500+510+580+560+540+560

Grade regular (30m x 30m) gerada a partir da TIN com as unidades homogêneas de relevo dentro das quais foi realizada a operação faixa zonal.

190+190+190+190+190+190
190+190+190+190+190+160
~~210+210+190+190+190+160~~
210+210+190+160+160+160
210+100+100+160+160+160
210+100+100+160+160+160
210+100+100+160+160+160
100+100+100+160+160+160

Valores de amplitude altimétrica dentro de cada unidade homogênea de relevo. Observar o predomínio de um único valor no interior das mesmas.



Mapa de amplitude altimétrica resultante da operação pontual de fatiamento. Neste mapa as classes foram ponderadas à valores de estabilidade/vulnerabilidade.

+2,4+2,4+2,4+2,4+2,4+2,4+
+2,4+2,4+2,4+2,4+2,4+2,4+
+2,9+2,9+2,4+2,4+2,4+2,4+
+2,9+2,9+2,4+2,4+2,4+2,4+
+2,9+2,9+1,7+2,4+2,4+2,4+
+2,9+1,7+1,7+2,4+2,4+2,4+
+1,7+1,7+1,7+2,4+2,4+2,4+

Grade regular com valores de estabilidade/vulnerabilidade presentes dentro de cada UTB. Observar a presença de mais de um valor dentro de cada UTB.

+2,5+2,5+2,4+2,5+2,5+2,5+
+2,5+2,5+2,5+2,5+2,5+2,5+
+2,5+2,5+2,2+2,2+2,2+2,2+
+2,5+2,5+2,2+2,2+2,2+2,2+
+2,5+2,5+2,2+2,2+2,2+2,2+
+2,2+2,2+2,2+2,2+2,2+2,2+
+2,2+2,2+2,2+2,2+2,2+2,2+

Grade regular resultante da operação média zonal. Observar a presença de um único valor de estabilidade/vulnerabilidade por UTB.

Fig. 5.6 – Operações algébricas para o tema amplitude altimétrica.

- *Dimensão Interfluvial Média*: O parâmetro referente à dimensão interfluvial média foi determinado através do cômputo da distancia entre drenagens de segunda ordem. Dessa forma, por meio da *opção cálculo de distâncias* do software SPRING foram feitas para cada unidade homogênea de relevo três medidas, que em seguida tiveram sua média calculada. Esses valores foram classificados segundo os limiares observados na Tabela 5.3, gerando então o mapa de dimensão interfluvial média. Este mapa que representa um geo-campo temático foi convertido a um geo-campo numérico de valores de estabilidade/vulnerabilidade³ por meio da operação pontual de ponderação. Sobre este geo-campo numérico e tendo as UTBs como zonas, foi realizada a operação de média zonal. A Figura 5.7 ilustra o acima exposto.

TABELA 5.3 – CLASSES DE DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA

| DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA (m) | | |
|---------------------------------|-------------|----------------------|
| Ross (1992) | Ross (1994) | Crepani et al.(1996) |
| > 1500 | > 3750 | > 5000 |
| 700 – 1500 | 1500 - 3750 | 3000 - 5000 |
| 300 - 700 | 750 - 1500 | 2000 - 3000 |
| 100 - 300 | 250 - 750 | 1250 - 2000 |
| < 100 | < 250 | 750 - 1250 |
| - | - | 250 - 750 |
| - | - | < 250 |

³Os valores de estabilidade/vulnerabilidade para esse item são apresentados nas Tabelas 3 e 5 do Apêndice A.

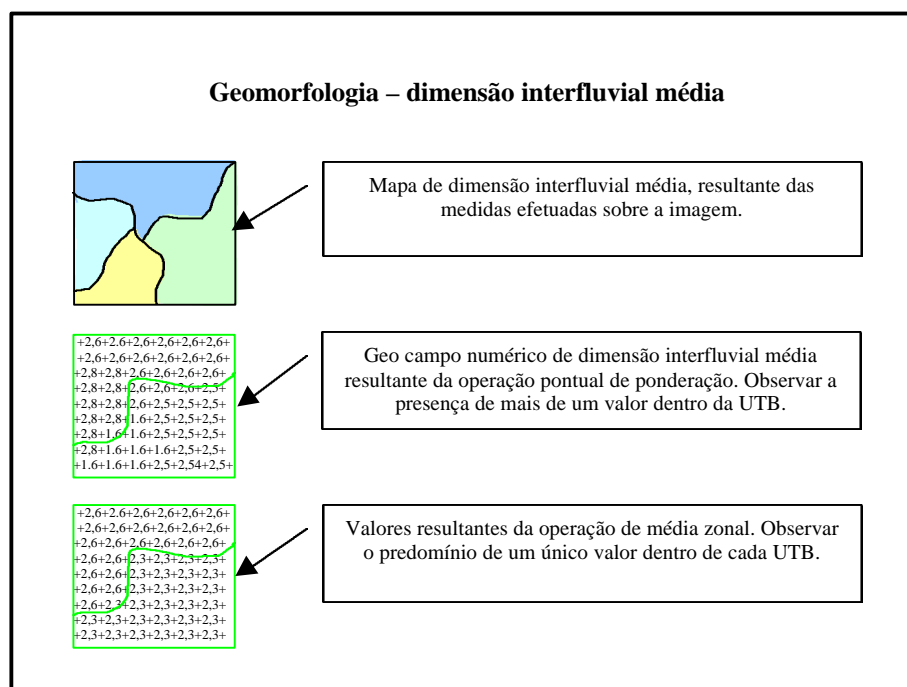


Fig. 5.7 – Operações algébricas para o tema dimensão interfluvial média.

- *Morfografia*: As unidades homogêneas de relevo foram analisadas com relação à forma de seus topos, o que permitiu a confecção de um mapa morfográfico, cujas classes foram ponderadas a valores de estabilidade/vulnerabilidade⁴. O geo-campo numérico de morfografia obtido foi submetido à operação de média zonal, tendo como zonas as UTBs. A Figura 5.8 apresenta o esquema dos procedimentos metodológicos realizados para este parâmetro.

⁴ Os valores de estabilidade/vulnerabilidade para as formas dos topos foram 1,0 (angulares), 2,0 (convexos) e 3,0 (planos).

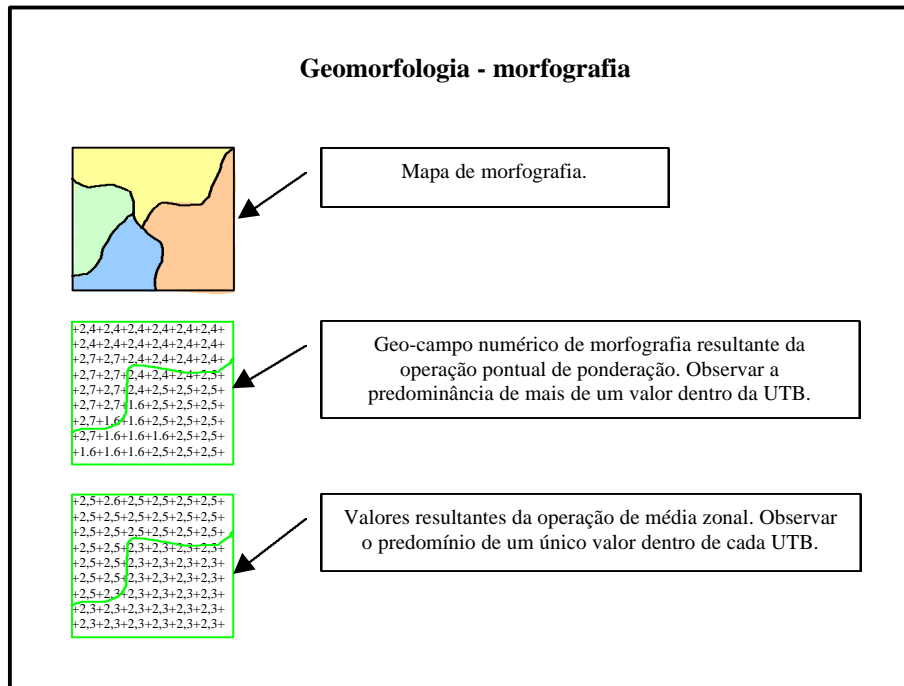


Fig. 5.8 – Operações algébricas para o tema morfografia.

- *Integração das Valores Referentes à Morfometria e a Morfografia:* Sobre os geo-campos numéricos de amplitude altimétrica, dimensão interfluvial média e morfografia, foi realizada a operação de média pontual o que culminou na obtenção do geo-campo numérico de geomorfologia. Os procedimentos que envolveram os aspectos morfométricos e morfográficos são mostrados na Figura 5.9.

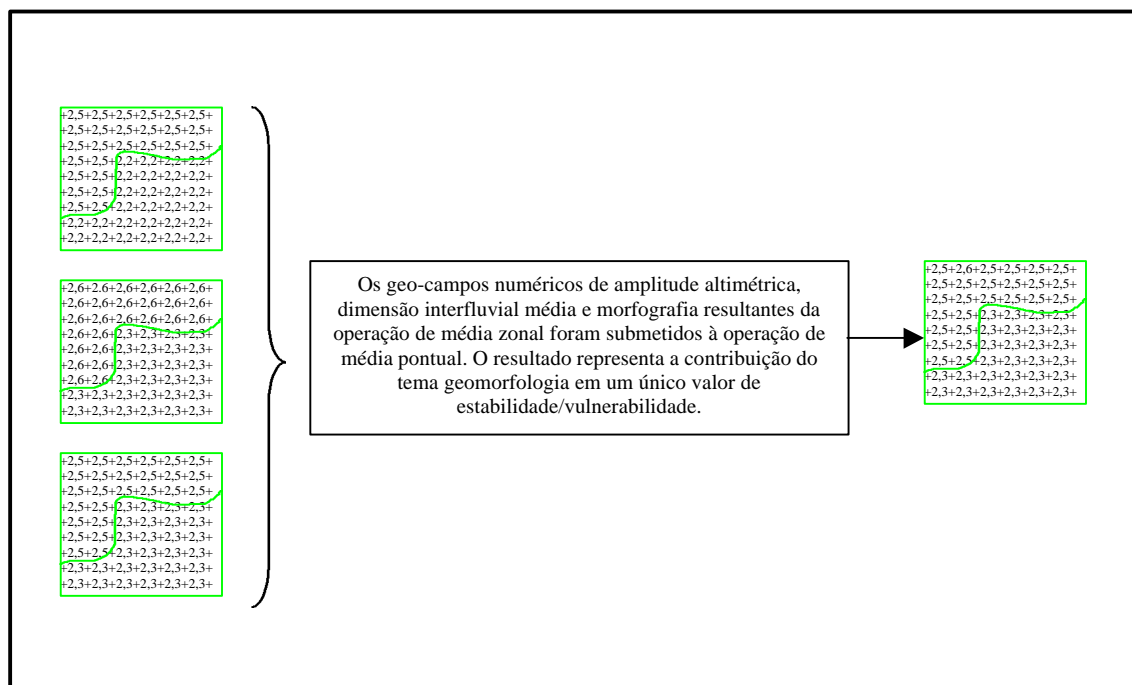


Fig. 5.9 – Integração dos valores referentes à morfometria e a morfografia.

5.4.2.3 Pedologia

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade das associações de solos foram dependentes dos valores de estabilidade/vulnerabilidade dos solos⁵ constituintes e de suas porcentagens⁶ de ocorrência dentro da associação.

Dessa forma, o geo-campo temático de solos foi convertido a geo-campo numérico com os valores de estabilidade/vulnerabilidade por meio da operação pontual de ponderação. Sobre este geo-campo e tendo as UTBs como zonas, foi realizada a operação de média zonal que objetivou a obtenção de um único valor por UTB. Esses procedimentos são mostrados na Figura 5.10.

⁵ Os valores de estabilidade/vulnerabilidade para as classes de solos são mostrados na Tabela 6 do Apêndice A.

⁶ As porcentagens de ocorrência de cada solo dentro da associação foram relatadas no capítulo 2.

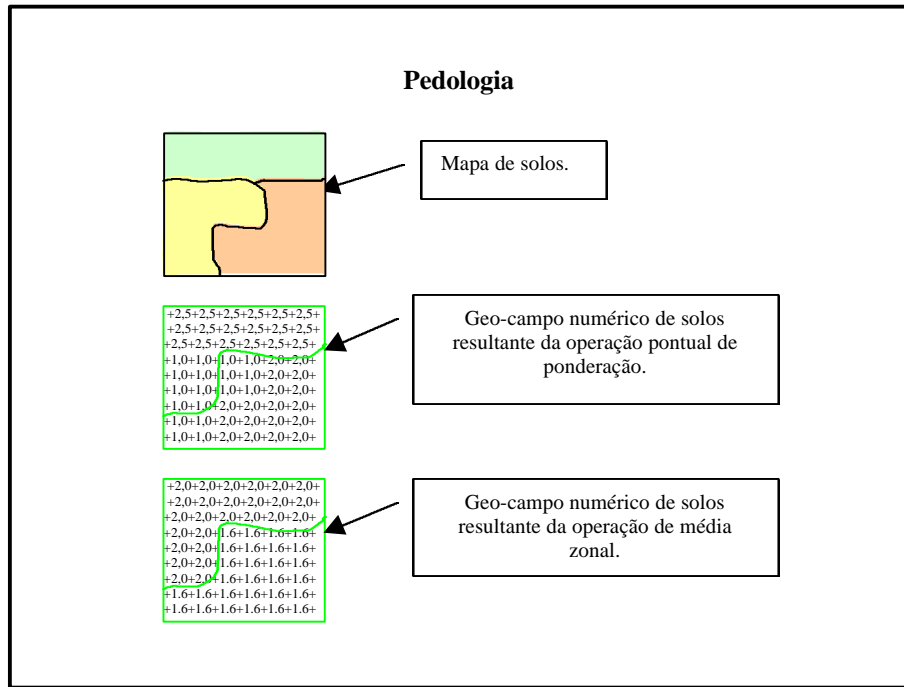


Fig. 5.10 – Operações algébricas para o tema pedologia.

5.4.2.4 – Uso/Cobertura Vegetal

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade para as associações das classes de uso/cobertura vegetal foram definidos em função dos valores de estabilidade/vulnerabilidade das classes puras⁷ constituintes; da porcentagem de ocorrência de cada classe dentro da associação e da porcentagem de cobertura do solo oferecida pela vegetação secundária. Esses parâmetros são contemplados na Equação 5.1, elaborada para estimar os valores de estabilidade/vulnerabilidade das associações de classes de uso.

$$E/V_F = (\%O_P/100).E/V_P + (\%O_{V_{SS}}/100).(3-0,02.\%C_{V_{SS}}) + (\%O_U/100).E/V_U \quad (5.1)$$

onde:

E/V_F = estabilidade/vulnerabilidade final da associação;

⁷ As classes puras são aquelas em que ocorre um único tipo de formação florestal ou classe de uso do solo. Seus valores de estabilidade/vulnerabilidade são encontrados na Tabela 7 do Apêndice A.

$\% O_P$ = porcentagem de ocorrência de vegetação primária dentro da associação;

E/V_P = estabilidade/vulnerabilidade associada pela vegetação primária;

$\%O_{Vss}$ = porcentagem de ocorrência da vegetação secundária dentro da associação;

$\%C_{Vss}$ = porcentagem de cobertura do solo oferecida pela vegetação secundária;

$\%O_U$ = porcentagem de ocorrência do tipo de uso do solo dentro da associação e

E/V_u = estabilidade/vulnerabilidade da classe de uso do solo dentro da associação.

O termo $(3-0,02.\%C_{Vss})$ da equação acima corresponde à equação da reta que relaciona as porcentagens de cobertura do solo referente à vegetação secundária com os valores de estabilidade/vulnerabilidade, ambos mostrados na Tabela 5.4. Esse termo foi usado para estimar o valor de estabilidade/vulnerabilidade da classe Reflorestamento, cuja porcentagem de cobertura do solo foi ponderada pela idade, conforme mostrado na Equação 5.2

TABELA 5.4 – VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA PORCENTAGEM DE COBERTURA

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| E/V | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 |
| $\%C_{Vss}$ | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 0 |

$$\%C_R = (X.\%C_X + Y.\%C_Y)/(X+Y) \quad (5.2)$$

onde:

$\%C_R$ = porcentagem de cobertura do solo oferecida pelo Reflorestamento durante idade decorrida até o primeiro corte;

X = x_ésimos primeiros anos de idade do Reflorestamento;

$\%C_X$ = porcentagem de cobertura do solo oferecida pelo Reflorestamento durante os x_ésimos primeiros anos de idade;

Y = y_ésimos restantes anos de idade do Reflorestamento decorridos até o primeiro corte e

$\%C_Y$ = porcentagem de cobertura do solo oferecida pelo Reflorestamento durante os y_ésimos restantes anos de idade.

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade das classes não pertencentes à Tabela 6 do Apêndice A, foram estimados mediante analogia de suas fisionomias com as fisionomias de algumas formações florestais existentes.

De posse desses valores, o mapa de uso/cobertura vegetal foi convertido a geo-campo numérico através da operação pontual de ponderação. Sobre o geo-campo numérico resultante foi realizada a operação de média zonal, dentro de cada UTB. Ao término dessa operação cada UTB passou a conter um único valor de estabilidade/vulnerabilidade. O resumo esquemático dessas operações é mostrado na Figura 5.11.

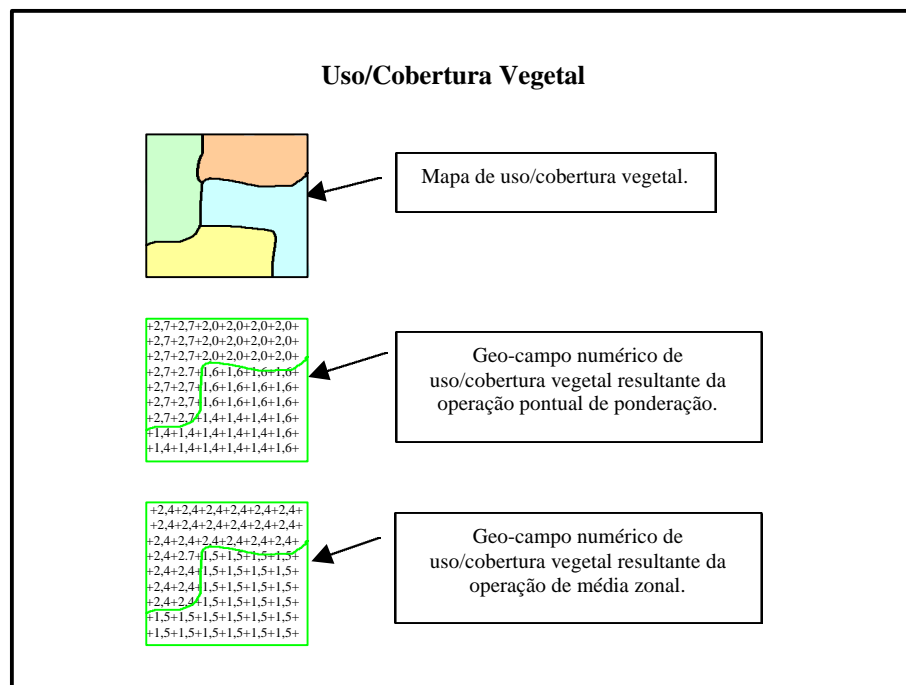


Fig. 5.11 – Operações algébricas para o tema uso/cobertura vegetal.

5.5 – Integração de Dados

Esta etapa compreendeu a geração do mapa cadastral de UTBs e da carta temática de estabilidade/vulnerabilidade à erosão.

5.5.1 – Geração do Mapa Cadastral de UTBs

As UTBs armazenadas no PI *utbs* foram editadas através da opção *editar objetos* do *menu cadastral* do software SPRING. Neste módulo os rótulos, num total de 480, foram criados e associados aos polígonos. Em seguida foram definidos na categoria *UNIDADES* pertencente ao *modelo objeto* os atributos que são mostrados na Tabela 5.5. Os campos existentes na tabela de atributos foram preenchidos por meio do comando *atualize*.

O mapa cadastral de UTBs e a tabela de atributos foram armazenados em uma mídia digital, “CD-ROM”, juntamente com o banco de dados *med_vale*. Este procedimento visou facilitar o acesso aos dados gerados no software SPRING.

TABELA 5.5 – ATRIBUTOS DAS UTBs

| ATRIBUTO | SIGNIFICADO |
|-------------|---|
| GEOL_CLS | Classe de geologia |
| GEOL_E_V | Estabilidade/vulnerabilidade para a geologia |
| AMPL_CLS | Classe de amplitude altimétrica |
| AMPL_E_V | Estabilidade/vulnerabilidade para a amplitude altimétrica |
| INTERF_CLS | Classe de dimensão interfluvial média |
| INTERF_E_V | Estabilidade/vulnerabilidade para a dimensão interfluvial média |
| MORFO_CLS | Classe de morfografia |
| MORFO_E_V | Estabilidade/vulnerabilidade para a morfografia |
| GEOMORF_E_V | Estabilidade/vulnerabilidade para a geomorfologia |
| PEDOL_CLS | Classe de solos |
| PEDOL_E_V | Estabilidade/vulnerabilidade para a pedologia |
| USOCOB_CLS | Classe de uso/cobertura vegetal |
| USOCOB_E_V | Estabilidade/vulnerabilidade para o uso/cobertura vegetal |
| EST_VUL_CLS | Classe de estabilidade/vulnerabilidade à erosão |
| EST_VUL_E_V | Valor de estabilidade/vulnerabilidade à erosão |

5.5.2 - Geração da Carta de Temática de Estabilidade/Vulnerabilidade à Erosão

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade dos atributos de geologia, geomorfologia, pedologia e uso/cobertura vegetal foram espacializados através do comando *espacialize*, gerando assim quatro grades de resolução 30 x 30 m. Sobre essas grades foi realizada a operação de média pontual, gerando uma grade com os valores de estabilidade/vulnerabilidade médios. Esta grade foi dividida em seis classes através da operação pontual de fatiamento, resultando na carta temática de estabilidade/vulnerabilidade à erosão. Esses procedimentos são mostrados na Figura 5.12.

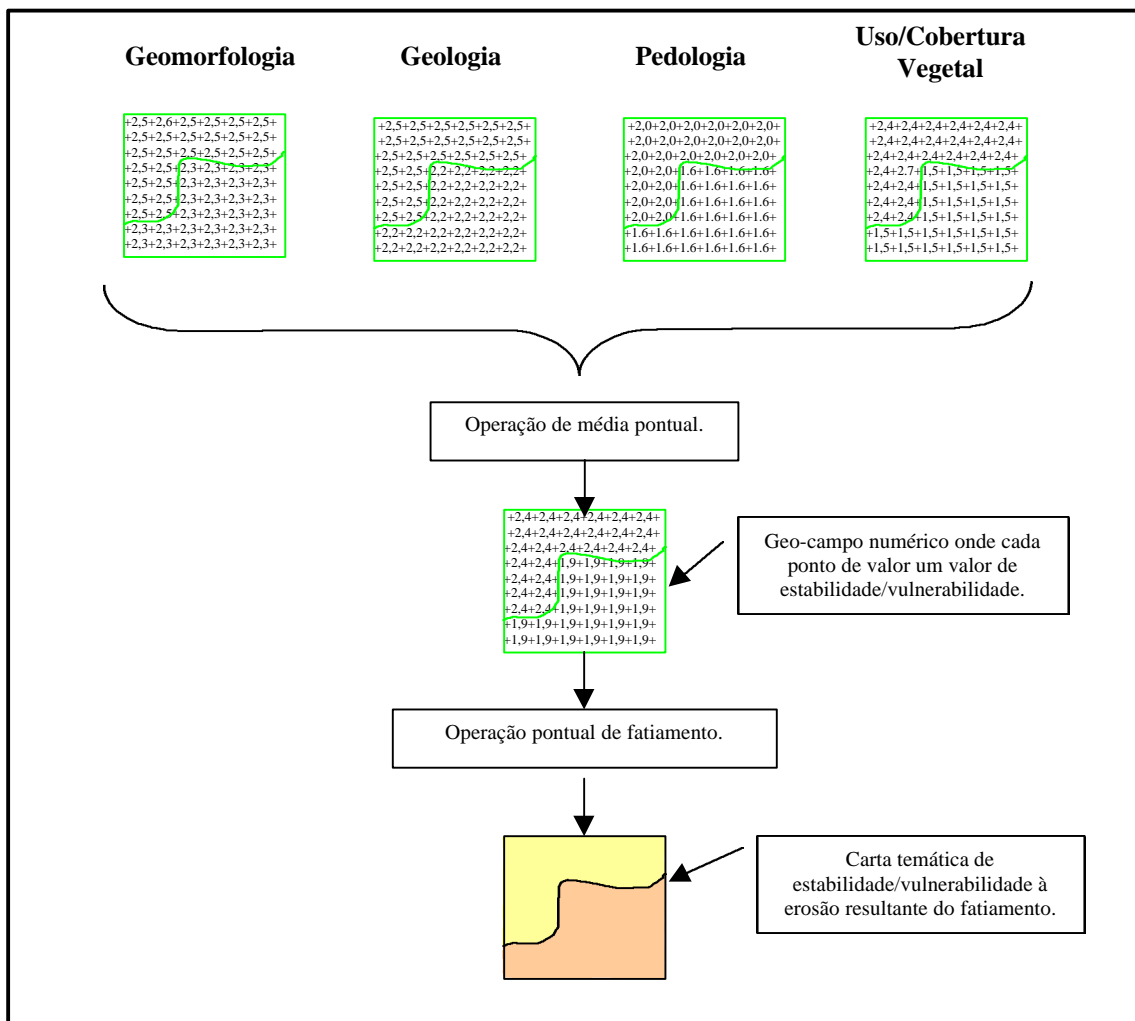


Fig. 5.12 – Geração da carta temática de estabilidade/vulnerabilidade à erosão.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 - Aquisição de Dados Preliminares

Os dados temáticos provieram de fontes diversas como RADAMBRASIL (1983), IPT (1978) e Kurkdjian (1992), o que levou ao ajuste dos limites das classes com base nas imagens de Sensoriamento Remoto. Estas por sua vez foram selecionadas em duas datas, 06/01/87 a 03/07/88, visando a identificação de feições que variaram em função dos parâmetros orbitais das cenas, ângulo de elevação solar e azimuth.

6.2 – Processamento Digital de Imagens Orbitais

6.2.1 Correção Geométrica

Para a correção geométrica das imagens foi realizado o registro imagem-carta onde para cada cena em questão foram coletados um total de 20 pontos. Os pontos que apresentaram erros inferiores a 0,5mm na escala da carta, ou seja, 25m foram selecionados como pontos de controle e os demais como pontos teste. A correção foi realizada utilizando-se um polinômio de 1º grau, obtendo-se ao término da mesma erros de pontos de controle e erros de pontos-teste tal como mostrado na Tabela 6.1.

TABELA 6.1 – PARÂMETROS QUANTITATIVOS DA CORREÇÃO GEOMÉTRICA

| DATA | TOTAL DE PONTOS | PONTOS DE CONTROLE | PONTOS-TESTE | ERRO DE PONTOS DE CONTROLE | ERROS DE PONTOS-TESTE |
|----------|-----------------|--------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|
| 06/01/87 | 20 | 10 | 10 | 0,471 | 1,792 |
| 03/07/88 | 20 | 12 | 8 | 0,549 | 1,925 |
| 02/09/96 | 20 | 10 | 10 | 0,729 | 3,239 |

6.2.2 Correção dos Efeitos Atmosféricos

A partir da análise dos histogramas da banda TM-1, de 06/01/87 e 03/07/88, e da banda TM-2, de 02/09/96 foram selecionados os níveis de cinza 59, 35 e 12 os quais permitiram estimar, respectivamente, os seguintes modelos de espalhamento atmosféricos: *atmosfera clara*, *atmosfera clara* e *atmosfera muito clara*. A partir destes modelos e com os níveis de cinza inicialmente selecionados, foram calculados os valores de níveis de cinza a serem subtraídos das demais bandas do visível e do infravermelho próximo (Tabela 6.2).

TABELA 6.2 – VALORES DOS NÍVEIS DE CINZA ESTIMADOS PARA A CORREÇÃO DOS EFEITOS ATMOSFÉRICOS

| BANDA | NÍVEIS DE CINZA FINAIS | | |
|-------|------------------------|----------|----------|
| | 06/01/87 | 03/07/88 | 02/09/96 |
| TM-1 | 59,000 | 35,000 | - |
| TM-2 | 24,531 | 11,749 | 12,000 |
| TM-3 | 21,993 | 7,923 | 8,067 |
| TM-4 | 15,224 | 4,527 | 4,587 |

6.2.3 Modelo Linear de Mistura Espectral

Na área de estudo, dois fatores contribuem para a ocorrência de problemas de mistura nas imagens orbitais: a amplitude altimétrica do relevo e a variabilidade espacial das classes de uso/cobertura vegetal. O primeiro fator é mais evidente nas imagens orbitais tomadas sob ângulo de elevação solar baixo, sendo neste caso grande a frequência do componente sombra na célula de resolução no terreno. O segundo fator está relacionado aos diferentes usos a que foi submetida a área de estudo ao longo de sua história. Isso contribui para que a radiância proveniente de uma célula de resolução no terreno, quando captada pelo sensor, não contenha informação de um único alvo.

Os padrões de uso/cobertura vegetal presentes na área de estudo são constituídos em sua maioria pela associação dos alvos solo, sombra e vegetação em diferentes proporções, o que, em vista disso, permitiu a identificação dos mesmos como componentes de mistura.

A seleção dos componentes puros sobre a imagem foi realizada, partindo-se da observação de suas assinaturas espectrais, Figura 6.1, exibidas mediante a seleção com o cursor sobre o alvo de interesse. As feições presentes nas assinaturas espectrais, quando comparadas com aquelas provenientes de alvos padrão, favoreceram a identificação dos componentes puros. Além disso, essa etapa foi subsidiada pela observação dos erros de estimação total e por bandas e, também, pela análise dos histogramas das imagens-proporção.

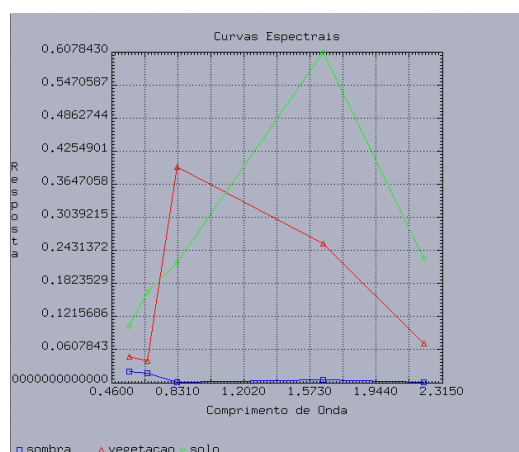


Fig. 6.1 – Assinaturas espectrais dos componentes puros.

O erro total de estimação encontrado foi da ordem de 2,469837, e os erros por bandas são verificados na Tabela 6.3. Nesta Tabela observa-se que os maiores erros foram associados às bandas TM-3, TM-7 e TM-2 o que se deve à elevada reflectância dos alvos urbanos, e que no caso em estudo, não foram incluídos como um dos componentes de mistura.

TABELA 6.3 – ERROS DE ESTIMAÇÃO POR BANDA

| IMAGEM | ERRO POR BANDA |
|----------|----------------|
| Erro_tm2 | 2,777020 |
| Erro_tm3 | 3,843617 |
| Erro_tm4 | 0,648526 |
| Erro_tm5 | 2,190590 |
| Erro_tm7 | 2,889431 |

A seleção do “pixel” puro de vegetação na banda TM-4 e baixa reflectância apresentada pelos alvos urbanos nesta banda permitiu que a mesma apresentasse o menor valor de erro. A banda TM-5, por apresentar alta reflectância do alvo solo, permitiu a localização desse componente puro na imagem. Com isso esperou-se que essa banda apresentasse erro de estimação pequeno. No entanto, isso não se verificou em virtude dos altos valores de reflectância apresentados pelos alvos urbanos. A Figura 6.2 ilustra as imagens-erro, onde acham-se inseridos os componentes puros de vegetação (vermelho), solo (verde) e sombra (azul).

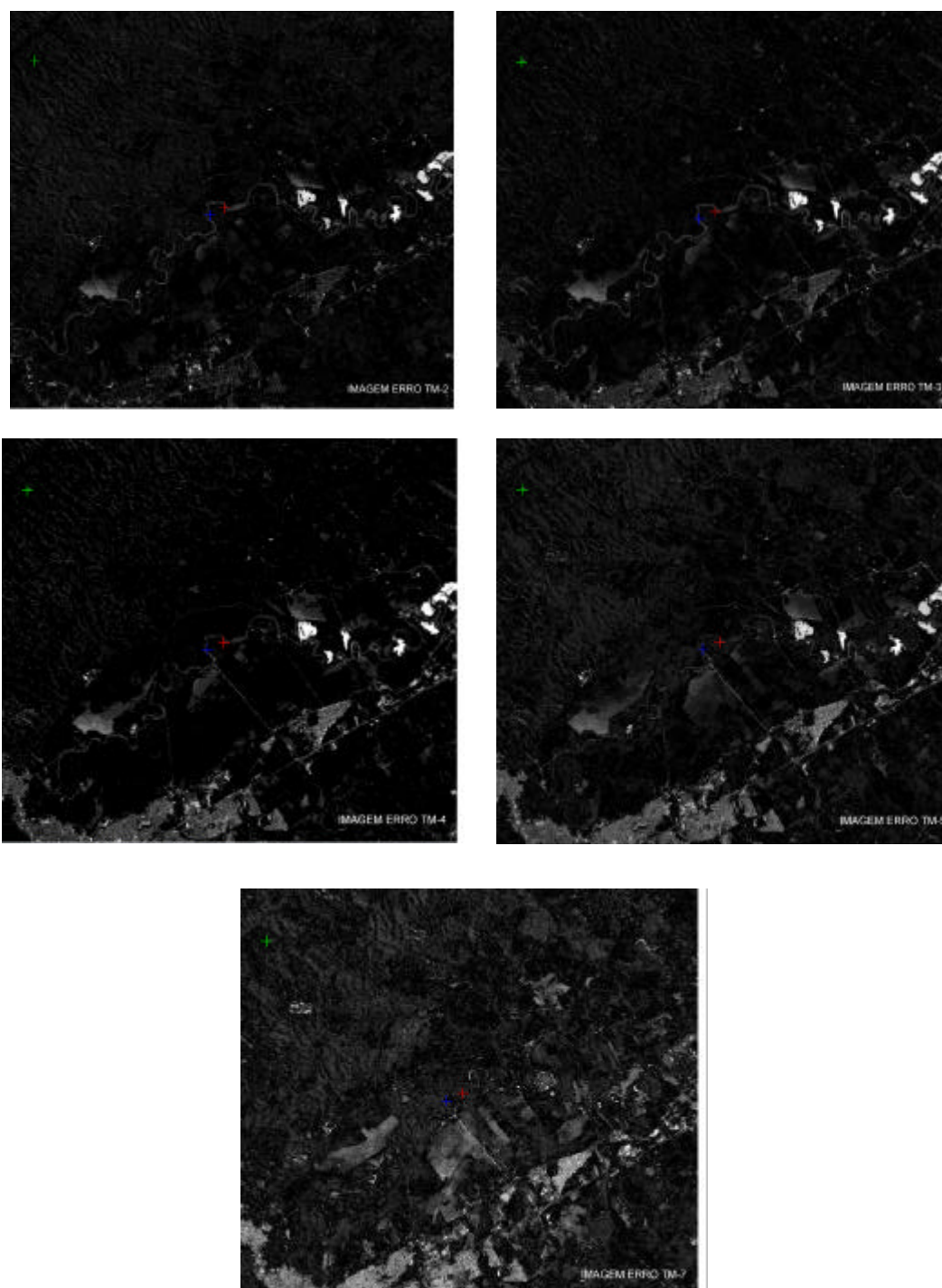


Fig. 6.2 – Imagens-erro.

O método dos *Mínimos Quadrados Ponderados* sem aplicação da restrição (3), além de gerar as proporções obtendo menores erros, também permitiu verificar, através do histograma das imagens-proporção, o quanto os componentes puros foram bem selecionados. Isto porque as proporções compreendidas entre 0 e 1, incluindo estes valores, são distribuídas entre os níveis de cinza 100 e 200 e as proporções que excedem 0 e 1 são associadas a níveis de cinza 0 e 255, respectivamente. Logo, no histograma da Figura 6.3a, a presença de altas frequências associadas ao nível de cinza 255, indicou que deveria existir um “pixel” mais puro que o selecionado inicialmente. Dessa forma o modelo foi executado novamente e verificados todos os parâmetros acima relatados. Este processamento foi repetido até serem atingidas as menores frequências associadas ao nível de cinza 255, Figura 6.3b, com preservação da qualidade visual da imagens.

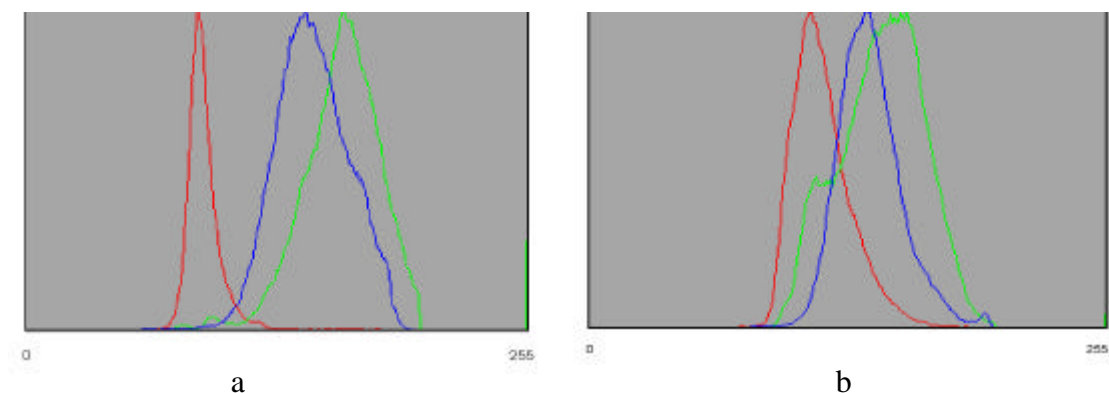


Fig. 6.3 – Histogramas das imagens-proporção vegetação (R), solo (G) e sombra (B).

As imagens-proporção foram agrupadas na composição colorida vegetação (R), solo (G) e sombra (B) (Figura 6.4). Nessa composição, o componente sombra permitiu a distinção da cobertura vegetal pela idade e estrutura, como pode ser observado em toda área de estudo, e mais precisamente na planície aluvial do rio Paraíba do Sul.

Nos setores de relevo suave ondulado verifica-se a presença de extensas áreas de Reflorestamento que caracterizaram-se pela alta resposta do componente vegetação, em detrimento dos demais componentes. Esse fato é explicado pela grande similaridade de idade entre os indivíduos o que lhes confere um dossel uniforme e, também, pela grande cobertura do solo oferecido pelos mesmos.

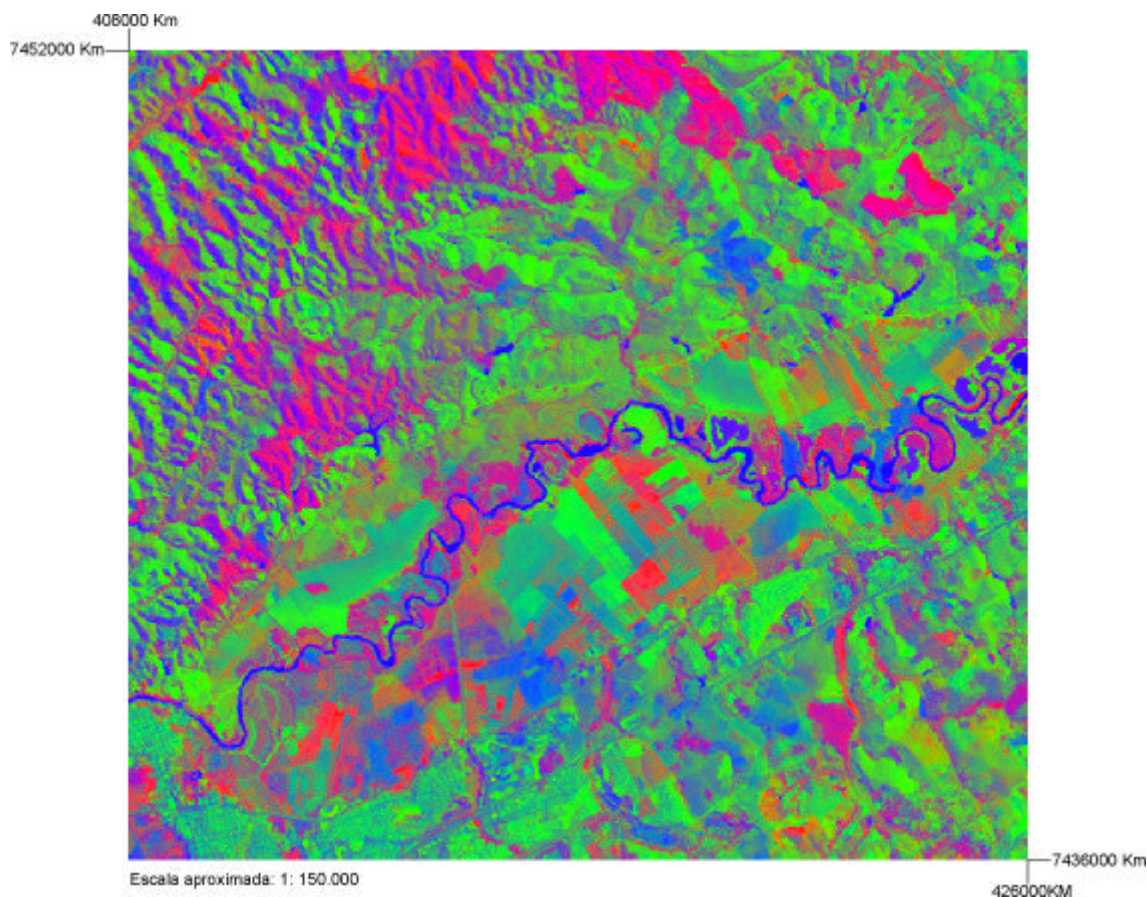


Fig.6.4 – Composição colorida das imagens-proporção vegetação (R), solo (G) e sombra (B).

Nas áreas de relevo plano, tal como a planície aluvial do rio Paraíba do Sul, a presença dos talhões de cultura é marcada pela alta resposta do componente vegetação. Esta apresenta-se sob tons de vermelho claro, demonstrando a concentração de pigmentos fotossintéticos, tendo em vista a idade jovem dos indivíduos. Ainda, a participação do componente sombra é diminuta em virtude do dossel uniforme, o que vem a confirmar a idade jovem dos indivíduos.

O componente solo aparece demonstrando os diferentes graus de cobertura oferecida pela vegetação. É também notada a presença de áreas úmidas, principalmente associadas a planície aluvial do rio Paraíba do Sul, onde o componente solo, em alternância com o componente sombra, mostram os diferentes níveis de umidade.

Outra influência conjunta dos componentes solo e sombra é observada nos padrões representando as áreas urbanas. Nestas, o componente sombra representando os arruamentos aparece delimitando elementos texturais representados pelas quadras, onde se observa alta resposta do componente solo.

Os corpos d'água, bem como os portos de areia, são detectados pela forte influência do componente sombra. Isto ocorre em virtude dos baixos valores de reflectância apresentados por esses alvos nas bandas originais, o que tornou possível a seleção do componente puro de sombra.

O componente sombra, embora discriminando a cobertura vegetal em diferentes estágios e também as áreas de maiores amplitudes altimétricas, impossibilitou, no entanto, a discriminação das classes de uso/cobertura vegetal nos vales. Em vista disso, e tendo como objetivos discernir a vegetação pelo grau de cobertura oferecida ao solo, esse componente foi extraído da composição colorida original. Assim, o componente vegetação foi associado ao canal R e o componente solo ao canal G, tal como mostrado na Figura 6.5.

A descrição detalhada das classes de uso/cobertura vegetal é apresentada na seção seguinte. Aqui é relatada de maneira geral a utilidade das imagens-proporção na discriminação dos alvos de interesse, bem como, explicada a utilização da composição colorida apresentada na Figura 6.5.

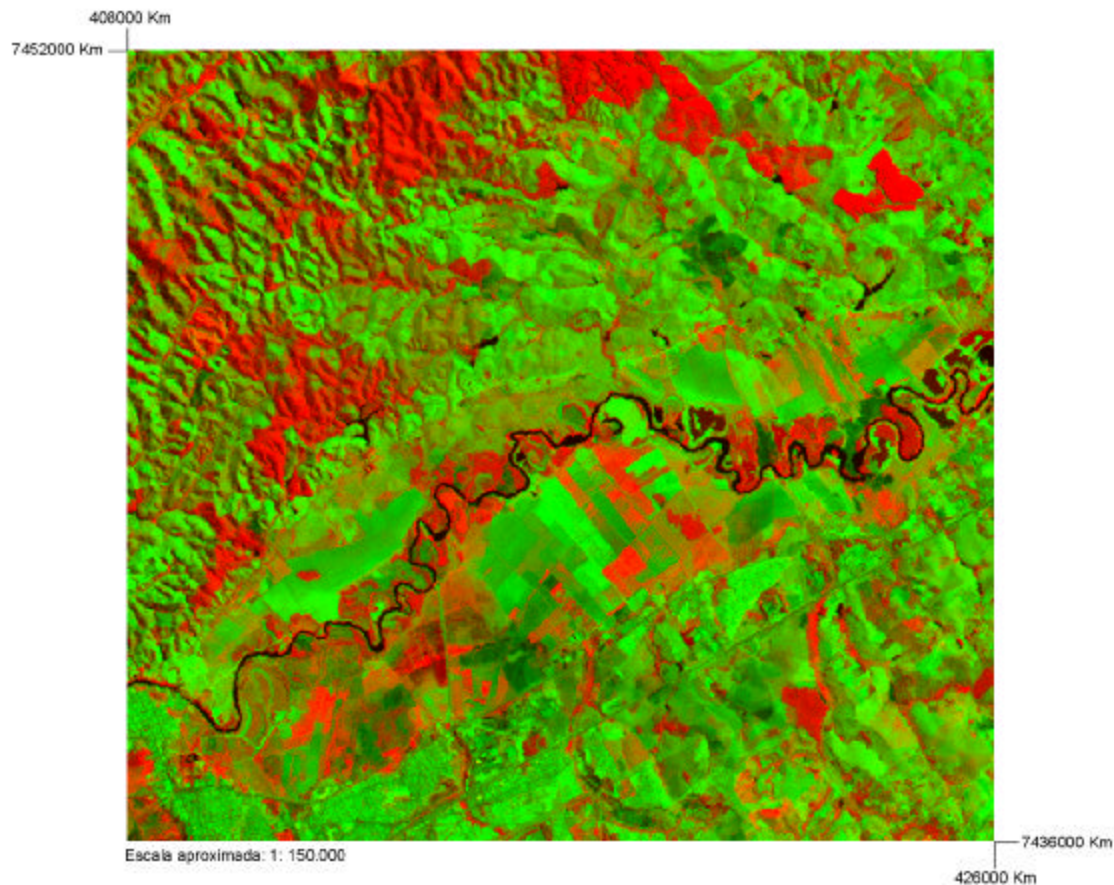


Fig. 6.5 – Composição colorida das imagens-proporção vegetação (R) e solo (G).

6.3 – Análise e Interpretação de Imagens Orbitais

6.3.1 – Delimitação das Unidades de Paisagem Natural

As unidades de paisagem natural (Figura 6.6) foram delimitadas sobre a imagem referente à data de 03/07/88 cujo ângulo de elevação solar de 30° permitiu definir as diferentes formas de relevo realçadas pelo parâmetro de interpretação sombra. Estas formas agrupadas, conferiram à imagem padrões texturais cuja distinção fez-se em função da rugosidade topográfica ou dissecação do relevo, da forma dos topos e da amplitude altimétrica.

Estes padrões de relevo, que correspondem ao terceiro nível taxonômico, apresentam uniformidade quanto aos tipos de litologias e aos processos morfodinâmicos que ocorrem em seu interior. Além disso, esses processos influenciam a formação dos solos

e a exuberância da cobertura vegetal. Dessa forma, cada padrão de relevo, tendo em vista a sua relação com os demais componentes da paisagem, correspondeu a uma unidade de paisagem natural.

O terceiro nível taxonômico foi adotado em função do tipo de abordagem utilizada para a geração do produto final, e também, pela sua compatibilidade com o planejamento de grandes áreas. Além disso, outro fator que contribuiu para a adoção desse “*táxon*”, foi a resolução espacial de 30m das imagens TM/LANDSAT-5 que, em geral, impossibilitam a delimitação de formas de relevo isoladas.

A composição colorida 4(R), 5(G) e 3(B) foi utilizada para esse fim, juntamente com a análise das bandas individuais TM-4 e TM-5. A imagem da banda TM-4, por exemplo, auxiliou na delimitação da faixa meândrica do rio Paraíba do Sul, cujas áreas úmidas apresentaram maior contraste com o entorno. A banda TM-5 permitiu a definição dos contatos nas áreas de colinas, que, em função da reduzida cobertura vegetal, apresentou maior resposta do solo.

Nos setores cimeiros da área de estudo, os limites entre os padrões, a partir das imagens de 03/07/88, foram mascarados pelo sombreamento das formas. Neste caso, para esses setores, houve a participação da composição colorida 4(R), 5(G) e 3(B), de 06/01/87, cujo ângulo de elevação solar de 51° permitiu melhor iluminação dos vales.

Os vales encaixados, que cortam a maior parte da área urbana de São José dos Campos, foram identificados na 4(R), 5(G) e 3(B), de 02/09/96, que melhor retratou os processos atuais que se verificam nesses setores.

Os PIs de curvas de nível e drenagem foram utilizados nos locais de dúvidas quanto aos contatos entre os padrões e divisores dos interflúvios. Como exemplo de participação das curvas de nível, cita-se a delimitação da planície aluvial do rio Paraíba do Sul e dos terraços fluviais onde se encontra grande parte da área urbana de São José dos Campos.

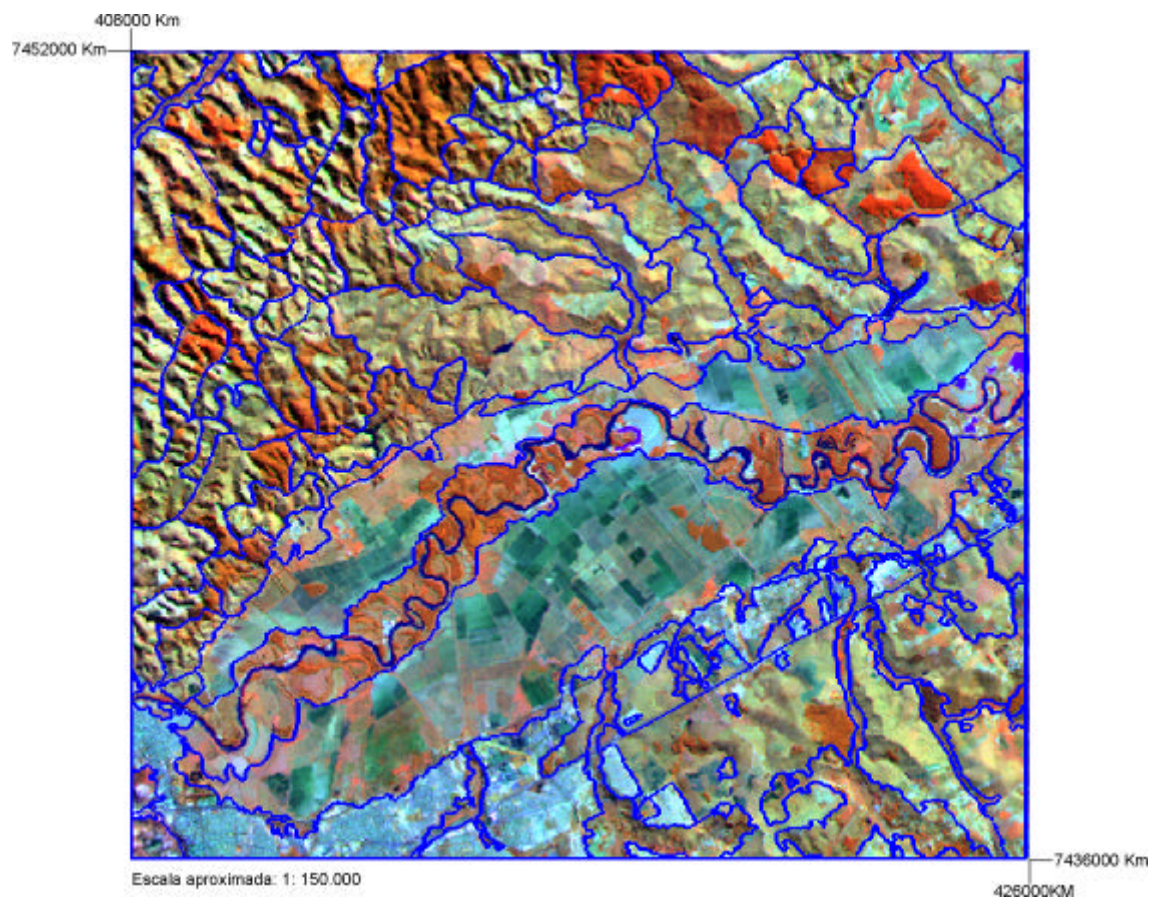


Fig. 6.6 – Unidades de paisagem natural.

6.3.2 – Delimitação dos Padrões de Uso/Cobertura Vegetal

Os padrões de uso/cobertura vegetal identificados sobre as imagens são compostos de classes puras, em que há o predomínio de um único tipo de uso/cobertura por polígono, e associação de classes em que há a ocorrência de mais de um tipo de uso/cobertura. Estas associações resultaram das limitações impostas pela resolução espacial das imagens orbitais TM/LANDSAT-5 e pela presença de muitos fragmentos de cobertura vegetal em diferentes estágios de regeneração.



O critério eleito para a delimitação das classes de uso/cobertura vegetal na composição colorida das imagens-proporção vegetação (R) e solo (G) foi o grau de cobertura oferecido pela vegetação ao solo. Este critério está relacionado à quantidade de vegetação dentro do polígono, o que vem explicar a participação da imagem-proporção de vegetação, uma vez que a mesma está relacionada à concentração de biomassa.

A legenda das classes, baseada na nomenclatura adotada pelo Projeto RADAMBRASIL, foi organizada de maneira a compor uma distribuição gradativa de cobertura do solo. Para esse fim, os padrões inicialmente observados nas imagens foram caracterizados segundo os parâmetros de interpretação mostrados na Tabela 6.4. O resultado desse processo é mostrado na Tabela 6.5 que resume de maneira sucinta a legenda composta para o tema uso/cobertura vegetal.

TABELA 6.4 - PARÂMETROS DE INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS









| PARÂMETRO | GRADAÇÃO |
|------------|---|
| tonalidade | Alta, média alta, média baixa e baixa |
| cor | Verde, amarela e vermelha |
| textura | Lisa, média lisa, média rugosa e rugosa |
| forma | Irregular e geométrica |

TABELA 6.5 – PADRÕES DAS CLASSES DE USO/COBERTURA VEGETAL NO CAMPO E NA COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS IMAGENS-PROPORÇÃO VEGETAÇÃO (R) E SOLO (G)

| CLASSE | NOTAÇÃO | DESCRIÇÃO | IMAGEM | CAMPO |
|--------|--|--|--|---|
| D/Vss | Floresta Ombrófila Densa com 50% de ocorrência e Vegetação Secundária com 50% de ocorrência e 100% de cobertura do solo. | Tonalidade média alta; cor vermelha; textura média lisa e forma irregular. |  |  |









(continua)

Tabela 6.5 - Continuação

| | | | | |
|--------------------|---|---|--|---|
| D/Vss/Pas (10%) | Floresta Ombrófila Densa com 45% de ocorrência; Vegetação Secundária com 45% de ocorrência e 70% de cobertura do solo e Pastagem com 10% de ocorrência. | Tonalidade média baixa, cores verde e vermelha; textura rugosa e forma irregular. |  |  |
| Reflorest. | Reflorestamento de Eucalyptus spp com 50% de cobertura do solo durante o primeiro ano de idade e com 100% de cobertura do solo durante os quatro anos seguintes até o primeiro corte. | Tonalidade alta; cor vermelha; textura lisa e forma geométrica. |  |  |
| F/Vss | Floresta Estacional Semidecidual com 50% de ocorrência e Vegetação Secundária com 50% de ocorrência e 70% de cobertura do solo. | Tonalidade média alta; cores vermelha; textura média rugosa e forma irregular. |  |  |
| F/Vss/Pas (10%) | Floresta Estacional Semidecidual com 45%; Vegetação Secundária com 45% de ocorrência e 49% de cobertura do solo e Pastagem com 10% de ocorrência. | Tonalidade média baixa; cores verde a vermelha; textura rugosa e forma irregular. |  |  |











(continua)

Tabela 6.5 – Continuação

| | | | | |
|--------------------|--|---|--|---|
| D/Vss/Pas (33%) | Floresta Ombrófila Densa com 33,33% de ocorrência, Vegetação Secundária com 33,33% de ocorrência e 30% de cobertura do terreno, e Pastagem com 33,33% de ocorrência. | Tonalidade média baixa; cores verde a vermelha; textura rugosa e forma irregular. |  |  |
| F/Vss/Pas (33%) | Floresta Estacional Semidecidual com 33,33% de ocorrência; Vegetação Secundária com 33,33% de ocorrência e 21% de cobertura do solo e Pastagem com 33,33% de ocorrência. | Tonalidade baixa; cores verde a vermelha; textura média rugosa e forma irregular. |  |  |
| Campo sujo | Apresenta cobertura do solo intermediária àquelas oferecidas pela Savana parque e a Savana gramíneo-lenhosa. | Tonalidade média baixa; cor amarela; textura média lisa e forma irregular. |  |  |
| Campo limpo | Apresenta cobertura do solo similar àquela oferecida pela Savana gramíneo-lenhosa | Tonalidade alta; cor verde; textura lisa e forma irregular. |  |  |

(continua)

Tabela 6.5 – Conclusão

| | | | | |
|-----------------------|---|--|--|---|
| Cultura anual | <p>É representada, principalmente, pelas culturas de arroz na planície aluvial do rio Paraíba do Sul.</p> | <p>Tonalidade média alta; cor vermelha a verde; textura média lisa e forma geométrica.</p> |  |  |
| Queimada | <p>Corresponde a áreas queimadas destinadas a implantação de culturas ou pastagens</p> | <p>Tonalidade baixa; cor verde; textura média rugosa e forma irregular.</p> |  |  |
| Solo exposto | <p>Corresponde a áreas de solo preparadas para cultura ou pastagem ou áreas resultantes dos processos de erosão laminar ou em sulcos.</p> | <p>Tonalidade média alta; cor verde; textura média lisa, e forma irregular.</p> |  |  |
| Portos de areia/Lagos | <p>Correspondem aos pontos de extração de areia, destinada à construção civil</p> | <p>Tonalidade baixa, cor amarela, textura lisa e forma irregular.</p> |  |  |
| Área urbana | <p>Corresponde as áreas urbanizadas dos municípios de São José dos Campos e Caçapava.</p> | <p>Tonalidade alta, cor verde, textura rugosa e forma irregular.</p> |  |  |

Os padrões mostrados nesta Tabela foram visitados em campo, o que permitiu analisar a distribuição percentual das classes constituintes das associações. Além disso, foi possível estabelecer um percentual de cobertura do solo oferecido pela vegetação secundária. A Figura 6.7 ilustra os polígonos com os padrões de uso/cobertura vegetal em cada unidade de paisagem natural e a Figura 6.8 ilustra o mapa de uso/cobertura vegetal gerado.

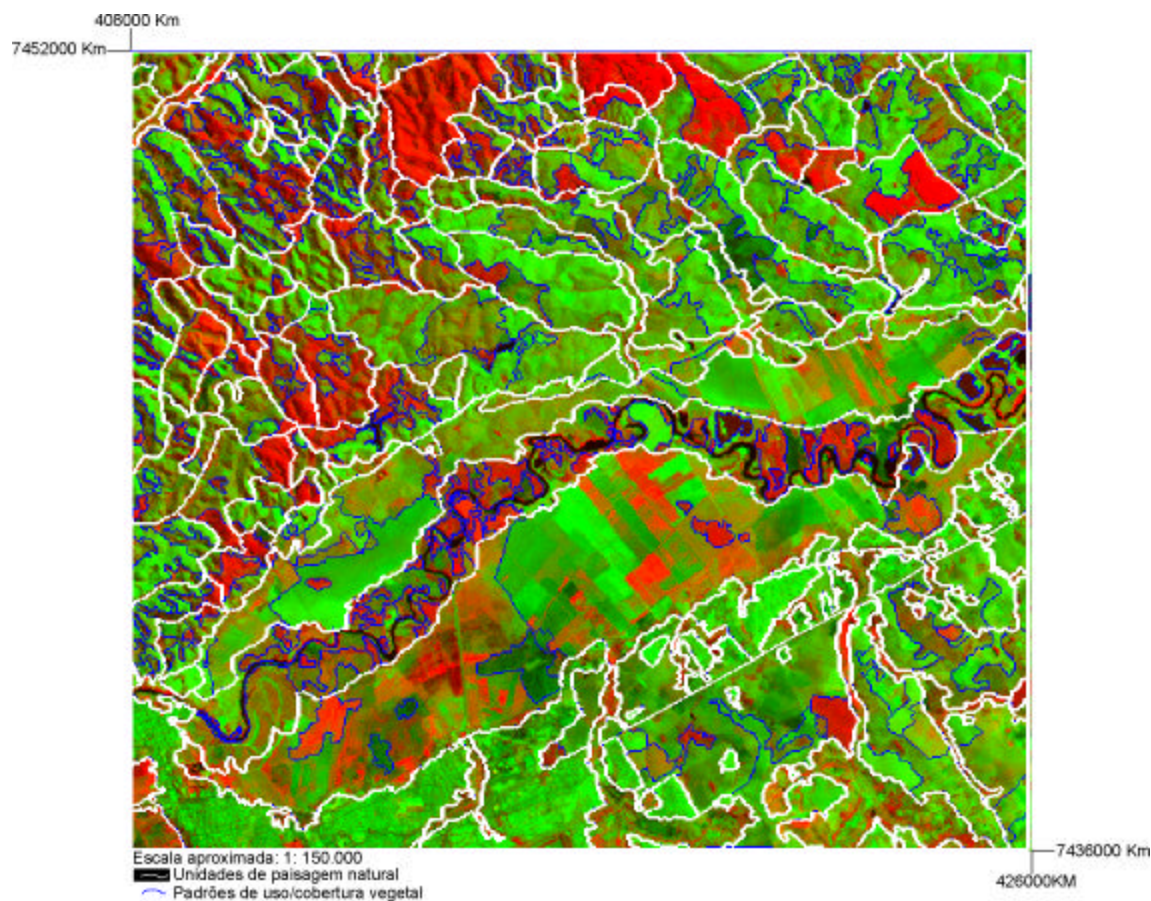


Fig. 6.7 – Unidades de paisagem natural e padrões de uso/cobertura vegetal.

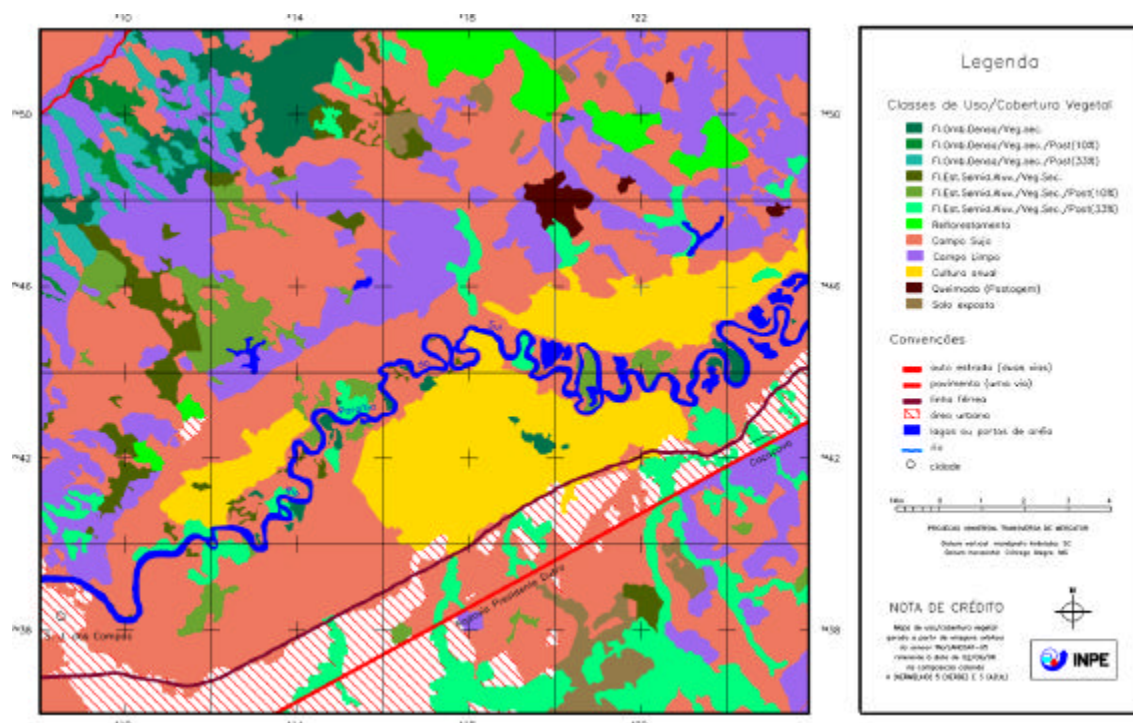


Fig. 6.8 – Mapa de uso/cobertura vegetal.

6.3.3 – Geração do PI de UTBs

O PI de UTBs foi resultante da sobreposição do PI de unidades de paisagem natural com aquele referente aos padrões de uso/cobertura vegetal. Esse PI, mostrado na Figura 6.9, é composto de 480 polígonos que representam simultaneamente um polígono de ação antrópica em um setor de uma unidade de paisagem natural.

Essa dualidade permitiu que se estabelecesse um método para a confecção do PI de UTBs, onde inicialmente foram delimitadas as unidades de paisagem natural e em seguida, internamente a cada uma delas, os padrões de uso/cobertura vegetal. Essa metodologia permitiu manter a homogeneidade de cada UTB em relação aos aspectos físicos da paisagem e em relação ao aspecto antrópico.

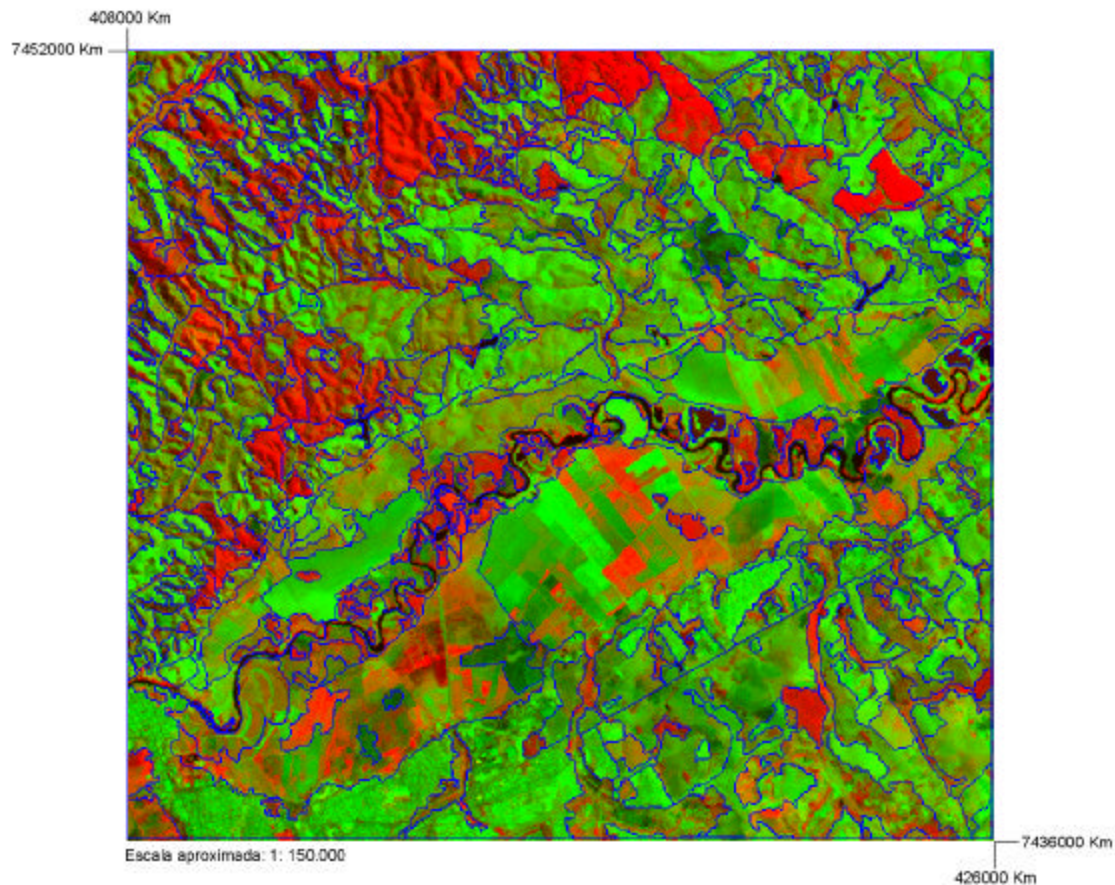


Fig. 6.9 - UTBs.

Algumas feições, apesar de perceptíveis na imagem, não foram individualizadas por representarem pequenos setores de vertentes o que extrapolaria o nível taxonômico de padrões de formas de relevo que é compatível com a escala de trabalho adotada.

Por outro lado, o trabalho despendido na delimitação dessas pequenas feições seria inútil uma vez que, para caracterizá-las tematicamente seriam necessários mapeamentos em escala detalhada, o que não ocorre neste trabalho. Além disso, a individualização dessas feições implicaria em um número excessivo de UTBs e por conseguinte em maiores custos computacionais durante a fase de associação de um rótulo as mesmas, já que trata-se de um processo manual.

6.4 – Análise Morfodinâmica

6.4.1 – Tratamento dos Limites

Os limites dos dados temáticos foram ajustados com base nos padrões texturais das imagens TM/LANDSAT-5. A banda TM-4 foi a que demonstrou melhor desempenho uma vez que melhor ressaltou as características de relevo da área de estudo. As linhas que delimitavam as classes temáticas quando não apresentavam coerência com o aspecto textural da imagem eram corrigidas através da opção *editar vetores* do software SPRING.

As linhas referentes as unidades litológicas (Figura 6.10a) foram melhor ajustadas no contato entre os morrotes e as colinas e entre estas e os terraços e a planície. As zonas de falhas que cortam os setores cimeiros da área de estudo dificultaram o ajuste das unidades litológicas com o relevo em função das mesmas apresentarem os limites inferidos.

A linhas que compõem as classes de solos (Figura 6.10c) aproximaram-se dos padrões texturais das imagens TM/LANDSAT-5. Isto porque no mapa de solos, proveniente do Projeto RADAMBRASIL, as classes de temáticas foram compostas a partir da interpretação dos padrões texturais das imagens de radar aerotransportado. Ainda, as diferenças de escalas entre esse mapa e as imagens orbitais levou a não coincidência dos limites com os padrões texturais.

Os tema geomorfologia (Figura 6.10b) apresentou limites de classes coincidentes com os padrões texturais das imagens TM/LANDSAT-5 já que suas classes foram compotas a partir dessas imagens. Da mesma forma, as classes de uso/cobertura vegetal (Figura 6.10d) também apresentaram limites de classes coincidentes com os padrões tonais e texturais das imagens TM/LANDSAT-5.

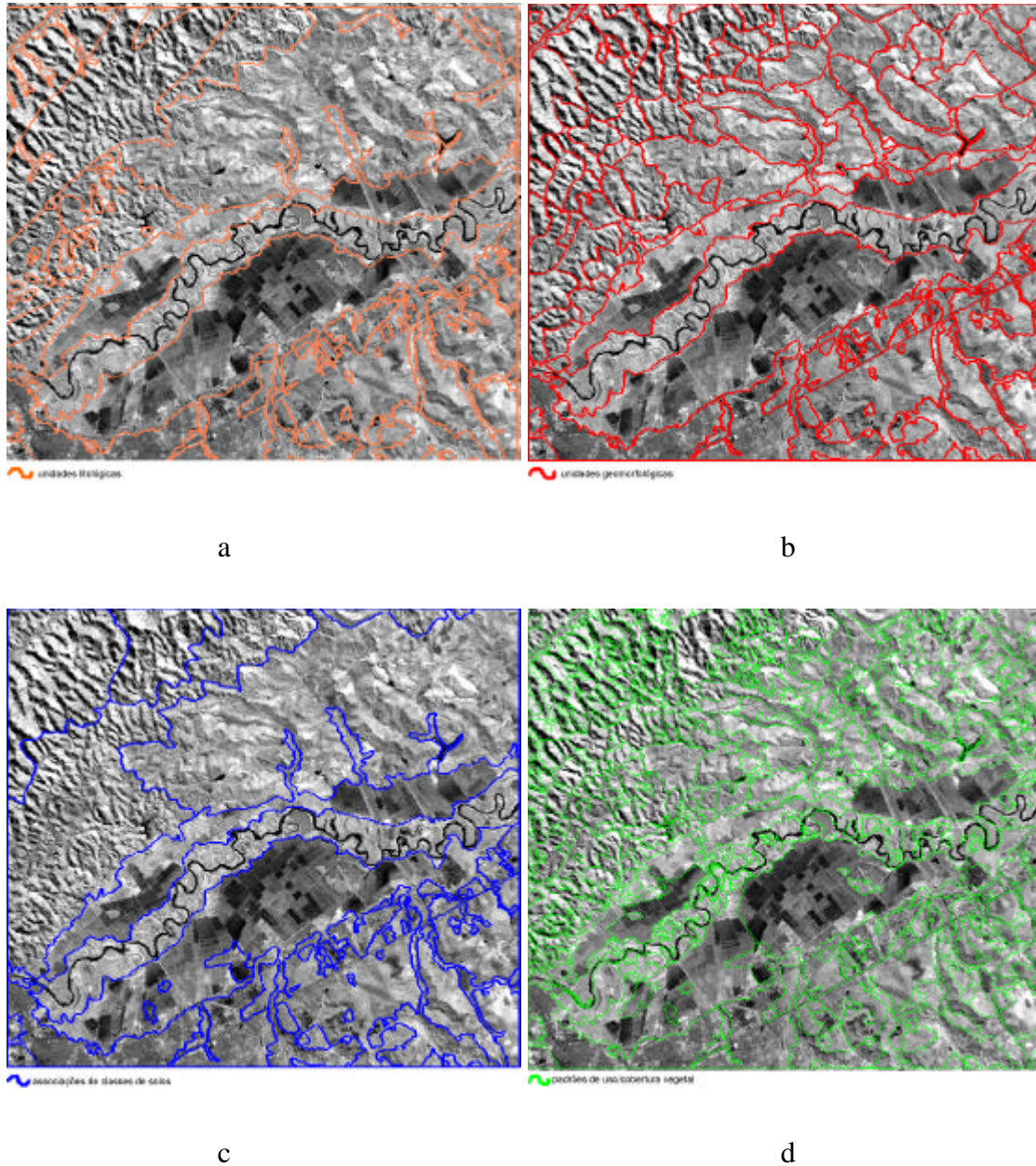


Fig. 6.10 – Imagem TM-4 com os limites das classes temáticas.

Vale ressaltar que esse procedimento assume grande importância quando se trata de abordagem de paisagem, uma vez que a mesma assume a inter-relação entre os seus diferentes componentes mediante trocas de energia e matéria. Os fenômenos que atuam em um componente afetam os mecanismos que atuam nos demais, como por exemplo, a baixa resistência das rochas ao desgaste gera formas de relevo arrasadas e com vertentes longas e suaves. Estas por sua vez, modelam o escoamento superficial no sentido de

favorecer a infiltração em direção as camadas mais baixas da superfície, formando solos maduros que favorecem o desenvolvimento da cobertura vegetal.

6.4.2 – Álgebra de Campos

6.4.2.1 – Geologia

Conforme o grau de coesão dos minerais constituintes, as litologias apresentaram valores de estabilidade/vulnerabilidade conforme mostrado na Tabela 6.6. Nesta Tabela observa-se que os sedimentos inconsolidados receberam o valor extremo de vulnerabilidade. Os demais valores variaram de acordo com o tipo da rocha, quais sejam: sedimentares como as litologias que compõem o Grupo Taubaté; metamórficas, como aquelas representadas pelas rochas cataclásticas e as que compõem o Grupo Açungui; e as ígneas, representadas pelas rochas granitóides. O mapa de litologias da área de estudo é apresentado na Figura 6.11

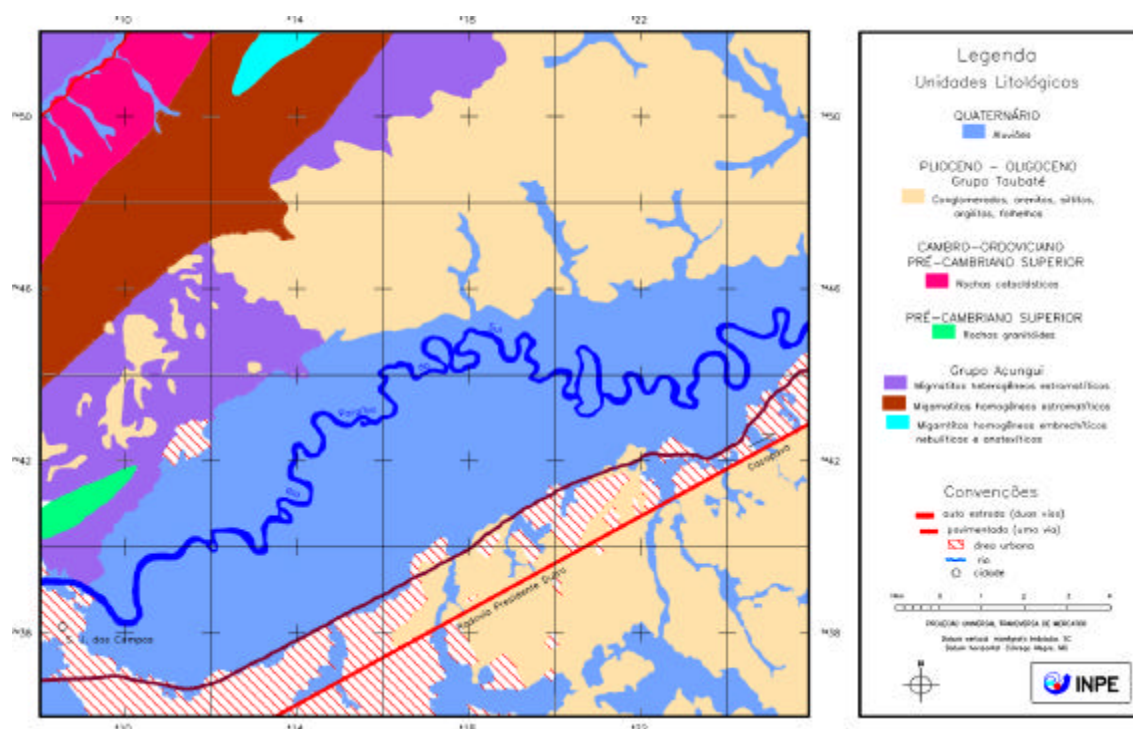


Fig. 6.11 – Mapa de geologia.

TABELA 6.6 – CLASSES LITOLÓGICAS E VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE

| CLASSE | VALOR |
|--|-------|
| Areias com frações rudáceas e pelíticas em proporções variáveis, subordinadamente cascalho, silte, argila e turfa, dispostos em aluviões atuais e terraços. | 3,0 |
| Grupo Taubaté Indiviso: Formação Tremembé: conglomerados, arenitos siltitos, argilitos e folhelhos e termos intermediários formados em condições essencialmente lacustrinas; Formação Caçapava: conglomerados, arcóseos, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos formados em condições essencialmente fluviais. | 2,6 |
| Rochas cataclásticas: protomilonitos, milonitos, ultramilonitos e blastomilonitos. | 1,7 |
| Grupo Açungui: Migmatitos heterogêneos estromatíticos. | 1,3 |
| Grupo Açungui: Migmatitos homogêneos estromatíticos. | 1,3 |
| Grupo Açungui: Migmatitos homogêneos embrechíticos, nebulíticos e anatexíticos. | 1,3 |
| Rochas granitóides em corpos parcialmente discordantes. | 1,2 |

A discordância entre algumas classes de litologias e os padrões de relevo, culminou na existência de mais de um valor de estabilidade/vulnerabilidade dentro das UTBs. Esse problema foi contornado pela utilização da operação de média zonal que reduziu as UTBs a um único valor. Com isso, foi garantida a homogeneidade das mesmas quanto ao tema geologia.

6.4.2.2 – Geomorfologia

- *Amplitude Altimétrica:* As classes referentes a esse índice somente puderam ser ponderadas após a identificação dos limiares de classes que melhor representaram as variações topográficas do relevo. Desses limiares, aqueles apresentados na Tabela 6.7 foram os que apresentaram melhor adaptação com as características da área de estudo. A adoção desse parâmetro foi possibilitada através do operador faixa zonal, que para cada unidade homogênea de relevo, calculou a diferença entre as cotas máxima e mínima.

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade atribuídos a cada um dos limiares de classes foram obtidos com base nos valores apresentados na Tabela 3 do Apêndice A.

Esta Tabela foi eleita devido a seus valores apresentarem melhor correspondência com as características do relevo da área de estudo. Na Figura 6.12 é apresentado o mapa de amplitude altimétrica resultante, e na Tabela 6.7 são mostradas as classes com os valores de estabilidade/vulnerabilidade.

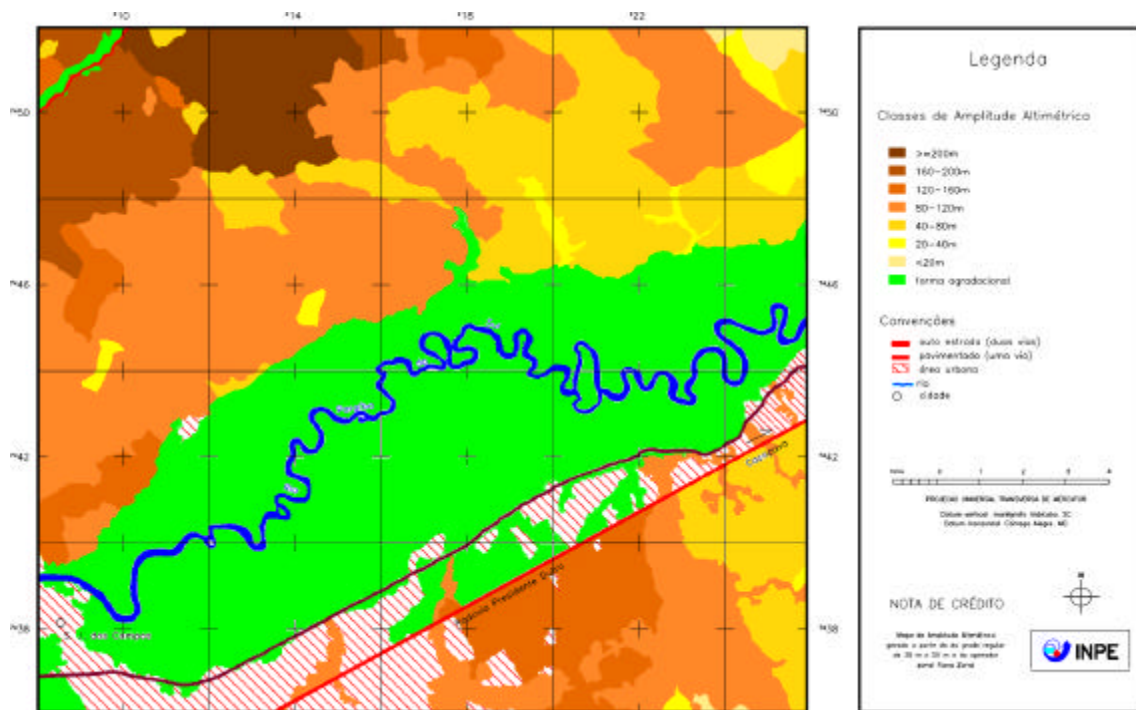


Fig. 6.12 – Mapa de amplitude altimétrica.

TABELA 6.7 – CLASSES DE AMPLITUDE ALTIMÉTRICA, DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA, MORFOGRAFIA E VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE

| AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE Crepani et al. (1996) | DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA (m) ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE Ross (1992) | MORFOGRAFIA |
|--|--|---------------------------|
| <20 (1,0) | >1500 (1,0) | Serras (Da) (3,0) |
| 20-40 (1,3) | 700-1500 (1,5) | Morros (Da) (3,0) |
| 40-80 (1,7) | 300-700 (2,0) | Morrotes (Da) (3,0) |
| 80-120 (2,0) | 100-300 (2,5) | Morrotes (Dc) (2,0) |
| 120-160 (2,3) | <100 (3,0) | Colinas (Da) (3,0) |
| 160-200 (2,7) | - | Colinas (Dc) (2,0) |
| >200 (3,0) | - | Colinas (Dp) (1,0) |
| - | - | Vale encaixado (Da) (3,0) |

- *Dimensão Interfluvial Média:* Esse parâmetro foi adotado tendo em vista as dificuldades impostas pelo uso do parâmetro densidade de drenagem, pois caso este fosse utilizado, ter-se-ia a necessidade de calcular o somatório dos comprimentos dos canais de drenagem em cada unidade homogênea de relevo e dividir por sua respectiva área. Além disso, as cartas topográficas, por não retratarem com fidelidade o sistema de drenagem de uma região, seria necessário complementá-la através dos padrões texturais de drenagem das imagens orbitais.

As medidas dos interflúvios, determinadas em cada unidade homogênea de relevo, indicaram que os limiares de classes propostos por Ross (1992) foram os que melhor representaram as variações topográficas do relevo. A Figura 6.13 ilustra o mapa de dimensão interfluvial média obtido. Neste mapa, os limiares de classes tiveram seus valores de estabilidade/vulnerabilidade estimados conforme a Tabela 3 do Apêndice A.

Os intervalos de classe mostrados na Tabela 3 do Apêndice A mostraram-se muito discordantes daqueles testados neste trabalho. Com isso resolveu-se dividir os valores em cinco partes iguais, tal como mostrado na Tabela 6.7.

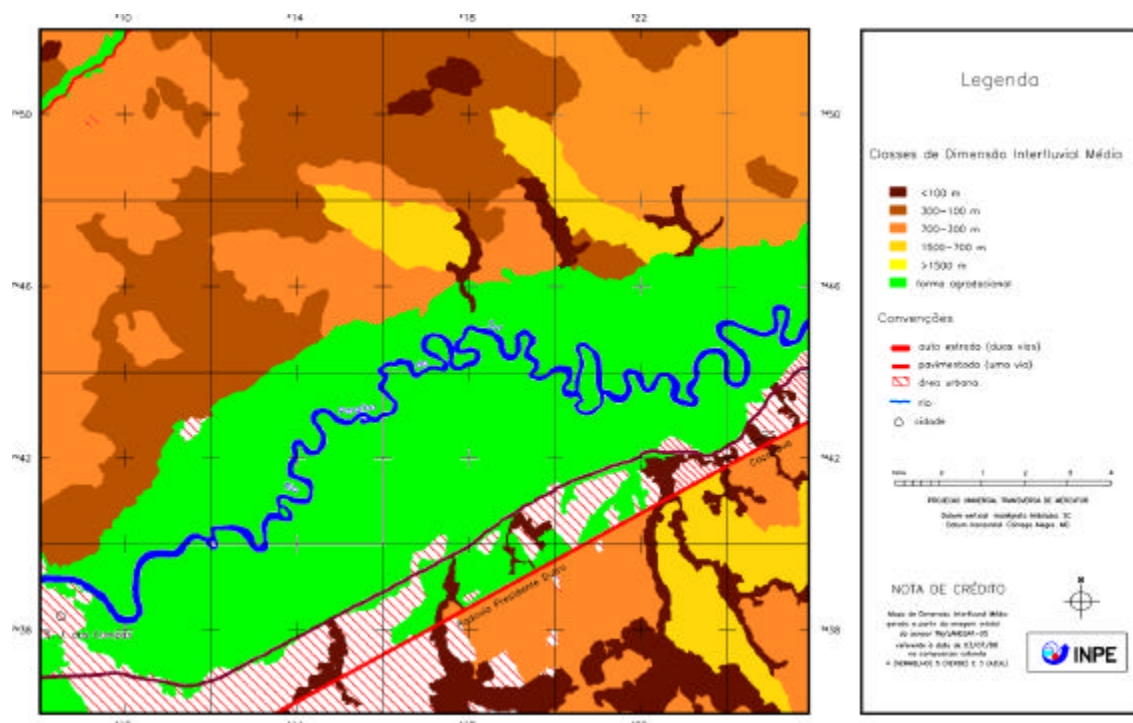


Fig. 6.13 – Mapa de dimensão interfluvial média.

- **Morfografia:** A legenda apresentada na Tabela 6.7 mostra as formas de relevo subdivididas em duas classes distintas com relação à gênese: denudacionais e agradacionais. As formas denudacionais (D) compreendem as serras, morros, morrotes, colinas e vales encaixados cujos nomes foram acompanhados das letras *a*, *c* e *p* usadas para designar os topos em *angulares*, *convexos* e *planos*, respectivamente. As formas agradacionais (A) foram acompanhadas das letras *tf*, designando os terraços fluviais e *pf*, designando a planície aluvial e a faixa de meandros

O mapa de formas de relevo é mostrado na Figura 6.14. Neste mapa, os valores de estabilidade/vulnerabilidade foram distribuídos de maneira que: às formas com topos angulares, convexos e planos foram atribuídos os valores 3,0; 2,0 e 1,0, respectivamente; aos terraços foi atribuído o valor 1,0 por se tratar de uma área de grande estabilidade, e para a planície e faixa de meandros o valor 3,0 por se tratar de uma área vulnerável quanto à inundação, ao nível do lençol freático etc.

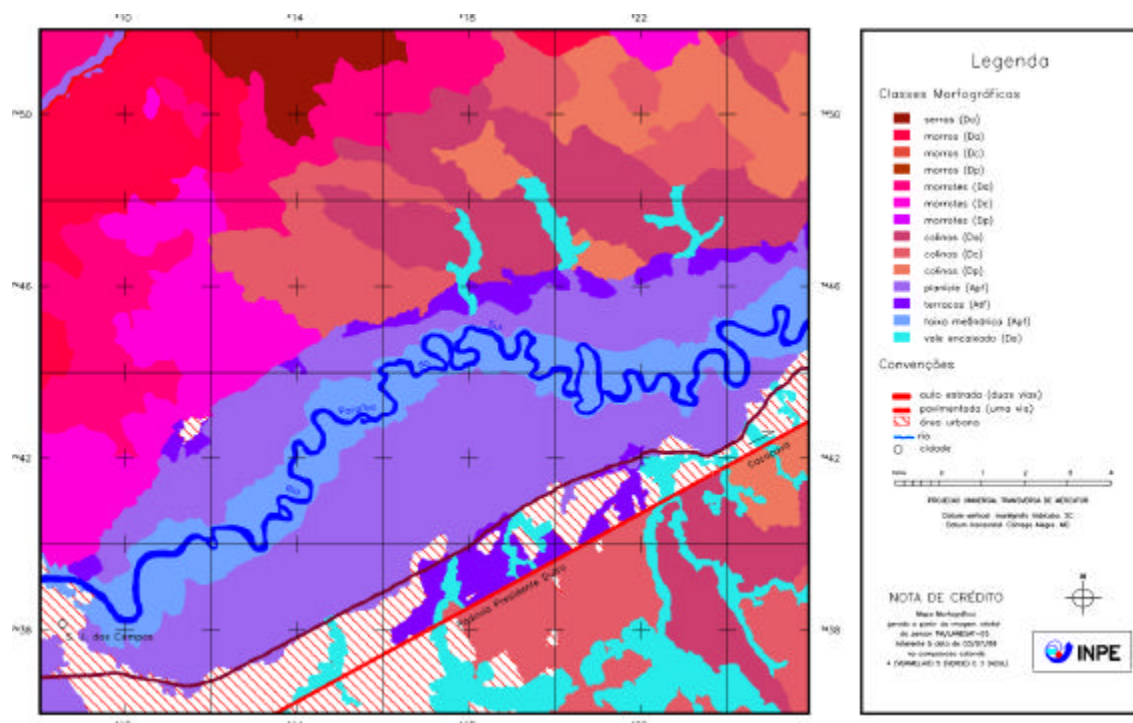


Fig. 6.14 – Mapa de morfografia.

- *Integração dos Aspectos Morfométricos e Morfológico:* Os valores de estabilidade/vulnerabilidade resultantes da média dos parâmetros morfométricos e morfológico mostraram que nas áreas de relevo forte ondulado o valor médio foi de 2,8. Para o modelado ondulado o valor médio foi de 2,4, enquanto que na faixa de domínio do relevo suave ondulado o valor médio foi de 1,9. Os setores planos dominados pelos terraços fluviais e pela planície os valores foram 1,0 e 3,0 respectivamente.

Para que os valores de estabilidade/vulnerabilidade nos setores planos obedecessem ao estabelecido por Tricart (1977), foi criada, além das classes denudacionais observadas na Tabela 6.7, a classe *forma agradacional* utilizada para classificar as formas nela incluídas. Esta classe durante a operação pontual de ponderação recebeu valor igual a zero.

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema geomorfologia de maneira geral foram compostos a partir dos valores individuais de estabilidade/vulnerabilidade dos parâmetros morfométricos e morfológico.

Quanto aos parâmetros morfométricos, o valor de estabilidade/vulnerabilidade para classe *forma agradacional* foi 0. Dessa forma, para que o valor da média final permanecesse conforme estabelecido por Tricart (1977) as classes morfográficas Planície (Apf), Faixa de meândros (Apf) e Terraços (Atf) receberam os valores 9,0; 9,0; e 3,0, respectivamente. A Tabela 6.8 ilustra o acima exposto.

TABELA 6.8 – VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE MÉDIOS PARA AS FORMAS AGRADACIONAIS

| FORMA | VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE | | | |
|-------------------------|---|--------------------------|--------------------------------|-------------|
| | MÉDIO | AMPLITUDE ALTIMÉTRICA | DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA | MORFOGRAFIA |
| Planície (Apf) | 3,0 | 0,0 | 0,0 | 9,0 |
| Fx. de meândros (Apf) | 3,0 | 0,0 | 0,0 | 9,0 |
| Terraços fluviais (Atf) | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 3,0 |

6.4.2.3 – Pedologia

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade para as associações de solos tiveram seus valores calculados mediante as porcentagens de ocorrência de cada solo constituinte dentro da associação. Para o caso das associações constituídas por três tipos de solos, atribuíram-se os pesos 60%, 30% e 10%, respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro componentes. Já nas associações constituídas por dois componentes, os pesos foram de 60% e 40%, respectivamente, para o primeiro e segundo componentes. A Tabela 6.9 ilustra a composição do valor final de estabilidade/vulnerabilidade para as associações de solos.

Nesta tabela observa-se que a grande maioria das associações de solos apresentaram valores de estabilidade/vulnerabilidade entre 1,0 e 1,6 em virtude das elevadas proporções de solos desenvolvidos como os Latossolos. O valor de estabilidade/vulnerabilidade 3,0 para a associação referente ao solo Glei Húmico álico deveu-se a presença de solos pouco desenvolvidos nesta associação. A Figura 6.15 ilustra a distribuição das associações de solos na área de estudo.

TABELA 6.9 - ASSOCIAÇÕES DE SOLOS E VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE

| ASSOCIAÇÃO DE SOLOS | SOLOS CONSTITUINTES | VALOR |
|---------------------|--|---|
| LVa ₂ | 100% de Latossolo Vermelho-Amarelo álico | $1,0 \cdot 1,0 = 1,0$ |
| LVa ₉ | 60% Latossolo Vermelho-Amarelo álico 40% Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico | $0,60 \cdot 1,0 + 0,40 \cdot 2,0 = 1,4$ |
| LVa ₂₂ | 60% de Latossolo Vermelho-Amarelo álico 40% de Cambissolo álico | $0,60 \cdot 1,0 + 0,40 \cdot 2,5 = 1,6$ |
| Pva ₁₈ | 60% de Podzólico Vermelho-Amarelo álico 40% de Latossolo Vermelho-Amarelo álico | $0,60 \cdot 2,0 + 0,40 \cdot 1,0 = 1,6$ |
| HGHa ₂ | 60% de Glei Húmico álico 30% de Solos Aluvionares 10% de Solos Orgânicos | $0,60 \cdot 3,0 + 0,3 \cdot 3,0 + 0,10 \cdot 3,0 = 3,0$ |

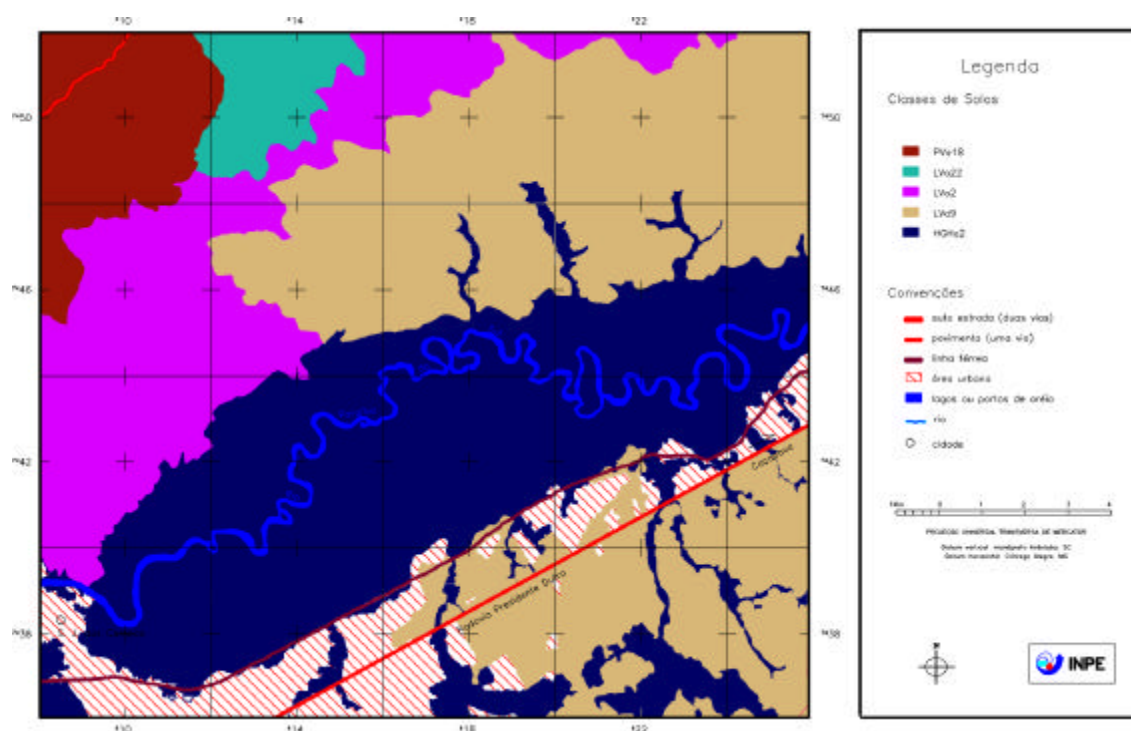


Fig. 6.15 – Mapa de associações de solos.

6.4.2.4 – Uso/Cobertura Vegetal

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade das classes de uso/cobertura vegetal são mostrados na Tabela 6.10. Esses valores, estimados pelo emprego da Equação 5.1, apresentaram coerência com o tipo de cobertura vegetal analisada. Na referida equação os valores resultantes são função das porcentagens de ocorrência da vegetação primária, da vegetação secundária e do uso dentro da associação e também do grau de cobertura de vegetação secundária. Esses parâmetros são estimados através de observações em campo, em fotografias aéreas ou em imagens orbitais de Sensoriamento Remoto.

Para o Reflorestamento, o valor de estabilidade/vulnerabilidade foi função do grau de cobertura oferecido pelo mesmo antes do seu primeiro corte (Equação 5.2). Estimado este parâmetro foi utilizado o termo da Equação 5.1 que relaciona a porcentagem de cobertura da vegetação com os valores de estabilidade/vulnerabilidade.

As classes Campo limpo e Campo sujo, por terem cobertura do solo, compatíveis àquelas oferecidas pela Savana gramíneo-lenhosa e Savana parque, respectivamente, receberam valores de estabilidade/vulnerabilidade compatíveis aos dessas formações florestais.

TABELA 6.10 – CLASSES DE USO/COBERTURA VEGETAL E VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE

| CLASSES E ASSOCIAÇÕES DE CLASSES | E/V _F |
|----------------------------------|------------------|
| D/V _{ss} | 1,0 |
| Reflorestamento | 1,2 |
| D/V _{ss} /Pas(10%) | 1,5 |
| F/V _{ss} | 1,6 |
| F/V _{ss} /Pas (10%) | 1,9 |
| D/V _{ss} /Pas(33,33%) | 2,1 |
| F/V _{ss} /Pas (33,33%) | 2,3 |
| Campo sujo | 2,6 |
| Campo limpo | 2,7 |
| Cultura anual | 3,0 |
| Queimada | 3,0 |
| Solo exposto | 3,0 |
| Porto de areia/Lago | 3,0 |

6.5 - Integração de Dados

6.5.1 – Mapa Cadastral de UTBs

O “CD-ROM” fornecido em anexo contém o banco de dados *med_vale* onde se encontra o mapa cadastral de UTBs, cuja visualização é possível ativando-se o ícone SPRING que, por sua vez, aciona o software SPRING 3.2, bem como o banco de dados *med_vale* e o projeto *ZEE*, resultantes deste trabalho. Conforme mostra a Figura 6.16a, é apresentado o *Painel de Controle*, onde deve ser ativado, na categoria *MAPA-CADASTRAL*, o PI *utbs* através de seus componentes *linhas* e *objetos*. Em seguida, seleciona-se a opção *Consultar*, que conduzirá à janela *Geração e Seleção de Coleção*, onde deve ser selecionada a opção *Aplicar*. Esta opção conduz à janela *Visualização de Consulta*, onde devem ser selecionadas a opção *Editar*, onde são possíveis as consultas por *agrupamento* e por *atributos*.

A consulta por atributos é realizada construindo-se uma expressão lógica assim como mostrado no exemplo abaixo, no qual deseja-se visualizar as UTBs onde ocorrem litologias associadas ao Grupo Taubaté e solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo álico (c). O resultado desta operação de consulta é mostrado na Figura 6.16.

CG000094->GEOL_CLS = 'T.Gr.Taub' .AND.

CG000094->PEDOL_CLS = 'LVa9'

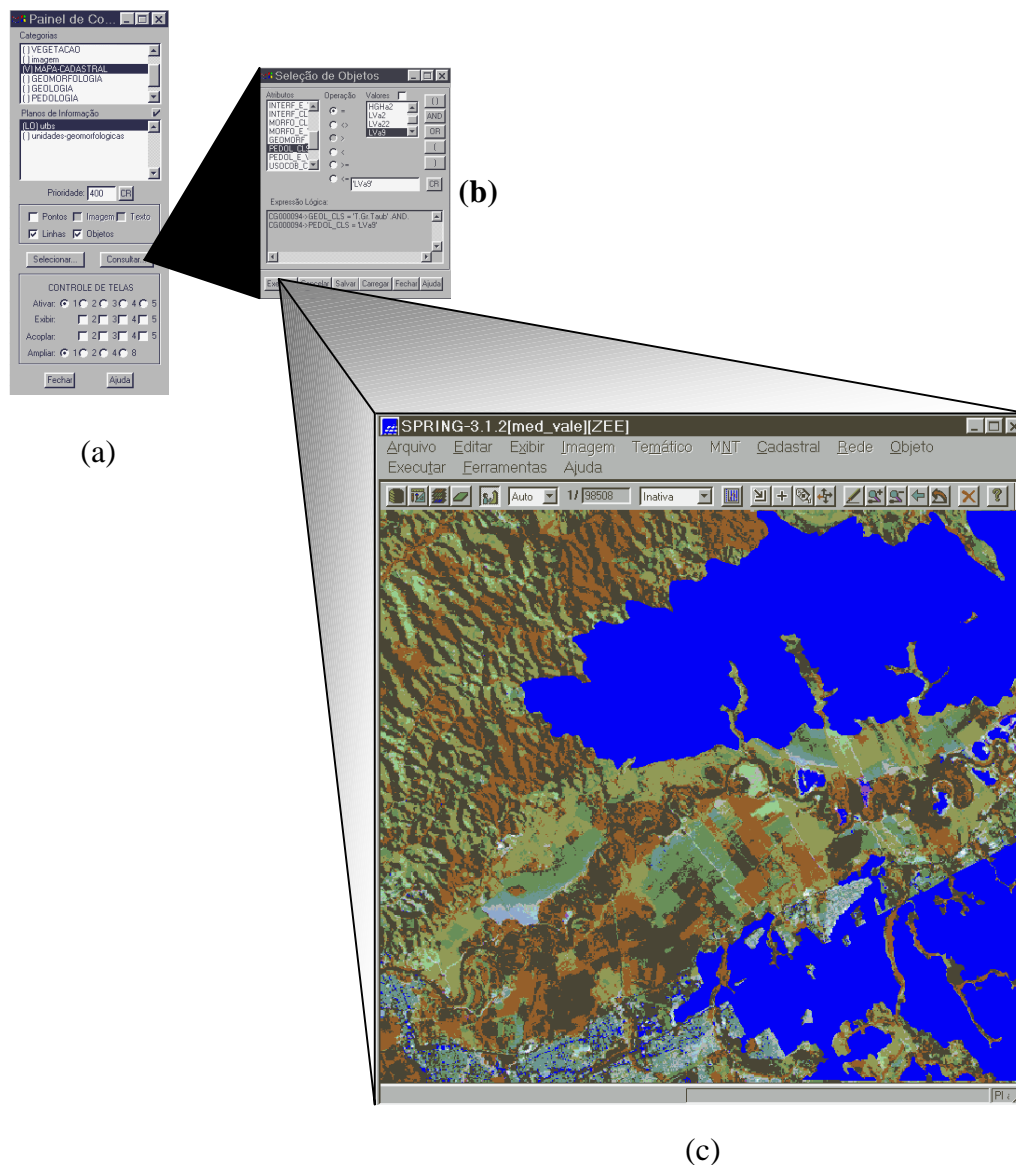


Fig. 6.16 – Esquema de uma consulta por atributos.

6.5.2 – Carta Temática de Estabilidade/Vulnerabilidade à Erosão

As áreas urbanas foram incluídas em todos os mapas temáticos e de maneira que seus limites fossem coincidentes em todos eles. Este procedimento foi adotado em função dessas áreas representarem áreas de ocupação consolidada, onde os problemas de

ocupação do espaço fogem aos limites da abordagem de paisagem, enquadrando-se melhor na abordagem geológico-geotécnica.

A Figura 6.17 ilustra a carta temática de estabilidade/vulnerabilidade à erosão. Nesta carta a classe medianamente estável/vulnerável, cuja extensão em área ocupa cerca de 128,43 Km², corresponde aquelas abrangidas pela Formação Taubaté, por relevo ondulado a suave ondulado, por Latossolos Vermelho-Amarelo álico e pelas classes de uso/cobertura vegetal Floresta Ombrófila Densa com baixo grau de cobertura do solo, Campo limpo e Campo sujo.

A classe vulnerável vem em seguida com 92,54 Km² e esteve associada aos vales encaixados onde se verificam com maior incidência a presença dos processos erosivos. Ainda, para a ocorrência dessa classe de estabilidade/vulnerabilidade contribuíram a presença de aluviões, de solo Glei Húmico álico e das classes de uso/cobertura vegetal Floresta Estacional Semidecidual com baixo grau de cobertura do solos, Campo sujo, Portos de areia/Lagos e Queimadas.

A classe moderadamente estável cobre 33,98 Km² da área de estudo e corresponde aos setores de ocorrência do Grupo Açungui, de relevo ondulado a suave ondulado, de Latossolo Vermelho-Amarelo álico e algumas ocorrências de Podzólico Vermelho-Amarelo álico e com uma cobertura vegetal onde predomina a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual, Reflorestamento e pequenas áreas de Campo limpo e Campo sujo.

A classe moderadamente vulnerável, com 7,61 Km² de área, corresponde aos setores de ocorrência dos aluviões, da planície aluvial e vales encaixados, do solo Glei Húmico álico, e das classes de uso/cobertura vegetal Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual com baixos graus de cobertura do solo.

A classe estável, com uma área de 0,11 Km², está associada ao Grupo Açungui, à relevo ondulado, à Latossolo Vermelho-Amarelo álico e à Floresta Ombrófila Densa.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

7.1 - Aquisição de Dados Preliminares

As imagens orbitais presentes em três datas diferentes mostraram-se úteis na análise das características físicas da área de estudo. Os contatos entre as diferentes formas de relevo foram melhor discriminados na imagem referente à data de 03/07/88 e os padrões de drenagem na imagem referente a data de 06/01/87. Além disso, a partir dos padrões texturais, foi possível refinar os limites das classes temáticas dos dados de Geologia e Pedologia originários de fontes como IPT (1978) e Projeto RADAMBRASIL (1983).

7.2 – Processamento Digital de Imagens Orbitais

O modelo linear de mistura espectral quando aplicado à área de estudo mostrou uma participação diferenciada do componente sombra. Este componente, para as áreas de planície e de relevo suave ondulado, permitiu a discriminação das classes de uso/cobertura vegetal em virtude da idade dos indivíduos observados. Para as áreas de relevo ondulado a forte ondulado as classes de uso/cobertura presentes nas vertentes expostas à iluminação foram discriminadas, o que não foi possível para aquelas localizadas nos vales, obrigando, dessa forma, a sua exclusão do processo de interpretação de imagem.

Sob outro aspecto, o componente sombra apresentou grandes potencialidades a estudos geomorfológicos, uma vez que realçou nas imagens as áreas de maior dissecação do relevo. Esse aspecto é denotado quando são utilizadas imagens tomadas sob ângulo de elevação solar baixo, como a de 02/09/96 cujo valor é de 37° e da qual derivaram as imagens fração.

Os componentes solo e vegetação apresentaram elevadas respostas nas classes de uso/cobertura vegetal Campo limpo e Campo sujo, as quais apareceram com muita frequência na cena interpretada.

7.3 - Metodologia para a Geração da Carta Temática de Estabilidade/Vulnerabilidade à Erosão

A delimitação das unidades de paisagem natural mostrou depender das características da área de estudo. Para o trabalho em questão, essas foram individualizadas através dos padrões de relevo bastante evidenciados nas imagens orbitais. Além disso, o terceiro nível taxonômico, representado pelos padrões de tipos de relevo, mostrou adequação à resolução dos dados orbitais TM/LANDSAT-5 e com o tipo de abordagem utilizada, de paisagem, para a obtenção do produto final. Esta abordagem, por sua vez, requer a adoção de escalas menores ou iguais a 1:50000.

Os polígonos de ação antrópica apresentaram uma grande variabilidade de tipos de uso que, em virtude das limitações impostas pela resolução espacial de 30m, foram agrupados em associações. Este procedimento impediu que pequenas feições de uso, isoladas, fossem incluídas na abordagem.

Outra limitação quanto à seleção de padrões isolados de uso/cobertura vegetal foi a falta de dados temáticos em escalas detalhadas que pudessem caracterizar essas pequenas alterações na cobertura vegetal. Observou-se, então, que essas feições seriam melhor caracterizadas em uma abordagem destinada a grandes escalas, tal como na Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), pois grande parte desses padrões localizavam-se em setores de vertentes, e que segundo Ross (1992) correspondem ao quinto nível taxonômico do relevo.

Os valores de estabilidade/vulnerabilidade para as classes temáticas que ocorrem de maneira pura na natureza foram extraídos mediante verificação de valores observados nas tabelas do Apêndice A. Neste caso incluem-se as classes temáticas de geologia. Mesmo no caso do tema pedologia, embora as classes sejam constituídas por associações, o cálculo do valor final é ponderado em função das porcentagens de ocorrência dos membros dentro da associação. Estas porcentagens por sua vez, são descritas nos relatórios do Projeto RADAMBRASIL.

Para a geomorfologia a metodologia adotada para obter o valor final de estabilidade/vulnerabilidade mostrou que os parâmetros morfométricos amplitude altimétrica e dimensão intefluvial média não podem ser tratados segundo intervalos de classes pré-determinados e sim devem ser testados intervalos de classes que sejam compatíveis com as características de cada área em particular. Só em seguida esses intervalos devem ser interpolados mediante a utilização de uma tabela a ser pesquisada, e que deverá considerar as características das diferentes regiões do país.

Esta tabela deverá apresentar os valores de estabilidade/vulnerabilidade compatíveis com os limites inferior (1,0), médio (2,0) e superior (3,0) estabelecidos de acordo com Crepani et al. (1996). Dessa forma, a construção dessa tabela permitirá a comparação entre os valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema geomorfologia obtidos em diferentes regiões.

A utilização do parâmetro morfografia demonstrou ser redundante uma vez que, para a finalidade deste trabalho as formas de relevo são melhor caracterizadas pela utilização dos parâmetros morfométricos.

O tema uso/cobertura vegetal mostrou que, quando a análise limita-se a áreas de vegetação primária, os valores devem ser pesquisados na Tabela 6 do Apêndice A. No entanto, em áreas com cobertura vegetal em diferentes estágios de regeneração com a participação de classes de uso do solo, devido às limitações da resolução dos dados TM/LANDSAT-5, sugere-se a utilização de associações de classes.

O mapa cadastral de UTBs permite que a carta de estabilidade/vulnerabilidade à erosão possa ser periodicamente atualizada através das operações algébricas pontuais e zonais e também por meio das imagens multitemporais de Sensoriamento Remoto. Estas permitem analisar a dinâmica das UTBs.

A carta de estabilidade/vulnerabilidade gerada, demonstrou dentro das limitações de escala dos dados temáticos, resultados compatíveis com a realidade verificada na área de estudo. Esta área em decorrência dos tipos de uso a que foi submetida ao longo de

sua historia apresenta 77,62% de sua área compreendida entre as classes medianamente estável/vulnerável e vulnerável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J. B.; Sabol, D. E.; Kapos, V.; Almeida Filho, R.; Roberts, D. A.; Smith, M. O.; Gillespie, A. R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the brazilian amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 52, n. 2, p. 137-154, May, 1995.
- Aguiar, A. P. D. **Utilização de atributos derivados de proporções de classes de um elemento de resolução de imagem “pixel” na classificação multiespectral de imagens de sensoriamento remoto**. São José dos Campos. 202p. (INPE-5306 - TDI/456). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991.
- Aguiar, R. L.; Gandolfi, N. Elaboração do mapa de materiais inconsolidados na escala 1:100.000: sistemática proposta e aplicada na Distrito Federal. **Geociências**, v. 16, n. 1, p. 225-242, jan/jun, 1997.
- Almeida, F. F. M. de. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo**, v. 41, p. 167-262, 1964.
- Anderson, J. R.; Hardy, E. E.; Roach, J. T.; Witmer, R. E. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização de dados de sensores remotos**. Trad. por Haroldo Strang. Rio de Janeiro: IBGE SUPREM, 1979. 78p.
- Arima, L. I. A.; Oliveira, L. G.; Barros, L. T. L. P.; Sifuentes, D. V.; Madruga, L. C.; Paiva, M. A. C. Estudo da vegetação natural/uso do solo como subsídio ao zoneamento sócio-econômico e ecológico do município de Jauru - MT. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v. 2, p. 6-14.
- Aronoff, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL, 1989. 294p.

- Baars, R. M. T.; Jeanes, K. W. Land classification of western province Zambia. **ITC Journal**, n. 1, p. 1-8, 1977.
- Barbosa, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1997.
- Becker, B. K.; Egler, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: LAGET/UFRJ, 1997 43p.
- Berry, J. K. Cartographic Modeling: the analytical Capabilities of GIS. In: Goodchild, M.; Parks, B. O.; Steyaert, L. T. **Environmental Modeling with GIS**. Oxford: Oxford University Press, 1993. 58-74p.
- Burrough, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1987. 193p.
- Câmara, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos**. São José dos Campos. 265p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.
- Câmara, G.; Casanova, M. A.; Hemerly, A., S.; Magalhães, G. C.; Medeiros, C. M. B. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Unicamp, 1996. 197p.
- Chavez Jr., P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479, Apr. 1988.
- Chavez Jr., P. S. Atmospheric solar, and MTF corrections for ERTS digital imagery. In: American Society of Photogrammetry Fall Technical Meeting, Phoenix, Arizona, 1975. **Proceedings**. Phoenix: ASP, 1975. 69p.

- Chen, S. C. **Informações espectrais e texturais de vegetação da região amazônica a partir de dados do sensor TM do satélite LANDSAT**. São Paulo: 135p: Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 1996.
- Colângelo, A. C. O modelo de feições mínimas, ou das unidades elementares de relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geoecológicos. **Geografia**, v. 10, p.29-40. 1996.
- Cooke, R.V.; Doornkamp, J.C. **Geomorphology in environmental management: an introduction**. 2.ed. Oxford: Claredon Press, 1990. 413p.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 18p. (INPE-6145 - PUD/028).
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998. No prelo.
- Cross, A. M.; Settle, J. J.; Drake, N. A.; Paivinen, R. T. M. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n. 5, p. 1119-1130, May 1991.
- Crósta, P. A. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.
- De Biase, M. Carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Geografia**, v. 6, p.45-60. 1992.
- Dias, R.; Rocha Filho, H.; Pereira, E. Q.; Silva, L. A.; Martins, S. D.; Resende, C. A. A análise ambiental da área de influência das rodovia TO-050, TO-28 e TO-040 - Estado de Tocantins, através de técnicas de geoprocessamento. [CD ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Imagem Multimídia, 1996. Seção de comunicação.

- Engespaço. **Sistema geográfico de informações:** manual de referência do usuário. Versão 2.1 R01. São José dos Campos. 1988. 67p.
- Felgueiras, C. A.; Erthal, G. J. **Aplicações de modelos numéricos de elevação e integração com imagens digitais.** São José dos Campos: INPE, 1988. 7p. (INPE-4776 - PRE/1445).
- Florenzano, T. G. **Avaliação de dados MSS-LANDAST-4 para o mapeamento geomorfológico no semi-árido como suporte ao planejamento regional: uma abordagem integrada (área teste região de Juazeiro-BA).** São José dos Campos. 197p. (INPE-3984 - TDL/236). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1986.
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): **São José dos Campos (SP).** SF-23-Y-D-II-1. Rio de Janeiro, 1973a. (Mapa Topográfico. Escala 1:50.000).
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): **Taubaté (SP).** SF-23-Y-D-II-2. Rio de Janeiro, 1973b. (Mapa Topográfico. Escala 1: 50.000).
- Gandolfi, N.; Aguiar, R. L. Considerações sobre o mapeamento geotécnico em área urbana brasileira. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. ,Balneário de Camburiú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos.** Balneário de Camburiú: SBG, 1994. v.1, p.500-501.
- Garcia, G. J. **Fotointerpretação comparativa de fotografias pancromáticas, coloridas e infravermelhas coloridas (falsa cor).** Piracicaba. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 1975.
- GARMIM Corporation. **GARMIN GPS II.** Manual do proprietário e de referência. Trad. e revi. por Furtado, Schmidt Ltda. Olathe, Kansas, 1996. 97p.
- Haines-Young, R.; Green, D. R.; Cousins, S. H. **Landscape ecology and gis.** London: Taylor & Francis, 1993. 288p.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). **Geologia da folha de São José dos Campos (SP) SF-23-Y-D-II, escala 1: 100.000.** São Paulo, 1978. (IPT-1113).

Jeanes, K. W.; Baars, R. M. T. Landscape and grassland mapping of western province, Zambia. **ITC Journal**, n. 1, p. 9-14, 1997.

Kuntschik, G. **Implementação de um modelo de perdas de solo por erosão hídrica utilizando técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1996.

Kurkdjian, M. L. N. O.; Valério Filho, M.; Veneziani, P.; Pereira, M. N.; Florenzano, T. G.; Anjos, C. E.; Ohara, T.; Donzeli, P. L.; Abdon, M. M.; Sausen, T. M.; Pinto, S. A. F. Bertoldo, M. A.; Blanco, J. G.; Czordas, S. M. **Macrozoneamento da região do Vale do Paraíba e litoral norte do Estado de São Paulo.** São José dos Campos: INPE, 1992. 176p. (INPE-5381-PRP/165).

Lillesand, T. M; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** 4. ed. New York: John Wiley, 1994. 750p.

Lollo, J. A.; Zuquette, L. V. A técnica de avaliação do terreno e suas possibilidades de aplicação no mapeamento geotécnico: exemplo de um sistema de terreno identificado na região de São Carlos (SP). **Geociências**, v. 15, n. 1, p. 147-162, jan/jun, 1996.

Mabbutt, J. A. Review of concepts of land classification. In: Stewart, G. A. ed. Symposium on Land Evaluation, Canberra, 1968. **Papers.** Melbourne: CSIRO/UNESCO, 1968. p.11-28.

Macari, R. Utilização de perfis descritivos de poços e sondagens de simples reconhecimento (SPT) como subsídio na caracterização geológico geotécnica de áreas densamente urbanizadas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39., Salvador, 1996. **Anais.** Salvador: SBG, 1996. v.3, p.373-375.

- Mather, P. M. **Computer of remotely-sensed images: an introduction.** Chichester: Jonh Wiley & Sons, 1987. 352p.
- Meijerink, A. M. J. Data aquisition and data capture through terrain mapping units. **ITC Journal**, n. 1, p. 23-44, 1988
- Müller, N. L. **O fator urbano na bacia do rio Paraíba, estado de São Paulo.** Rio de Janeiro: IBGE,1969. 375p.
- Nakazawa, V. A.; Freitas, C. G. L.; Diniz, N. C. Carta geotécnica de São Paulo (escala 1:500.000). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. ,Balneário de Camburiú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos.** Balneário de Camburiú: SBG, 1994. v.3, p.329-330.
- NETGIS - Geoprocessamento e informática. **SPRING:** sistema de processamento de informações georeferenciadas. Versão 2.0 - release 2.0.4. São José dos Campos: Ed. Netgis, 1997. 4v.
- Nimer, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE SUPREN, 1979. 422p.
- Novaes, A. G. **Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes.** São Paulo: Bliicher, 1982. 290p.
- Oliveira, M. A. Geologia e urbanização: estudo de caso na periferia da zona sul do município de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. ,Salvador, 1996. **Anais.** Salvador: SBG, 1996. v.4, p.219-223.
- Paine, D. P. **Aerial photography and image interpretation of resource management.** New York: John Wiley, 1981. 571p.
- Peloggia, A. U. G. Discussão sobre a atual cartografia geotécnica do município de São Paulo e suas possíveis aplicações. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26, n. 4, p. 315-319, Dezembro, 1996.

- Pereira, M. N.; Novo, E. M. L. M.; Kurkdjian, M. L. N. O.; D'Alge, J. C. L.; Florenzano, T. G. **Atualização do uso da terra do município de São José dos Campos através de dados de sensoriamento remoto**. São José dos Campos. 71p. (INPE-4479-RPE/562). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1988.
- Pinto, S. A. F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica**. São José dos Campos. 134p. (INPE-5311 - TAE/09). Tese (Doutorado em Ciências/Geografia Física) – Universidade de São Paulo, 1991.
- Pires Neto, A. Planejamento territorial e a abordagem geológico-geotécnica e o conceito de terreno ou abordagem de paisagem. **Geografia**, v. 8, p. 51-62. 1995.
- Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SF. 24/25 Rio de Janeiro/Vitória; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: 1983. 775p. (Levantamento de Recursos Naturais).
- Quarmby, N. A.; Townshend, J. R.G.; Settle, J. J.; White, K. H.; Milnes, M.; Hindle, T. L.; Silleos, N. Linear mixture modelling applied to AVHRR data for crop area estimation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 3, p. 415-426, Feb. 1992.
- Refosco, J. C. Ecologia da paisagem e sistemas de informação geográfica no estudo da interferência da paisagem na concentração de sólidos totais no reservatório da usina de Barra Bonita - SP. [CD ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Imagem Multimídia, 1996. Seção de artigos.
- Richards, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 218p.

- Rosa, R. Metodologia para zoneamento de bacias hidrográficas utilizando produtos de sensoriamento remoto e integrados por sistemas de informação geográfica. [CD ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Imagem Multimídia, 1996. Seção de comunicação.
- Ross, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Geografia**, v. 6, p.17-29. 1992.
- Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.
- Ross, J. L. S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Geografia**, v. 9, p. 65-75. 1995.
- Ross, J. L. S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1996. 85p.
- Saiz, C. C. **Aplicação do modelo da equação universal de perdas de solo através de dados TM-LANDSAT e geoprocessamento, como suporte ao planejamento conservacionista**. São José dos Campos. 123p. (INPE-6348 - TDI/599). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.
- Scholten, H. J.; Stillwell, J. C. H. **Geographical information systems for urban and regional planning**. Dordrech: Kluwer Academic Publishers, 1990. 261p.
- Schowengerdt, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. Orlando: Academic Press, 1983. 249p.
- Setzer, A. W.; Pereira Jr., A. C. **Algumas médias meteorológicas do Vale do Paraíba e proximidades**. São José dos Campos: INPE, 1988. 51p. (INPE-4661-RPE/573).
- Setzer, J. **Atlas climatológico do Estado de São Paulo**. Comissão interestadual da bacia Paraná-Uruguai. São Paulo: 1966. 61p.

Setzer, J. **Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo**. São Paulo: Subdivisão de Pesquisas Rodoviárias do Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo, 1946. 239p.

Shimabukuro, Y. E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas**. Fort Collins. 274p. Thesis (Doctor of Philosophy) - Colorado State University, 1987.

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n.1, p. 16-21, Jan. 1991.

Shimabukuro, Y. E.; Holden, B. N.; Tucker, C. J. Cover. Fraction image derived from NOAA AVHRR data for studying the deforestation in the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 3, p. 517-520, Feb. 1994.

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. Fraction images derived from LANDSAT TM and MSS data for monitoring reforested areas. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 1, p. 67-74, Mar. 1995.

Shimabukuro, Y. E.; Carvalho, V. C.; Rudorff, B. F. T. NOAA-AVHRR data processing for the vegetation cover. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 3, p. 671-677, Mar. 1997.

Short, N.M.; Blair Jr, R.W. Geomorphology from space: a global overview of regional landforms. Washington: D.C.NASA, 1986. 717p. (NASA SP-484).

Slater, P. N. **Optics and optical systems**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1980. 575p.

Smith, M. O.; Ustin, S. L.; Adams, J. B.; Gillespie, A. R. Vegetation in deserts: I. a regional measure of abundance from multispectral images. **Remote Sensing of Environment**, v. 31, n.1, p. 1-26, Jan. 1990.

- Steffen, C. A.; Moraes, E. C.; Gama, F. F. Radiometria óptica espectral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. v.1, p. 1-24.
- Tomlin, D. **Geographic information systems and cartographic modeling**. New York: Prentice Hall, 1990. 249p.
- Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE SUPREN, 1977. 91p.
- Valério Filho, M.; Epiphany, J. C. N.; Formaggio, A. R. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em pedologia**. São José dos Campos: INPE, 1981. 58p. (INPE-2211 - MD/008).
- Veneziani, P.; Anjos, C. E. **Metodologia de interpretação de dados em sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982. 61p. (INPE-2227 - MD/014).
- Verstappen, H. Th. **Remote sensing in geomorphology**. Amsterdam: Elsevier, 1977. 214p.
- Way, D.S. **Terrain analyses: a guide to site selection using aerial photographic interpretation**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson and Ross, 1973. 392p. (Community Development Series).
- Xaud, H. A. M. **Utilização de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica para análise da interação da vegetação com o seu ambiente, em Roraima, Amazônia - BR**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1998.
- Xavier da Silva, J. Geomorfologia e geoprocessamento. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. da, ed. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. Cap. 10, p. 393-424.

Zonneveld, I. S. **Land evaluation and land(scape) science:** lectures on land (sape) science, land (sape) survey, and land evaluation (pragmatic land classification). 2. ed. Enschede: ITC, 1979. 134p.

Zuquette, L. V.; Péjon, O. J.; Gandolfi, N.; Paraguassu, A. B. Considerações básicas sobre a elaboração de cartas de zoneamentos de probabilidade ou possibilidade de ocorrer eventos perigosos e de riscos associados. **Geociências**, v. 14, n. 2, p. 9-40, jul/dez, 1995.

APÊNDICE A

VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA OS TEMAS GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA E USO/COBERTURA VEGETAL

**TABELA 1 – VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS
UNIDADES LITOLÓGICAS**

| LITOLOGIA | E/V |
|--|-----|
| Quartzitos ou metaquartzitos | 1,0 |
| Riólito, Granito, Dacito | 1,1 |
| Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos | 1,2 |
| Migmatitos, Gnaisses | 1,3 |
| Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito | 1,4 |
| Andesito, Diorito, Basalto | 1,5 |
| Anortosito, Gabro, Peridotito | 1,6 |
| Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto | 1,7 |
| Piroxenito, Anfíbolito Kimberlito, Dunito | 1,8 |
| Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto | 1,9 |
| Estaurolita xisto, Xistos granatíferos | 2,0 |
| Filito, Metassilito | 2,1 |
| Ardósia, Metargilito | 2,2 |
| Mármore | 2,3 |
| Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos | 2,4 |
| Conglomerados, Subgrauvacas | 2,5 |
| Grauvacas, Arcózios | 2,6 |
| Siltitos, Argilitos | 2,7 |
| Folhelhos | 2,8 |
| Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos | 2,9 |
| Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc. | 3,0 |

Adaptada de Crepani et al. (1998).

TABELA 2 – MATRIZ DOS ÍNDICES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO PARA LOCAIS QUE NÃO DISPÕEM DE CARTAS TOPOGRÁFICAS EM ESCALA MAIOR OU IGUAL A 1:100.000

| | | 1 – ORDEM DE GRANDEZA DAS FORMAS DE DISSECAÇÃO | | | | | | | | | |
|---|-------------|--|-----|----------------|-----|-----------------|-----|------------------|-----|-------------------|-----|
| | | ≤250m | | >250m ≤750m | | >750m ≤1750m | | >1750m ≤3750m | | >3750m ≤12750m | |
| 2 – INTENSIDADE DE APROFUNDAMENTO DA DRENAGEM | MUITO FRACA | 11 | | 21 | | 31 | | 41 | | 51 | |
| | | 3,0 | 1,0 | 2,5 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | FRACA | 12 | | 22 | | 32 | | 42 | | 52 | |
| | | 3,0 | 1,5 | 2,5 | 1,5 | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,0 | 1,5 |
| | MEDIANA | 13 | | 23 | | 33 | | 43 | | 53 | |
| | | 3,0 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,5 | 2,0 | 1,0 | 2,0 |
| | FORTE | 14 | | 24 | | 34 | | 44 | | 54 | |
| | | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 1,5 | 2,5 | 1,0 | 2,5 |
| | MUITO FORTE | 15 | | 25 | | 35 | | 45 | | 55 | |
| | | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 3,0 | 2,0 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 1,0 | 3,0 |

Adaptada de Crepani et al. (1998).

TABELA 3 – MATRIZ DOS ÍNDICES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO PARA LOCAIS QUE DISPÕEM DE CARTAS TOPOGRÁFICAS EM ESCALA MAIOR OU IGUAL A 1:100.000

| | | AMPLITUDE INTERFLUVIAL | | | | |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | | MUITO GRANDE ≥5000m | GRANDE ≥2000m <5000m | MÉDIA ≥750m <2000m | PEQUENA ≥250 m <750 m | MUITO PEQUENA <250m |
| AMPLITUDE ALTIMÉTRICA | MUITO BAIXA (1) (< 20m) | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| | | 1,0.....1,0 | 1,0.....1,5 | 1,0.....2,0 | 1,0.....2,5 | 1,0.....3,0 |
| | BAIXA (2) (20 a 40m) | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| | | 15.....1,0 | 1,5.....1,5 | 1,5.....2,0 | 1,5.....2,5 | 1,5.....3,0 |
| | MÉDIA (3) (40 a 100m) | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| | | 2,0.....1,0 | 2,0.....1,5 | 2,0 2,0 | 2,0.....2,5 | 2,0.....3,0 |
| | ALTA (4) (100 a 200m) | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| | | 2,5.....1,0 | 2,5.....1,5 | 2,5.....2,0 | 25.....2,5 | 2,5.....3,0 |
| | MUITO ALTA (5) (> 200m) | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
| | | 3,0.....1,0 | 3,0.....1,5 | 3,0.....2,0 | 3,0.....2,5 | 3,0.....3,0 |

Adaptada de Crepani et al. (1998).

TABELA 4 – VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA A DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA PARA LOCAIS QUE DISPÕEM DE CARTAS TOPOGRÁFICAS EM ESCALA MAIOR OU IGUAL A 1:25.000

| AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m) | E/V | AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m) | E/V | AMPLITUDE DO INTERFLÚVIO (m) | E/V |
|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| >5000 | 1,0 | 3250 – 3500 | 1,7 | 1500 - 1750 | 2,4 |
| 4750 - 5000 | 1,1 | 3000 – 3250 | 1,8 | 1250 - 1500 | 2,5 |
| 4500 - 4750 | 1,2 | 2750 – 3000 | 1,9 | 1000 - 1250 | 2,6 |
| 4250 - 4500 | 1,3 | 2500 – 2750 | 2,0 | 750 - 1000 | 2,7 |
| 4000 - 4250 | 1,4 | 2250 – 2500 | 2,1 | 500 - 750 | 2,8 |
| 3750 - 4000 | 1,5 | 2000 – 2250 | 2,2 | 250 - 500 | 2,9 |
| 3500 - 3750 | 1,6 | 1750 – 2000 | 2,3 | <250 | 3,0 |

Adaptada de Crepani et al. (1998).

TABELA 5 – VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA A DIMENSÃO INTERFLUVIAL MÉDIA PARA LOCAIS QUE DISPÕEM DE CARTAS TOPOGRÁFICAS EM ESCALA MAIOR OU IGUAL A 1:25.000

| AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) | E/V | AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) | E/V | AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) | E/V |
|---------------------------|-----|---------------------------|-----|---------------------------|-----|
| <20 | 1,0 | 77 - 84,5 | 1,7 | 141,5 - 151 | 2,4 |
| 20 - 29,5 | 1,1 | 84,5 – 94 | 1,8 | 151 - 160,5 | 2,5 |
| 29,5 – 39 | 1,2 | 94 - 103,5 | 1,9 | 160,5 - 170 | 2,6 |
| 39 - 48,5 | 1,3 | 103,5 – 113 | 2,0 | 170 - 179,5 | 2,7 |
| 48,5 – 58 | 1,4 | 113 - 122,5 | 2,1 | 179,5 - 189 | 2,8 |
| 58 - 67,5 | 1,5 | 122,5 – 132 | 2,2 | 189 - 200 | 2,9 |
| 67,5 – 77 | 1,6 | 132 - 141,5 | 2,3 | >200 | 3,0 |

Adaptada de Crepani et al. (1998).

**TABELA 6 – VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS
CLASSES DE SOLOS**

| CLASSE DE SOLO | LEGENDA | E/V |
|-----------------------------------|---------|-----|
| Latossolo Amarelo | LA | 1,0 |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LV | 1,0 |
| Latossolo Vermelho-Escuro | LE | 1,0 |
| Latossolo Roxo | LR | 1,0 |
| Latossolo Bruno | LB | 1,0 |
| Latossolo Húmico | LH | 1,0 |
| Latossolo Bruno-Húmico | LBH | 1,0 |
| Podzólico Amarelo | PA | 2,0 |
| Podzólico Vermelho-Amarelo | PV | 2,0 |
| Podzólico Vermelho-Escuro | PE | 2,0 |
| Terra Roxa Estruturada | TR | 2,0 |
| Bruno Não-Cálcico | NC | 2,0 |
| Brunizém | B | 2,0 |
| Brunizém Avermelhado | BA | 2,0 |
| Planossolo | PL | 2,0 |
| Cambissolos | C | 2,5 |
| Solos Litólicos | R | 3,0 |
| Solos Aluviais | A | 3,0 |
| Regossolo | RE | 3,0 |
| Areia Quartzosa | A | 3,0 |
| Vertissolo | V | 3,0 |
| Solos Orgânicos | HO | 3,0 |
| Solos Hidromórficos | HI | 3,0 |
| Glei Húmico | HGH | 3,0 |
| Glei Pouco Húmico | HGP | 3,0 |
| Plintossolo | PT | 3,0 |
| Laterita Hidromórfica | LH | 3,0 |
| Solos Concrecionários Lateríticos | CL | 3,0 |
| Rendzinas | RZ | 3,0 |
| Afloramento Rochoso | AR | 3,0 |

Adaptada de Crepani et al. (1998).

TABELA 7 – VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS DIFERENTES FORMAÇÕES FLORESTAIS

| ECOSSISTEMA | | LEGENDA | E/V ¹ |
|---------------------------------|-------|--|------------------|
| | ATUAL | ANTERIOR | |
| Floresta Ombrófila Densa | D | | 1,0 |
| Aluvial | Da | Floresta Densa, planície aluvial (Fdp) Floresta Densa, planície aluvial, periodicamente inundada(Fdp) Floresta Densa, plan. aluvial permanentemente inundada (Fdg) Flor. Ombrófila Densa, aluvial, (Da) | 1,0 |
| - | - | Flor. Ombrófila Densa, aluvial, dossel emergente (Dae) | 1,0 |
| | | Floresta Densa dos terraços (Fdc) Floresta Densa das áreas sedimentares - platô (Fde) Floresta Densa das áreas sedimentares – alto platô (Fde) Floresta Densa, relevo aplainado (Fda) Floresta Densa, relevo dissecado (Fdn) Floresta Densa, baixos platôs (Fdb) | 1,0 |
| Terras Baixas | Db | Floresta Densa, Terras baixas, relevo ondulado (Fdo) Floresta Ombrófila Densa, Terras baixas (Db) Floresta Densa, Terras baixas, platôs (Fdb) | 1,0 |
| Submontana | Ds | Floresta Densa, Submontana, Platô (Fdr) Floresta Densa, Submontana, relevo aplainado (Fdi) Floresta Densa, Submontana, relevo aplainado (Fdn) Floresta Densa, Submontana, relevo dissecado (Fdn) Floresta Densa, Submontana, relevo ondulado (Fdi) Floresta Densa, Submontana, relevo dissecado (Fdi) Floresta Densa, Submontana, acidentado (Fdt) | 1,0 |

¹ Valor de estabilidade/vulnerabilidade.

| | | | |
|----------------------------------|----------|---|-----|
| | | Floresta Densa, Submontana, relevo acidentado (Fdt) Floresta Densa, Submontana, relevo ondulado. (Fds) Floresta Densa, Submontana, relevo dissecado (Fdu) Floresta Ombrófila Densa, submontana (Ds) Floresta Densa, Submontana, baixas cadeias de montanhas (Fdt) | |
| Dossel emergente | Dse | Floresta Ombrófila Densa, submontana, dossel emergente (Dse) | 1,0 |
| Dossel uniforme | Dsu | Floresta Ombrófila Densa, submontana, dossel uniforme (Dsu) | 1,0 |
| Montana | Dm | Floresta Densa, Montana (Fdm) Floresta Densa, Montana, relevo dissecado (Fdm) Floresta Ombrófila Densa Montana (Dm) Floresta Densa, Montana (Fbm) Floresta Densa, Montana, relevo dissecado (Fba) | 1,0 |
| Alto-montana | DI | Flor. Ombróf. Densa Alto-Montana (DI) | 1,0 |
| Com dossel uniforme | Dlu | | 1,0 |
| Floresta Ombrófila Aberta | A | | 1,2 |
| - | - | Floresta Babaçual (Fsb) Floresta Aberta, relevo dissecado (Fan) | |
| - | - | Floresta Aberta, Aluvial, periodicamente inundada (Fap) Floresta Aberta, Aluvial (Fap) Floresta Aberta, Aluvial, permanentemente inundada (Fag) Floresta Aberta, Aluvial, planície (Fag) Floresta Aberta, terraço aluvial (Fac) | 1,2 |
| - | - | Floresta Aberta Mista (Fam) Floresta Aberta Mista (Fal) Floresta Aberta, com palmeiras (Fam) Floresta Aberta latifoliada (Fal) Floresta Aberta sem palmeiras (Fam) Floresta Aberta com palmeiras (Fal) Floresta Aberta superfície aplainada (Fal) | 1,2 |

| | | | |
|---------------------------------|-----|--|-----|
| Terras Baixas | Ab | Floresta Aberta, Terras baixas, platô (Fab) Floresta Aberta, Terras baixas, relevo tabular (Fab) Floresta Aberta, Terras baixas, relevo dissecado (Faa) Floresta Aberta, Terras baixas, relevo ondulado (Fao) Floresta Aberta, Terras Baixas, relevo ondulado (Fas) | 1,2 |
| Com Palmeiras | Abp | Floresta Ombrófila Aberta, terras baixas, com palmeiras (Abc) | 1,2 |
| Com Cipó | Abc | Floresta Ombrófila Aberta, terras baixas, com cipós (Abp) | 1,2 |
| Submontana | As | Floresta Aberta, submontana, relevo dissecado (Fan) Floresta Aberta, submontana, relevo dissecado, com palmeiras (Fam) Floresta Aberta, Submontana, Platô (Far) Floresta Aberta, Submontana, relevo dissecado (Fau) Floresta Aberta, Submontana, relevo aplainado (Fai) Floresta Aberta, Submontana, relevo ondulado (Fai) Floresta Aberta, Submontana, relevo dissecado (Fan) Floresta Aberta, Submontana, relevo ondulado (Fas) | 1,2 |
| Com Palmeiras | Asp | Floresta Ombrófila Aberta, submontana, com palmeiras (Asp) | 1,2 |
| Com Cipó | Asc | Floresta Ombrófila Aberta, submontana, com cipós (Asc) | 1,2 |
| Com Bambu | Asb | Floresta Ombrófila Aberta, submontana, com bambus (Asb) | 1,2 |
| Com Sororoca | Ass | Floresta Ombrófila Aberta, submontana, com sororoca (Ass) | 1,2 |
| Montana | Am | | 1,2 |
| Com Palmeiras | Amp | Floresta Ombrófila Aberta montana com palmeiras (Amp) | 1,2 |
| Com Cipó | Amc | | 1,2 |
| Floresta Ombrófila Mista | M | | 1,3 |
| Aluvial | Ma | | 1,3 |
| Submontana | Ms | Floresta Ombrófila Mista Submontana (Ms) | 1,3 |
| Montana | Mm | Floresta Ombrófila Mista Montana (Mm) | 1,3 |
| Alto-montana | MI | Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (MI) | 1,3 |

| | | | |
|---|-----|---|-----|
| Floresta Estacional Semidecidual | F | | 1,6 |
| - | | Floresta Semidecidual, relevo aplainado (Fsa) Floresta Semidecidual, baixas cadeias de montanhas (Fsd) | 1,6 |
| Aluvial | Fa | Flor. Estacional Semidecidual, aluvial (Fa) | 1,6 |
| Dossel uniforme | Fau | | 1,6 |
| Dossel emergente | Fae | Flor. Estacional Semidecidual, aluvial, dossel emergente (Fae) | 1,6 |
| Terras Baixas | Fb | Flor. Estac. Semidec., terras baixas (Fb) | 1,6 |
| Dossel uniforme | Fbu | | 1,6 |
| Dossel emergente | Fbe | Flor. Estacional Semidecidual, terras baixas, dossel emerg. (Fbe) | 1,6 |
| Submontana | Fs | Floresta Semidecidual, Submontana, relevo dissecado (Fsn) Floresta Semidecidual, relevo aplainado (Fsa) Floresta Estacional Semidecidual, submontana (Fs) | 1,6 |
| Dossel uniforme | Fsu | | 1,6 |
| Dossel emergente | Fse | Flor. Estacional Semidecidual, submontana, dossel emerg. (Fse) | 1,6 |
| Montana | Fm | Floresta Estacional Semidecidual, montana (Fm) | 1,6 |
| Dossel uniforme | Fmu | | 1,6 |
| Dossel emergente | Fma | | 1,6 |
| Floresta Estacional Decidual | C | | 2,2 |
| | | Floresta Decidual latifoliada (Fla) Floresta Decidual mista (Flm) Floresta Decidual mista (Fnm) Floresta Decidual nanofoliada (Fna) | 2,2 |
| Aluvial | Ca | Floresta Estacional Decidual Aluvial (Ca) | 2,2 |
| Dossel uniforme | Cau | | 2,2 |
| Terras Baixas | Cb | Flor. Estac. Decidual, terras baixas (Cb) | 2,2 |
| Dossel uniforme | Cbu | | 2,2 |
| Dossel emergente | Cbe | Flor. Estac. Decidual, terras baixas, dossel emergente (Cbe) | 2,2 |

| | | | |
|--------------------|----------|--|-----|
| Submontana | Cs | Floresta Estacional Decidual, submontana (Cs) | 2,2 |
| Dossel uniforme | Csu | | 2,2 |
| Dossel emergente | Cse | Flor. Estacional Decidual, submontana, dossel emergente (Cse) | 2,2 |
| Montana | Cm | Floresta Estacional Decidual, montana (Cm) | 2,2 |
| Dossel uniforme | Cmu | | 2,2 |
| Dossel emergente | Cme | | 2,2 |
| Campinarana | L | | |
| Florestada | Ld | Formação Edáfica Arbórea densa (Pcv) Formação Edáfica Arbórea densa e depressões (Pcv) Floresta Edáfica Depressão, arbórea densa (Cad) Formação Edáfica Arbórea densa planície (Cap) Formação Edáfica Arbórea densa terraços. (Cac) Formação Edáfica Arbórea densa, relevo tabular (Cab) Formação Edáfica Arbórea densa, relevo ondulado (Cao) Formação Edáfica Arbórea densa, terraços e depressões (Pcr) Formação Edáfica Arbórea densa, relevo residual (Pcr) Campinarana arbórea densa, relevo dissecado (Caa) Campinarana arbórea aberta vale (Cbv) | 1,4 |
| Sem Palmeiras | Lds | | 1,4 |
| Com Palmeiras | Ldp | | 1,4 |
| Arborizada | La | Formação Edáfica Arbórea aberta (Pcd) Formação Edáfica Arbórea aberta, depressões (Cbd) Campinarana Arbórea aberta, planície (Cbp) Campinarana Arbórea aberta, terraço (Cat) Campinarana arbórea aberta, relevo dissecado (Cba) Campinarana arbórea aberta, relevo ondulado (Cbo) | 1,9 |
| - | | Campinarana Arbustiva, planície (Cup) Campinarana Arbustiva, terraços (Cus) Campinara Depressão, Arbustiva (Cud) | 2,3 |

| | | | |
|-------------------------|----------|---|-----|
| | | Campinarana Arbustiva relevo tabular (Cub) | |
| Sem Palmeiras | Las | | 2,3 |
| Com Palmeiras | Lap | | 2,3 |
| Gramíneo-Lenhosa | Lg | Campinarana Gramíneo-Lenhosa, depressão (Cgl) | 2,7 |
| Sem Palmeiras | Lgs | | 2,7 |
| Com Palmeiras | Lgp | | 2,7 |
| Savana | S | | |
| Florestada | Sd | Cerradão - Sc Savana Arbórea densa (Sad) Savana arbórea densa (Sd) | 1,7 |
| Arborizada | Sa | Campo cerrado - Sr Savana Arbórea aberta (Saa) Savana Arbórea aberta (Sa) | 2,1 |
| Sem floresta de galeria | Sas | Savana arbórea aberta sem floresta de galeria (Sas) | 2,1 |
| Com floresta de galeria | Saf | Savana arbórea aberta com floresta de galeria (Saf) | 2,1 |
| Parque | Sp | Cerrado parque (Sp) Savana parque (Sp) | 2,5 |
| Sem floresta de galeria | Sps | Savana parque sem floresta de galeria (Sps) | 2,5 |
| Com floresta de galeria | Spf | Savana parque com floresta de galeria (Spf) | 2,5 |
| Gramíneo-Lenhosa | Sg | Savana gramíneo-lenhosa (Sm) Savana gramíneo-lenhosa (Sg) Campo (Sm) | 2,7 |
| Sem flor.-de-galeria | Sgs | Savana gramíneo-lenhosa sem floresta de galeria (Sgs) | 2,7 |
| Com flor.-de-galeria | Sgf | Savana gramíneo-lenhosa com floresta de galeria (Sgf) | 2,7 |
| Savana estépica | T | | |
| Florestada | Td | Savana Estépica Arbórea densa (Cd) Savana Estépica arbórea densa (Td) | 1,7 |
| Arborizada | Ta | Savana Estépica Arbórea aberta (Ca) | 2,1 |

| | | | |
|-------------------------|-----|--|-----|
| Sem flor.-de-galeria | Tas | Savana Estépica Arborizada sem floresta de galeria (Tas) | 2,1 |
| Com flor.-de-galeria | Taf | Savana Estépica Arborizada com floresta de galeria (Taf) | 2,1 |
| Parque | Tp | Savana Estépica parque (Cp) | 2,5 |
| Sem flor.-de-galeria | Tps | Savana Estépica Parque sem floresta de galeria (Tps) | 2,5 |
| Com flor.-de-galeria | Tpf | Savana Estépica Parque com floresta de galeria (Tpf) | 2,5 |
| Gramíneo-Lenhosa | Tg | Savana Estépica Gramíneo-lenhosa (Tg) | 2,7 |
| Sem flor.-de-galeria | Tgs | Savana Estépica Gramíneo-lenhosa sem floresta de galeria (Tgs) | 2,7 |
| Com flor.-de-galeria | Tgf | Savana Estépica Gramíneo-lenhosa com floresta de galeria (Tgf) | 2,7 |
| Estepe | E | | |
| - | | Caatinga arbórea (Ea) | 1,7 |
| | | Caatinga arbustiva (Eu) | 2,3 |
| | | Estepe arbórea densa, sem palmeiras (Eds) | 1,7 |
| | | Estepe arbórea densa, com palmeiras (Edp) | 1,7 |
| | | Estepe arbórea aberta, sem palmeiras (Eas) | 2,1 |
| | | Estepe arbórea aberta, com palmeiras (Eap) | 2,1 |
| Arborizada | Ea | Estepe arbórea aberta (Ea) | 2,1 |
| Sem floresta de galeria | Eas | | 2,1 |
| Com floresta de galeria | Eaf | | 2,1 |
| Parque | Ep | Caatinga parque (Ep) Estepe parque (Ep) | 2,5 |
| - | | Estepe parque sem palmeiras (Eps) | 2,5 |
| - | | Estepe parque com palmeiras (Epp) | 2,5 |
| Sem floresta de galeria | Eps | | 2,5 |
| Com floresta de galeria | Epf | | 2,5 |
| Gramíneo-Lenhosa | Eg | Estepe Gramíneo-Lenhosa (Eg) | 2,7 |
| Sem floresta de galeria | Egs | | 2,7 |
| Com floresta de galeria | Egf | Estepe Gramíneo-Lenhosa com floresta de galeria(Eg) | 2,7 |

| | | | |
|--|-----|---|-----|
| Veg. c/ infl. Marinha (Restinga) | Pm | Formação Pioneira - Restinga - Pr Formação Pioneira, influência marinha, restinga (Pm) | - |
| Arbórea (pont. rochoso) | Pma | Formação Pioneira, influência marinha, restinga, arbórea (Pma) | 1,4 |
| Arbustiva (das dunas) | Pmb | Form. Pioneira, influência marinha, restinga, arbustiva (Pmb) | 2,3 |
| Herbácea (das praias) | Pmh | Form. Pioneira, influência marinha, restinga, herbácea (Pmh) | 2,7 |
| Veg. Com infl. Fluviomarinha | Pf | | |
| Arbórea (Maguezal) | Pfm | Formação Pioneira- Manguezal - (Pm) Formação Pioneira, influência marinha, mangue, arbórea (Pfm) | 1,4 |
| - | - | Formação Pioneira, influência fluviomarinha, arbórea (Pfm) | 1,4 |
| Herbácea (Plan. mar.) | Pfh | Formação Pioneira, influência fluviomarinha, herbácea (Pfh) | 2,7 |
| - | - | Formação Pioneira, influência fluviomarinha, herbácea, sem palmeiras (Phs) | 2,7 |
| Veg. c/ infl. fluv. e/ou lacustre | Pa | | |
| Buritizal | Pab | Formação Pioneira, influência fluvial buritizal (Pfb) | 1,8 |
| | | Formação Pioneira Arbórea com palmeiras (Pp) Formação Pioneira Arbórea sem palmeiras (Pl) Formação Edáfica Palustre Depressão Arbórea (Pap) Formação Pioneira Arbórea planície period. inundada (Pap) Formação Pioneira arbórea planície periodicam. inundada (Pap) Formação Pioneira Arbórea, periodicamente inundada (Pap) Formação Pion. arbórea, áreas permanentemente inundada (Pal) | 1,4 |

| | | | |
|-----------------------------|-----|---|-----|
| Arbustiva | Paa | Formação Pioneira - arbustiva (Pa) Formação Edáfica Palustre Depressão Arbustiva (Pau) Formação Pioneira Arbustiva, periodicamente inundada (Pau) Formação Edáfica arbustiva permanente inundada (Pae) Formação Pioneira arbustiva depressões perman. inundada (Pae) Formação Pioneira, arbustiva, terraços (Pac) For. Pion. infl. Fluvial, arbustiva com palmeiras (Pap) | 2,3 |
| Sem palmeiras | Pas | Form. Pioneira, influência fluvial, arbustiva, sem palmeiras (Pfs) Form. Pioneira, influência fluvial, arbustiva, sem palmeiras (Pas) | 2,3 |
| Com palmeiras | Pap | Form. Pioneira, influência fluvial, arbustiva, com palmeiras (Pfs) Form. Pioneira, influência fluvial, arbustiva, com palmeiras (Pap) | 2,3 |
| Herbáceo | rmh | Refúgio Tingua- Secundária mista - Tfsm Refúgio montano herbáceo (rmh) | 2,7 |
| Refúgio alto-montano | rl | Refúgio Alto-Montano (rl) | |
| Arbustivos | rlb | Refúgio arbustivo (Va) Refúgio Alto-Montano, arbustivo (rlb) | 2,3 |
| Herbáceo | rlh | Refúgio herbáceo (Ph) Refúgio graminoso (Pg) Refúgio Alto-Montano herbáceo (rlh) Refúgio Alto-Montano herbáceo (rah) | 2,7 |

| | | | |
|-----------------------------|-----|--|----------------|
| Vegetação secundária | Vs | | X ² |
| Sem palmeiras | Vss | Secundária latifoliada (Fsl) Vegetação secundária sem palmeiras (Vss) | X ³ |
| Com palmeiras | Vsp | Secundária mista (Fsm) Vegetação secundária com palmeiras (Vsp) | X ⁴ |

Adaptada de Crepani et al. (1998).

Cultura perene=2,7, Cultura anual = 2,9 e Solo exposto = 3,0

O E/V da regeneração da vegetação depende do estágio de seu crescimento e recobrimento do terreno.

² O E/V depende do tipo de floresta, do porte e do grau de cobertura do terreno.

³ O E/V depende do tipo de floresta, do porte e do grau de cobertura do terreno.

⁴ O E/V depende do tipo de floresta, do porte e do grau de cobertura do terreno.

APÊNDICE B

PROGRAMAS LEGAL

```

{

//Programa para atualizar o atributo AMPLITUDE da tabela de unidades
geomorfológicas através do operador faixa zonal

//Declaração

Objeto      regioes          ( "UNIDADES-GEO" );
Cadastral   mapacadastral    ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      entradaGrade     ( "MNT" );

//Instanciação

entradaGrade      =Recupere   (Nome = "grade");
mapacadastral     =Recupere   (Nome = "unidades-geomorfológicas");

//Atribuições

regioes.    "AMPLITUDE" =      Atualize   (entradaGrade, regioes OnMap
mapacadastral, FaixaZ);

}

{

//Programa para espacializar o atributo AMPLITUDE da tabela de
unidades geomorfológicas

//Declaração

Objeto      regioes          ( "UNIDADES-GEO" );
Cadastral   mapacadastral    ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      saidaAmplitudegrade ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =Recupere   (Nome = "unidades-
geomorfológicas");
saidaAmplitudegrade =Novo      (Nome = "gradeamplitude", ResX =
30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0, Max = 1000);

//Atribuições

saidaAmplitudegrade =      Espacialize ( regioes ."AMPLITUDE" OnMap
mapacadastral);

}

```

```

{

//Programa para ponderar os dados temáticos de Geologia, Amplitude
Altimétrica, Dimensão Interfluvial Média, Morfografia, Pedologia e
Uso/Cobertura Vegetal

//Declaração

//Declaração das variáveis que receberão os PI's de Geologia,
Amplitude Altimétrica, Dimensão Interfluvial Média, Morfografia,
Pedologia, Uso/Cobertura Vegetal

Tematico      entradaGeologia      ("GEOLOGIA");
Tematico      entradaAmplitude      ("GEOMORFOLOGIA");
Tematico      entradaDimensao      ("GEOMORFOLOGIA");
Tematico      entradaMorfografia      ("GEOMORFOLOGIA");
Tematico      entradaPedologia      ("PEDOLOGIA");
Tematico      entradaUso      ("VEGETACAO");

//Declaração das variáveis que receberão os PI's ponderados de
Geologia, Amplitude Altimétrica, Dimensão Interfluvial Média,
Morfografia, Pedologia e Uso/Cobertura Vegetal

Digital      saidaGeologiaponderado      ("MNT");
Digital      saidaAmplitudeponderado      ("MNT");
Digital      saidaDimensaoponderado      ("MNT");
Digital      saidaMorfografiaponderado      ("MNT");
Digital      saidaPedologiaponderado      ("MNT");
Digital      saidaUsoponderado      ("MNT");

//Declaração das variáveis que receberão as tabelas com os temas e
seus respectivos valores de estabilidade/vulnerabilidade

Tabela      TabGeologia      (Ponderacao);
Tabela      TabAmplitude      (Ponderacao);
Tabela      TabDimensao      (Ponderacao);
Tabela      TabMorfografia      (Ponderacao);
Tabela      TabPedologia      (Ponderacao);
Tabela      TabUso      (Ponderacao);

//Instanciação

//Recuperação dos PI's de Geologia, Amplitude Altimétrica, Dimensão
Interfluvial Média, Morfografia, Pedologia e Uso/Cobertura Vegetal

entradaGeologia      =Recupere      (Nome      =      "litologias");
entradaAmplitude      =Recupere      (Nome      =      "amplitude");
entradaDimensao      =Recupere      (Nome      =      "interfluvio");
entradaMorfografia      =Recupere      (Nome      =      "morfografia");
entradaPedologia      =Recupere      (Nome      =      "solos");
entradaUso      =Recupere      (Nome      =      "uso/cob");

//Criação dos PI's ponderados de Geologia, Amplitude Altimétrica,
Dimensão Interfluvial Média, Morfografia, Pedologia e Uso/Cobertura
Vegetal

```

```

saidaGeologiaponderado      =      Novo  (Nome = "litologiaponderado",
ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0, Max = 3);

saidaAmplitudeponderado     =      Novo  (Nome = "amplitudeponderado",
ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0, Max = 3);

saidaDimensaoponderado      =      Novo  (Nome =
"interfluvioponderado", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0,
Max = 3);

saidaMorfografiaponderado   =      Novo  (Nome =
"morfografiaponderado", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0,
Max = 10);

saidaPedologiaponderado     =      Novo  (Nome = "soloponderado", ResX
= 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0, Max = 3);

saidaUsoponderado           =      Novo  (Nome = "uso/cobponderado",
ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0, Max = 3);

//Criação das tabelas de ponderação

TabGeologia      =      Novo      (CategoriaIni = "GEOLOGIA",

"Q.al"           :      3.00,
"T.Gr.Taub"      :      2.60,
"PCS.roc.gran"   :      1.20,
"PCS.Gr.Aç.mig.het.estrom" :      1.30,
"PCS.Gr.Aç.mig.hom.estrom" :      1.30,
"CO-PCS.roc.cat" :      1.70,
"PCS.Gr.Aç.mig.hom.emb.neb.ana" :      1.30,
"Area urbana"    :      0.00);

TabDimensao      =      Novo      (CategoriaIni = "GEOMORFOLOGIA",

">1500m"         :      2.40,
"1500-700m"      :      2.60,
"700-300m"       :      2.70,
"300-100m"       :      2.90,
"<100m"          :      3.00,
"forma agradacional" :      0.00,
"Area urbana"    :      0.00);

TabAmplitude     =      Novo      (CategoriaIni = "GEOMORFOLOGIA",

"<20m"           :      2.40,
"20-40m"         :      2.60,
"40-80m"         :      2.70,
"80-120m"        :      2.90,
"120-160m"       :      3.00,
"160-200m"       :      3.00,
">=200m"         :      3.00,
"forma agradacional" :      0.00,
"Area urbana"    :      0.00);

TabMorfografia   =      Novo      (CategoriaIni = "GEOMORFOLOGIA",

```

```

"serras(Da)" : 3.00,
"vale encaixado (Da)" : 3.00,
"morros (Da)" : 3.00,
"morrotes (Da)" : 3.00,
"morrotes (Dc)" : 2.00,
"morrotes (Dp)" : 1.00,
"colinas (Da)" : 3.00,
"colinas (Dc)" : 2.00,
"colinas (Dp)" : 1.00,
"terracos (Atf)" : 3.00,
"planicie (Apf)" : 9.00,
"meandros (Apf)" : 9.00,
"Area urbana" : 0.00);

TabPedologia = Novo (CategoriaIni = "PEDOLOGIA",

"PVa18" : 1.60,
"LVa22" : 1.60,
"LVa2" : 1.00,
"LVa9" : 1.40,
"HGHa2" : 3.00,
"Area urbana" : 0.00);

TabUso = Novo (CategoriaIni = "VEGETACAO",

"D/Vss" : 1.00,
"Reflorestamento" : 1.20,
"D/Vss/Pas(10%)" : 1.50,
"F/Vss" : 1.60,
"F/Vss/Pas(10%)" : 1.90,
"D/Vss/Pas(33%)" : 2.10,
"F/Vss/Pas(33%)" : 2.30,
"Campo sujo" : 2.60,
"Campo limpo" : 2.70,
"Queimada" : 3.00,
"Cultura anual" : 3.00,
"Solo exposto" : 3.00,
"Porto de areia/Lago" : 3.00,
"Area urbana" : 0.00);

//Atribuição

//Execução da operação de ponderação

saidaGeologiaponderado = Pondere(entradaGeologia,
TabGeologia);
saidaAmplitudeponderado = Pondere(entradaAmplitude,
TabAmplitude);
saidaDimensaoponderado = Pondere(entradaDimensao,
TabDimensao);
saidaMorfografiaponderado = Pondere(entradaMorfografia,
TabMorfografia);
saidaPedologiaponderado = Pondere (entradaPedologia,
TabPedologia);
saidaUsoponderado = Pondere (entradaUso, TabUso);
}

```

```

{

//Programa para calcular o valor de estabilidade/vulnerabilidade média
para o tema Geomorfologia a partir das notas de Amplitude Altimétrica,
Dimensão Interfluvial Média e Morfografia

//Declaração

Digital          entradaAmplitudeponderado          ( "MNT" );
Digital          entradaDimensaoponderado            ( "MNT" );
Digital          entradaMorfografiaponderado         ( "MNT" );
Digital          saidaGeomorfologiaponderado         ( "MNT" );

//Instanciação

entradaAmplitudeponderado      =Recupere(Nome = "amplitudeponderado");
entradaDimensaoponderado      =Recupere(Nome = "interfluvioponderado");
entradaMorfografiaponderado    =Recupere(Nome = "morfografiaponderado");
saidaGeomorfologiaponderado    =Novo (Nome = "geomorfologiaponderado",
ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0, Max = 3);

//Atribuição

saidaGeomorfologiaponderado    =      entradaAmplitudeponderado/3 +
entradaDimensaoponderado/3 + entradaMorfografiaponderado/3;

}

{

//Programa para atualizar os atributos GEOL_CLS através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto          regioes          ( "UNIDADES" );
Cadastral       mapacadastral     ( "MAPA-CADASTRAL" );
Tematico        entradaGeologia   ( "GEOLOGIA" );

//Instanciação

mapacadastral    =      Recupere      (Nome =      "utbs");
entradaGeologia  =      Recupere      (Nome =      "litologias");
//Atribuição

regioes.         "GEOL_CLS"        =      Atualize      (entradaGeologia,
regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

```

```

{

//Programa para atualizar o atributo GEOL_E_V através do operador
média zonal

//Declaração

Objeto      regioes              ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral        ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital     entradaGeologiaponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome =      "utbs");
entradaGeologiaponderado =      Recupere      (Nome
      ="litologiaponderado");

//Atribuição

regioes.      "GEOL_E_V" =      Atualize      (entradaGeologiaponderado,
regioes OnMap mapacadastral, MedZ);

}

{

//Programa para atualizar o atributo AMPL_CLS através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes              ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral        ( "MAPA-CADASTRAL" );
Tematico    entradaAmplitude     ( "GEOMORFOLOGIA" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome =      "utbs");
entradaAmplitude   =      Recupere      (Nome =      "amplitude");

//Atribuição

regioes.      "AMPL_CLS" =      Atualize      (entradaAmplitude,
regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

```

```

{

//Programa para atualizar o atributo AMPL_E_V através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes                ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral          ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      entradaAmplitudeponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome =      "utbs");
entradaAmplitudeponderado =      Recupere      (Nome
      ="amplitudeponderado");

//Atribuição

regioes.      "AMPL_E_V"      =      Atualize
      (entradaAmplitudeponderado, regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

{

//Programa para atualizar os atributos INTERF_CLS através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes                ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral          ( "MAPA-CADASTRAL" );
Tematico     entradaInterfluvio     ( "GEOMORFOLOGIA" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome ="utbs");
entradaInterfluvio =      Recupere      (Nome ="interfluvio");

//Atribuição

regioes.      "INTERF_CLS"      =      Atualize      (entradaInterfluvio,
regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

```



```

{

//Programa para atualizar o atributo INTERF_E_V através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes                ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral          ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital     entradaInterfluvioponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =Recupere    (Nome="utbs");
entradaInterfluvioponderado =Recupere
    (Nome="interfluvioponderado");

//Atribuição

regioes.    "INTERF_E_V"      =      Atualize
    (entradaInterfluvioponderado, regioes OnMap mapacadastral,
MaiZ);

}

{

//Programa para atualizar o atributo MORFO_CLS através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes                ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral          ( "MAPA-CADASTRAL" );
Tematico    entradaMorfografia     ( "GEOMORFOLOGIA" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere    (Nome ="utbs");
entradaMorfografia =      Recupere    (Nome ="morfografia");

//Atribuição

regioes.    "MORFO_CLS"      =      Atualize    (entradaMorfografia,
regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

```

```

{

//Programa para atualizar o atributo MORFO_E_V através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes                      ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral                ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      entradaMorfografiaponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =Recupere  (Nome="utbs");
entradaMorfografiaponderado =Recupere
    (Nome="morfografiaponderado");

//Atribuição

regioes.    "MORFO_E_V"      =      Atualize
    (entradaMorfografiaponderado, regioes OnMap mapacadastral,
MaiZ);

}

{

//Programa para atualizar o atributo GEOMORF_E_V através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes                      ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral                ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      entradaGeomorfologiaponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =Recupere  (Nome="utbs");
entradaGeomorfologiaponderado =Recupere
    (Nome="geomorfologiaponderado");

//Atribuição

regioes.    "GEOMORF_E_V"      =      Atualize
    (entradaGeomorfologiaponderado, regioes OnMap mapacadastral,
MaiZ);

}

```

```

{

//Programa para atualizar o atributo PEDOL_CLS através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes                      ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral                ( "MAPA-CADASTRAL" );
Tematico    entradaPedologia            ( "PEDOLOGIA" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome ="utbs");
entradaPedologia   =      Recupere      (Nome ="solos");

//Atribuição

regioes.    "PEDOL_CLS"      =      Atualize      (entradaPedologia,
regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

{

//Programa para atualizar o atributo PEDOL_E_V através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes                      ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral                ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      entradaPedologiaponderado   ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =Recupere(Nome="utbs");
entradaPedologiaponderado   =Recupere      (Nome="solosponderado");

//Atribuição

regioes.    "PEDOL_E_V"      =      Atualize
      (entradaPedologiaponderado, regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

```

```

{

//Programa para atualizar o atributo USOCOB_CLS através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes          ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral    ( "MAPA-CADASTRAL" );
Tematico     entradaUso      ( "VEGETACAO" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome ="utbs");
entradaUso         =      Recupere      (Nome ="uso/cob");

//Atribuição

regioes.      "USOCOB_CLS"          =      Atualize      (entradaUso,
regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

{

//Programa para atualizar o atributo USOCOB_E_V através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes          ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral    ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital     entradaUsoponderado  ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere(Nome="utbs");
entradaUsoponderado  =      Recupere      (Nome="uso/cobponderado");

//Atribuição

regioes.      "USOCOB_E_V"          =      Atualize
      (entradaUsoponderado, regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

```

```

{
//Programa para espacializar o atributo GEOL_E_V

//Declaração

Objeto      regioes                ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral          ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      saidaGeologiagradeponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =Recupere    (Nome = "utbs");
saidaGeologiagradeponderado =Novo    (Nome =
"gradelitologiasponderado", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min
= 0, Max = 3);

//Atribuições

saidaGeologiagradeponderado =      Espacialize ( regioes ."GEOL_E_V"
OnMap mapacadastral);

}

{
//Programa para espacializar o atributo GEOMORF_E_V

//Declaração

Objeto      regioes                ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral          ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      saidaGeomorfologiagradeponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =Recupere    (Nome = "utbs");
saidaGeomorfologiagradeponderado =Novo    (Nome =
"gradegeomorfologiaponderado", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000,
Min = 0, Max = 3);

//Atribuições

saidaGeomorfologiagradeponderado =      Espacialize ( regioes
."GEOMORFO_E_V" OnMap mapacadastral);

}

```

```

{

//Programa para espacializar o atributo PEDOL_E_V

//Declaração

Objeto      regioes                ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral          ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      saidaPedologiagradeponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral                =Recupere (Nome = "utbs");
saidaPedologiagradeponderado =Novo      (Nome =
"gradesolosponderado", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0,
Max = 3);

//Atribuições

saidaPedologiagradeponderado =      Espacialize ( regioes ."PEDOL_E_V"
OnMap mapacadastral);

}

{

//Programa para espacializar o atributo USOCOB_E_V

//Declaração

Objeto      regioes                ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral          ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital      saidaUsogradeponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral                =Recupere (Nome = "utbs");
saidaUsogradeponderado =Novo      (Nome = "gradeuso/cobponderado",
ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0, Max = 3);

//Atribuições

saidaUsogradeponderado =      Espacialize ( regioes ."USOCOB_E_V" OnMap
mapacadastral);

}

```

```

{

//Programa para calcular o valor de Estabilidade/Vulnerabilidade média
final a partir dos temas Geologia, Geomorfologia, Pedologia e
Uso/Cobertura Vegetal

//Declaração

Digital      entradaGeologiagradeponderado      ( "MNT" );
Digital      entradaGeomorfologiagradeponderado  ( "MNT" );
Digital      entradaPedologiagradeponderado      ( "MNT" );
Digital      entradaUsogradeponderado            ( "MNT" );
Digital      saidaEst.Vulgrade                    ( "MNT" );


//Instanciação

entradaGeologiagradeponderado      =Recupere(Nome =
"gradelitologiasponderado");
entradaGeomorfologiagradeponderado =Recupere(Nome =
"gradegeomorfologiagradeponderado");
entradaPedologiagradeponderado      =Recupere(Nome =
"gradesolosponderado");
entradaUsogradeponderado            =Recupere(Nome =
"gradeuso/cobponderado");
saidaEstVulgrade                    =Novo (Nome =
"gradeestabilidade/vulnerabilidade", ResX = 30, ResY = 30, Escala =
50000, Min = 0, Max = 3);

//Atribuição

saidaEstVulgrade =      entradaGeologiagradeponderado /4 +
entradaGeomorfologiagradeponderado /4 + entradaPedologiagradeponderado
/4 + entradaUsogradeponderado/4;

}

{

//Programa para atualizar o atributo EST_VUL_CL através do operador
maioria zonal

//Declaração

Objeto      regioes      ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral ( "MAPA-CADASTRAL" );
Tematico    entradaEstVul ( "VULNERABILIDADE" );


//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome ="utbs");
entradaEst.Vul     =      Recupere      (Nome ="estabilidade-
vulnerabilidade");

//Atribuição

```

```

regioes.      "EST_VUL_CL"          =      Atualize      (entradaEstVul,
regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);

}

{

//Programa para atualizar o atributo EST_VUL_E_

//Declaração

Objeto      regioes                  ( "UNIDADES" );
Cadastral   mapacadastral            ( "MAPA-CADASTRAL" );
Digital     entradaEstVulgradeponderado ( "MNT" );

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere(Nome="utbs");
entradaEstVulgradeponderado =      Recupere      (Nome="grade
estabilidade/vulnerabilidade ");

//Atribuição

regioes.      "EST_VUL_E_"          =      Atualize
      (entradaEst.Vulgradeponderado, regioes OnMap mapacadastral,
MaiZ);

}

```